Beilage Nr. 1.02

Revitalisierung Muota
Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Auflageprojekt

Technischer Bericht

INGE Mehrwert Muota
Kissling + Zbinden AG
AquaPlus AG
Dr. von Moos AG
Hunziker, Zarn & Partner AG

Projekt Nr.	Plan Nr.
6.460	/ 33.202

Format: A4

		Gezeichnet / Revidiert		Geprüft		Freigabe	
		Datum	Visum	Datum	Visum	Datum	Visum
						29.05.2026	mk
A							
B							
C							
D							
E							

IMPRESSUM

Auftraggeber
ebs Energie AG, Riedstrasse 17, 6431 Schwyz
Bezirk Schwyz, Brüöl 7, 6431 Schwyz

Projekt
6.460 Revitalisierung Muota, Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Berichtnummer
6.460_33.200

Erstellungsdatum
07.07.2023

Fassung vom
09.06.2026

Bearbeitung
Luca Apitzsch, Markus Knellwolf, (K+Z AG)
Florian Hinkelammert-Zens (HZP)
Tino Stähli, Chantal Gauch, Mathieu Camenzind (AquaPlus AG)

Q-Prüfung

Datum	09.06.2026, Markus Knellwolf
Unterschrift	

Verteiler
- ebs Energie AG
- Bezirk Schwyz
- Bundesamt für Umwelt (BAFU)
- Gemeinden Ingenbohl und Schwyz
- Amt für Gewässer (AfG) & Amt für Umwelt und Energie (AUE) Kt. Schwyz
- Naturschutzorganisationen mit Einsitz in Projektgruppe: WWF, Aqua Viva
- INGE Mehrwert Muota

INHALTSVERZEICHNIS

1	**Ausgangslage und Auftrag**	**1**
1.1	Ausgangslage und Projektauslöser	1
1.2	Auftrag	1
2	**Literatur / Grundlagen**	**2**
3	**Situationsanalyse**	**7**
3.1	Projektperimeter	7
3.2	IST-Zustand	7
3.2.1	Abfluss und Abflussdynamik	7
3.2.2	Geschiebehaushalt & Feststoffdynamik	8
3.2.3	Schwemmholz	9
3.2.4	Gerinnestruktur & Morphodynamik	10
3.2.5	Uferbereiche	11
3.2.6	Vernetzung	12
3.2.7	Biodynamik	14
3.2.8	Grundwasser und vertikale Vernetzung	14
3.2.9	Wasserqualität und Temperatur	15
3.2.10	Organismen	16
3.2.11	Anlagen und Nutzungen	20
3.2.12	Bestehende Gefahrensituation	28
3.2.13	Historische Ereignisse	30
3.3	Naturzustand	32
3.3.1	Abfluss und Abflussdynamik	32
3.3.2	Geschiebe und Feststoffdynamik	33
3.3.3	Gerinnestruktur und Morphodynamik	33
3.3.4	Uferbereich	34
3.3.5	Vernetzung	34
3.3.6	Biodynamik	34
3.3.7	Grundwasser und vertikale Vernetzung	34
3.3.8	Wasserqualität und Temperatur	35
3.3.9	Organismen	35
3.4	Referenzzustand	36
3.4.1	Irreversible und reversible Einflüsse	36
3.4.2	Abfluss und Abflussdynamik	37
3.4.3	Geschiebe und Feststoffdynamik	37
3.4.4	Gerinnestruktur und Morphodynamik	37
3.4.5	Uferbereich	37
3.4.6	Vernetzung	37
3.4.7	Biodynamik	37
3.4.8	Grundwasser und vertikale Vernetzung	38
3.4.9	Wasserqualität, Temperatur	38
3.4.10	Organismen	38
3.5	Defizitanalyse	38
3.5.1	Abfluss und Abflussdynamik	38
3.5.2	Geschiebe und Feststoffdynamik	39
3.5.3	Gerinnestruktur und Morphodynamik	39

3.5.4 Uferbereich 39
3.5.5 Vernetzung 39
3.5.6 Biodynamik 39
3.5.7 Grundwasser und vertikale Vernetzung 40
3.5.8 Wasserqualität und Temperatur 40
3.5.9 Organismen 40

4 Zieldefinition (Sollzustand) 42
4.1 Anlagen und Nutzungen (Restriktionen) 42
4.1.1 Restriktionsklassen 42
4.1.2 Projektbezogene Klassierung der Anlagen und Nutzungen 43
4.2 Ziele Hochwasserschutz 44
4.2.1 Schutzziele linke Uferseite 44
4.2.2 Schutzziele rechte Uferseite 45
4.2.3 Schutzziel ARA Schwyz 45
4.2.4 Hochwasserschutz Seeweren 46
4.3 Ökologische Entwicklungsziele 46
4.3.1 Abfluss und Abflussdynamik 47
4.3.2 Geschiebe und Feststoffdynamik 47
4.3.3 Gerinnestruktur und Morphodynamik 48
4.3.4 Uferbereich 48
4.3.5 Vernetzung 48
4.3.6 Biodynamik 49
4.3.7 Grundwasser und vertikale Vernetzung 49
4.3.8 Wasserqualität und Temperatur 49
4.3.9 Organismen 49
4.4 Zielsetzungen Gesellschaft und Naherholung 50

5 Massnahmenplanung 52
5.1 Variantenstudium Wasserbau 52
5.1.1 Varianten Einmündung Seeweren, Vorprojekt 52
5.1.2 Varianten im Bereich Seitenarm / Altarm, Vorprojekt 54
5.1.3 Weiterentwicklung des Variantenstudiums im Bereich Altarm 60
5.1.4 Varianten im Gerinne der Muota 62
5.2 Hydraulische Modellierung 64
5.2.1 Software HydroAS (Klarwasser) 65
5.2.2 Modellaufbau und -perimeter 65
5.2.3 Randbedingungen 67
5.2.4 Hydraulische Kalibrierung 68
5.2.5 Rauheitsbeiwerte 69
5.3 Morphologische Modellierung 70
5.3.1 Erweiterung HydroAS FT (Feststofftransport) 70
5.3.2 Kornverteilung Sohlmaterial 70
5.3.3 Rauheitsbeiwerte bewegliche Sohle 72
5.3.4 Geschiebefrachten 73
5.3.5 Ganglinien Langzeitsimulationen 73
5.4 Projektsohle Bau-/Auflageprojekt 74
5.4.1 Grundlage aus Vorprojekt 74
5.4.2 Anpassung Projektsohle für Absenkung Hochwasserspiegel Seeweren 75
5.4.3 Prüfung Relief und Bankhöhen/ Kolktiefen mittels Langzeitsimulationen über 4 Jahre 77

5.4.4 Sohlentwicklung über 20 Jahre 79
5.5 Geschiebehaushalt nach Projektabschluss 83
5.5.1 Ist-Zustand 83
5.5.2 Sanierter Zustand 85
5.6 Bemessungsabflüsse 86
5.7 Bemessungsvorgaben fischgängige Querbauwerke und Rampen 87
5.7.1 Anforderungen und Ziele 87
5.7.2 Fischökologischen Kennwerte 87
5.7.3 Vorgaben Rampe 88
5.8 Bauliche Massnahmen 88
5.8.1 Ufertypen 88
5.8.2 Aquatische Strukturelemente 93
5.8.3 Bauliche Massnahmen Muota 95
5.8.4 Bauliche Massnahmen Seeweren 101
5.8.5 Bauliche Massnahmen Werkleitungen 103
5.9 Raumplanerische Massnahmen 104
5.9.1 Raumbedarf nach Roulier 104
5.9.2 Festlegung des Gewässerraums 104
5.9.3 Raumplanerische Sicherung des Überlastkorridors 104
5.10 Materialbewirtschaftungskonzept 105
5.10.1 Materialbilanz 105
5.11 Landerwerb und temporär beanspruchte Fläche 106
5.12 Naherholung und Besucherlenkung 107

6 Auswirkungen der Massnahmen 108
6.1 Auswirkungen auf die Umwelt 108
6.2 Hochwasserschutz und Überlastfall 108
6.2.1 Gefahrensituation nach Massnahmen 108
6.2.2 Retentionseffekt im Gebiet Husmatt im Überlastfall 110
6.3 Effekte auf Gefährdung durch Oberflächenabfluss 112

7 Kosten 113
7.1 Kostenvoranschlag 113
7.2 Finanzierung und Kostenteiler 114
7.2.1 Abschnitte für Berechnung Kostenteiler 114
7.2.2 Finanzierung und Kostenteiler 114
7.2.3 Anrechenbarkeit der Kosten 115
7.2.4 Subventionssätze 116

8 Bauvorgang 117
8.1 Bauzeit und Ausführungszeitpunkt 117
8.2 Bauablauf und Baulose 117
8.3 Erschliessung der Baustelle 118
8.4 Wasserhaltung 119

9 Wirkungskontrolle 120
9.1 Pflicht zur Wirkungskontrolle 120
9.2 Gesamtkonzept Wirkungskontrolle Muota 120
9.3 Vorschlag Indikatoren Revitalisierung 120
9.4 Probenahmestandorte 121

9.5 Berichterstattung 122

10 Anhang 123

1 AUSGANGSLAGE UND AUFTRAG

1.1 Ausgangslage und Projektauslöser

Die Muota fliesst im Abschnitt zwischen der Entnahme des Kraftwerks Brunnen und dessen Rückgabe (Abschnitt KW Brunnen) in einem stark verbauten Gerinne. Es fehlen sowohl am Ufer wie auch in der Sohle typische Habitate. Der Uferraum ist schmal und wenig wertvoll. Der Betrieb des KW Brunnen wurde vor einigen Jahren eingestellt. Die Idee einer Konzessionserneuerung wurde vom Kraftwerkseigentümer verworfen. Sowohl das Kraftwerksgebäude als auch der Kraftwerkskanal haben ausgedient.

Die strategische Revitalisierungsplanung des Kantons [1] attestiert der Muota im Abschnitt KW Brunnen aus Sicht Natur und Landschaft einen grossen Nutzen. Entsprechend wurde der Muotaunterlauf als kantonal, prioritäres Fliessgewässer mit hohem Handlungsbedarf eingestuft [2].

Die ebs Energie AG nutzt die Muota oberhalb der Einmündung Seeweren an diversen Standorten zur Produktion von Energie aus Wasserkraft. Aktuell läuft ein Verfahren zur Konzessionserneuerung (aktuelle Konzession befristet bis 2030). Im Rahmen der Konzessionserneuerung werden die Restwasserbestimmungen saniert bzw. neu verfügt. Zudem erfolgen in Koordination mit der Neukonzessionierung die Massnahmenplanung und Umsetzung der Sanierung Wasserkraft. Wesentliche Beeinträchtigungen in den Bereichen Geschiebehaushalt, Fischwanderung und Schwall-Sunk werden mit baulichen und betrieblichen Massnahmen beseitigt oder minimiert.

Als Bestandteil der Konzessionserneuerung hat die ebs Energie AG ökologische Ersatzmassnahmen entlang der Muota umzusetzen. Das hier vorliegende Revitalisierungsprojekt ist für die ebs Energie AG u.a. eine solche ökologische Ersatzmassnahme. Als Ersatzmassnahme anrechenbar sind die positiven Bilanzierungspunkte im Verhältnis zu den von der ebs Energie AG getragenen Kosten.

Der Bezirk Schwyz seinerseits erfüllt mit der Umsetzung des Projekts im Abschnitt KW Brunnen seine gesetzliche Revitalisierungspflicht als zuständige Revitalisierungsbehörde.

1.2 Auftrag

Mit Schreiben vom 26.10.2022 hat die Bauherrengemeinschaft der ebs Energie AG und dem Bezirk Schwyz der INGE Mehrwert Muota den Auftrag für die Ausarbeitung der SIA-Phasen 31-33 des Revitalisierungsprojekts an der Muota im Abschnitt KW Brunnen erteilt.

2 LITERATUR / GRUNDLAGEN

[1] Amt für Wasserbau Kt. Schwyz, «Strategische Revitalisierungsplanung,» Dezember 2014.

[2] Amt für Wasserbau, «Handlungsbedarf an den Fliessgewässern des Kantons Schwyz,» Kanton Schwyz, 2020.

[3] GEOTEST AG, beffa tognacca, «Naturgefahrenkarte Schwyz-Ingenbohl-Morschach Nord,» Einsiedeln / Schwyz, Dezember 2007.

[4] Bundesamt für Umwelt (BAFU), «BAFU-Messstation Ingenbohl,» [Online]. Available: https://www.hydrodaten.admin.ch/de/seen-und-fluesse/stationen-und-daten/2084. [Zugriff am 12 07 2023].

[5] AquaPlus AG, «Muotakraftwerke Restwasserbericht. Fachbericht Hydrologie,» Im Auftrag der ebs Energie AG. 123 S., Anhang, 2021.

[6] AquaPlus AG, B+S AG, «Muotakrafwerke. Restwasserbericht (RWB),» ebs Energie AG, Schwyz, 2018.

[7] Beffa tognacca, «Sanierung Geschiebehaushalt Muota – Studie über Art und Umfang von Massnahmen,» Steinen, November 2018.

[8] BAFU (Hrsg.), «Schwemmholz in Fliessgewässern. Ein praxisorientiertes Forschungsprojekt.,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 1910: 100 S., Bern, 2019.

[9] Amt für Geoinformation, Kanton Schwyz, «Geoportal WebGIS,» [Online]. [Zugriff am 2023].

[10] BAFU (Hrsg.), «NAWA – Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Konzept Fliessgewässer,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 1327: 72 Seiten sowie Anhang mit den Messstellenblättern, Bern, 2013.

[11] BAFU (Hrsg.), «Zustand der Schweizer Fliessgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011–2014,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Zustand Nr. 1620: 87 Seiten, Bern, 2016.

[12] Hürlimann J., Niederhauser P., «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend),» Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Vollzug Nr. 0740, 130 S, Bern, 2007.

[13] Stucki, P., Knispel, S., Vicentini, H., Wagner, A. , «NAWA TREND, Rapport secoriel macrozoobenthos, final campagne 2012 et campagne complémentaires 2011-2014. Expertenbericht,» Bundesamtes für Umwelt, Bern, 2015.

[14] Stucki, P., Knispel, S., «NAWA TREND Biologie, Fachbericht Mekrozoobenthos und Äusserer Aspekt, 2. Kampagne (2015),» Bundesamt für Umwelt, 2017.

[15] AquaPlus AG, «Vorabzug Restwasserbericht Kraftwerk Brunnen. Ohne Anhang,» ebs Energie AG, 18.12.2013.

[16] AquaPlus AG, «Muotakraftwerke UVB Teilprojekt 4, KW Bisisthal, KW Muota, KW Wernisberg, KW Ibach. Fachbericht Oberflächengewässer und Grundwasser. 252 S., mit Anhängen,» ebs Energie AG, 2021.

[17] AquaPlus AG, B+S AG, AF CONSULT, «Muotakraftwerke - Sanierungsbericht Schwall-Sunk - KW Wernisberg, KW Hinterthal und KW Bisisthal. 286 S. + Anhang,» ebs Energie AG, 2021.

[18] BAFU (Hrsg.), «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Kieselalgen Stufe F (flächendeckend),» Bundesamt für Umwelt, Version vom 24. November 2006., Bern, 2007b.

[19] BAFU (Hrsg.), «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Äusserer Aspekt,» Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Vollzug Nr. 0701, 43 S, Bern, 2007a.

[20] Känel, B., Göggel, W., Weber, C. und Meier, W. , «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer Vegetation im Kanton Zürich,» Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Abteilung Gewässerschutz. 102 S., 2010.

[21] Frutiger A., Sieber U. , «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer, Makrozoobenthos - Stufe F,» BUWAL (Hrsg.). 51 S, Entwurf Stand März 2005.

[22] IUB Engineering AG, «Vorpojekt KW Brunnen. Technischer Bericht. Vorabzug 21.10.2013. 44 S.,» 2013.

[23] Tiefbauamt Kt Schwyz, Abteilung Strategie und Entwicklung, «Kantonales Radroutenkonzept,» Schwyz, 2015.

[24] R+K Büro für Raumplanung AG, «Kantonaler Nutzungsplan Entwicklungsachse Urmiberg. Teil Brunnen Nord.,» Kanton Schwyz. Volkswirtschaftsdepartement, Schwyz, 12.05.2016.

[25] Meier+Cie AG, Blickwinkel AG, «NOVA,» HRS Real Estate AG, 2018. [Online]. Available: www.novabrunnen.ch. [Zugriff am 08 20 2023].

[26] GEOTEST AG / beffa tognacca , «Naturgefahrenkarte Schwyz-Ingenbohl-Morschach Nord,» Einsiedeln/Schwyz, Dezember 2007.

[27] Basler & Hofmann AG, «Aktennotiz Natürliche Gerinnesohlenbreite, AN_07776.000-001,» Kriens, 24.11.2022.

[28] Gasser, J., «Geologie und Geotope im Kanton Schwyz. 200 Millionen Jahre Erdgeschichte. Region: Arth – Goldau – Lauerz – Seewen – Ibach – Brunnen,» 2003.

[29] Delarze R., Gonseth Y., Eggenberg S., Vust M. , «Lebensräume der Schweiz. Ökologie - Gefährdung - Kennarten,» 456 S, 2015.

[30] BAFU (Hrsg.), «Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume,» Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Vollzug Nr. 1709: 99 S., Bern, 2019.

[31] Rust-Dubié, C., Schneider, K., Walter, T. , « Fauna der Schweizer Auen - Eine Datenbank für Praxis und Wissenschaft.,» Zürich, Bristol-Schriftenreihe Band 16. Haupt-Verlag, Bern, Stuttgart, Wien. 214 Seiten., 2006.

[32] Von Tschudi, F. , «Das Thierleben der Alpenwelt,» Nachdruck des Originals. Salzwasserverlag. S. 528, 1886.

[33] Service conseil Zones alluviales (SCZA) und CSD Ingénieurs SA. Paccaud G., Ghilardi T. und Roulier C., «Gewässerraum für grosse Fliessgewässer in der Schweiz,» Yverdon-les-Bains, 2019.

[34] Tonolla D., Chaix O., Meile T., Zurwerra A., Büsser P., Oppliger,S., Essyad K. , «Schwall-Sunk - Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Vollzug Nr. 1701. 133 S, Bern, 2017.

[35] BAFU (Hrsg.), «Schwemmholz in Fliessgewässern. Ein praxisorientiertes Forschungsprojekt,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 1910: 100 S, Bern, 2019.

[36] BAFU (Hrsg.), «Hochwasserschutz an Fliessgewässern,» Bundesamt für Umwelt. Wegleitung, 2001.

[37] Kanton Schwyz, RRB Nr. 324/2010, «Naturgefahren im Kanton Schwyz. Kantonale Naturgefahrenstrategie,» Schwyz, 23.03.2010.

[38] AFRA Schweiz AG, «Umnutzung ehemaliges Zementwerkareal Brunnen, Projekt Nova Brunnen. Verbauung Muota Wuhrkorporation Muota und Starzlen. Technischer Bericht.,» HRS Real Estate AG, Frauenfeld, 21.05.2021.

[39] Kissling + Zbinden AG, *Protokoll Projektgruppensitzung Nr. 9, Revitalisierung Muota Abschnitt KW Brunnen,* 15.12.2025.

[40] Reichmuth Th. (Bezirk Schwyz), *Fachgruppe Naherholung und Langsamverkehr, Aktennotiz Sitzung Nr. 01,* 14.03.2023.

[41] Leite Ribeiro M., Blanckaert K., Boillat J.-L., Schleiss, A., *Lokale Aufweitung von Seiteneinmündungen. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Merkblatt Nr. 5,* Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2012.

[42] AquaPlus AG, *UVB / SNP Muotakraftwerke. Ersatzbedarf und AusgleichsmassnahmenMassnahmen. Massnahmenblatt Altarm UW Kanal Nr. M2a,* ebs Energie AG, 2021.

[43] EPFL, LCH - labratoire de constructions hydrauliques, *Muotaholzbrücke Wylen Modellversuche. Abklärung der Verklausungsgefahr,* Lausanne: Gemeinde Ingenbohl, 2007.

[44] Professur für Wasserbau. Gian Reto Bezzola , *Flussbau. Vorlesungsmanuskript, Fassung FS 2010,* ETH Zürich, 2010.

[45] Merkblatt DWA-M 509, *Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung,* Mai 2014.

[46] DWA-Themen, *Naturnahe Sohlgleiten,* Januar 2009.

[47] Gemeinderat Gemeinde Ingenbohl, *Auszug aus dem Protokoll vom 15. Januar 2024. Muota Revitalisierung Abschnitt Kraftwerk Brunnen - Anforderungen an Naherholungsbereich.,* Ingenbohl, 2024.

[48] Knellwolf M. (Kissling + Zbinden AG), *Protokoll Projektgruppensitzung Nr. 04 vom 29.06.2023, Festlegung GWR,* 08.07.2023 .

[49] R+K Büro für Raumplanung AG, *Zonenplan Siedlung,* Gemeinde Ingenbohl, 2021.

[50] Reichmuth Thomas , *E-Mail mit Betreff: Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen: Kostenteiler, Sitzungsergebnis,* 03.04.2025; 12:00.

[51] Jonas Imhof, Amt für Gewässer, *E-Mail Antwort auf die E-Mail mit Betreff: Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen: Kostenteiler, Sitzungsergebnis,* 17.04.2025; 08:56.

[52] BAFU (Hrsg.), «Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller,» Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S., Bern, 2018.

[53] Andreas Baumgartner, Projektleiter Tiefbau, *Protokoll Koordinationssitzung Sanierung Seewernstrasse und Brücke Langesteg mit Projekt Revitalisierung Muota,* Schwyz: Bezirk Schwyz, 14.11.2024.

[54] Bundesamt für Umwelt (BAFU), *Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 – 2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller.,* Bern: Umwelt-Vollzug Nr. 1817: 294 S, 2018.

[55] Kraftwerke Oberhasli AG, *Gesamtkonzept Wirkungskontrolle Muota. Schlussbericht.,* Innertkirchen, 1.6.2023.

[56] AquaPlus AG, B+S AG, AF CONSULT, «Muotakraftwerke. Sanierungsbericht Schwall-Sunk. KW Wernisberg, KW Hinterthal und KW Bisisthal,» ebs Energie AG, Schwyz, 2021.

[57] AquaPlus AG, «Muotakraftwerke. Schwall Sunk Sanierung KW Wernisberg. Beurteilung Sunkabfluss,» ebs Energie AG, Schwyz, 2018.

[58] DWA, Merkblatt DWA-M 509 - Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung, 53773 Hennef, 2010.

[59] BMLFUW, Leitfaden zum Bau von Fischaufsteigshilfen., Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2012.

3 SITUATIONSANALYSE

3.1 Projektperimeter

Der übergeordnete Projektperimeter erstreckt sich von der Schwelle unter der SBB-Brücke (Querung ARA-Sammelkanal, GEWISS Adresse 3298) bis ca. 70 m oberstrom der historischen Wylerbrücke (Gewiss Adresse 1445). Dieser Abschnitt schliesst den Ober- sowie den Unterwasserkanal des Kraftwerks Brunnen mit ein und verfügt über eine Länge von rund 1.8 km (Abbildung 1).

Abbildung 1: Projektperimeter; rosa gestrichelt Zuständigkeitsbereich ebs & Bezirk, grün gestrichelt alleiniger Zuständigkeitsbereich Bezirk.

3.2 IST-Zustand

3.2.1 Abfluss und Abflussdynamik

Die Abflusswerte der Muota und der Seeweren können der Gefahrenkarte Schwyz-Ingenbohl-Morschach Nord [3] und der Hochwasserstatistik der BAFU-Messstation Ingenbohl (Beobachtungsperiode 1917 – 2018) [4] entnommen werden. Die Hochwasserabflüsse sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 festgehalten. Bei mehreren Angaben pro Wiederkehrperiode ist für die Projektierung der jeweils grössere Wert (fette Schrift) massgebend.

Tabelle 1: Bemessungsabflüsse Hochwasser Muota Ingenbohl

HQ_{30}	HQ_{100}	HQ_{300}	EHQ	Bemerkungen
k. A.	**400 m³/s**	**480 m³/s**	**570 m³/s**	Quelle: Naturgefahrenkarte
326 m³/s	365 m³/s	438 m³/s	k. A.	Quelle: Hochwasserstatistik BAFU, Messstation Ingenbohl, NuV

Tabelle 2: Bemessungsabflüsse Hochwasser Seeweren mit Nietenbach

HQ_{30}	HQ_{100}	HQ_{300}	EHQ	Bemerkungen
26 m³/s	**32 m³/s**	**40 m³/s**	k. A.	Rückstausituation durch Muota bei Hochwasser

Für die Muota liegt der Jahresmittelwert für die Messperiode 1923 – 2019 bei maximal 28 m³/s (1970) und minimal 13 m³/s (1971). Über die gesamte Periode liegt der Jahresmittelwert bei 19 m³/s. Die gemessenen Abflusswerte schwanken zwischen 0.7 m³/s (10. Nov. 1943) und 433 m³/s (23. Aug. 2005) [4].

Durch die oberliegenden Kraftwerke wird der Abfluss der Muota im Projektperimeter massgeblich beeinflusst. Ein Vorschlag für die zukünftigen Restwassermengen nach der Neukonzessionierung der Muotakraftwerke wurde im Rahmen des Restwasserberichtes [5] hergeleitet. Miteinbezogen wurden Art. 31 – 33 aus dem GSchG inkl. Interessen für die Wasserentnahme mit saisonaler Dotierung [6].

Tabelle 3: Saisonal festgelegte Restwassermenge in l/s. Quelle: [6]

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
2‘600	2‘600	3‘000	5‘000	5‘000	5‘000	3‘000	3‘000	3‘000	3‘000	2‘600	2‘600

Der Abfluss der Seeweren wird durch den Pegelstand des unregulierten Lauerzersee, durch den Zufluss des Nietenbachs und die Entwässerung aus dem Gebiet Wintersried bestimmt. Hinzu kommen Einleitungen aus der Siedlungsentwässerung und der ARA-Schwyz. Gemäss der aktuell gültigen Gefahrenkarte treffen Hochwasser im Lauerzersee und an der Muota oftmals zeitlich zusammen.

3.2.2 Geschiebehaushalt & Feststoffdynamik

Der Geschiebehaushalt in der Muota im Projektperimeter ist im IST-Zustand durch Wasserkraftanlagen, Geschiebesammler, Gewässerverbauungen und Kiesentnahmen stark beeinträchtigt. Im Rückstaubereich der Anlage Ibach lagern sich grössere Mengen an Geschiebe ab, weshalb seit 2006 rund 1‘000 m³/a ausgebaggert werden [7].

Im Rahmen der Massnahmenstudie „Sanierung Geschiebehaushalt Muota“ wurden die Geschiebefrachten im aktuellen Zustand durch die Beffa Tognacca GmbH abgeschätzt [7]. Die bilanzierten Geschiebefrachten der Muota auf Höhe der Mündung der Seeweren betragen rund 5‘000 m³/a. Im historischen Zustand ohne Entnahmen wurde die Geschiebefracht bei der Einmündung der Seeweren auf rund 12'000 m³/a geschätzt (vgl. Abbildung 2).

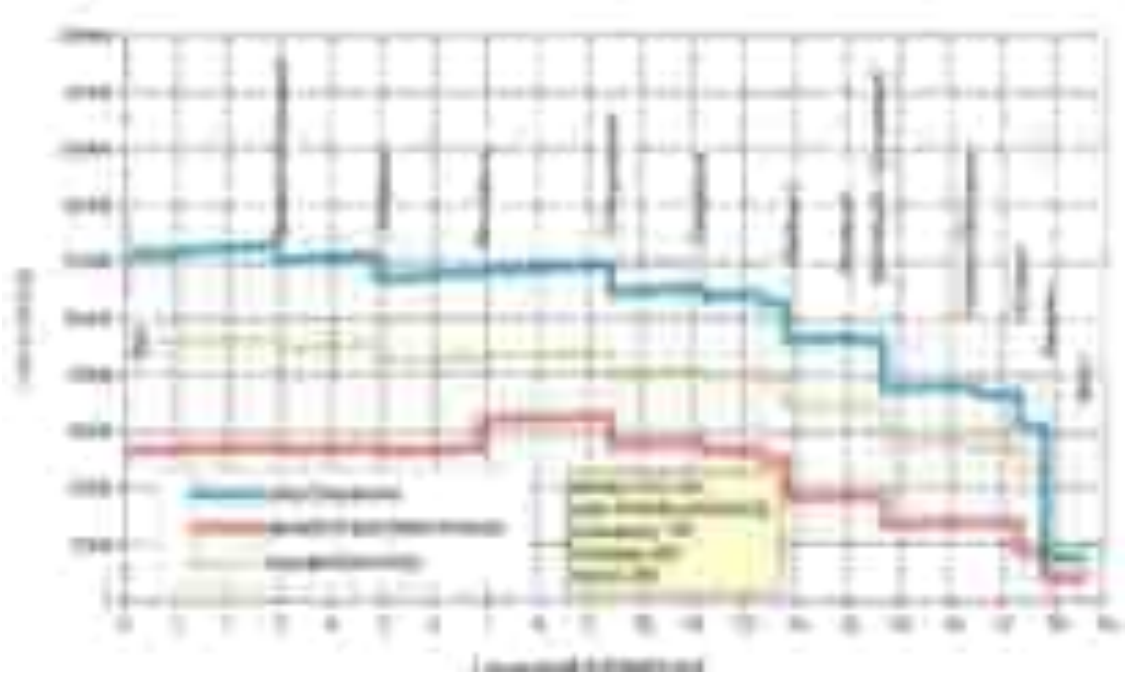


Abbildung 2: Geschiebefrachten der Muota von See bis Balm, Quelle: Beffa Tognacca, 2018 [7].

3.2.3 **Schwemmholz**

Vergangene Ereignisse haben gezeigt, dass die Muota im Ereignisfall grosse Mengen an Schwemmholz mobilisieren kann. Ein grosser Teil des Schwemmholzes aus dem Einzugsgebiet wird in der Regel jedoch bei den flussaufwärts liegenden Kraftwerks- und Wehranlagen zurückgehalten. Beim Ereignis im Jahr 2005 führte die Muota jedoch auch im Abschnitt KW Brunnen (Projektperimeter) erhebliche Schwemmholzmengen mit, was zu einer Verklausung bei der historischen Wylerbrücke führte.

Die Untersuchung vergangener Hochwasserereignisse in der Schweiz hat allgemein gezeigt, dass die Menge an Schwemmholz während eines Hochwassers erheblich schwanken kann [8]. Daten zu Schwemmholz oder Mengenabschätzungen zur Bestimmung des Schwemmholzpotenzials und -eintrags im Projektperimeter, etwa nach dem Modell *WoodFlow*, liegen nicht vor. Weiter wurden im Rahmen des hier vorgelegten Projekts auch keine eigenen Abschätzungen zum Schwemmholzpotenzial und zu allfälligen Schwemmholzmengen vorgenommen. Bei der Projektierung, insbesondere bei der Beurteilung und Betrachtung der Brücken, wird jedoch mit Schwemmholz gerechnet. Dabei wurden Annahmen auf Basis der Erfahrungen bei der historischen Wylerbrücke von 2005 getroffen. Zudem erfolgte im Rahmen des Drittprojekts Neubau Brücke Langensteg eine Abschätzung zum Schwemmholzanfall durch das Büro HZP.

Abbildung 3: Schwemmholzansammlung am Technikgebäude beim Einlauf Oberwasserkanal, Ereignis 23.08.2005, Quelle: Fotoalbum Hochwasser August 2005, Holcim Schweiz AG

3.2.4 Gerinnestruktur & Morphodynamik

Im IST-Zustand ist die Muota kanalisiert und durch diverse Anlagen und Gewässerverbauungen geprägt. Die Gerinneform ist monoton und weit von einem ursprünglichen, gewundenen Gerinne mit Bänken entfernt. Durch die monotone Gerinneform und fehlende Strukturen sind grösstenteils gleichmässige Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten auszumachen.

Die Kartierung des ökomorphologischen Zustandes zeigt für die Muota im Abschnitt KW Brunnen einen stark beeinträchtigten Natürlichkeitsgrad. Die Breite der Gewässersohle wird mit 30 m Breite und die Variabilität in Breite und Tiefe als eingeschränkt bzw. mässig bezeichnet. Die Sohle ist vereinzelt verbaut, der Böschungsfuss links und rechts überwiegend hart verbaut. Für den Oberwasserkanal wird dem Gewässer ein naturfremder/ künstlicher Natürlichkeitsgrad zugewiesen [9].

Schotterbänke, Niederwasserrinnen, Inseln, Seitenarme und Uferabbrüche kommen im betrachteten Perimeter der heutigen Muota nicht vor.

Abbildung 4: Ausschnitt der Karte Ökomorphologie (inkl. Legende). Quelle: [9]

3.2.5 Uferbereiche

Die Muota fliesst auf dem gesamten Projektperimeter in einem kanalisierten Gerinne. Die Ufer sind grösstenteils beidseitig mit Blocksatz gesichert. Auf der linken Seite ist der Uferverbau mehrheitlich in einem intakten Zustand. Im Bereich des Fussgängerstegs Husmatt (Abschnitt Gewiss Adresse 1980 – 2330) ist der linksufrige Blocksatz in einem mässigen Zustand (fehlende Blöcke, teilweise hinterspült).

Auf der rechten Uferseite ist kein durchgehender Blocksatz vorhanden. Wo ein Blocksatz existiert, ist er intakt. Der bestehende Blocksatz ist auf dem Situationsplan dargestellt.

Abbildung 5: Kollabierter Blocksatz linksufrig ca. bei Gewiss-Adresse 2311

Die Ufer der Muota sind durchgehend mit Sträuchern und abschnittsweise mit grösseren Bäumen bestockt. Der Grossteil des linken Ufers ist als Wald festgelegt (Gewiss Adresse 1543 - 2930). Ebenso der Spitz der Insel im Bereich der Mündung des Unterwasserkanals und ein Teil des angrenzenden rechten Ufers der Muota bis zum Kraftwerk Brunnen (Gewiss Adresse 1528 – 1879).

Der Oberwasserkanal ist durchgehend in einer Betonschale geführt. Die Ufer sind nicht bestockt. Der Unterwasserkanal ist auf der rechten Seite durch eine Beton- oder eine Blocksteinmauer begrenzt. Diese ist grösstenteils überwachsen. Vereinzelt bestehen Sträucher. Das linke Ufer des UK-Kanals ist durch einen Blocksatz verbaut und mit Sträuchern bestockt.

3.2.6 Vernetzung

Die Durchwanderbarkeit der Muota ist für Organismen (Fische und Invertebraten) durch Schwall-Sunk beeinträchtigt, es kommen jedoch vom Vierwaldstättersee bis zum Projektperimeter keine Hindernisse vor. Das Wehr des KW Brunnen ist das erste Bauwerk, welches in der Muota die aquatische Längsvernetzung beeinträchtigt. Bei geringem Abfluss, wenn das gesamte Wasser über die Wehrklappe abfliesst, wirkt das Wehr als vollständiges Wanderhindernis. Bei höherem Abfluss und ausreichender Benetzung des Umgehungsgerinnes am linken Ufer ist die Fischgängigkeit zumindest für schwimmstarke Fische (z.B. Seeforellen) gegeben.

Abbildung 6: Wanderhindernis Wehr KW Brunnen mit einer Spundwandabtrennung zwischen dem Wehr und dem Umgehungsgerinne, Fotos: K+Z AG

Bei Gewiss-Adresse 3298, ca. 30 m oberstrom der SBB-Brücke (Gewiss-Adresse 3277) unterquert ein ARA-Sammelkanal die Sohle der Muota (Abbildung 7, Abbildung 8). Der Kanal wird durch eine mit Spundwänden und Beton erstellten Schwelle geschützt (OK Schwelle 443.65 m ü. M.). Unterstrom besteht anschliessend an die Schwelle auf einer Länge von rund 10 bis 12 m ein Blockwurf. Die Absturzhöhe der Schwelle beträgt je nach Sohlenlagen und Abflussverhältnissen (BAFU-Vermessungskampagnen 1987, 1996, 2006, 2015, 2024) 10 - 35 cm.

Die Schwelle ist in den zur Verfügung stehenden Grundlagen & Unterlagen nicht als wesentliches Wanderhindernis dokumentiert. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die mit Blöcken ergänzte Betonschwelle zumindest für schwimmstarke Arten

wie die Seeforelle heute fischgängig ist. Die Passierbarkeit für schwimmschwache und bodennahe Arten (z.B. Groppe) ist je nach Abflussverhältnissen jedoch zu hinterfragen.

Abbildung 7: Draufsicht und Foto Querbauwerk in Blickrichtung flussabwärts oberhalb SBB-Brücke. Quelle: swisstopo (Orthofoto) und BAFU (Messkampagne 2024)

Abbildung 8: Foto Querbauwerk in Blickrichtung flussaufwärts ab der SBB-Brücke, Quelle: HZP

Die nächste wesentliche Beeinträchtigung der Durchgängigkeit besteht bei der Wasserfassung des KW Ibach (Muotaschwelle).

Die Seeweren ist für aquatische Organismen bis zum Lauerzersee durchgängig.

Die Ufer der Muota sind vom Vierwaldstättersee bis zum Projektperimeter und weiter bis zur Muotaschlucht – mit Ausnahmen in Ibach – durchgehend bestockt, in ihrer seitlichen Ausdehnung allerdings begrenzt. Durch ihre naturnahe Ausprägung wird aber dennoch eine eingeschränkte terrestrische Längsvernetzung für amphibische und terrestrische Organismen ermöglicht. Die Bestockung entlang der Seeweren ist zum Teil lückenhaft oder ganz fehlend und es kommen auch künstliche Uferabschnitte vor. Auch hier ist die terrestrische Längsvernetzung somit eingeschränkt.

Die Ufer der beiden Fliessgewässer sind begradigt, befestigt und steil verbaut, die Uferbereiche ökomorphologisch ungenügend ausgeprägt (vgl. Kapitel 3.2.4, Abbildung 4). Die seitliche Vernetzung, also die Verzahnung des Gewässers mit dem Umland, ist dadurch stark eingeschränkt. Durch die Kraftwerkskanäle mit senkrechten

Betonmauern wird die Quervernetzung von der Muota Richtung Urmiberg nahezu vollständig unterbunden.

3.2.7 Biodynamik

Die Biodynamik, also die natürlicherweise fortlaufende Sukzession innerhalb von Lebensgemeinschaften (Flora und Fauna), ist im betrachteten Abschnitt der Muota durch den harten Gewässerverbau, den Schwall-Sunk Abfluss und die intensive Nutzung der Uferbereiche weitestgehend unterbunden. Biber kommen heute am Muotaunterlauf und in der Seeweren keine vor.

3.2.8 Grundwasser und vertikale Vernetzung

Der Projektperimeter liegt am nordwestlichen Rand der ausgedehnten Talebene (Felderboden) von Schwyz-Ibach-Brunnen. Die kanalisierte Muota folgt hier dem Hangfuss des Urmibergs. Der felsige Untergrund dieser Talflanke fällt steil in südöstlicher Richtung ab und dürfte unter dem heutigen Gerinne bereits in grosser Tiefe von einigen Zehnermetern liegen. Nur entlang des untersten Abschnitts der Seeweren verzeichnet der geologische Atlas der Schweiz (Blatt Rigi) einige Aufschlüsse mit vorherrschend weichen Tonsteinen. Über dem Felsen folgt eine mächtige Talfüllung aus eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Lockergesteinen, welche das bedeutsame Grundwasservorkommen Felderboden beherbergt. Als Aquifer wirken die sogenannten Muota-Schotter. Hierbei handelt es sich um eine Abfolge kiesig-sandiger, teils auch sehr grobkörniger, Fluss- und Deltaablagerungen, welche während der Nacheiszeit von der Muota in den dadurch sukzessive kleiner werdenden Vierwaldstättersee geschüttet wurden. Darüber liegt eine geringmächtige Deckschicht aus feinkörnigen Überschwemmungs- und Sumpfablagerungen, welche örtlich von künstlicher Aufschüttung bedeckt sind.

Die Muota wirkt heute (Ist-Zustand) entlang des gesamten Projektperimeters als Infiltrant, d.h. es kommt zu einem Übertritt von Fluss- ins Grundwasser und somit zu einer vertikalen Vernetzung zwischen Fluss- und Grundwasser. Diese dürfte durch Verbauungsmassnahmen, natürliche Kolmation sowie allenfalls vorhandene, schlecht durchlässige Überschwemmungs- und Sumpfablagerungen zwischen Gerinne und Grundwasserträger zumindest örtlich etwas eingeschränkt sein. Neben dieser Infiltration von Flusswasser (hauptsächlich im Abschnitt, wo die Muota das Tal quert) erfolgt die Grundwasserneubildung im Felderboden-Aquifer durch lokalen Niederschlag sowie Zuflüsse aus der Lockergesteinsdecke des nördlichen Hangbereichs; lokal können auch Karstwasserzuflüsse nicht ausgeschlossen werden. Generell fliesst das Grundwasser ca. aus nordöstlicher Richtung nach Südwesten zum See hin, welcher den regionalen Vorfluter bildet. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt gemäss kantonaler Grundwasserkarte zwischen ca. 441.4 m ü. M. im Nordosten und ca. 437.0 m ü. M. im Südwesten.

Das Grundwasservorkommen ist insbesondere im Bereich Ibach und südwestlich daran sehr mächtig (bereichsweise über 20 m Grundwassermächtigkeit) und für die Trinkwassernutzung von grosser Bedeutung. Aufgrund der Talverengung auf Höhe

Ingenbohl und der hier aufsteigenden Lage des Grundwasserstauers tritt das Grundwasser in Form von Giessen an die Oberfläche.

3.2.9 Wasserqualität und Temperatur

An der Muota bei Ingenbohl liegt eine Untersuchungsstelle, an welcher 2012, 2015, 2019 und 2023 im Rahmen von NAWA TREND [10], [11] die biologische Wasserqualität beurteilt wurde. In beiden Jahren lag der DI-CH (Kieselalgenindex Schweiz) [12] im sehr guten Bereich. Es ist im Allgemeinen von einer guten Wasserqualität auszugehen.

Das Jahresmittel der Wassertemperatur liegt für die Periode 1974 – 2019 bei 7.4 °C. Mit 8.1 °C wurde im Jahr 2018 ein Maximum erreicht, das kleinste Jahresmittel von 6.7 °C ist von 1975. Wie generell in den Schweizer Oberflächengewässern steigt auch die Wassertemperatur in der Muota (Messstation 2084 bei Ingenbohl, BAFU). Der Schwall-Sunk Abfluss hat einen Einfluss auf die tageszeitlichen Schwankungen. Die Monatsmittel sind in Abbildung 9 dargestellt, der Jahresverlauf in Abbildung 10.

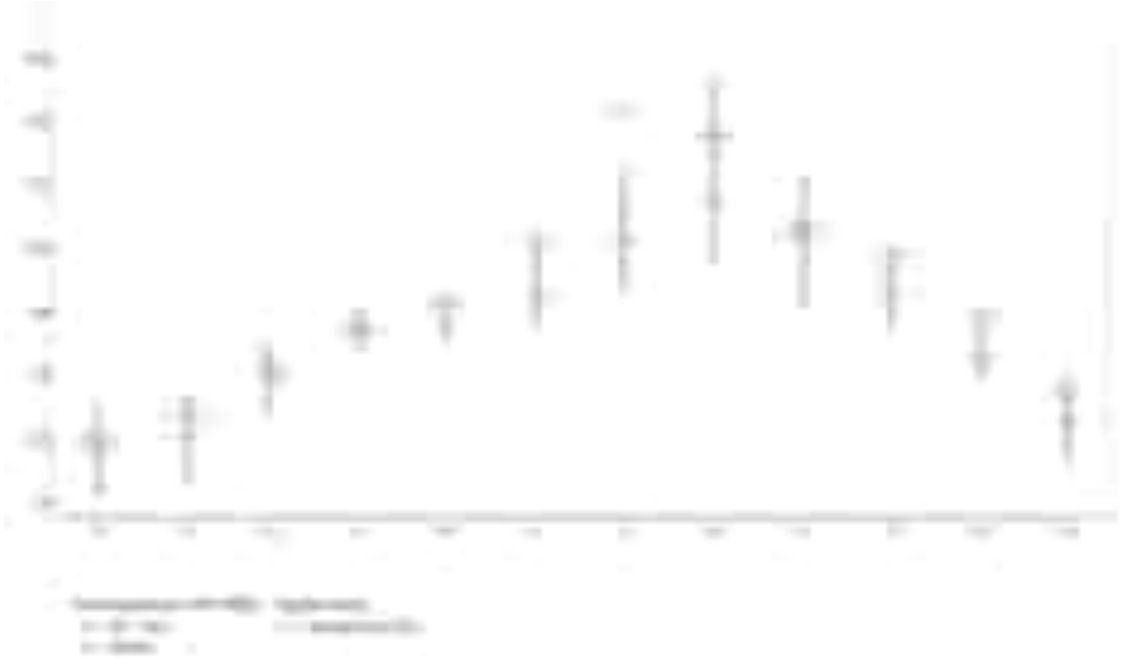


Abbildung 9: Monatsmittel der Wassertemperatur in der Muota für die Referenzperiode 1991 – 2020 und das Vergleichsjahr 2022. Quelle: BAFU, Messstation 2084 bei Ingenbohl, online am 11.7.2023.

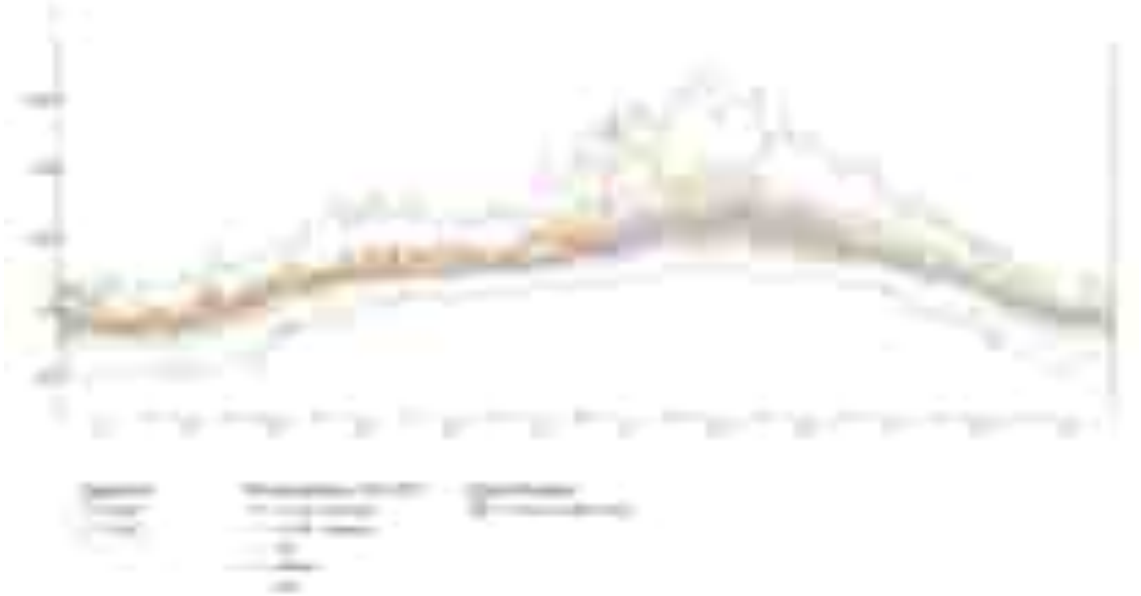


Abbildung 10: Jahresverlauf der Tagesmittel der Wassertemperatur in der Muota. Vergleich der Referenzperiode 1991 – 2020 mit den Jahren 2022 und 2023. Angabe des letzten Messwerts vom 11.7.2023 um 15:30. Quelle: BAFU, Messstation 2084 bei Ingenbohl, online am 11.7.2023

3.2.10 Organismen

Kieselalgen und Algen der Gewässersohle

Der pflanzliche Bewuchs sowie die Kieselalgen in der Muota, der Seeweren und dem Unterwasserkanal wurden an verschiedenen Stellen im Rahmen von NAWA TREND [13], [14], Düfur (Düfur Kanton Schwyz) und durch die ebs Energie AG [15], [16], [17] gemäss den BAFU Modulen Kieselalgen [18] und Äusserer Aspekt [19] untersucht. Die letzten relevanten Untersuchungen von NAWA TREND stammen aus den Jahren 2019 und 2020. Die Kieselalgen zeigten für die Muota eine «gute» bis «sehr gute» Wasserqualität auf. In der Seeweren sowie im Unterwasserkanal wurde bezüglich der Kieselalgen eine «gute» Wasserqualität festgestellt. Bezüglich des Algenbewuchses wurden die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV Anhang 2 überall erfüllt.

Wasserpflanzen

Die Wasserpflanzen (submerse höhere Pflanzen und Moose) wurden 2012 und 2015 im Rahmen von NAWA TREND [13], [14] mit der Zürcher Methode [20] untersucht. Die Muota als Gewässer des Typs «Submersenbach[1]» wies 2015 eine nicht standortgerechte Wasserpflanzenvegetation mit einer reduzierten Artenvielfalt auf, was zu einer Gesamtbewertung von «mässig» (Klasse 3 von 4) führt. Bei der Untersuchung 2012 war die Gesamtbewertung «schlecht».

[1] Die dominierende Pflanzengruppe in diesem Vegetationstyp sind submerse Pflanzen, die aufgrund ihrer Wuchsform höhere Strömungsgeschwindigkeiten ertragen können. Daneben sind auch Helophyten weit verbreitet, aufrechtstehende Gefässpflanzen, deren Stängel, Blätter und Blütenstände sich über die Wasseroberfläche erheben und die im Sediment verwurzelt sind. Diese Helophyten besiedeln hauptsächlich den Uferbereich und strömungsberuhigte Bereiche. Zudem wachsen verschiedene Moosarten auf größeren Steinen der Gewässersohle oder auf den häufig vorhandenen Uferverbauungen.

Bei einer weiteren Untersuchung von Makrophytenvorkommen oberhalb der ARA in der Seeweren im Jahr 2020 wurden zudem zwei Rote-Liste Arten (*Ceratophyllum submersum* und *Potamogeton trichoides*) gefunden.

Wald und Ufergehölze

Im Projektperimeter kommt zwischen der Muota und dem Ende des Unterwasserkanals auf einer Fläche von ca. 15‘753 m^2 Wald vor. Die geschlossenen Gehölzstreifen entlang der Ufer gelten als Ufervegetation im Sinne von NHG Art. 21 Abs. 1.

Terrestrische Flora und Fauna

Es kommen im Gebiet kommunale Naturschutzzonen und inventarisierte Einzelobjekte (Hecken) vor. Ein Amphibien-Wanderobjekt von nationaler Bedeutung (Objekt SZ167, Steinbruch Nägeli) liegt in der Nähe. Der Perimeter befindet sich ausserdem in einem kantonalen Reptilienvorranggebiet, welches als Kerngebiet «K6 Urmiberg-Wylen-Halten» festgelegt wurde.

Im Rahmen der Erarbeitung des UVB (Berichtbeilage 1.04) erfolgte im Projektperimeter im Sommer 2024, zur Erhebung der Flora eine Lebensraum- und Vegetationskartierung. Dabei wurden mit dem Quirlblättrigen Tausendblatt (Myriophyllum verticillatum, NT), dem Sumpf-Storchschnabel (Geranium palustre, NT) und dem Hirschzungenfarn (Phyllitis scolopendrium, §CH) wenige rote Liste Arten entdeckt. Im Gegenzug wurden jedoch grosse Vorkommen an invasiven Neophyten festgestellt.

Die Erhebungen zur Fauna, zu den Makroalgen und den Moosen erfolgten, mit Ausnahme zur Fischfauna, ausschliesslich mithilfe von Datenbankabfragen bei InfoSpecies. Für den Projektperimeter weisen diese Datenbanken folgende Vorkommen aus:

- Amphibien: Gelbauchunke (EN) im Gebiet ARA bei Muota linksufrig
- Insekten: Trauermantel (VU) bei KW Brunnen und Muota Oberwasserkanal
- Krebse: keine Daten
- Reptilien: Zauneidechse (VU) im Bereich der ARA und linksufrig Muota
- Brutvögel: Seidensänger (VU), Gartengrasmücke (VU), Mauersegler (NT), Turmfalke (NT), Rauchschwalbe (NT), Mehlschwalbe (NT), Grauschnäpper (NT), Grünfink (NT)
- Makroalgen: keine Daten
- Moose: Schlammmoos (VU) im Bereich der ARA

Wasserwirbellose

Die Wasserwirbellosen in der Muota, der Seeweren und dem Unterwasserkanal wurden an verschiedenen Stellen im Rahmen von NAWA TREND [13], [14], Düfur (Düfur Kanton Schwyz) und durch die ebs Energie AG [15], [16], [17] gemäss den BAFU Modulen Makrozoobenthos [21] untersucht. Die neusten Erhebungen/ Datenblätter der biologischen Untersuchungen stammen aus den Jahren 2019 und 2020. Die Wassserwirbellosenindices weisen darin grundsätzlich auf eine gute Wasserqualität (Makroindex «gut» bis «sehr gut») und eine unterschiedliche Habitatvielfalt (IBCH «schlecht» bis «sehr gut») hin. Die teilweise festgestellte eingeschränkte Habitatvielfalt wird auf die monotone Morphologie sowie die Schwall-Sunk Verhältnisse zurückgeführt. In der Seeweren und im Unterwasserkanal zeigten die Wasserwirbellosenindices eine

«unbefriedigende» bis «gute» biologisch indizierte Gewässerqualität an, was am Einfluss des Lauerzersees und an der Siedlungsentwässrung (ARA Schwyz) liegt.

Fische

Die Muota in der Talebene markiert den Übergangsbereich zwischen der unteren Forellenregion und der Äschenregion. Sie liegt auch im Einflussbereich der Seeweren, des Lauerzersees und des Vierwaldstättersees. In diesem Abschnitt, zwischen dem Rückgabepunkt des Kraftwerks Wernisberg und dem Vierwaldstättersee, wurden insgesamt 17 verschiedene Fischarten nachgewiesen (siehe Tabelle 4, [16]).

Entlang des gesamten Gewässers kommen die beiden Ökotypen der Forelle vor: die stationäre Form, die Bachforelle, und der wandernde Typ, die Seeforelle. Die Anzahl der vorkommenden Fischarten nimmt in Richtung Vierwaldstättersee und unterhalb der Seewerenmündung zu. Obwohl es hydrologische und morphologische Beeinträchtigungen gibt, ist dieser Abschnitt der Muota von großer Bedeutung für die Fischerei und zählt zu den wichtigsten Fischereistrecken im Kanton Schwyz.

Basierend auf einer Befischung von vier Abschnitten [16] wurden folgende Erkenntnisse festgestellt: Es gibt deutliche Defizite in Bezug auf die Artenzusammensetzung, eine extrem niedrige Bestandsdichte, eine fehlende oder sehr geringe natürliche Fortpflanzung sowie eine deutliche Abweichung von der natürlichen Populationsstruktur. Aufgrund der geringen Anzahl gefangener Fische wird allen Abschnitten ein schlechter fischökologischer Zustand zugeschrieben. Auch die Seeweren weist im Unterlauf hinsichtlich der Fischgemeinschaft deutliche Defizite auf [15].

Tabelle 4: Vorkommende Fischarten in Muota und Seeweren. Typische Arten sind fett hervorgehoben (Angaben aus dem Schwyzer Fischatlas, AquaPlus 2002, ergänzt durch Angaben aus Elektrobefischungen der Jahre 2012 und 2013 (AquaPlus, 2021, angepasst).

Art	Ort	Bestand	Quelle
Aal (*Anguilla anguilla*)	1), 2), 3)	-	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Alet (*Squalius cephalus*)	1), 2), 3)	- – +++	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Äsche (*Thymallus thymallus*)	1), 3)	? – -	Schwyzer Fischatlas 2002
Bach-/Seeforelle (*Salmo trutta*)	1), 2), 3)	+ – ++	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2012 und 2013
Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*)	1)	?	Schwyzer Fischatlas 2002
Barbe (*Barbus barbus*)	1), 2), 3)	? – +++	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Brachsmen (*Abramis brama*)	3)	+++	Schwyzer Fischatlas 2002
Egli (*Perca fluviatilis*)	3)	+++	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Groppe (*Cottus gobio*)	1), 2)	-	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Gründling (*Gobio gobio*)	1), 3)	- – +++	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2012
Hasel (*Leuciscus leuciscus*)	3)	+++	Schwyzer Fischatlas 2002
Laube (*Alburnus alburnus*)	1), 3)	? – +++	Schwyzer Fischatlas 2002
Nase (*Chondrostoma nasus*)	3)	-	InfoFauna 2013 und 2018 (Daten Fischereiaufsicht Kt. SZ)
Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*)	1)	?	Schwyzer Fischatlas 2002
Rotauge (*Rutilus rutilus*)	1), 2), 3)	-	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2012 und 2013
Schleie (*Tinca tinca*)	3)	+	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2013
Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*)	3)	++	Schwyzer Fischatlas 2002
Trüsche (*Lota lota*)	1), 2), 3)	? – -	Schwyzer Fischatlas 2002, Befischungen 2012 und 2013

Ort

1) Muota zwischen Vierwaldstättersee und Rückgabe KW Wernisberg
2) Unterwasserkanal des KW Brunnen
3) Seeweren

Bestandesgrösse

- Einzelfund (1-200 Ind/ha)
+ klein (201-1000 Ind/ha)
++ mittel (1001-5000 Ind/ha)
+++ gross (>5000 Ind/ha)
? unbekannt

Die stark gefährdete (EN) Nase wurde im Ist-Zustand in der Seeweren beobachtet (info fauna 2013/2018; mündliche Mitteilung Fischereiaufseher).

Im Rahmen der Erarbeitung des UVB (Berichtbeilage 1.04) erfolgten im Projektperimeter im Herbst 2024, in Zusammenarbeit mit dem kantonalen Amt für Gewässer (AfG), weitere projektspezifische Befischungen. Konkret wurden die in Abbildung 11

abgebildeten Teilstrecken Seeweren, Oberwasserkanal, Unterwasserkanal oben und Unterwasserkanal unten befischt.

Abbildung 11: Projektspezifisch befischte Gewässerabschnitte

Während in der Seeweren und dem Oberwasserkanal lediglich je vier Fischarten nachgewiesen werden konnten, weist der Unterwasserkanal im Vergleich mit 8 Arten im Abschnitt oben und 11 Arten im Abschnitt unten eine wesentlich höhere Artendichte auf. Genauere Angaben und Ausführungen sind dem UVB (Berichtbeilage 1.04) zu entnehmen.

3.2.11 Anlagen und Nutzungen

Die Muota fliesst im Projektperimeter durchwegs durch intensiv genutztes Gebiet. Im IST-Zustand bilden diverse Anlagen und Nutzungen Einschränkungen für eine ungehinderte Aufweitung des Gewässers.

3.2.11.1 Stillgelegtes Kraftwerk Brunnen

Im Projektperimeter liegt das vor einigen Jahren stillgelegte Kraftwerk Brunnen (KW Brunnen, vgl. Übersicht in Abbildung 12). Bei der Fassung Langensteg direkt unterhalb der Einmündung der Seeweren wird Flusswasser in den betonierten Oberwasserkanal (vgl. Abbildung 13) bis zum Kraftwerksgebäude (Zentrale, vgl. Abbildung 15), welches auf der Höhe des Fussgängerstegs Husmatt liegt, geführt. Unterhalb der Zentrale führt der Unterwasserkanal das Wasser zurück in die Muota. Bei der Zentrale besteht zudem ein Entlastungswehr über welches Wasser, ohne Dotierung des Unterwasserkanals, in die Muota rückgeführt wird (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 12: Situationsübersicht des Kleinwasserkraftwerkes Brunnen, ergänzte Abbildung aus [22]

Die Ausbauwassermenge des KW Brunnen betrug bis zur Stilllegung 15.0 m^3/s, was dem Q_{170} entspricht. Im ehemaligen Betriebszustand wurden 1.0 bzw. 2.0 m^3/s Restwasser dotiert und 0.5 – 1.0 m^3/s zur Gewährleistung der Fischdurchgängigkeit bei der Zentrale verwendet. Aktuell, d.h. seit Stilllegung des KW Brunnen, wird bei der Fassung Langensteg immer noch eine bedeutende Abflussmenge in den Oberwasserkanal geleitet. Wie gross diese Entnahmemenge genau ist, ist nicht klar. Der grösste Teil des gefassten Abflusses wird im IST-Zustand beim Kraftwerksgebäude über das Entlastungswehr in das Gerinne der Muota zurückgegeben. Der Unterwasserkanal wird nur noch mit einer kleinen Abflussmenge gespeist. Faktisch ist somit der Abschnitt der Muota zwischen der Fassung Langesteg und der Rückgabe bei der Zentrale über das Entlastungswehr, trotz der Stilllegung des KW Brunnen, immer noch eine Restwasserstrecke von ca. 0.9 km Länge.

Abbildung 13: Oberwasserkanal, Blickrichtung gegen Fliessrichtung, Fotos: K+Z AG

Abbildung 14: Unterwasserkanal, links: Blickrichtung in Fliessrichtung, rechts: Blickrichtung gegen Fliessrichtung, Fotos: K+Z AG

Abbildung 15: Kraftwerksgebäude/ Zentrale KW Brunnen (links) und Wasserrückgabe in die Muota über das Entlastungswehr (rechts), Fotos: K+Z AG, März 2023

3.2.11.2 Landwirtschaft

Auf der rechten Seite der Muota wird das Land beinahe durchgehend landwirtschaftlich genutzt. Die Fläche rechtsufrig des Oberwasserkanals und die Insel zwischen dem Unterwasserkanal und der Muota sind als Fruchtfolgeflächen (FFF) klassifiziert [9].

Abbildung 16: Inventar Fruchtfolgeflächen, Quelle: WebGIS *[9]* Stand 13.Juli 2023,

Vier landwirtschaftlich genutzte Gebäude stehen direkt am rechten Ufer des Kraftwerkkanals, zwei davon am Oberwasserkanal (Bsp. in Abbildung 17), die anderen zwei am Unterwasserkanal.

Abbildung 17: landwirtschaftliches Gebäude direkt am rechten Ufer des Oberwasserkanals zwischen Gewiss Nr. 2642 und 2527, Foto: K+Z AG

3.2.11.3 Wege/ Strassen, Naherholung und Langsamverkehr

Diverse Strassen und Wege führen entlang der Muota, der Seeweren und dem Kraftwerkskanal. Im oberen Teilabschnitt ist dies die Seewerenstrasse (rechts der Seeweren sowie links der Muota), der Hausmattweg (rechts des Oberwasserkanals) und die Industriestrasse (links der Muota). Im unteren Abschnitt führt jeweils ein Fussweg auf dem Hochwasserschutzdamm entlang des linken Ufers der Muota und einer entlang des rechten Ufers am Unterwasserkanal.

Die Muota im Abschnitt KW Brunnen ist ein wertvolles und viel genutztes Naherholungsgebiet. Die Brücke Langensteg, der Fussgängersteg Husmatt sowie die Wylerbrücke sind Bestandteil der Hauptwanderroute (vgl. Abbildung 18). Die Wanderwegroute führt ab der Brücke Langensteg dem linken Ufer entlang, auf dem Dammweg bis zum Steg Husmatt, wo er die Muota quert. Ab da bzw. ab der Zentrale des KW Brunnen verläuft der Wanderweg dann entlang dem UW-Kanal. Am rechten Ufer der Muota sowie am rechten Ufer des OW-Kanals verlaufen keine Uferwege.

Abbildung 18: Wanderwegnetz, Auszug WebGIS [9]

Im kantonalen Radroutenkonzept (2015) sind die Velorouten ersichtlich. Einen direkten Berührungspunkt, d.h. eine Route direkt am Ufer der Muota besteht lediglich zu Beginn des Projektperimeters linksufrig im Areal des Gebiets Brunnen Nord (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Auszug kantonales Radroutenkonzept (2015), Quelle: [23]

Der kantonale Nutzungsplan Brunnen Nord [24] regelt die Langsamverkehrsverbindung behördenverbindlich auf der linken Uferseite. Darin ist der linksufrige Dammweg ausschliesslich als Fussweg (und nicht für den Fahrradverkehr) ausgeschieden. Im Weiteren ist die Fussgängerbrücke Husmatt fester Bestandteil des kantonalen Nutzungsplans. Er definiert am rechten Ufer einen Anschlusspunkt für den Langsamverkehr.

In der Realität nutzt die Bevölkerung, neben den offiziellen Velo- und Wanderrouten auch den Hausmattweg auf der rechten Uferseite sehr rege (vgl. Abbildung 20). Der Hausmattweg ist eine private Erschliessungsstrasse der Genossame Ingenbohl und dem Eigentümer des Hofs Husmatt. Für den Weg bestehen weder Wegrechte noch behördenverbindliche Vorgaben (Wegverbindungen oder Routen). Durch die direkte Hofquerung kommt es regelmässig zu Nutzungskonflikten. Unabhängig der Eigentumsverhältnisse, der nicht vorhandenen Wegrechte und von allfälligen Haftungsfragen ist die direkte Hofquerung aus Sicherheitsgründen nicht ideal. Die landwirtschaftlichen Fahrzeuge werden in den Hallen südlich vom Weg parkiert und manövrieren beim Verlassen der Halle rückwärts auf den Husmattweg. Die Sichtverhältnisse (Sichtweiten) sind dabei, sowohl für den Lenker der landwirtschaftlichen Fahrzeuge als auch für herannahenden Velofahrer/-innen, nicht ideal.

Abbildung 20: Aktuelle Nutzung der Wegverbindungen durch die Bevölkerung (gelebte Realität)

3.2.11.4 Brücken

Zwei Verkehrswege queren die Muota innerhalb des Projektperimeters. Einerseits die Brücke Langesteg (Seewenstrasse) bei der Seewerenmündung, andererseits der Fussgängersteg Husmatt beim Kraftwerk Brunnen. Die Brücke Langesteg ist am Ende ihrer Lebensdauer (Zustandsbericht TFB AG, 2022), weshalb ein Ersatzneubau angedacht (Drittprojekt Bezirk Schwyz) ist.

Abbildung 21: Brücke Langesteg, Blickrichtung flussaufwärts, Foto K+Z AG, 2022

Der Steg Husmatt wurde gemäss mündlichen Informationen in den 60er oder 70er Jahren als Fussgängerbrücke errichtet (keine Baudokumentation vorhanden/ auffindbar). Aufgrund der Bauart, der Bauzeit und der Dimension ist davon auszugehen, dass es

sich um eine nicht vorgespannte Plattenbalkenbrücke aus Stahlbeton handelt. Die Tragbalken bilden gleichzeitig die Bordüre. Eine Zustandsbeurteilung der Brücke im Rahmen des hier vorliegenden Bauprojekts (Berichtbeilage 1.06) hat ergeben, dass sich die Brücke augenscheinlich in einem annehmbaren Zustand befindet. Es sind keine Schäden zu erkennen, die auf eine reduzierte statische Tragfähigkeit schliessen lassen. Im weiteren zeigen die Resultate der hydraulischen Modellierungen, dass beim Steg, mit Blick auf das fürs rechte Ufer definierte Schutzziel, eine genügend grosse Abflusskapazität besteht.

Abbildung 22: Steg Husmatt

Angrenzend an das untere Ende des Projektperimeters quert die historische Wylerbrücke sowie die Strassenbrücke Wylerstrasse die Muota. Bei der historischen Wylerbrücke besteht bei Hochwasser eine Verklausungsgefahr, weshalb für die hydraulische Modellierung Verklausungsszenarien definiert wurden.

Abbildung 23: Historische Wylerbrücke

3.2.11.5 Abwasserreinigungsanlage (ARA)

Oberhalb der Einmündung Seeweren liegt die ARA-Schwyz. Die als Sonderobjekt deklarierte Anlage liegt im Bereich des Rückstaus der Muota in die Seeweren, jedoch ausserhalb des Projektperimeters (keine baulichen Massnahmen).

3.2.11.6 Industrie- und dicht besiedeltes Wohngebiet, Projekt Nova Brunnen

Entlang des linken Ufers der Muota befindet sich das Entwicklungsgebiet des kantonalen Nutzungsplans Brunnen Nord [24] und flussabwärts angrenzend, dicht besiedeltes Wohngebiet. Die HRS Real Estate AG realisiert auf dem ehemaligen Industriegebiet über die nächsten Jahre das Projekt Nova Brunnen [25]. Auf insgesamt fünf Baufeldern entsteht ein neues, verdichtetes Wohn- und Arbeitsquartier direkt an der Muota. Das erste Baufeld (Nova Port) wurde Ende 2024 fertig gestellt.

3.2.11.7 Werkleitungen

Im Projektperimeter führen verschiedene Leitungstrassees entlang der Muota oder queren diese. Die bestehenden Werkleitungen sind in den technischen Situationsplänen (Planbeilagen 2.03 – 2.05) sowie im Werkleitungsplan (Planbeilage 2.06) dargestellt. Namentlich sind folgende Leitungsarten im Projektperimeter vorhanden und potenziell durch bauliche Massnahmen betroffen:

- Fernwärmeleitung
- Leitungen der Swisscom
- Trinkwasserleitungen
- Meteorwasser- und Entwässerungsleitungen (Entlastungsleitungen)
- Evt. Drainageleitungen
- Mischwasser- und Abwasserleitungen
- Unterirdische Elektroleitungen
- Oberirdische Elektroleitungen (Freileitungen) und Leitungsmasten
- Fernwirkkabel

3.2.12 Bestehende Gefahrensituation

Die Gefahrenkarte Schwyz-Ingenbohl-Morschach Nord [26] weist im Bereich des KW Brunnen die Gefahr von Überschwemmungen aus (Abbildung 24). Die Muota ufert bei Hochwasser (ab HQ_{100}) rechtsufrig grossflächig aus. Für Ereignisse mit Wiederkehrperioden > 300 Jahre können gemäss NGK Ausuferungen auf der linken Uferseite auch nicht ausgeschlossen werden (Restrisikobereich).

Da die Muota in das Grundwasser infiltriert, sind Wasseraustritte durch Grundwasseraufstösse auch ohne direkten Anschluss an das Muotagerinne möglich [26].

Im Ist-Zustand liegt entlang der Fliessstrecke der Seeweren durchgehend ein Hochwasserschutzdefizit vor. HQ_{30} (26 m^3/s, vgl. Tabelle 2) kann auch mit freiem Abfluss (ohne Rückstau durch die Muota) nicht innerhalb des Gerinnes abgeführt werden. Es kommt beidseitig des Gerinnes zu Ausuferungen. Diverse Brücken und Stege werden eingestaut und verstärken die Austritte in das Umland sowie die angrenzenden Industrie- und Gewerbegebiete. Das Umland der Seeweren liegt heute im gelben und blauen Gefahrenbereich. Besonders betroffen sind dabei das Gewerbegebiet Unterseewen und das Wintersried.

Sollten sowohl Seeweren als auch Muota Hochwasser führen, können die erhöhten Wasserspiegel in der Muota zu einem Rückstau in die Seeweren führen. Beim Hochwasser im August 2005 reichte dieser Rückstau bis zum Restaurant Bauernhof, wobei die Grenze zwischen der Beeinflussung durch den Rückstau der Muota und den Überflutungen aufgrund der zu geringen Gerinnekapazität der Seeweren nur geschätzt werden kann (vgl. Abbildung 26).

Abbildung 24: Ausschnitt Gefahrenkarte Wassergefahren. Quelle: Geotest AG / beffa tognaca gmbh (2008)

Abbildung 25: Intensitätskarte HQ100, IST-Zustand. Quelle: Geotest AG / beffa tognaca gmbh (2008)

3.2.13 Historische Ereignisse

Im Ereigniskataster „StoreMe“ ist für die Muota ein grosses Ereignis mit Überschwemmungen dokumentiert (22./ 23. August 2005). Der maximale gemessene Abfluss an der Station Ingenbohl betrug damals 433 m³/s. Es wurden primär lokale Schäden, vor allem durch den Rückstau der Seeweren sowie entlang des rechten Muotaufers unterhalb Langesteg bis zum See verzeichnet. Die Leitwerke wurden dabei stellenweise überströmt, hielten der Belastung des Hochwassers aber stand (keine Dammbrüche). Unsicher ist, ob dies bei einem weiteren ähnlich grossen oder grösseren Ereignis auch der Fall wäre [26].

Weitere grosse Abflüsse wurden im Juli 1977 (315 m³/s), September 2006 (278 m³/s), Mai 1999 (277 m³/s) und Oktober 2010 (275 m³/s) gemessen.

Abbildung 26: Hochwasser am 22./23.08.2005, gleich unterhalb der Einmündung Seeweren (links) und 100 m oberhalb der Mündung (rechts). Quelle: Fotoalbum Hochwasser August 2005, Holcim Schweiz AG

Abbildung 27: Ausschnitt Ereigniskataster StoreMe, Hochwasserereignis Muota vom 23. Aug. 2005

Abbildung 28: Hochwasser am 22./23.08.2005 oberhalb des KW Brunnen. Quelle: Fotoalbum Hochwasser August 2005, Holcim Schweiz AG

3.3 Naturzustand

Der Naturzustand beschreibt den Zustand, bei dem das betroffene Fliessgewässer einer vom Menschen unbeeinflussten Ausprägung entspricht bzw. historisch entsprach. Da eine solche Rekonstruktion zwangsläufig auf vielen ungenauen Annahmen beruht, kann dadurch auch nur ein grobes Bild erzeugt werden.

3.3.1 Abfluss und Abflussdynamik

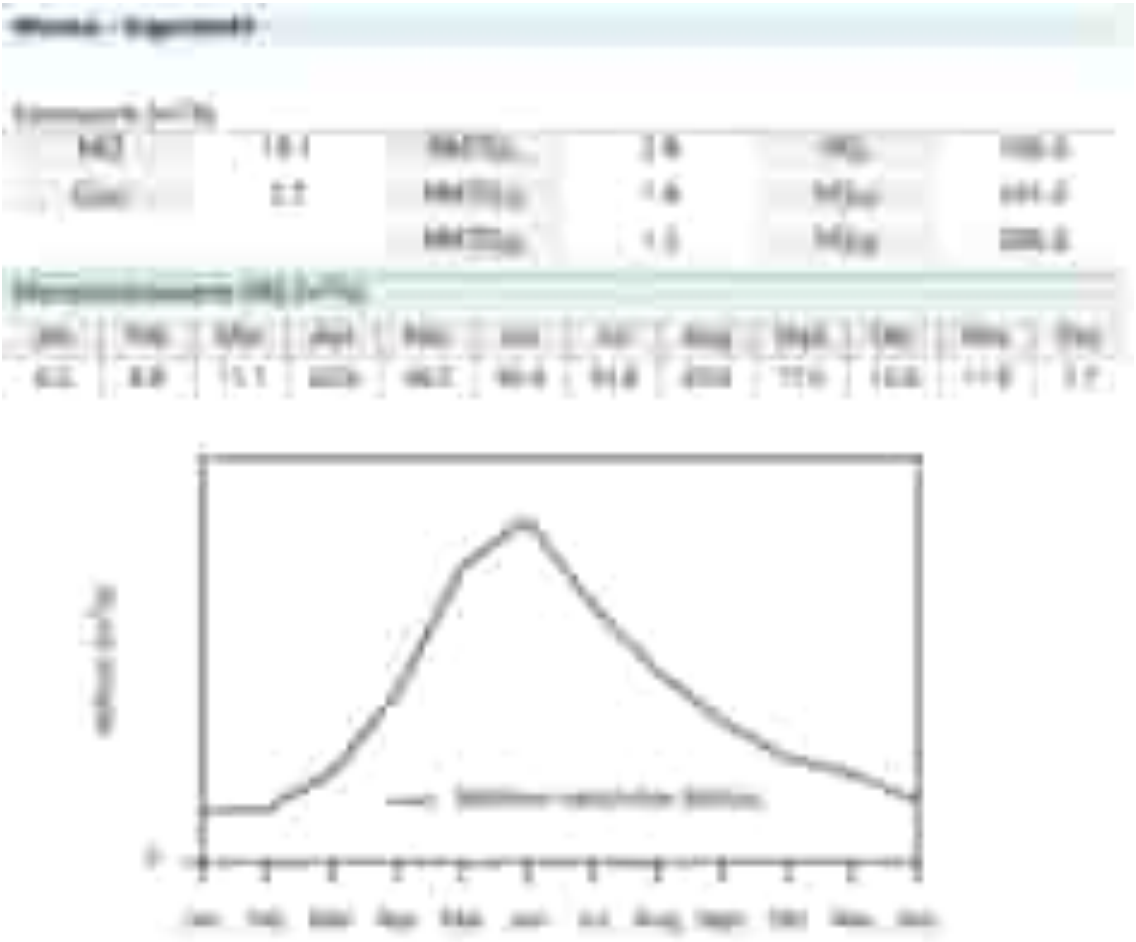
Im Naturzustand ist die Hydrologie unbeeinflusst von anthropogenen Aktivitäten, insbesondere der Wasserkraftnutzung und der Veränderung der Bodennutzung im Einzugsgebiet. Ebenfalls ist der Naturzustand, an welchen die Arten angepasst sind, unbeeinflusst vom Klimawandel und den damit einhergehenden Veränderungen der Hydrologie.

Für die Muota bei der Muotaschwelle (Wasserfassung des KW Ibach, oberhalb Ibach) wurden die natürlichen Abflüsse im Restwasserbericht der Muotakraftwerke, Fachbericht Hydrologie [5] hergeleitet. Der Niedrigwasserkennwert Q_{347} beträgt am Standort 2.4 m^3/s, der Mittelwasserabfluss MQ liegt bei 16.74 m^3/s und der mittlere jährliche Hochwasserabfluss bei 147.34 m^3/s. Der Glattalpsee im Einzugsgebiet der Muota wird als saisonaler Speicher verwendet, was jedoch nur eine untergeordnete Verlagerung der Abflüsse zur Folge hat.

Unterhalb der Einmündung der Seeweren, aus welcher der Abfluss des nicht regulierten Lauerzersees in die Muota fliesst, ändert sich der Abfluss und die Abflussdynamik. Die Station des BAFU Muota – Ingenbohl (2084) misst die hydrologischen Parameter. Am Messstandort tritt Schwall-Sunk Abfluss auf. Q_{347} beträgt an der Messstelle 2.7 m^3/s und der Mittelwasserabfluss MQ liegt bei 19.1 m^3/s. Weitere Kennwerte sind in

Tabelle 5 aufgeführt. Der Vergleich mit den Werten oben zeigt, dass der Zufluss aus der Muota prägend ist für den Abfluss und dessen Dynamik.

Tabelle 5: Kennwerte Hydrologie Abflussmessstation Muota - Ingenbohl (2084), Messperiode 1923 bis 2019. Quelle: BAFU.



3.3.2 Geschiebe und Feststoffdynamik

Im Naturzustand weist die Muota an der Einmündung der Seeweren eine Geschiebefracht von ca. 12‘000 m^3/a auf (vgl. Abbildung 2) [7].

Neben dem Geschiebe spielt Schwemmholz bzw. Totholz im Naturzustand eine herausragende Rolle als Strukturgeber in der Muota. Während Hochwassern werden Frisch- und Totholz aus den Uferbereichen und dem Flussbett durch Rutschungen und Erosion mobilisiert und mitgeführt. Holzansammlungen im Bach- und Flussbett führen zu einer Vielzahl von morphologischen Strukturen auf kleiner räumlicher Skala, welche Tieren und Pflanzen als Lebensraum dienen.

3.3.3 Gerinnestruktur und Morphodynamik

Die natürliche Gerinneform wurde in einer Vorstudie zum ökologischen Entwicklungspotenzial am Unterlauf der Muota hergeleitet. So ist die Muota als «schwach mäandrierendes Gerinne mit Inseln und Bänken» aus historischen Karten erkennbar [27].

Dabei ist unklar, inwieweit zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Karten in grossem Massstab bereits korrigierend in den Lauf der Muota eingegriffen wurde.

In prähistorischen Zeiten nach dem Ende der Eiszeit wies die Muota im Talboden ein weit verzweigtes Flusssystem auf, wie geologische Untersuchungen belegen [28]. Dies kann als die ursprüngliche und natürliche Gerinneform betrachtet werden, frei von menschlichem Einfluss.

3.3.4 Uferbereich

Die Uferbereiche im Naturzustand dürften sich auf den beiden Seiten des Gewässers unterschieden haben. Rechts der Muota reichte der Wald vom Urmiberg bis in die Talebene, übergehend in Hartholzaue und Weichholzaue in den vom dynamischen Gewässer beeinflussten, grossen Flächen. Links der Muota sind auf frühen Karten um die Jahrhundertwende noch grosse vernässte Gebiete vorhanden. Durch den mächtigen, weit ausgedehnten Grundwasserkörper im Felderboden mit gegenüber heute höherem Grundwasserstand kann von ausgedehnten, von der weiten Linkkurve der Muota umrahmten Flachmooren ausgegangen werden. Diese wurden durch viele kleine Wasserläufe, gespiesen von Grundwasseraufstössen (Brünnen) durchzogen. Der Übergang zwischen Wasser und Land dürfte stellenweise aus Auenwald jedoch auf grösseren Abschnitten aus Flussuferröhricht bestanden haben.

3.3.5 Vernetzung

Die Vernetzung war im Naturzustand uneingeschränkt. Die aquatische Längsvernetzung erstreckte sich vom Vierwaldstättersee bis zur Muotaschlucht und bis in den Lauerzersee. Das weit pendelnde, zum Teil verzweigte Gerinne mit einer gegenüber heute sehr langen Uferlinie war optimal mit den ausgedehnten Auenwäldern und Wäldern am rechten Ufer und den Feuchtgebieten am linken Ufer vernetzt. Die regelmässig umgelagerte Gewässersohle bot Lebensraum in den Substratlücken und ermöglichte eine uneingeschränkte Infiltration der Muota ins Grundwasser.

3.3.6 Biodynamik

Die Lebensräume entlang der Muota wurden in unregelmäßigen Abständen durch Hochwasserereignisse umgelagert und es entstanden neue Pionierflächen. Es fand in der Folge eine rasche Besiedlung durch entsprechende floristische und faunistische Gemeinschaften statt, was zu einer kontinuierlichen Sukzession von auentypischen Arten und Lebensräumen führte. Diese Dynamik führte zu einem grossflächigen Bewuchs der Uferbereiche mit standorttypischen Pflanzen und trug zur Entstehung einer artenreichen und auentypischen Vegetation entlang der Muota bei.

3.3.7 Grundwasser und vertikale Vernetzung

Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Muota im Naturzustand flächiger und intensiver ins Grundwasser infiltrierte (keine Verbauungsmassnahmen,

periodische Verlagerung des natürlichen Gerinnes, regelmässige Reduktion von Kolmation durch Erosionsprozesse) und daher insgesamt etwas höhere Grundwasserstände geherrscht haben dürften. Punktuell und zeitlich können diese Stände aber selbstverständlich geschwankt haben, weshalb die Festlegung eines fixen, engdefinierten Naturzustandes für die lokalen Grundwasserverhältnisse aufgrund der natürlichen Dynamik der Muota kaum möglich bzw. sinnvoll ist.

3.3.8 Wasserqualität und Temperatur

Ohne anthropogene Einflüsse war die Wasserqualität natürlich. Ein hoher Eintrag an organischem Material aus dem Einzugsgebiet (Blätter, Totholz) hatte (saisonal) einen grossen Einfluss auf die Wasserqualität und die biologischen Prozesse.

Im Naturzustand waren die Gewässer im Einzugsgebiet der Muota unterhalb der Baumgrenze stark beschattet. Mit gegenüber heute auch kühlerer, mittlerer Lufttemperatur war das breite Hauptgerinne in der Talebene ein immer kühles Gewässer. Im sehr breiten Gerinne kamen jedoch auch sehr flache und teilweise abgeschnittene Wasserflächen vor, in welchen sich das Wasser stellenweise erwärmen konnte.

3.3.9 Organismen

Im Naturzustand beherbergte die Muota und die angrenzenden Auenwälder und Pionierstandorte ein grosses Artenspektrum. Es waren dies die Arten der unteren Forellen- und Äschenregion, der Ufervegetation, der wechselfeuchten Pionierfluren und der Auen- und Bruchwälder [29]. Beispielhaft werden einige gefährdete Vertreter dieser Lebensräume aus der Liste der prioritären Arten aufgeführt [30].

Tabelle 6: Beispielhafte Arten der Fluss- und Auenlebensräume der Nordalpen, für welche die Schweiz eine sehr hohe Priorität hat. Gemäss BAFU (2019). Gefährdungsklassen: CR = vom Aussterben bedroht, EN = stark gefährdet, VU = verletzlich, 1(e) = regional ausgestorben (Experteneinschätzung).

Die Auen-Fauna-Datenbank des Agroscope [31] listet 300 Arten auf, welche vorwiegend oder ausschliesslich in Auen vorkommen und somit potenziell an den Ufern der Muota im Naturzustand vorkamen.

Historisch stieg der Lachs (Salmo salar) wahrscheinlich bis in die Muotaschlucht auf [32]. Ausserdem kamen die grossen Säugetiere Biber, Fischotter, Wolf, Luchs und Bär vor, welche einen grossen ökologischen Einfluss auf die Lebensgemeinschaften hatten.

3.4 Referenzzustand

Der Referenzzustand ist ein hypothetischer Zustand, der sich unter den heutigen landschaftlichen Rahmenbedingungen einstellen würde, wenn sämtliche anthropogenen Einflüsse im unmittelbaren Umfeld des Gewässers aufgegeben würden. Er bildet den naturnahen Zustand bezüglich Morphologie, Abflussregime und Geschiebehaushalt in der heutigen Kulturlandschaft.

Im Gegensatz zum Naturzustand werden beim Referenzzustand aber grossräumige und irreversible Einflüsse des Menschen wie grossflächige Waldrodungen, Siedlungen, Infrastrukturanlagen, grossflächige Trockenlegungen von Feuchtgebieten, historische Gewässerkorrektionen, grossräumige Flussumleitungen usw. mitberücksichtigt.

3.4.1 Irreversible und reversible Einflüsse

Grosse irreversible Gewässerum- oder -ableitungen liegen nicht vor. Das Gewässersystem aus Vierwaldstättersee – Muota – Seeweren – Lauerzersee und das Einzugsgebiet sind in der Konstellation unverändert. Landseitig wurden in der Talebene grossflächig Wälder gerodet, Böden umgenutzt und links der Muota Feuchtgebiete trockengelegt.

Der bereits heute zu einem wesentlichen Teil irreversible Klimawandel hat einen grossen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Schweiz. Schnee und Gletscher verlieren zunehmend an Bedeutung, während Trockenheit im Sommer und Herbst das regionale Wasseraufkommen verringert. Dies führt zu einer Verknappung der Wasserressourcen und zu saisonalen Verschiebungen im Abfluss. Gleichzeitig nehmen Naturgefahren wie Hochwasser, Überschwemmungen und Hangrutschungen zu, was einen Einfluss auf die Feststoffdynamik hat. Zudem gefährden steigende Wassertemperaturen die biologische Vielfalt in und entlang der Gewässer.

Als reversible Einflüsse sind insbesondere die Bodennutzung, Verkehrswege und Einzelgebäude im Gewässerraum zu nennen.

Durch die Wasserkraft und den Hochwasserschutz verursachte reversible Einflüsse werden im Rahmen der Sanierung Wasserkraft (Schwall-Sunk, Geschiebe, Fischgängigkeit) im Wesentlichen beseitigt.

3.4.2 Abfluss und Abflussdynamik

Die Abflussdynamik im Referenzzustand ist nicht wesentlich durch die Wasserkraftnutzung, der Trink- oder der Brauchwassernutzung verändert. Insbesondere ist sie nicht durch Restwasser oder Schwall-Sunk beeinträchtigt.

3.4.3 Geschiebe und Feststoffdynamik

Der Referenzzustand hinsichtlich Geschiebe und Feststoffdynamik ist gegenüber dem Naturzustand dahingehend verändert, als dass die Mobilisierung von Geschiebe und in der Folge dessen Zusammensetzung durch irreversible Änderungen in der Bodennutzung verändert ist. Die angegebenen Frachten im Naturzustand gelten jedoch auch für den Referenzzustand. Diese können im Projektgebiet jedoch erst erreicht werden, wenn der Geschiebehaushalt im gesamten Oberlauf der Muota saniert wurde.

3.4.4 Gerinnestruktur und Morphodynamik

Durch die Siedlungsgebiete und Verkehrswege links der Muota ist der verfügbare Platz irreversibel eingeschränkt. Die Nutzungen rechts der Muota könnten hingegen aufgegeben werden, wodurch im Referenzzustand abschnittsweise ab linksseitigem Damm bis zum Hangfuss, Breiten von bis zu 150 m vorhanden sind. Bei Annahme einer natürlichen Sohlenbreite von 48 m erfüllt der Referenzzustand ca. 90% der natürlichen Funktionen (vgl. Beilage 1.3, Kurzbericht GWR) nach Roulier [33].

3.4.5 Uferbereich

Der Uferbereich links der Muota ist im Referenzzustand aufgrund der Siedlungsgebiete, der Verkehrswege, der grossflächigen Trockenlegung von Feuchtgebieten und dem tiefer liegenden Grundwasserpegel naturfremd. Am rechten Ufer ist abschnittsweise Auenwald mit ausgeprägter Weichholz- und Hartholzaue vorhanden.

3.4.6 Vernetzung

Als Referenzzustand hinsichtlich Längsvernetzung (aquatisch und terrestrisch) dient der Naturzustand mit einer uneingeschränkten Durchgängigkeit. Die seitliche Vernetzung ist durch irreversible Veränderungen (s.o.) permanent eingeschränkt. Sie ist durch die Ausprägung der Gerinnestruktur und der Uferbereiche im Referenzzustand (s.o.) jedoch naturnah, d.h. es bestehen keine Hindernisse zwischen Gewässer und Uferbereichen.

3.4.7 Biodynamik

Die Biodynamik im Referenzzustand entspricht derjenigen des Naturzustands, jedoch auf einer reduzierten Fläche.

3.4.8 Grundwasser und vertikale Vernetzung

Gemäss GIS-Server des Kantons Schwyz (Karte Gewässernetz, Referenzdaten) folgt die Muota im Projektperimeter ihrem Verlauf in einem naturnahen Zustand (Referenz- oder Ausgangszustand). Da die lokalen Grundwasserverhältnisse insbesondere durch die Infiltration der Muota bestimmt werden (vgl. Kapitel 3.2.8), kann bei der Festlegung des Referenzzustandes im Hinblick auf das Grundwasser somit vom heutigen Flussverlauf abzüglich der Effekte der heutigen Verbauungsmassnahmen ausgegangen werden. Summarisch kann daher für den Referenzzustand mit geringfügig erhöhten Grundwasserständen entlang der Muota bei ansonsten praktisch identischen Fliessmustern gerechnet werden.

3.4.9 Wasserqualität, Temperatur

Als Referenzzustand betreffend Wasserqualität und -temperatur dient der Naturzustand.

3.4.10 Organismen

Im Referenzzustand bietet der natürliche Lauf der Muota Lebensraum für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt. Die Auen-Fauna Datenbank [31] listet für die Aue Tristel an der Muota im Muotathal 603 potenziell vorkommende Arten auf, davon 36 vorwiegend oder ausschliesslich in Auen vorkommende und 148 gefährdete Arten. Für das Vergleichsgewässer Kleine Emme werden für die Aemmematt 977 potenziell vorkommende Arten aufgeführt, davon 94 vorwiegend oder ausschliesslich in Auen vorkommende und 267 gefährdete Arten. Es kann davon ausgegangen werden, dass ähnliche Artenzahlen potenziell im Referenzzustand an der Muota bei Brunnen vorkommen.

Erwähnenswerte Organismen im Referenzzustand sind u.a. Seeforelle (Salmo trutta), Nase (Chondrostoma nasus), Flussuferläufer (Actitis hypoleucos), Biber (Castor fiber) und Fischotter (Lutra lutra).

3.5 Defizitanalyse

Die Defizitanalyse erfolgt durch den Vergleich von Ist-Zustand und Referenzzustand.

3.5.1 Abfluss und Abflussdynamik

Die Abflussdynamik der Muota im Projektperimeter ist, zumindest im oberen Teil bis zur stillgelegten Zentrale des KW Brunnen, geprägt durch die Wasserentnahme bei der Fassung Langensteg. Hier besteht, nach wie vor und trotz Stilllegung des Kraftwerks eine Restwasserstrecke (vgl. Kapitel 3.2.11).

Die Abflussdynamik im ganzen Projektperimeter ist zudem durch Schwall-Sunk des KW Wernisberg beeinträchtigt. Die daraus resultierenden Defizite sind ausführlich im Sanierungsbericht Schwall-Sunk aufgeführt [17]. Sie liegen gemäss der Bewertung mittels «Vollzugshilfe Massnahmen» [34] beim Stranden von Fischen, bei den Juvenil-

und Adulthabitaten der Bach- und Seeforelle, bei der Drift von Makroinvertebraten und bei der Temperatur.

3.5.2 Geschiebe und Feststoffdynamik

Im Sanierungsbericht Geschiebe [7] sind die Defizite betreffend Geschiebe aufgeführt. Gegenüber dem Referenzzustand beträgt die jährliche Geschiebefracht heute im Projektperimeter etwa 50 %. Dies entspricht einem Geschiebedefizit von ca. 4'000 m^3/a.

Zu den Schwemmholzfrachten und Mengen an Totholz im Gerinne der Muota gibt es keine Zahlen. Gegenüber dem Referenzzustand ist – wie an den allermeisten grösseren Fliessgewässern in der Schweiz – von einem grossen Defizit auszugehen [35].

3.5.3 Gerinnestruktur und Morphodynamik

Die Defizite bestehen im fehlenden Raum für das Gewässer. Die Ufer sind mittels Längsverbau gesichert, so dass sich keine naturnahe Gerinnestruktur und Morphodynamik wie im Referenzzustand entwickeln kann.

3.5.4 Uferbereich

Der Uferbereich wird heute landwirtschaftlich genutzt und er ist durch Wasserkraftanlagen, landwirtschaftliche Gebäude und Verkehrswege belegt. Es bestehen grosse Defizite hinsichtlich Uferbereichsbreite und Ausprägung. Möglicherweise bestehen auch bei den vorhandenen Ufervegetation Defizite hinsichtlich Standortgerechtigkeit oder gebietsfremden Arten (Neophyten).

3.5.5 Vernetzung

Defizite bei der Längsvernetzung im Gerinne bestehen durch die Querbauwerke bei den Fassungen KW Brunnen und KW Ibach sowie den Schwall-Sunk Abfluss (Drift). Bei der Schwelle oberhalb der SBB-Brücke ist von geringfügigen Defiziten für schwimmschwache Arten auszugehen.

Die terrestrische Längsvernetzung ist durch den ungenügend ausgeprägten Uferbereich und die steilen Ufer beeinträchtigt.

Durch die Begradigung und den Längsverbau der Ufer ist die Länge der Wasser-Land-Grenze reduziert und die Quervernetzung stark eingeschränkt. Hier bestehen die grössten Defizite hinsichtlich Vernetzung.

3.5.6 Biodynamik

Im Projektperimeter kommen keine Flächen vor, die in einem Sukzessionstadium von Pionierstandort zu Hartholzaue stehen. Es fehlen auch abgeschnittene, teilweise verlandende Gewässerabschnitte, wie sie in einer Aue vorkommen und für Amphibien wertvoll sind. Der Biber als «Öko-Ingenieur» mit einem massgeblichen Einfluss auf die

Biodynamik fehlt im Gebiet. Entsprechend fehlen Lebensräume für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt und es kann sich keine standortgerechte Ufervegetation entwickeln.

3.5.7 Grundwasser und vertikale Vernetzung

Die im Rahmen der Defizitanalyse zu ermittelnder Differenz zwischen Ist-Zustand und Referenzzustand kann im Hinblick auf das Grundwasser wie folgt erfasst werden. Die vertikale Vernetzung zwischen Muota (Infiltrant) und Grundwasser ist durch Verbauungsmassnahmen generell etwas eingeschränkt. Im Referenzzustand ist von einer erhöhten vertikalen Vernetzung und einem dementsprechend etwas erhöhten und v.a. schnelleren Einfluss von Muota auf das Grundwasser auszugehen. Auf die Grundwasserqualität könnte dies zumindest zeitweise möglicherweise negative Auswirkungen haben (rascheren Eintrag allfälliger Verunreinigungen der Muota z.B. bei einem Störfall). Die Beeinflussung der Grundwassertemperatur ist schwieriger zu beurteilen; da das Grundwasser bereits heute zu grossen Teilen durch Flussinfiltration alimentiert wird, ist am ehesten von einem geringen bis fehlenden Defizit auszugehen.

3.5.8 Wasserqualität und Temperatur

Die Defizite bei der Wasserqualität sind gering. Sie bestehen aus diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft und einem zu geringen Eintrag von organischem Material natürlicher Herkunft ins Gewässer.

Die Defizite betreffend Wassertemperatur liegen in erster Linie bei der fehlenden Beschattung der Gewässer im Einzugsgebiet. Dadurch wird die irreversible Gewässererwärmung durch den Klimawandel beschleunigt und verschärft. Die Wassertemperatur wird zudem tageszeitlich durch Schwall-Sunk beeinträchtigt (s.o.).

3.5.9 Organismen

Durch die Begradigung und Verbauung des Gerinnes, die Veränderung und intensive Nutzung der Uferbereiche, die Schwall-Sunk Abflüsse und die Beeinträchtigungen des Geschiebehaushalts bestehen grosse Defizite bei den Lebensräumen und in der Folge bei den Lebensgemeinschaften sowie bei der Häufigkeit der Individuen (Biomasse). Es kann davon ausgegangen werden, dass gegenüber dem Referenzzustand mit einer ausgeprägten Fliessgewässeraue eine grosse Anzahl Tierarten (Fische, Vögel, Säugetiere, Reptilien, Amphibien, Invertebraten) und eine noch grössere Anzahl Pflanzenarten (Arten der Kiesbank-Pioniervegetation, der mehrjährigen Buschvegetation, der Weich- und Hartholzaue) sowie die Häufigkeit von Individuen (Biomasse) fehlen. Darunter befinden sich potenziell ein grosser Anteil gefährdeter Arten und vorwiegend oder ausschliesslich in Auen vorkommende Arten.

In der Muota fehlen insbesondere geeignete Lebensräume für die standorttypische Fischfauna mit Bachforelle/ Seeforelle und Äsche sowie Arten der unteren Forellen- und Äschenregion (z.B. Groppe oder Elritze). Dies ist vorwiegend mit der Kanalisierung der Muota sowie dem harten Längsverbau verbunden, welche zu einem ziemlich monotonen Gewässer führt. Wichtige Habitate wie Laichplätze, strömungsberuhigte

Zonen für die Jungfischentwicklung und tiefe Kolke für Adulttiere fehlen weitgehend. Auch Deckungsstrukturen z.B. aus Totholz sind selten. Arten aus der Seeweren (Barbenregion mit z.B. Barbe oder Nase) sowie Seefische (z.B. Rotauge, Egli, Trüsche) wären zwar zu erwarten, finden aber aufgrund der geringen Strukturvielfalt in der Muota kaum geeignete Habitate wie stark strömende Kiesrauschen, Kiesbankränder mit Flachwasserzonen, Hinterwasser mit Totholz usw.

4 ZIELDEFINITION (SOLLZUSTAND)

4.1 Anlagen und Nutzungen (Restriktionen)

In Abweichung zum Referenzzustand werden für die Zieldefinition (Festlegung Sollzustand) in den Bereichen Hochwasserschutz, Ökologie (ökologische Entwicklungsziele) und Gesellschaft (sozioökonomische Entwicklungsziele) diejenigen Anlagen und Nutzungen identifiziert, deren Verschiebung oder Veränderung in einem überschaubaren Zeitraum nicht möglich oder eindeutig unverhältnismässig ist.

Die im Projektperimeter vorhandenen Anlagen und Nutzungen sind im Kapitel 3.2.11 beschrieben. Um die Verhältnismässigkeit einer allfälligen Verschiebung dieser Anlagen und Nutzungen einzuordnen, werden diese in Restriktionsklassen eingeteilt. Anlagen, welche der Restriktionsklasse 1 zugeordnet werden, gelten als verschiebbar. Nicht verhältnismässig ist dagegen eine Verschiebung von Anlagen der Restriktionsklasse 3. Bei Anlagen der Restriktionsklasse 2 ist die Verhältnismässigkeit anhand einer umfassenden Interessenabwägung und im Einzelfall abzuklären.

4.1.1 Restriktionsklassen

Im Rahmen der Erarbeitung des ökologischen Entwicklungskonzepts für den Unterlauf der Muota hat die Basler & Hofmann AG Restriktionsklassen definiert. Diese werden für das vorliegende Projekt übernommen.

Restriktionsklasse 1:

Anlagen der Restriktionsklasse 1 gelten als verschiebbar. Die Konsumation ihrer Flächen ist voraussichtlich verhältnismässig. Unter Restriktionsklasse 1 fallen:

- Inventarisierte Schutzgebiete kommunaler Bedeutung
- Waldflächen und Wildtierkorridore
- Lokale Elektroleitungen
- Lokale Wasserleitungen
- Lokale Abwasserleitungen
- Landwirtschaftszone ohne Wohnnutzung und ohne Fruchtfolgeflächen (FFF)
- Unterhalts- und Wanderwege

Restriktionsklasse 2:

Bei Anlagen der Restriktionsklasse 2 ist die Konsumation von Flächen unter einer umfassenden Abwägung von Interessen möglicherweise verhältnismässig. Unter diese Klasse fallen:

- Inventarisierte Schutzgebiete von kantonaler und nationaler Bedeutung
- Grundwasserschutzzone S3
- Belastete Standorte (KbS)
- Fernwärmeleitungen
- Regionale Elektroleitungen

- Regionale Wasserleitungen
- Niederdruckgasleitungen
- Fruchtfolgeflächen (Klassen 2 und 3)
- nicht bebaute Wohn- und Gewerbezonen
- Zufahrts- und Gemeindestrassen

Restriktionsklasse 3:

Bei Anlagen der Restriktionsklasse 3 ist die Konsumation der Flächen nicht verhältnismässig. Unter Klasse 3 fallen:

- Grundwasserschutzzonen S1 und S2
- Starkstromleitungen
- Hochdruckgasleitungen
- Abwassersammelleitungen (Hauptsammelkanal / ARA)
- Bebaute Wohn-, Gewerbe und Landwirtschaftszone (Wohnnutzung)
- Eisenbahnanlagen
- Kantons- und Nationalstrassen

4.1.2 Projektbezogene Klassierung der Anlagen und Nutzungen

Im vorliegenden Projekt werden folgende Anlagen und Nutzungen der Restriktionsklasse 1 zugeordnet:

- Kraftwerk Brunnen (da stillgelegt): Kraftwerksgebäude, Oberwasser- und Unterwasserkanal
- Landwirtschaftliche Nutzflächen zwischen der Muota und dem Oberwasserkanal (keine FFF)
- Waldgebiet zwischen der Muota und dem Unterwasserkanal
- Wildtierkorridor im Bereich der Brücke Langensteg
- Meteorwasser- und Entwässerungsleitungen
- Landwirtschaftliche Drainageleitungen
- Mischwasser- und Abwasserleitungen (kein Sammelkanal)
- Unterirdische Elektroleitungen
- Fernwirkkabel

Der Restriktionsklasse 2 werden folgende Anlagen und Nutzungen zugeteilt:

- Fruchtfolgeflächen rechtsufrig entlang dem Oberwasserkanal
- Fruchtfolgeflächen zwischen der Muota und dem Unterwasserkanal
- Husmattweg am rechten Ufer des Oberwasserkanals
- Brücke Langesteg und Fussgängersteg Husmatt
- Weg entlang dem Unterwasserkanal, der beim Steg Husmatt als Anschlusspunkt an das Entwicklungsgebiet Nova Brunnen raumplanerisch gesichert ist (kantonaler Nutzungsplan Brunnen Nord)
- landwirtschaftliche Nutzgebäude am Ober- und Unterwasserkanal

Die Brücke Langesteg wird aufgrund der Tatsache, dass Sie am Ende ihrer Lebensdauer ist und in absehbarer Zeit durch ein Drittprojekt ersetzt wird, der Restriktionsklasse 2 (statt 3) zugeteilt. Ebenso wird der Steg Husmatt der Restriktionsklasse 2

zugeordnet. Beide Brücken können in ihrer jetzigen Form in Frage gestellt werden. Sie können zwar nicht ersatzlos gestrichen oder in ihrer Lage gänzlich verschoben, aber neu gedacht und konzipiert werden. Bei der Brücke Langesteg kann bei der Planung des sowieso anstehenden Ersatzneubaus auf zukünftig revitalisierte Gegebenheiten Rücksicht genommen werden. Beim Steg Husmatt ist eine Interessens- und Verhältnismässigkeitsabwägung für oder gegen einen Ersatzneubau vorzunehmen.

Folgende Anlagen werden der Restriktionsklasse 3 zugeteilt:

- historische Wylerbrücke
- ARA Schwyz
- Oberirdische Elektroleitungen (Freileitungen) und Leitungsmasten
- Entwicklungsgebiet Nova Brunnen am linken Ufer (dicht besiedeltes Wohn- und Gewerbegebiet)
- Dicht besiedeltes Wohngebiet unterhalb vom Areal Nova Brunnen (am linken Ufer der Muota)

4.2 Ziele Hochwasserschutz

Entsprechend den Empfehlungen des Bundes für den Hochwasserschutz an Fliessgewässern richtet sich das Schutzbedürfnis nach dem Schadenpotenzial [36]. Das bedeutet, dass den Flächen im Projektperimeter, je nach bestehender oder geplanter Nutzung bzw. je nach vorhandenen Bauten und Infrastrukturanlagen, unterschiedliche Schutzziele zugeordnet werden. Diesen Grundsatz der differenzierten Schutzziele übernimmt auch der Kanton Schwyz in seiner kantonalen Naturgefahrenstrategie [37].

Für das Projekt Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen werden projektbezogene Schutzziele für die linke und die rechte Uferseite definiert sowie zusätzlich für das Sonderobjekt ARA Schwyz festgelegt. Die projektspezifischen Schutzziele können die Schutzziele aus der Schutzzielmatrix der kantonalen Naturgefahrenstrategie des Kantons Schwyz [37] übertreffen, nicht aber unterschreiten.

4.2.1 Schutzziele linke Uferseite

Auf der linken Uferseite liegen die Bahnlinie, Gewerbe-/ Industriegebiete sowie geschlossenes Siedlungsgebiet der Gemeinde Ingenbohl.

Das Schutzziel für das linke Ufer wird im gesamten Projektperimeter in Anlehnung an die Baubewilligung des Projekts Nova Brunnen [38] und die Vorgaben des Amts für Gewässer, Abteilung Wasserbau festgelegt:

- Schutzziel linksufrig: Wasserspiegellage HQ_{300} + Freibord (F), mit F = 0.5 - 0.8 m

Damit wird das in der Schutzzielmatrix der kantonalen Naturgefahrenstrategie geforderte Schutzziel [37] übertroffen (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Gegenüberstellung Schutzzielvorgaben kantonale Naturgefahrenstrategie [37] und im Projekt am linken Ufer

Objektkategorie	Vorgabe Kanton Schwyz	Projektumsetzung
Bahnlinie	Gemäss Richtlinie SBB	HQ_{300} + Freibord
Gewerbe-/ Industriegebiet	Komplettschutz bis HQ_{30} Ab HQ_{100} max. schwache Intensität	HQ_{300} + Freibord
Geschlossene Siedlung	Komplettschutz bis HQ_{30} Ab HQ_{100} max. schwache Intensität	HQ_{300} + Freibord

4.2.2 Schutzziele rechte Uferseite

Im Vorland auf der rechten Uferseite liegt Landwirtschaftsland mit einzelnen, zeitweise oder permanent bewohnten Einzelgebäuden. Gemäss kantonaler Naturgefahrenstrategie liegt hier das Schutzziel unter HQ_{30} und es besteht grundsätzlich kein Handlungsbedarf für ein erhöhtes Schutzziel.

In der Vergangenheit (z.B. Hochwasserereignis August 2005) kam es bei Hochwasser zu Ausuferungen auf die rechte Uferseite. Dieser Prozess soll auch in Zukunft möglich sein.

Mit Blick auf den Hochwasserschutz der rechten Uferseite werden für das Projekt Revitalisierung Muota im Abschnitt KW Brunnen folgende Schutzziele und Grundsätze festgelegt:

- Minimales Schutzziel rechtes Ufer = Schutzziel Objektkategorie 2.2 gemäss kantonaler Schutzzielmatrix. D.h. bei HQ_{30} und HQ_{100} sind grundsätzlich Überschwemmungen mit schwacher Intensität und bei HQ_{300} mit mittlerer Intensität zulässig.
- Das Schutzniveau darf mit dem Projekt ggü. der heutigen Situation nicht verschlechtert werden.
- Bestehende Dämme werden in der Höhe nicht reduziert (Bestandsgarantie bestehende Dämme). Dies kann ggü. den Schutzzielvorgaben der Schutzzielmatrix und der Nutzungsvereinbarung zu einem erhöhtem Schutzniveau führen.

4.2.3 Schutzziel ARA Schwyz

Oberhalb der Einmündung Seeweren liegt die ARA-Schwyz. Das Areal der ARA liegt heute im gelben und blauen Gefahrenbereich.

Die ARA ist eine kritische Infrastruktur und mit Blick auf die kantonale Naturgefahrenstrategie als Sonderobjekt einzustufen. Das Schutzziel der ARA wird wie folgt festgelegt:

- Schutzziel ARA: Wasserspiegellage HQ_{100} + Freibord

Die ARA-Schwyz liegt ausserhalb des Projektperimeters des Projekts Revitalisierung Muota, Abschnitt Kraftwerk Brunnen. Für die Planung und Umsetzung des Revitalisierungsprojekts gilt deshalb der Grundsatz, dass im Rahmen des Projekts die

Einmündung der Seeweren hydraulisch zu optimieren ist, um die Rückstauproblematik für die ARA möglichst zu entschärfen.

4.2.4 Hochwasserschutz Seeweren

Zusätzlich zum vorhandenen Hochwasserschutzdefizit an der Seeweren (aufgrund der zu geringen Abflusskapazität des Gerinnes, vgl. Kapitel 3.2.12) kann ein Rückstau durch die Muota im aktuellen Zustand die Situation verschlechtern und zu Ausuferungen im Umland der Seeweren führen.

Parallel zum vorliegenden Auftrag wurde durch HZP im Auftrag des Amts für Gewässer Kt. SZ ein numerisches 2D-Gesamtmodell des Unterlaufs der Muota erstellt. Die hydraulischen Prozesse beim Zusammenfluss von Muota und Seeweren sowie der Rückstau der Seeweren bei Hochwasser war eine der primären Fragestellungen dieser Untersuchungen. Es zeigte sich, dass die Problematik im Rahmen des Revitalisierungsprojekts nicht vollständig gelöst, aber entschärft werden kann.

In Rücksprache mit der Projektgruppe des Revitalisierungsprojekts, d.h. unter Beizug des Amts für Gewässer Kt. SZ und dem BAFU, wurde im Rahmen der Erarbeitung des Auflageprojekts eine signifikante Absenkung der Wasserspiegel in der Seeweren als zusätzliches Ziel des Revitalisierungsprojekts definiert (Arbeitssitzung am 15. Dezember 2025, [39]). Auf diese Weise sollte die Gefahrensituation im Bereich des Industrie- und Gewerbegebiets im Rahmen des Möglichen verbessert werden. Des Weiteren ist sicherzustellen, dass die Situation bei Hochwasserereignissen an anderen Standorten nicht verschlechtert wird.

4.3 Ökologische Entwicklungsziele

Als übergeordnetes Projektziel wird die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen der Muota und die Entwicklung einer naturnahen, dynamischen Gerinneform mit standortgerechten Sohlenstrukturen angestrebt. Um dies zu erreichen ist dem Gewässer möglichst viel Raum zu geben, in welchem es sich uneingeschränkt und eigendynamisch entwickeln kann. Da der verfügbare Gewässerraum voraussichtlich keine Entwicklung des Gerinnes wie im Referenzzustand zulässt, ist mit geeigneten Massnahmen dafür zu sorgen, dass ein vielfältig strukturiertes Gerinne entstehen kann.

Eine eher gleichmässige Abfolge von relativ monotonen alternierenden Kiesbänken entfaltet nicht das gesamte Potenzial, neue Lebensräume für eine standortgerechte, vielfältige Flora und Fauna zu schaffen. Es besteht zudem die Gefahr, dass das Gerinne über längere Strecken am Längsverbau «kleben bleibt». Natürlicherweise vorhandenes, grobes Schwemmholz als wichtiges strukturgebendes Element fehlt heute weitgehend.

Mit Strukturierungsmassnahmen, insbesondere unter grosszügigem Einbezug von groben Totholzstrukturen, sollen die Breiten- und Tiefenvariabilität, die Entstehung von tieferen Kolken, eine lokale Substratfraktionierung, ein heterogenes Habitatangebot und Deckungsstrukturen für aquatische Organismen gefördert werden. Dabei ist eine sorgfältige Abwägung vorzunehmen, um die eigendynamische Gerinneentwicklung

nicht zu sehr einzuschränken. Zu bevorzugen sind daher Strukturelemente, welche sich selbst erneuern können.

In den Aufweitungen wird angestrebt, Flächen für die Entstehung einer begrenzten Weichholzaue (stark gefährdeter und prioritärer Lebensraum [30]) zu schaffen. Dafür können die Ufer abschnittsweise zunächst steil und dann flach ausgebildet werden, um ausreichend Platz auf einem von der Muota regelmässig umgelagerten Niveau zu schaffen, auf welchem Arten der Weichholzaue aufkommen können. Ausserhalb des Gerinnes soll die Ufervegetation im gesamten Gewässerraum weitestgehend aus standortgerechten Gehölzen bestehen. Besonders alte oder grosse Gehölze sind ökologisch besonders wertvoll. Sie sollen im Perimeter nach Möglichkeit erhalten werden und sind ggf. zu verpflanzen (auch Bäume).

Auf die Schaffung von Amphibientümpeln ist zugunsten der aquatischen Lebensräume und einer durchgehenden Bestockung zu verzichten, da der verfügbare Platz zu beschränkt ist. Ebenfalls sind offene, besonnte Uferbereiche nicht standortgerecht und würden den Zielen der terrestrischen Vernetzung zuwiderlaufen.

4.3.1 Abfluss und Abflussdynamik

Der Abfluss und die Abflussdynamik können durch das Revitalisierungsprojekt nur sehr beschränkt verbessert werden. Die geringe Verbesserung ergibt sich durch den Rückbau des KW Brunnen und des Oberwasserkanals (Wegfall heutige Restwasserstrecke zwischen Fassung Langensteg und Zentrale). Eine wesentliche Verbesserung wird durch die Sanierung Schwall-Sunk (Drittprojekt) erreicht, durch welche mindestens die wesentlichen Beeinträchtigungen beseitigt werden. Die Sanierung wird voraussichtlich mit einem ähnlichen Zeithorizont fertiggestellt wie das Revitalisierungsprojekt. Damit wird eine wichtige Voraussetzung zur Erreichung der ökologischen Ziele Im Projektperimeter geschaffen.

4.3.2 Geschiebe und Feststoffdynamik

Mit der Sanierung Geschiebe (Drittprojekte) werden mittel- und langfristig die wesentlichen Beeinträchtigungen oberhalb des Projektperimeters beseitigt und es soll gemäss der Studie zur Sanierung des Geschiebehaushalts [7] eine erforderliche Geschiebefracht von ca. 9‘000 m^3/a angestrebt werden (vgl. Kapitel 3.2.2, Abbildung 2) Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung und periodische Erneuerung eines naturnahen Sohlensubstrats.

Mit der Aufweitung wird die Rückhaltekapazität für Geschiebe erhöht und es werden regelmässige Erosions- und Depositionsprozesse ermöglicht. Das fehlende Schwemm- bzw. Totholz wird mittels geeigneter Strukturen in das Gerinne eingebracht, um heterogene Habitate für die verschiedenen Fischarten und ihre Entwicklungsstadien zu schaffen.

4.3.3 Gerinnestruktur und Morphodynamik

Der Gewässerraum ist so weit wie möglich dem Gewässer zuzugestehen. Insgesamt ist ein Gerinne mit variablen Gewässerbreiten, Wassertiefen und Fliessgeschwindigkeiten sicherzustellen. Gewässersohle, Ufer und Böschungen sind zu strukturieren, um eine verbesserte Vielfalt an aquatischen und terrestrischen Lebensräumen zu schaffen. Verbauungen des Gerinnes sind auf das für den Hochwasserschutz notwendige Minimum zu beschränken. Dort wo es möglich ist, soll mit ingenieursbiologischen Massnahmen gearbeitet werden. Erlauben es die Schutzgüter sind Interventionslinien zu definieren, statt die Ufer zu fixieren. Die Sohlpflästerung ist aufzuheben, um im neuen Gerinne eine naturnahe Morphodynamik zu initiieren. Die Böschungen sind im Allgemeinen abzuflachen, wobei auch stellenweise zunächst steiler (n = 2:3) übergehend in sehr flache Böschungen möglich sind, um mehr Platz im Gerinne für Weichholzauen zu schaffen.

4.3.4 Uferbereich

Der vorhandene Uferbereich im Gewässerraum ist möglichst auf der gesamten Fläche und bis möglichst nahe ans Gewässer zu bestocken mit standortgerechten Gehölzen. Da die bestehende Ufervegetation weitestgehend zerstört wird sind Massnahmen zu treffen, um eine möglichst rasche Etablierung einer neuen Ufervegetation zu gewährleisten. Dazu gehört der Erhalt oder die Verpflanzung von vorhandenen Büschen und Bäumen.

4.3.5 Vernetzung

Übergeordnet wird die Längsvernetzung für Fische innerhalb der Muota zwischen Vierwaldstättersee bis zur Muotaschlucht mit dem Rückbau der Muotaschwelle (Wasserfassung des KW Ibach) im Rahmen der Sanierung Fischgängigkeit (Drittprojekt) wieder hergestellt. Massgebend für die Beurteilung und Projektierung der freien Fischwanderung ist die optimale Wassertiefe für die Seeforelle.

Im Projektperimeter soll die Vernetzung mittels Rückbaus der nicht mehr genutzten Anlageteile des KW Brunnen (Ober- und Unterwasserkanal, Fassung/ Wehr Langensteg, Kraftwerkszentrale), der Beseitigung der Uferverbauungen und der Gestaltung des Gerinnes erreicht resp. erheblich verbessert werden. Falls sich aufgrund der zukünftigen Geschiebedynamik und der notwendigen Geschiebebewirtschaftung bei der Einmündung Seeweren (Hochwasserschutz) die Absturzhöhe und somit die Passierbarkeit der Schwelle oberhalb der SBB-Brücke verschlechtert, ist diese in eine fischgängige Riegel-Becken-Rampe umzubauen.

Die Grenze Wasser-Land ist zu verlängern, um damit die Quervernetzung zu verbessern. Dies kann durch eine pendelnde Gerinneform mit Kiesbänken und Inseln erreicht werden. Die terrestrische Längsvernetzung soll im Gewässerraum durch möglichst breite, durchgehende und standortgerechte Gehölz-Bänder gefördert werden.

Die Vernetzung mit dem Lauerzersee über die Seeweren ist durch die Entfernung des Wehrs des KW Brunnen und die Aufweitung beim Zusammenfluss zu gewährleisten.

4.3.6 Biodynamik

Mit den Zielen betreffend Geschiebe, Gerinnestruktur, Morphodynamik und Uferbereich werden die Voraussetzungen für eine naturnahe Biodynamik geschaffen. Ziel ist insbesondere die Entstehung einer Weichholzaue (EN) auf geeigneten Flächen in den Aufweitungen. Auf Pflegemassnahmen ist möglichst zu verzichten bzw. im Unterhaltskonzept sind ökologischen Kriterien entsprechend hoch zu gewichten.

4.3.7 Grundwasser und vertikale Vernetzung

Mit der Entfernung der Verbauungen sollen die Einschränkungen in der vertikalen Vernetzung weitgehend beseitigt werden. Dadurch soll die Infiltration von der Muota ins Grundwasser erhöht und beschleunigt werden.

4.3.8 Wasserqualität und Temperatur

Das Projekt hat nur einen geringen Einfluss auf die Wasserqualität. Es sollen jedoch durch genügend breite bestockte Ufer lokale Einträge ins Gewässer verhindert und die Selbstreinigungsfähigkeit des Gewässers durch eine naturnahe Biodiversität verbessert werden.

Um die Auswirkungen der Gewässererwärmung möglichst gering zu halten, sollen im Gerinne geeignete Kaltwasserrefugien in Form von tiefen Kolken und Deckungsstrukturen geschaffen werden. Die Art der Bestockung der Ufer soll eine möglichst rasche und weitgehende Beschattung im Gerinne ermöglichen. Gleichzeit sollen grosse schattenspendende Bäume möglichst belassen werden und die Verpflanzung von erhaltenswerten Gehölzen geprüft werden.

4.3.9 Organismen

Die Uferbereiche der Muota im Abschnitt sollen Lebensraum für eine standorttypische und vielfältige Tier- und Pflanzenwelt bieten. Dazu sollen Aufweitungen im Gerinne, Platz für sich eigendynamische entwickelnde Lebensräume bieten. Dazu gehören neben Pionierstandorten auch in geringem Umfang Flächen, an welchen sich Weichholzauen (EN) etablieren können, und möglicherweise stellenweise Flussuferröhricht. Im Gewässerraum wird flächendeckend eine standorttypische Vegetation weitgehend bestehend aus standortgerechten Gehölzen angestrebt. Wertvolle Waldfläche und Ufergehölze werden möglichst weitgehend erhalten, wozu auch Verpflanzungen vorgenommen werden sollen.

Die Voraussetzungen für eine möglichst gute Vernetzung mit Artenpools in der Umgebung sollen im Projektperimeter geschaffen werden. Namentlich zu den kommunalen Naturschutzzonen, den inventarisierte Einzelobjekte und dem Wald am Urmiberg rechts der Muota.

Biber und Fischotter sind geschützte Arten, welche in der Schweiz in Ausbreitung sind. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Arten innerhalb der Nutzungsdauer des

Bauwerks im Projektperimeter einfinden. Im Rahmen des Möglichen sollen die Lebensraumanforderung dieser ökologisch sehr wertvollen Arten berücksichtigt werden.

Im Gerinne soll Lebensraum für Äsche, Barbe, Nase und Bachforelle geschaffen werden, also für Kieslaicher. Dazu soll die natürliche Sohlenbreite und -dynamik wieder hergestellt sowie geeignete Strukturen zur Diversifizierung der Lebensräume errichtet werden. Die Seeforelle ist für die Durchgängigkeit massgeblich, betreffend Lebensräume ist sie jedoch nicht die Leitart.

4.4 Zielsetzungen Gesellschaft und Naherholung

Neben den ökologischen Entwicklungszielen und den Zielen des Hochwasserschutzes werden mit dem Revitalisierungsprojekt auch Ziele im Bereich Gesellschaft und Naherholung verfolgt. Namentlich soll durch das Projekt die Muota als prägendes Landschaftselement und als naturnaher Naherholungsraum für die Bevölkerung aufgewertet werden.

Basierend auf den bestehenden Planungen, behördenverbindlichen Vorgaben (vgl. Kapitel 3.2.11.3) und den Diskussionen in der Fachgruppe Naherholung[2] ergeben sich betreffend Naherholung folgende Projektziele:

- räumliche Entflechtung von Naherholung und Naturschutz
- punktueller Wasserzugang für aktives Erleben am Wasser, unter Berücksichtigung Naturschutz und Sicherheit, schaffen
- Voraussetzungen schaffen für einen Ersatzneubau oder den Erhalt des Steges Husmatt
- Naherholung am Ufer über weite Strecken ermöglichen
- Räumliche Entflechtung Langsamverkehr und Privaterschliessungen (Konflikt Hofdurchquerung Husmatt)
- gesetzliche und behördenverbindliche Vorgaben bzgl. Langsamverkehr respektieren

Aus der Nutzungsvereinbarung (Beilage 1.01) ergeben sich zudem die Vorgaben, dass im Projektperimeter keine neuen Parkplätze für den motorisierten Individualverkehr geschaffen werden sollen und dass die Zwecke der Revitalisierung (ökologische Projektziele) und des Hochwasserschutzes durch die Naherholungsinfrastruktur und ihre Nutzung Nutzungen nicht in Frage gestellt werden dürfen.

Für die die räumliche Entflechtung der Naherholung und der Natur sollen für die konkrete Planung der baulichen und raumplanerischen Massnahmen für sämtliche Projektabschnitte räumliche Schwerpunkte, folgender Kategorien definiert werden:

- **Schützen:** Naturräume werden aktiv geschützt (Lenkungsmassnahmen)
- **Rücksicht nehmen:** Naturräume werden nicht aktiv geschützt, die Zugänglichkeit wird jedoch auch nicht aktiv gewährleistet

[2] Zusammensetzung Fachgruppe Naherholung: ebs Energie AG, d Bezirk Schwyz, Gemeinde Ingenbohl, Fachstelle Langsamverkehr Tiefbauamt, Abteilung Wasserbau Amt für Gewässer und Planergemeinschaft INGE Mehrwert Muota

- **Erleben**: Erholungsräume werden aktiv angeboten, so dass das Erleben der Ufer oder ein direkter Zugang zum Gewässer möglich ist

Als Richtgrösse sind ca. 50% des Revitalisierungsabschnitts der Kategorie «schützen» zuzuordnen [40].

Das Projekt bietet die Chance, den bestehenden Nutzungskonflikt zwischen Langsamverkehr, Naherholung und Landwirtschaft zu lösen. Durch die Überbauungen in Brunnen Nord (Nova Brunnen) wird sich der Nutzerdruck auf das Naherholungsgebiet der Muota kurz- bis mittelfristig wesentlich erhöhen. Es gilt mit geeigneten (Lenkungs-) Massnahmen und einer klar definierten Wegführung eine unkontrollierte Nutzung und ausufernde Konflikte zwischen Naherholung, Natur und Landwirtschaft zu verhindern.

5 MASSNAHMENPLANUNG

5.1 Variantenstudium Wasserbau

5.1.1 Varianten Einmündung Seeweren, Vorprojekt

Im Rahmen des Variantenstudiums wurden im Vorprojekt beim Zusammenfluss der Seeweren mit der Muota zwei verschiedene Varianten geprüft. Namentlich standen folgende Varianten zur Diskussion:

- Variante C1: Schmale, hydraulisch optimierte Einmündung der Seeweren
- Variante C2: Lokale Aufweitung der Seewerenmündung, Weichholzaue

Variante C1: Schmale, hydraulisch optimierte Einmündung der Seeweren

Der Zusammenfluss von Seeweren und Muota verbleibt in etwa an der heutigen Stelle unter der Brücke Langesteg. Die Variante sieht vor die Seeweren in einem hydraulisch optimierten Winkel (schleifend, fast parallel zur Muota) in die Muota einzuleiten. Durch den Rückbau der Betonmauern und dem Stahltor bei der Einmündung kann so der Rückstau der Muota in die Seeweren im Hochwasserfall ein Stück weit reduziert werden. Vorteile der Variante sind, dass eine hydraulisch optimierte Einleitung der Seeweren erfolgen kann (reduzierter Rückstaueffekt) und die Kosten für die Umsetzung im Vergleich günstiger ausfallen (deutlich weniger Aushub). Die Nachteile sind primär ökologischer Natur. Das ökologische Potenzial des grossen, bereits bestehenden Gewässerraums wird mit einer schmalen Einmündung nicht genutzt.

Abbildung 29: Skizze aus dem Variantenstudium. Variante S1, hydraulisch optimierte Seewerenmündung

Variante C2: Lokale Aufweitung der Seewerenmündung, Weichholzaue

Eine naturnahe Morphologie der Einmündungen von Seitengewässern erhöht die Vernetzung von Fliessgewässern. Kleinräumige Massnahmen im Einmündungsbereich von Seitengewässern haben oft eine grossräumige positive Auswirkung im Einzugsgebiet [41]. Der Zusammenfluss von Seeweren und Muota als unterschiedliche Wasserkörper ist grundsätzlich ein Hotspot für Fische. Variante C2 sieht vor, den Gewässern und dem Einmündungsbereich hier möglichst viel Platz zu geben. So, dass sich das Gerinne dynamisch gestalten kann. Der bestehende, bereits rechtskräftig ausgeschiedene Gewässerraum am linken Ufer der Seeweren soll vollumfänglich für eine lokale Aufweitung der Mündung ausgenutzt werden. Die linksufrigen Uferböschungen werden zuerst steiler, und dann ab ca. Kote HQ_2 sehr flach angelegt. So soll zwischen den Gewässern die Möglichkeit für die Entstehung einer Weichholzaue geschaffen werden. Die Ufer werden flächendeckend bestockt.

Die Variante C2 wurde im Rahmen der Projektgruppensitzung[3] vom 05.04.2023 als weiterzuverfolgende Bestvariante für die Einmündung der Seeweren festgelegt. Im Rahmen der weiteren Planung wurde die Variante dann zunehmend verfeinert (vgl. Abbildung 31).

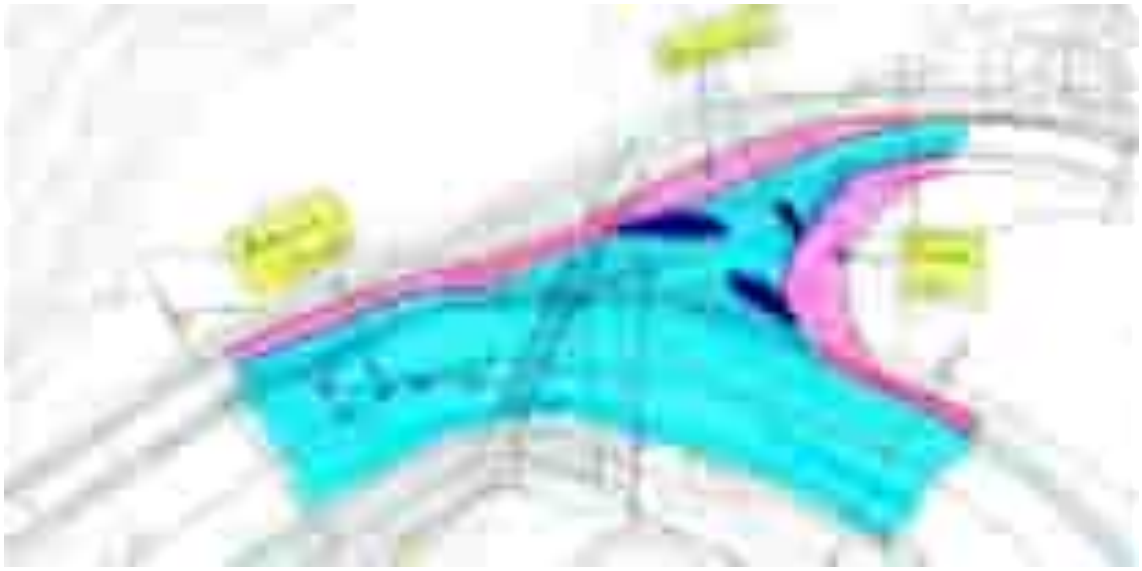


Abbildung 30: Skizze aus dem Variantenstudium. Variante C2, lokale Aufweitung der Seewerenmündung

[3] Zusammensetzung Projektgruppe: ebs Energie AG, Bezirk Schwyz, Gemeinde Ingenbohl, WWF, AquaViva, Amt für Gewässer Abteilungen Wasserbau und Fischerei, Planergemeinschaft INGE Mehrwert Muota

Abbildung 31: Weiterentwickelte Variante C2 im Vorprojekt im Rahmen der Begehung vom 18.07.2023 mit der Abteilung Fischerei, Amt für Gewässer Kt. Schwyz

5.1.2 Varianten im Bereich Seitenarm / Altarm, Vorprojekt

Die Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen zur Neukonzessionierung der Muotakraftwerke [42] sehen eine naturnahe Anbindung des unteren Teils des Unterwasserkanals an die Muota in Form eines Altarms und eine Absenkung der dazwischenliegenden Waldinsel vor.

Im Rahmen eines Variantenstudiums auf Stufe Vorprojekt wurde der Ideenfächer für diesen Bereich nochmals geöffnet. In einem ersten Schritt wurden folgende drei Varianten geprüft:

- Variante A1: Variante Altarm mit abgesenktem, nur periodisch überfluteten Auenwald (Ursprungsvariante)
- Variante A2: Variante Wässerwiesen
- Variante A3: Variante Auenlandschaft

In einem zweiten Schritt wurden im Rahmen des Vorprojekts noch die folgenden, weiteren Varianten untersucht:

- Variante A4: Lokale Aufweitung über die gesamte Breite (kompletter Abtrag der Insel zwischen der Muota und dem Unterwasserkanal)
- Variante A5: Aufweitung mit periodisch überflutetem Auenbereich und eigendynamischer Insel

Im Rahmen des Bauprojekts wurde das Variantenstudium weiter verfeinert und ausgewählte Varianten und Variantenkombinationen aus dem Vorprojekt erneut untersucht und beurteilt (vgl. Kapitel 5.1.3).

Abbildung 32: Skizze Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen, Neukonzessionierung Muotakraftwerke [42]

Variante A1: Variante Altarm mit abgesenkter Auenwaldinsel

Die Variante A1 entspricht der Ursprungsvariante gemäss dem UVB / SNP Muotakraftwerke - Ersatzbedarf und Ausgleichsmassnahmen [42]. Die Variante sieht vor, dass der Unterwasserkanal nach dem Rückbau des Kraftwerks Brunnen nicht mehr durchflossen wird und der untere Teil des Unterwasserkanals in ein natürliches Gewässer umgeformt und die Funktion eines angebundenen Altarms wahrnehmen wird. Der Altarm kann so als Rückzugsraum bei Hochwasserereignissen und als Jungfischhabitat dienen, sowie Lebensräume für weniger strömungsliebende Fischarten bieten. Im Bereich der Insel soll das Terrain so modelliert bzw. abgesenkt werden, dass es regelmässig (bei einem HQ_2) überflutet wird, so dass sich das Gebiet zu einem Auenwald entwickeln kann.

Die Projektgruppe hat an ihrer Sitzung vom 05.04.2023 die Variante V1 als mögliche Lösung akzeptiert. Die Gründe dafür sind:

- Die Variante entspricht der ursprünglichen Variante des UVB / SNP Muotakraftwerke - Ersatzbedarf und Ausgleichsmassnahmen [42] und ist sowohl bei den Gremien der Bauherrschaft als auch dem heutigen Grundeigentümer akzeptiert (vorbesprochener Landabtausch)
- Der Landerwerb für diese Variante ist realisierbar
- Der Konsum an inventarisierten Fruchtfolgeflächen ist minimal

Abbildung 33: Skizze aus dem Variantenstudium, Variante A1 Altarm

Variante A2: Wässerwiesen

Die Variante A2 Wässerwiesen würde eine Verknüpfung zwischen Natur und Landwirtschaft entstehen lassen. Der Unterwasserkanal wird analog zur Variante 1 zu einem Altarm modelliert. Die resultierende Grünfläche wird zu sogenannten Wässerwiesen umgenutzt. Wässerwiesen sind eine traditionelle, jahrhundertalte Bewässerungs- und Bewirtschaftungsform in der Landwirtschaft, welche bis ins Mittelalter zurückreichen. Sie zeichnen sich unter anderem durch eine sehr hohe Biodiversität aus und können vor allem mit zunehmenden Trockenperioden von grossem Vorteil sein. Die Wässerwiesen sollen an die einst vorherrschenden Feuchtgebiete erinnern ohne, dass das Land der Landwirtschaft gänzlich entzogen wird.

Zusätzlich sieht die Variante vor das alte Kraftwerksgebäude zu einem Besucherzentrum umzunutzen.

Abbildung 34: Skizze aus dem Variantenstudium, Variante A2 Wässerwiesen

Variante A3: Auenlandschaft

Die Variante A3 soll einer möglichen, naturnahen Flussdynamik einen maximalen Spielraum geben. Der Unterwasserkanal wird wie in A1 beschrieben zu einem Altarm umgeformt. Die resultierende Grünfläche wird zur Hälfte so modelliert werden, dass die

Entwicklung zu einem Auenwald ermöglicht wird. Weiter werden im oberen Abschnitt vereinzelt Gehölzgruppierungen stehen gelassen. Die bestehenden Gehölze sollen somit ihren Beitrag zur Uferstabilisierung leisten und anhand des Wurzelwerkes Unterschlupf für Jungfische und Flusskrebse bieten. Zuletzt soll die Schüttung oder die eigendynamische Entstehung von Kiesbänken und Pionierstandorten, die Schaffung neuer Auenbereiche fördern.

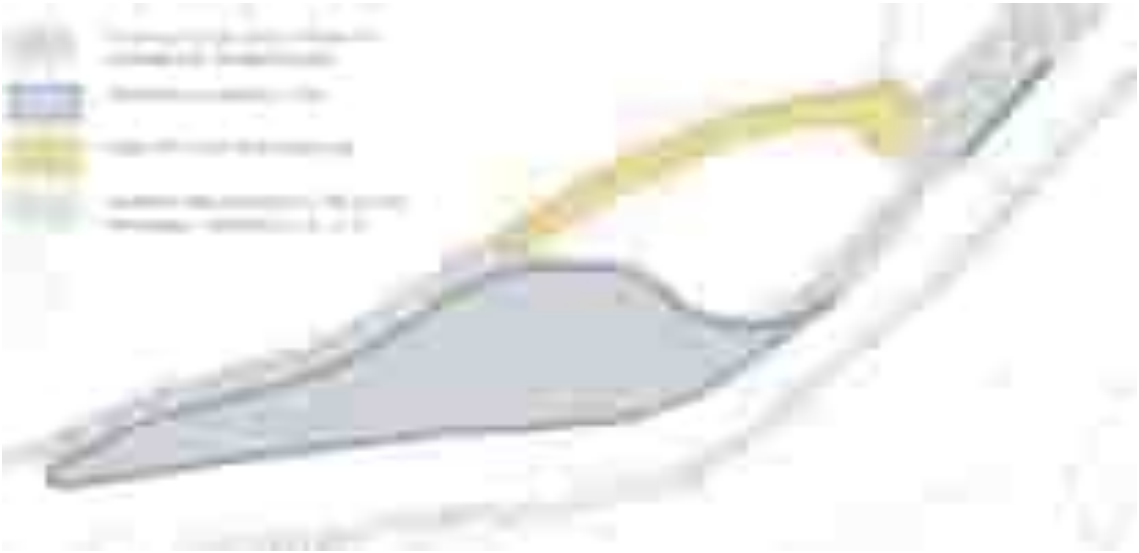


Abbildung 35: Skizze aus dem Variantenstudium, Variante A3 Auenlandschaft

Die Varianten A2 Wässerwiesen A3 Auenlandschaft wurden von der Projektgruppe an ihrer Sitzung vom 05.04.2023 aus nachfolgenden Gründen verworfen:

- Die Wiesenflächen zwischen Muota und heutigem UW Kanal sind als FFF inventarisiert. Durch das Vernässen der Wiesen (Variante A2 Wässerwiesen) wird die FFF Qualität gefährdet. Durch eine Umwandlung in eine Aue (Variante A3) würden FFF-Flächen konsumiert. Der Erhalt von FFF-Flächen geniesst einen hohen gesetzlichen Stellenwert.
- Eine Vernässung der Wiesen, vom Unterwasserkanal her, wie in der Skizze in Abbildung 34 vorgesehen, ist durch die Teilzuschüttung des UW-Kanals technisch nicht realisierbar.
- Die Varianten A2 und A3 stehen im Widerspruch zu den Interessen des Grundeigentümers. Ein Landerwerb dafür ist aus heutiger Perspektive nicht realistisch.
- Aufbau und Betrieb eines Besucherzentrums im ehemaligen Kraftwerksgebäude (Variante A2) sind weder im Interesse der Bauherrschaften (ebs Energie AG und Bezirk) noch der Gemeinde Ingenbohl

Variante A4: Lokale Aufweitung

Variante A4 sieht im Bereich des Zusammenflusses vom heutigen Unterwasserkanal und Muota eine lokale Aufweitung vor. Dabei würde der gesamte Bereich zwischen der Muota und dem heutigen UW-Kanal maschinell, bis auf das Sohlenniveau der Muota abgetragen und für eine eigendynamische Kiesbankentwicklung vorbereitet. Variante 4 wurde zugunsten der Variante A5 verworfen. Die Hauptgründe hierfür sind:

- Der maschinelle Abtrag des gesamten Waldbereichs zwischen UW-Kanal und Muota ist kostenintensiv (grosse Aushubkubaturen).
- Bestehende Naturwerte (Wald) würden gänzlich entfernt

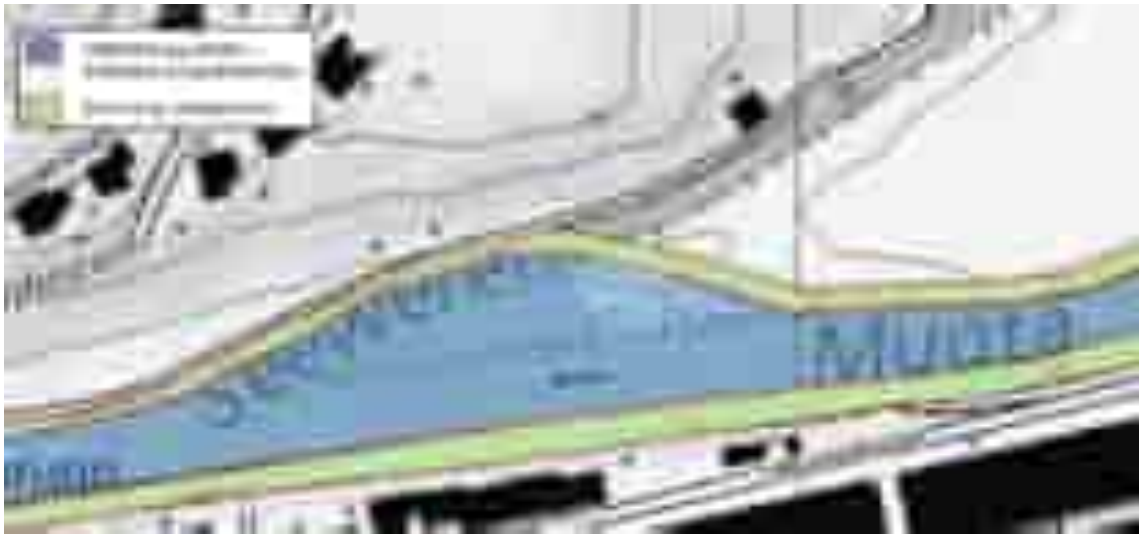


Abbildung 36: Skizze aus Variantenstudium Vorprojekt, Variante A4 lokale Aufweitung bis auf Niveau Sohle

Variante A5: Aufweitung mit periodisch überflutetem Auenbereich und eigendynamischer Insel

Im Bereich des Zusammenflusses vom heutigen Unterwasserkanal und der Muota soll mit Variante A5, wie bei Variante A4 eine weitere Aufweitung entstehen. Dabei soll die Fläche, auf welcher heute Wald ausgeschieden ist, jedoch nicht maschinell abgetragen, sondern als Insel mit heutigen Terrainniveau und bestehenden Gehölzen erhalten bleiben. Dabei ist auf der Waldfläche eine selektive Durchforstung vorzunehmen, um standortfremde Arten zu entfernen. Zwischen Insel und Gewässerraumgrenze wird das Terrain auf ein Niveau HQ_1-HQ_2 (Durchstich) abgesenkt, so wie dies in der Ursprungsvariante A1 für den gesamten Waldbereich geplant war. Der untere Teil des heutigen Unterwasserkanals wird so zum regelmässig durchflossenen Seitenarm und soll sich eigendynamisch entwickeln und z.B. als Jungfischlebensraum ausbilden können. Die Ufersicherungen im Bereich der zukünftigen Insel werden entfernt und es werden Initialmassnahmen (Anrissstellen) geschaffen. Es wird so oberhalb der Insel eine Aufweitung auf eine Breite von ca. 80 m geschaffen. Im obersten Teil des heutigen Unterwasserkanals bleibt ein kleines «Hinterwasser» bestehen. Eine gemeinsame Begehung vom 18.07.2023 mit der Abteilung Fischerei (Amt für Gewässer, Kt. Schwyz) hat ergeben, dass es aus Sicht Fischerei keine eigentlichen oder weiteren «Rückzugsgewässer» braucht.

Abbildung 37: Variante A5, entwickelt im Rahmen der Begehung vom 18.07.2023 mit der Abteilung Fischerei, Amt für Gewässer Kt. Schwyz

Die Variante A5 Aufweitung mit Insel wurde als Bestvariante in das Vorprojekt aufgenommen. Die Gründe hierfür sind:

- Die Variante entspricht der historischen Situation um 1900 (vgl. Abbildung 38)
- Mit der Variante kann ein Teil der Waldvegetation (bestehende Naturwerte) auf der Insel erhalten und einer eigendynamischen Entwicklung überlassen werden. Bei einer Niveauabsenkung der gesamten Insel (Variante A1) hätte der gesamte bestehende Waldbestand auf der Insel gerodet werden müssen.
- Der Landerwerb für diese Variante ist realisierbar
- Der Konsum an inventarisierten Fruchtfolgeflächen ist minimal. Wobei der konsumierte Anteil an FFF mit der Waldfläche überlagert (Ungereimtheit Inventar).
- Die Variante wahrt das Verhältnismässigkeitsprinzip nach GSchG Art. 37, WaG Art. 1, Art. 3, USG
- Die Variante erfüllt die Vorgabe aus der Nutzungsvereinbarung (NuV) wonach die Entwicklung einer naturnahen, dynamischen Gerinneform mit standortgerechten Sohlenstrukturen sowie naturnahen Ufern mit einer standortgerechter Ufervegetation anzustreben ist.
- Mit der Variante werden die Massnahmen Nr. 2 und Nr. 2a aus den Massnahmenblättern des UVB / SNP Muotakraftwerke - Ersatzbedarf und Ausgleichsmassnahmen [42], welche gemäss NuV integraler Bestandteil der Planung sind, weiterentwickelt und umgesetzt.

Abbildung 38: Historische Situation um 1894, gemäss dem Geoportal des Bundes (map.geo.admin.ch)

5.1.3 Weiterentwicklung des Variantenstudiums im Bereich Altarm

Im Rahmen der Prüfung des Vorprojekts durch das Bundesamt für Umwelt wurde eine Überprüfung der Variantenwahl sowie dessen Weiterentwicklung gefordert. Im Bauprojekts wurde die Variantenwahl anhand der Erkenntnisse aus der Vegetationskartierung sowie mithilfe des numerischen 2D-Modells weiterentwickelt bzw. verfeinert. Konkret wurden die Absenkung der Halbinsel zur Schaffung einer Weichholzaue sowie die Aufweitung des Hauptgerinnes erneut untersucht und beurteilt.

Aktualisierung der Vegetationskartierung

Die Vegetationskartierung durch Aquaplus hat gezeigt, dass der bestehende Wald auf der Halbinsel kaum Arten enthält, welche für eine Auenlandschaft typisch sind. Bei einer kompletten Rodung der Insel z.B. zugunsten der Absenkung der kompletten Halbinsel (Variante A1) würden deshalb, entgegen der Annahme im Vorprojekt, keine auentypischen Vegetationen und wertvollen Naturwerte verloren gehen.

Neuerliche Überprüfung Variante Absenkung der gesamten Halbinsel

Aufgrund der Erkenntnisse aus der Vegetationskartierung wurde die Variante A1 mit einer Absenkung der gesamten Halbinsel erneut geprüft. Um ideale Bedingungen für das Aufkommen einer Weichholzaue zu schaffen, müsste die Fläche während rund einem Drittel des Jahres überflutet werden und somit das Terrain um ca. drei Meter abgesenkt werden. Diese Geometrie wurde im numerischen 2D-Modell in morphologischen Langzeitsimulationen untersucht (vgl. Kapitel 5.3.5). Die Ergebnisse zu den Sohlen- und Wasserspiegellagen im Bereich des Altarms zeigten, dass eine Terrainabsenkung in diesem Bereich nur von kurzer Dauer ist. Aufgrund der Lage unterstrom einer Rechtskurve (Kurveninnenseite) und des für die Aufweitung zur Verfügung stehenden Raums wird in diesem Bereich viel Geschiebe abgelagert. Dadurch entsteht eine Kiesbank mit einem Niveau, welches deutlich über der erforderlichen Kote für eine Weichholzaue liegt. Die Lage der Kiesbank entspricht in etwa der Geometrie der heutigen Halbinsel. Als Fazit ist festzuhalten, dass mit einer starken, maschinellen Absenkung

der gesamten Halbinsel der Lebensraum Weichholzaue nicht nachhaltig initiiert werden kann.

Teilweise Aufweitung der Muota

Im Folgenden wurde im numerischen 2D-Modell untersucht, ob mit grossen Strukturelementen im Gerinne, Lenkbuhnen am linken Ufer sowie lokalen Aufweitung des Gerinnes auf der rechten Seite die gewünschten morphologischen Strukturen und Zielle-bensräumen geschaffen werden können. Gleichzeitig wurde eine Teilabsenkung der Halbinsel (analog der Bestvariante aus dem Vorprojekt) im numerischen Modell untersucht, so dass der Altarm regelmässig von oben durchströmt wird. Die Resultate zeigten, dass mit einer durchgehenden, lokalen Aufweitung, trotz der Berücksichtigung grosser Strukturelemente, nicht die gewünschte Dynamik erreicht werden kann.

Es ist zu beachten, dass die Prozesse in der Teilaufweitung in einem 2D-Modell nur näherungsweise wiedergegeben werden können. In Realität auftretende, dreidimensionale Strömungsprozesse, welche zu lokalen Erosionen und Kolkbildungen führen können, sind aufgrund des tiefengemittelten Ansatzes nicht abgebildet. Die im Modell festgestellte Tendenz zur Ablagerung von Geschiebe und Aufschüttung einer Kiesbank in der rechtsseitigen Aufweitung ist jedoch plausibel und wird in Natur auftreten.

Die realen Koten der Geschiebe-Ablagerungen werden im Modell tendenziell überschätzt. Im Gegenzug muss jedoch berücksichtigt, dass Feinmaterialien wie Sand und Schluff im 2D-Modell nicht simuliert wurden und in Natur, z.B. nach einem Hochwasserereignis, abgelagert werden. Die vorhandene Vegetation wird diesen Prozess verstärken. Die im 2D-Modell ermittelten Koten sind somit plausible Richtwerte; Nach der Umsetzung des Projekts ist der Bereich des Altarms im Rahmen des Unterhalts regelmässig zu bewerten. Bei Bedarf sind lokale Geschiebeentnahmen zur Anpassung der Koten des überströmbaren Bereichs vorzusehen.

Bestvariante Bauprojekt

In weiterer Folge wurden im 2D-Modell unter enger Zusammenarbeit von Aquaplus und HZP diverse Varianten untersucht und optimiert. Die gewählte Bestvariante ist eine Kombination folgender Massnahmen:

- Eine Lenkbuhne am linken Ufer soll die Strömung gegen das rechte Ufer lenken.
- Auf der rechten Seite wird die Ufersicherung entfernt und das bestehende Gerinne um bis zu 9 m verbreitert.
- Die obersten ca. 50 m der Halbinsel zwischen der Muota und dem Altarm werden derart abgesenkt, dass der Bereich bis zu 50 Tage im Jahr lokal überströmt wird. Die Absenkung erfolgt mit unregelmässigen Terrainhöhen (438 m ü.M. bis 438.5 m ü.M.), und wird im Lauf der Jahre durch Ablagerungs- und Erosionsprozesse umgestaltet. Als Richtwerte für die Bestimmung der Überströmungshäufigkeit dienen die Werte der Dauerkurve am Pegel Ingenbohl. Für das Variantenstudium wurden Abflusswerte zwischen 50 und 90 m^3/s untersucht (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Abflussvariationen im Bereich Altarm mit Überschreitungstagen pro Jahr gemäss Pegel Ingenbohl und Wasserspiegellagen bei überströmbarem Bereich

Abfluss [m^3/s]	Überschreitungstage pro Jahr (Grundlage: Dauerkurve Pegel Ingenbohl [4])		~ WSP bei überströmbarem Bereich [m ü.M.]
	nasses Jahr (1999)	trockenes Jahr (2003)	
90	Q10	Q1-2	438.5
80	Q15	Q1-2	438.4
70	Q25	Q2	438.3
60	Q35	Q3	438.14
50	Q55	Q4	438

- Ein Teil des entstehenden Aushubs wird verwendet, um am linken Ufer, im Strömungsschatten der Buhne, eine Kiesbank zu schütten. Am Rand der Kiesbank sorgen Pfahlreihen für mehr Dynamik. Die neue Kurvensituation und die fehlende Ufersicherung am rechten Ufer führen dazu, dass eigendynamische Uferanrisse und Kolke entstehen können.

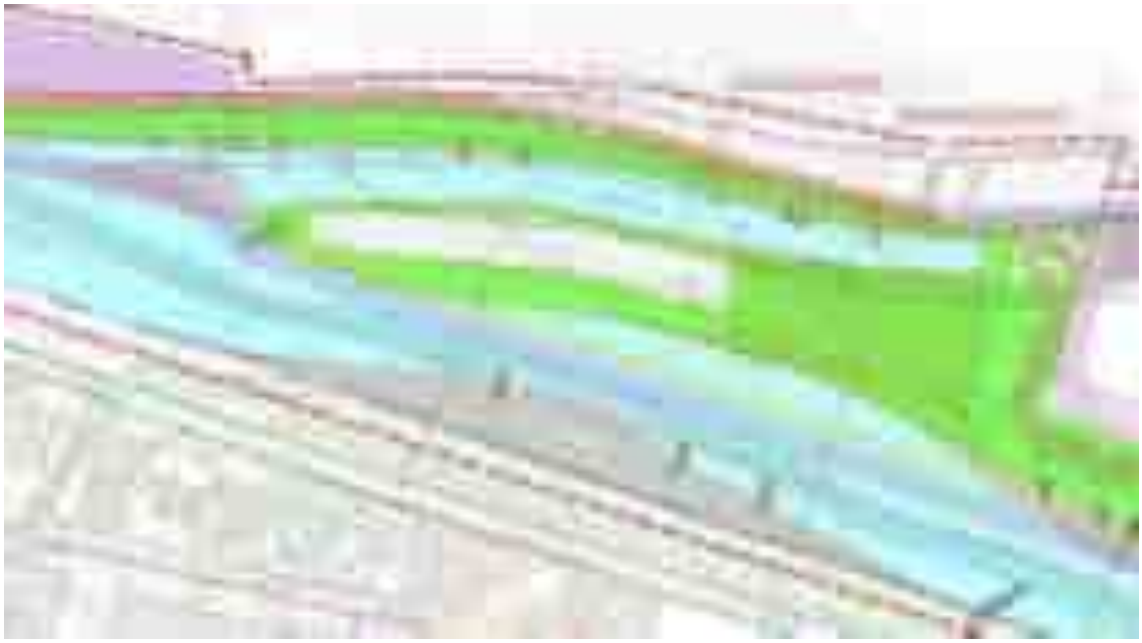


Abbildung 39: Bestvariante Bauprojekt

5.1.4 Varianten im Gerinne der Muota

Für den Teilabschnitt zwischen der Brücke Langensteg und dem Kraftwerksgebäude des KW Brunnen wurden im Rahmen des Variantenstudiums des Vorprojekts verschiedene Varianten und Teilaspekte diskutiert. Für die Realisierung der eigentliche Gerinneverbreiterung wurden zwei mögliche Varianten diskutiert.

Variante B1: Gerinneverbreiterung bis und mit UK-Kanal

Die Variante B1 sieht eine Gerinneverbreiterung der Muota bis an das rechte Ufer des heutigen Oberwasserkanals, gemäss den Massnahmenblättern des UVB / SNP Muotakraftwerke - Ersatzbedarf und Ausgleichsmassnahmen [42], vor. Dies entspricht dem vorbesprochenen Landabtausch und ist sowohl bei den Gremien der Bauherrschaft als auch den heutigen Grundeigentümern voraussichtlich akzeptiert (vgl. Abbildung 40).

Variante B2: Gerinneverbreiterung mit differenziertem Landerwerb

Variante B2 sieht eine ggü. den Massnahmenblättern differenzierte Gerinneverbreiterung vor. Namentlich würde ein grösserer Landerwerb zur Maximierung der lokalen Aufweitung im Abschnitt der Innenkurve bei Gewiss Nr. 2527 bis Gewiss Nr. 2311 auf Kosten der Gerinnebreite weiter flussabwärts zwischen gewiss Nr. 2192 bis Gewiss Nr. 2016 erfolgen. In der Summe bliebe der Landerwerb gleich (vgl. Abbildung 41).

Die Projektgruppe hat an ihrer Sitzung vom 05.04.2023 entschieden Variante B1 weiterzuverfolgen, da bei dieser Variante mit Blick auf den Landerwerb die Realisierbarkeit gegeben ist.

Abbildung 40: Skizze Variante B1, Gerinneaufweitung bis und mit UW-Kanal

Abbildung 41: Skizze Variante B2, Gerinneaufweitung mit differenziertem Landerwerb

Maximierung Gerinnesohlenbreite

Weiter wurde diskutiert, ob die Gerinnesohlenbreite maximiert werden soll, indem steile Böschungen ausgebildet werden (mehr Sohlenbreite auf Kosten von flachen Ufern) und indem im Abschnitt Gewiss Nr. 2956 bis Gewiss Nr. 2641 die rechte Kanalmauer erhalten und in den Uferverbau integriert wird. Beide Ideen wurden von der Projektgruppe aus folgenden Gründen verworfen:

- Die Ufer sollen grundsätzlich naturnah und mit abwechslungsreichen Böschungsneigungen ausgebildet werden. Auch bei den Uferböschungen ist eine Strukturvielfalt anzustreben, d.h. es sollen sowohl steile (n = 2:3) als auch flache Ufer (n = 1:2, 1:3) vorkommen.
- da die Sohle der Muota tiefer liegt als diejenige des Kanals, würde das Stehenlassen der Kanalmauer als Ufermauer im Abschnitt Gewiss Nr. 2956 bis Gewiss Nr. 2641 ein aufwändiges Unterfangen der Mauer nach sich ziehen
- das Stehenlassen der rechten Kanalmauer im Abschnitt Gewiss Nr. 2956 bis Gewiss Nr. 2641 stünde im Widerspruch zur angestrebten Durchgängigkeit des Wildtierkorridors, welcher an dieser Stelle die Muota quert.

5.2 Hydraulische Modellierung

Im Rahmen des Revitalisierungsprojekts wurden zur Ermittlung der Wasserspiegellagen im Projektzustand sowie zur Prognose der Sohlentwicklung hydronumerische 2D-Simulationen mit dem Modell „HydroAS“ sowie dessen Erweiterung zur Simulation des Feststofftransports „HydroAS FT“ durchgeführt.

5.2.1 Software HydroAS (Klarwasser)

Das zweidimensionale Strömungsmodell HydroAS ermöglicht die Simulation komplexer hydraulischer Prozesse. Die Grundlage bilden strukturierte und unstrukturierte Berechnungsgitter, auf welchen die tiefengemittelten zweidimensionalen Flachwassergleichungen (Kontinuitätsgleichung und Impulsgleichung) gelöst werden.

Der zweidimensionale (2D) Ansatz geht von einer hydrostatischen Druckverteilung im Wasserkörper aus. Vertikale Strömungskomponenten, bzw. die variable Verteilung der Fliessgeschwindigkeiten über die Wassertiefe, werden entsprechend vernachlässigt. Die pro Berechnungselement bzw. -zelle ermittelten Lösungen sind tiefengemittelt, d.h. es wird pro Zelle jeweils ein Ergebniswert, beispielsweise für die Fließgeschwindigkeit oder die auftretende Schubspannung, ausgegeben.

Für flächige Strömungsvorgänge, wie beispielsweise Dammbrüche, der Ermittlung von Überflutungsflächen oder die Abflussaufteilung zwischen Hauptgerinnen und Vorländern sind tiefengemittelte Verfahren der Stand der Technik. Lokale, stark dreidimensionale Strömungen, wie beispielsweise die Bildung von Kolken an Einzelstrukturen, können mit diesen Verfahren jedoch nicht vollumfänglich abgebildet werden. Dies gilt auch für Sekundärströmungen, welche unter anderem für die Seitenerosion an Prallufern maßgebend sind.

Für die Durchführung von numerischen Simulationen mit HydroAS ist eine Aufteilung des zu berechnenden Gebietes in eine definierte Anzahl von Elementen („Diskretisierung“) erforderlich. Die räumlichen Informationen werden zu diesem Zweck durch drei- oder viereckige Elemente dargestellt. Durch diese Abstraktion können die räumlichen Eigenschaften und die Topografie des Gebiets naturnah wiedergegeben werden. Die Flachwassergleichungen werden für jedes Element (resp. Kontrollvolumen) des Berechnungsgitters nach der Finite-Volumen-Methode gelöst. Der Strömungswiderstand wird über Rauheitsbeiwerte berücksichtigt, die für jedes Element des Berechnungsgitters einzeln bestimmt werden können.

5.2.2 Modellaufbau und -perimeter

Folgende Daten dienten als Grundlage für den geometrischen Aufbau des numerischen 2D-Modells:

- Querprofile Muota und Seeweren gemäss Bauprojekt im Projektperimeter (Gewiss-Adr. 3143 bis 1576)
- Vermessungskampagne des BAFU an der Muota 2015 (Quer- und Längsprofile)
- Vermessungskampagne des BAFU an der Muota 2024 (Quer- und Längsprofile)
- Querprofile Seeweren, Stand 2023
- Brückenquerprofile BAFU bzw. Projektgrundlagen des geplanten Neubaus der Langenstegbrücke (Drittprojekt)
- Terrainmodell swissALTI3D (swisstopo), Stand 2019
- AV-Daten (swisstopo), Extraktion aus map.geoadmin.ch

Zwischen GEWISS-Adresse 1445 und 3143 wurde der Projektzustand nachgebildet. Ober- und unterstrom bildete die BAFU-Vermessung der Muota von 2015 die Grundlage (Abbildung 42), während die Daten von 2024 zur Bewertung der seitdem erfolgten Sohlentwicklung dienten.

Abbildung 42: Modellperimeter Muota und Seeweren im 2D-Modell sowie Darstellung der verwendeten Querprofildaten

Der Perimeter des numerischen Modells wurde gegenüber dem Projektperimeter sowohl unter- als auch oberstrom um je rund 400 m verlängert. Auf diese Weise erfolgte keine Beeinflussung der Simulationsergebnisse durch die ober- sowie unterstrom definierten Randbedingungen des Modells. Ausserdem ermöglichte die Verlängerung des Modellperimeters die Nachbildung des Bereichs rund um die Wylerbrücke gemäss Ist-Zustand und somit die hydraulische Plausibilisierung des Modells auf der Basis von Hochwasserspuren des Ereignisses im August 2005 (vgl. Kapitel 5.2.4).

Es wurden zwei Varianten des 2D-Modells aufgebaut und betrieben (Abbildung 43):

A) Modell mit ausschliesslicher Nachbildung des Gerinnes («Flussschlauch»)

In dieser Variante wurde das Gerinne der Muota bis zur Oberkante der Ufer oder anderer angrenzender Bauwerke nachgebildet, inklusive des Einmündungsbereichs der Seeweren sowie einer Fliessstrecke der Seeweren von ca. 300 m oberstrom. Das ausserhalb liegende Umland war nicht im Berechnungsgitter enthalten, entsprechend konnten keine Ausuferungen simuliert werden.

Die auf diesem Modell aufbauenden numerischen Simulationen dienten zur Definition der massgebenden Wasserspiegellagen und in weiterer Folge zur Definition resp. Überprüfung der Höhen der Uferoberkanten unter Berücksichtigung des erforderlichen Freibords.

Das Berechnungsgitter des Gerinnes verfügt über rund 20'780 Elemente. Die mittlere Elementfläche beträgt ca. 8 m^2, bei Kantenlängen von 3-4 m.

B) Modell mit Umland

Nach der Definition der Uferoberkanten und anderer relevanter Koten wurde das Berechnungsgitter mit dem Umland (Grundlage swissALTI3D und AV-Daten) erweitert. Die anschliessenden Simulationen dienten zur Überprüfung der Fliesswege im Hochwasserfall sowie der Erstellung der Gefahren- und Intensitätskarten nach Massnahmen.

Das Berechnungsgitter mit Umland verfügt über 89'215 Elemente. Die mittlere Elementfläche und Kantenlänge sind mit dem Modell des Flussschlauchs identisch.

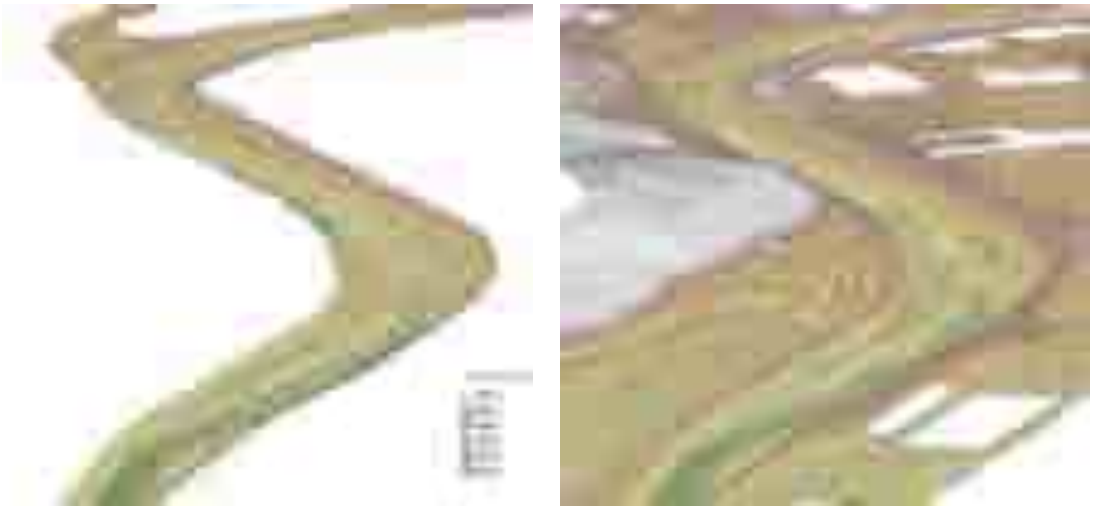


Abbildung 43: Ansicht der Berechnungsgitter des numerischen 2D-Modells; links: Modell «Flussschlauch» ohne Umland, rechts: Modell mit Nachbildung des Umlands

5.2.3 Randbedingungen

Im numerischen Modell wurden rein hydraulische Simulationen („Klarwasser“) sowie Simulationen mit Berücksichtigung des Feststofftransports („morphologische Simulationen“) durchgeführt. Das Modell verfügt über drei Randbedingungen:

Oberer Modellrand

- Zulauf Muota: stationäre resp. instationäre Zugabe der dem Szenario entsprechenden Abflussmenge; bei morphologischen Simulationen erfolgte die Zugabe des Geschiebes am gleichen Standort
- Zulauf Seeweren: stationäre resp. instationäre Zugabe der dem Szenario entsprechenden Abflussmenge der Seeweren; keine Zugabe von Geschiebe bei morphologischen Simulationen.

Unterer Modellrand

- Auslauf Muota: Randbedingung Typ «Normalabfluss» unter Annahme eines Energieliniengefälles von 3‰.

5.2.4 Hydraulische Kalibrierung

Für die Kalibrierung des 2D-Modells und die Plausibilisierung der im Modell ermittelten Wasserspiegellagen wurde auf eingemessene Hochwasserspuren des Ereignisses vom 22./23. August 2005 zurückgegriffen. Gemäss der BAFU-Abflussmessstation Ingenbohl [4] betrug der Spitzenabfluss 433 m^3/s, dies entspricht dem bisher höchsten an dieser Station gemessenen Abfluss und einer Wiederkehrperiode von >150 Jahren. Beim Ereignis kam es zu einer Teilverklausung der Wylerbrücke mit Schwemmholz im Bereich des linken Ufers. Zwischen Gewiss-Adr. 1883 und 1132, wurden nach dem Ereignis Hochwasserspuren aufgenommen (vgl. Längenprofil in Abbildung 46).

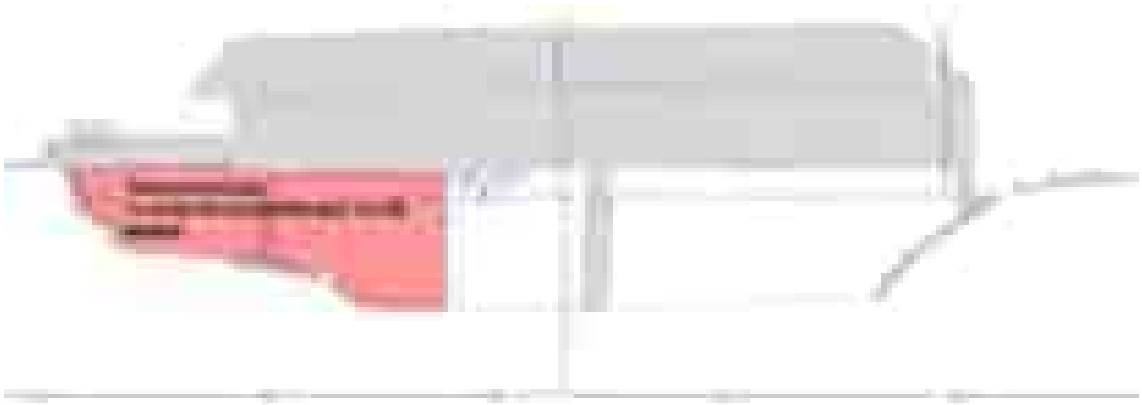


Abbildung 44: Schematische Darstellung der Nachbildung der Teilverklausung im 2D-Modell

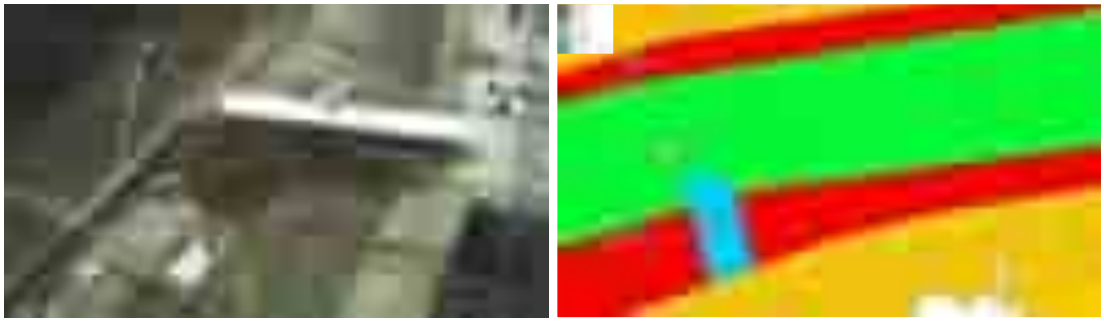


Abbildung 45: links: Teilverklausung bei physikalischen Modellversuchen am LCH-EPFL zur Untersuchung des Verklausungsrisikos der Wylerbrücke; rechts: Abbildung der Teilverklausung im Berechnungsnetz des 2D-Modells (blauer Bereich, Fliessrichtung von rechts nach links; Die Pfeiler der Brücke wurden aus dem Berechnungsgitter ausgeschnitten)

Die Kalibrierung des Modells erfolgte durch iterative Variationen der Rauheitsbeiwerte nach Strickler, bis die Hochwasserspuren im 2D-Modell in ausreichender Genauigkeit nachgebildet werden konnten (vgl. Längenprofil in Abbildung 46 und Rauheitsbeiwerte in Tabelle 9Tabelle 9).

Für die Nachbildung der Teilverklausung wurde angenommen, dass rund 2/5 des Durchflussprofils ab dem linken Ufer verklaust waren. Dieser Teil des Durchflussprofils wurde mit hohem Rauheitsbeiwert als schlecht durchströmbare Fläche abgebildet (vgl. Abbildung 44 und Abbildung 45).

Abbildung 46 zeigt eine Gegenüberstellung der Hochwasserspuren mit den gemittelten Wasserspiegellagen des 2D-Modells. Aufgrund der Teilverklausung an der Wylerbrücke kam es oberstrom der Brücke zu Rückstau mit geringeren Fliessgeschwindigkeiten, folglich liegen die Hochwasserspuren ca. im Bereich der im 2D-Modell ermittelten

mittleren Wasserspiegel. Unterstrom der Wylerbrücke herrschte freier Abfluss; Aufgrund der Wellenbildung sind die Hochwasserspuren zwischen den mittleren Wasserspiegeln und der Energielinie verortet.

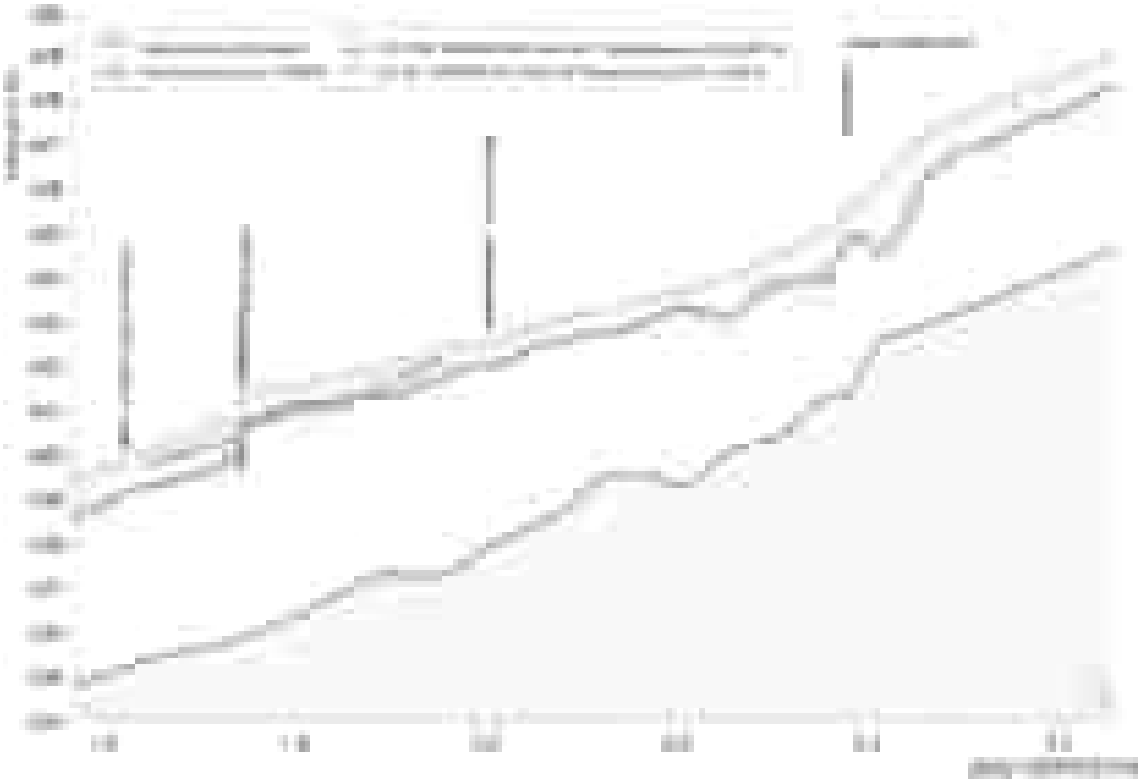


Abbildung 46: Längenprofil der Modellplausibilisierung anhand der Hochwasserspuren von 2005

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die während des Hochwassers 2005 herrschenden hydraulischen Prozesse im 2D-Modell korrekt wiedergegeben werden und dieses somit für die Untersuchung von Projektzuständen prognosefähig ist.

5.2.5 Rauheitsbeiwerte

Im Rahmen der Kalibrierung wurden die für die Projektuntersuchung massgebenden Rauheitsbeiwerte wie folgt festgelegt:

Tabelle 9: Rauheitsbeiwerte für 2D-Modellierung

Bereich	**Rauheitsbeiwert nach Strickler kst** [$m^{1/3}/s$]
Sohle	30
Ufer	20
Wiese / überströmbarer Bereich bei Altarm	25
Auwald	20
Strukturelemente	10
Strassen	50
Teilverklausung Wylenbrücke	3

Die Bestockung des Ufers wurde im Modell durch die Annahme entsprechender Rauheitsbeiwerte abgebildet. Im parallel zum vorliegenden Auftrag betriebenem numerischen 2D-Gesamtmodell des Unterlaufs der Muota (Auftrag des Amts für Gewässer Kt. SZ ausserhalb des Revitalisierungsprojekts) wurde die Pegel-Abfluss-Beziehung der BAFU-Messstation Ingenbohl im numerischen Modell nachgebildet. Die beste Übereinstimmung wurde mit einem Rauheitsbeiwert für die Ufer von 20 $m^{1/3}/s$ erreicht. Dieser Wert wurde für die Simulationen im Rahmen des Revitalisierungsprojekts übernommen. Die Beiwerte anderer bewachsener Flächen (z.B. Auwald) wurde auf Basis von Erfahrungswerten und Literaturwerten definiert.

5.3 Morphologische Modellierung

5.3.1 Erweiterung HydroAS FT (Feststofftransport)

In HydroAS können mittels der Erweiterung «FT» Simulationen zum Feststofftransport durchgeführt werden.

Der Aufbau der Sohle wird durch ein Mehrschichtmodell abgebildet, welches von Roni Hunziker entwickelt wurde (nach Hirano 1971). In diesem Ansatz werden der Sohlaufbau, die Entwicklung der Kornverteilung sowie der Geschiebetransport durch 3 Schichten abgebildet: Grundschicht, Unterschicht und Aktivschicht. Durch diese Abstraktion des vertikalen Aufbaus der Sohle können Entmischungsprozesse, wie z.B. die Bildung von Deckschichten oder die Ablagerung von feineren Komponenten auf Kiesbänken, naturnah simuliert werden.

Die Kornverteilung der Grundschicht ist im Modell zu Simulationsbeginn zu definieren (vgl. Kapitel 5.3.1). Die Kornverteilungen der Austausch- und Unterschicht entsprechen bei Simulationsbeginn jener der Grundschicht, und werden im Verlauf der Simulationen laufend verändert. Die Kornverteilung der Grundschicht kann sich auch verändern, deren Reaktion ist jedoch deutlich träger.

Zusätzlich zu den in HydroAS gelösten Strömungsgleichungen wird in jedem Zeitschritt der numerischen Modellierung der Feststofftransport von Geschiebe für jede angegebene Kornfraktion ermittelt. Die resultierenden Sohlenveränderungen werden auf Basis der Exner-Gleichung für jede simulierte Fraktion separat bestimmt. Anschliessend wird die gesamte Veränderung der Sohle durch Summierung der einzelnen Veränderungen berechnet.

5.3.2 Kornverteilung Sohlmaterial

Die möglichst realitätsnahe Bestimmung der Kornverteilung des Sohlmaterials ist eine der wichtigsten Grundlagen für die erfolgreiche Durchführung von numerischen Simulationen des Feststofftransports.

Zu deren Bestimmung wurden – in Ergänzung der Massnahmenstudie „Sanierung Geschiebehaushalt Muota“ der Beffa Tognacca GmbH [7] – durch HZP am 03. Mai 2024 jeweils zwei Linienproben an drei Standorten oberstrom des Projektgebiets erhoben:

- Ibach, Kiesbank am rechten Ufer unterstrom Brücke Laimgasse (CH1903+/LV95 2'691'930 / 1'206'830)
- Ibach, Kiesbank am linken Ufer unterstrom Brücke Gotthardstrasse (CH1903+/LV95 2'691'642 / 1'207'393)
- oberstrom Langestegbrücke (CH1903+/LV95 2'689'748, 1'207'375)

Die Kornverteilungen der 6 Linienproben wurden gemittelt und dienten als Grundlage für die Definition des Sohlmaterials sowie des zugegebenen Geschiebes im numerischen Modell[4]. Abbildung 47 zeigt eine Gegenüberstellung der durch HZP ermittelten Kornverteilungen mit den Grundlagendaten der Beffa Tognacca GmbH.

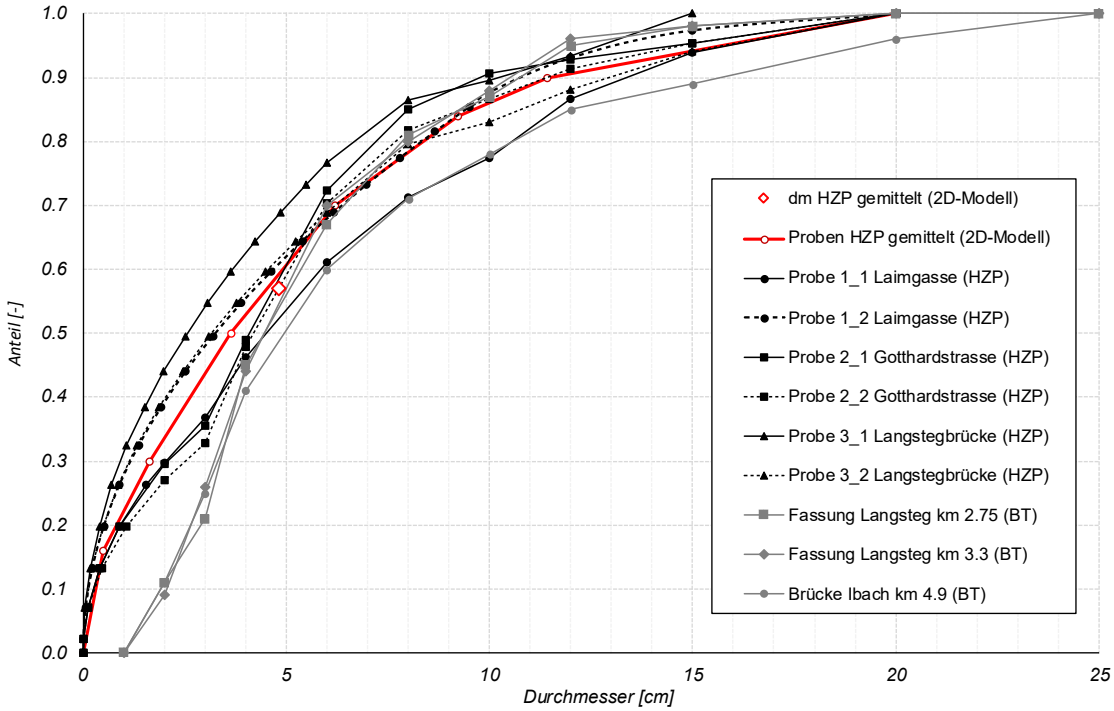


Abbildung 47: Kornverteilungen oberstrom des Projektgebiets; Aufnahme durch HZP (in schwarz) sowie Grundlagendaten der Beffa Tognacca GmbH (in grau) an vergleichbaren Standorten. Die von HZP im 2D-Modell verwendete gemittelte Kornverteilung sowie der resultierende charakteristische Korndurchmesser dm sind in rot dargestellt.

Die Gegenüberstellung der charakteristischen Korndurchmesser zeigt, dass die Kornverteilung oberstrom des Projektgebiets gemäss HZP feiner ist als in der Grundlagenstudie von Beffa Tognacca angegeben (Tabelle 10).

Tabelle 10: Charakteristische Korndurchmesser dm und d90 gemäss Beffa Tognacca und HZP

	Studie Beffa Tognacca [7]**, 2018**	**HZP, 2024**
Korndurchmesser dm	7 cm	4.8 cm
Korndurchmesser d90	14 cm	12 cm

[4] Potenzielle Entmischungsprozesse, durch welche das «laufende» Geschiebe feiner ist als das Sohlmaterial, finden am oberen Modellrand auf den ersten Dezimetern statt. Das Modell reguliert die bei kleinen und mittleren Abflüssen transportierbaren Korndurchmesser somit selbst.

Für die morphologischen Simulationen im Revitalisierungsprojekt diente die gemittelte Kornverteilung gemäss der Beprobung durch HZP als Grundlage für die Definition des Sohlenmaterials und die Kornverteilung des am oberen Modellrand zugegebenen Geschiebes. Die Kornverteilung wurde im numerischen Modell durch 7 Fraktionen nachgebildet.

Die Sohle wurde im gesamten Modell als beweglich definiert, mit Ausnahme der bestehenden Schwelle beim ARA-Kanal im Bereich der SBB-Brücke (GEWISS-QP 3298). In diesem Bereich wurde die Sohle über die gesamte Gerinnebreite auf die Werte gemäss der BAFU-Vermessung 2015 resp. 2024 fixiert (Abbildung 48). Die Sohle konnte im Modell entsprechend nicht erodiert werden, Auflandungen waren jedoch möglich.

Abbildung 48: Schwelle zur Sicherung des ARA-Kanals bei GEWISS-QP 3298

5.3.3 Rauheitsbeiwerte bewegliche Sohle

Für die Simulationen mit Geschiebetransport in HydroAS FT wurde der Rauheitsbeiwert der Sohle nach Yalin (2001) auf Basis der vorliegenden Kornverteilung bestimmt. Gemäss diesem Ansatz wird die – als Ergebnis der Mehrkornmodellierung – vorliegende Verteilung der Fraktionen in der Aktivschicht für die Ermittlung der Rauheitsbeiwerte verwendet. Feine Fraktionen haben durch diesen Ansatz einen geringeren Strömungswiderstand als gröbere Fraktionen. Dies wirkt sich auch die Bestimmung der Schubspannungen und somit auf den Geschiebetransport aus.

Diese dynamische Bestimmung der Rauheitsbeiwerte wird für sämtliche Knoten des Berechnungsgitters, welche während einer Simulation benetzt werden und in denen Geschiebetransport stattfindet (lokale Überschreitung der kritischen Schubspannung), angewendet. Für alle anderen Knoten ausserhalb des Gerinnes, bzw. welche nicht benetzt werden, gelten die in Tabelle 9 (vgl. Kapitel 5.2.5) angegeben Rauheitsbeiwerte.

5.3.4 Geschiebefrachten

Die an der Muota auftretenden jährlichen Geschiebefrachten wurden der Studie zur Sanierung des Geschiebehaushalts von Beffa Tognacca übernommen [7]. Die bilanzierten Geschiebefrachten der Muota auf Höhe der Mündung der Seeweren betragen im Bestand rund 5‘000 m³/a; nach Umsetzung der Geschiebesanierung ist von einem jährlichen Eintrag von rund 9‘000 m^3/a auszugehen (vgl. Kapitel 3.2.2, Abbildung 2).

5.3.5 Ganglinien Langzeitsimulationen

Für die Überprüfung der mittelfristigen Sohlentwicklung wurden Langsimulationen auf der Basis von historischen Abflussdaten des Pegels Ingenbohl durchgeführt. Auf Basis der 10-min Abflusswerte sowie der Dauerkurven des Pegels wurden jene Jahre ermittelt, welche den Geschiebetransport in Normaljahren im betrachteten Abschnitt der Muota plausibel und repräsentativ abbilden.

Bei der Wahl der zu nutzenden historischen Abflussdaten wurde durch die Gegenüberstellung der Dauerlinien sichergestellt, dass die jeweiligen Zeiträume resp. Abflüsse repräsentativ sind und nicht hydrologisch stark «trockene» oder übermässig «nasse» Jahre genutzt werden. Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass die für morphologische Veränderungen und das Erreichen eines ausgeglichenen Geschiebetransports notwendigen Zeiträume nicht stark über- oder unterschätzt werden.

Basierend auf der Einordnung der jeweiligen Jahre innerhalb der umhüllenden Dauerkurven sowie den mittleren Abflüssen wurden folgende Jahre als repräsentativ definiert:

- 2013
- 2016
- 2019
- 2021

Die Jahresganglinien wurden vor dem Einsatz im 2D-Modell mit einem unteren Abflussgrenzwert beschnitten. Auf diese Weise wurden Abflüsse und Zeiträume, in denen kein oder nur sehr geringer Geschiebetransport stattfindet, aus den Ganglinien entfernt und die Simulationszeiten konnten optimiert werden. Massgebend sind die Grenzwerte für den Geschiebetransportbeginn Q_0 sowie für das Aufbrechen einer allfällig vorhandenen Deckschicht Q_D.

Im Ist-Zustand liegt der Geschiebetransportbeginn Q_0 oberstrom des Projektgebiets bei ca. 60 m^3/s (Annahmen: mittl. Sohlenbreite 25 m, Sohlgefälle 3.4‰, Böschungsneigung 2:3). Die Pegelaufzeichnungen des Pegels Ingenbohl (10-Min-Abflusswerte) der gewählten Jahre wurden mit diesem Abflusswert beschnitten (Abbildung 49).

Die derart ermittelten repräsentativen Jahresganglinien wurden jeweils als zusammenhängender Block à 4 Jahren simuliert.

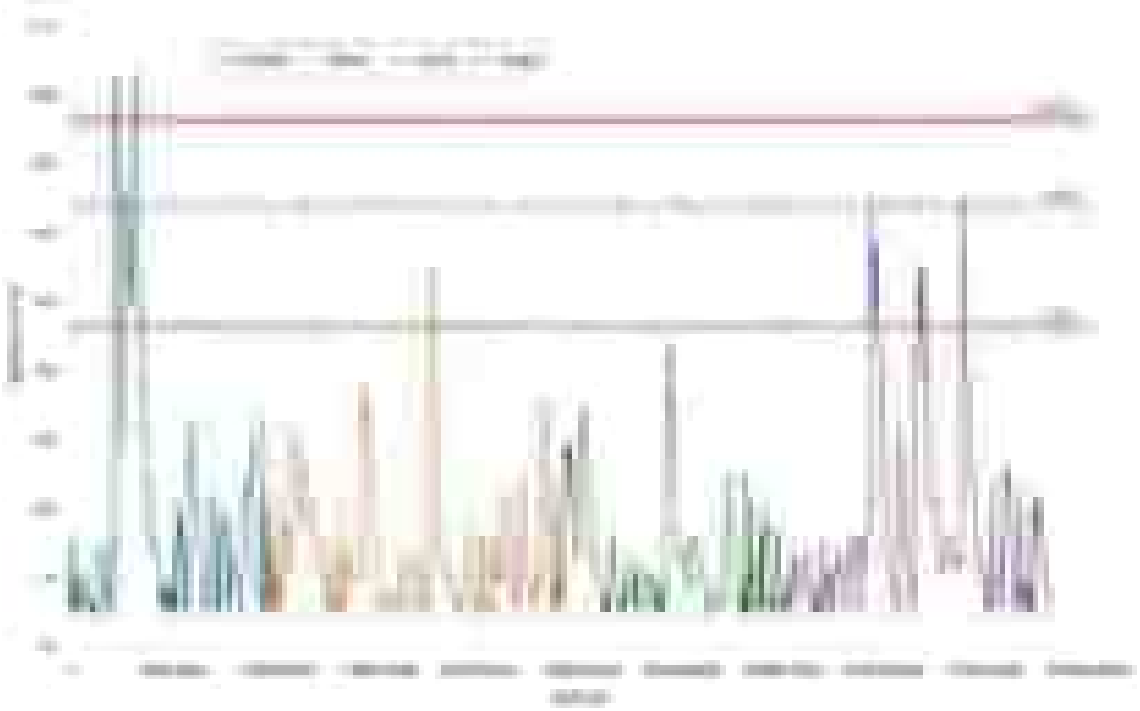


Abbildung 49: Abflussganglinien der repräsentativen Jahre 2013 / 2016 / 2019 / 2021

Der Geschiebeeintrag am oberen Modellrand wurde auf Basis der mittleren jährlichen Einträge im Ist-Zustand (5'000 m^3/a, Kapitel 3.2.2) sowie im sanierten Zustand (9'000 m^3/a, Kapitel 3.2.2) festgelegt und mittels einer Geschiebefunktion in Abhängigkeit der Abflusswerte definiert. Als Zielwert galt jeweils der Gesamteintrag über 4 Jahre von 20'000 m^3 im Ist-Zustand resp. 36'000 m^3 im sanierten Zustand. Aufgrund der unterschiedlichen Abflussganglinien wurde somit nicht in jedem Referenz-Jahr die gleiche Geschiebemenge zugegeben: in «nasseren» Jahren lag der Eintrag über den mittleren jährlichen Werten, in «trockenen» Jahren unter den mittleren jährlichen Werten. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine realitätsnahe Nachbildung des Geschiebetransports in der Muota.

5.4 Projektsohle Bau-/Auflageprojekt

5.4.1 Grundlage aus Vorprojekt

Im Rahmen des Vorprojekts wurde die Projektsohle anhand von Querprofilbetrachtungen sowie Abschätzungen auf Stufe Normalabfluss unter Berücksichtigung der Abfluss-Dauerlinie der Muota festgelegt. Unter Annahme einer mittleren Gerinnebreite von 37 m wurde ein Gleichgewichtsgefälle von 4.5‰ ermittelt. Dieser Wert entspricht ungefähr dem Ergebnis der Untersuchungen der Beffa Tognacca GmbH zu Art und Umfang der Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts [7].

Unterstrom des Husmatt-Stegs bei GEWISS 1893 wurde eine Abflachung des Sohlgefälles auf 2.5‰ projektiert, um einen gleichmässigen Übergang zum Bestandsgerinne bei der Wylerbrücke zu gewährleisten. Das mittlere Gefälle oberstrom des Projektgebiets beträgt im Bestand ca. 3.4‰.

Anschliessend wurden im 2D-Modell auf Grundlage der mittleren Projektsohle hydraulische Simulationen zur Definition der massgebenden Wasserspiegel durchgeführt. Die Simulationen erfolgten mit fixierter Sohle ohne Berücksichtigung des Feststofftransports. Die mittlere, ebene Sohle aus dem Vorprojekt diente als Grundlage für die weitere Projektierung im Rahmen des Bau- und Auflageprojekts.

5.4.2 Anpassung Projektsohle für Absenkung Hochwasserspiegel Seeweren

Im Zuge der Projektbearbeitung wurden die Zielsetzungen in Bezug auf die Wasserspiegel bei Hochwasser in der Seeweren angepasst (siehe auch Kapitel 4.2.4): In Rücksprache mit dem Amt für Gewässer sollten durch Anpassungen der Projektsohle im Bereich des Zusammenflusses Muota/Seeweren die Wasserspiegel in der Seeweren bei HQ_{100} um 0.4 - 0.5 m[5] abgesenkt werden.

In weiterer Folge wurde die Höhen der mittleren, ebenen Projektsohle aus dem Bauprojekt im 2D-Modell des Flussschlauchs (Kapitel 5.2.1, Abbildung 43) iterativ angepasst und optimiert. Die Anpassungen wurden im Längenprofil durch parallele Absenkungen der Projektsohle durchgeführt. Auf diese Weise wurde im Projektperimeter das aus dem Vorprojekt übernommene Gefälle von 4.5 Promille beibehalten, wobei die Übergänge zu den Bestands-Sohlen ober- und unterstrom des Projektperimeters linear angepasst wurden. Somit konnten die Annahmen und Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen und Grundlagen zum Geschiebetransport im Projektzustand übernommen werden. Ausserdem wurde sichergestellt, dass im Unterlauf des Projektperimeters kein Geschiebedefizit generiert wird.

Es wurden Anpassungen der Projektsohle von -0.25, -0.5 und -0.75 m untersucht. Die Simulationen zeigten, dass eine um 0.5 m tiefer liegende Projektsohle im Bereich der Mündung Seeweren, der ARA und dem Restaurant Alpenrösli zu tieferen Wasserspiegellagen bei HQ100 und HQ30 von circa 0.5 m führt (Abbildung 50). Im Gewerbegebiet Grossried senkt die Massnahme die Wasserspiegel um ca. 0.2 m.

[5] ggü. dem Bauprojekt mit Stand Juni 2025

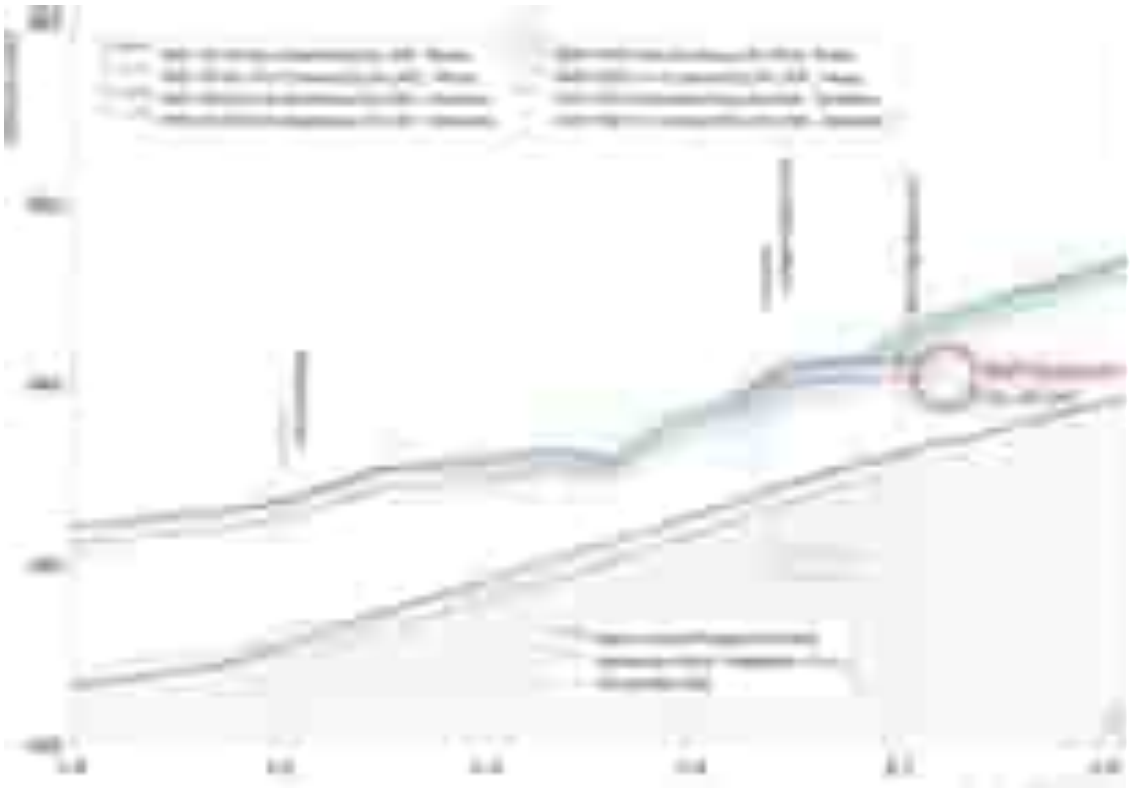


Abbildung 50 Gegenüberstellung der Wasserspiegel bei HQ_{30} und HQ_{100} mit Stand Bauprojekt September 2025 und nach Anpassung der Projektsohle um -0.5 m

Mit der um -0.5 m angepassten mittleren, ebenen Projektsohle kann ein HQ30 in der Seeweren praktisch ohne Schaden abgeführt werden (Abbildung 51). Das ist eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ist-Zustand und ggü. dem Bauprojekt Stand Juni 2025. Es ist jedoch festzuhalten, dass damit die Hochwasserschutzdefizite an der Seeweren nicht vollständig gelöst werden können. Bei HQ100 sind auch nach Umsetzung des Revitalisierungsprojekts Defizite vorhanden (Abbildung 52).

Abbildung 51 Qualitative Darstellung der Überflutungsflächen bei stationärer Simulation von HQ_{30} in der Seeweren; links: ohne Anpassung der Projektsohle; rechts: mit Anpassung der Projektsohle um -0.5 m

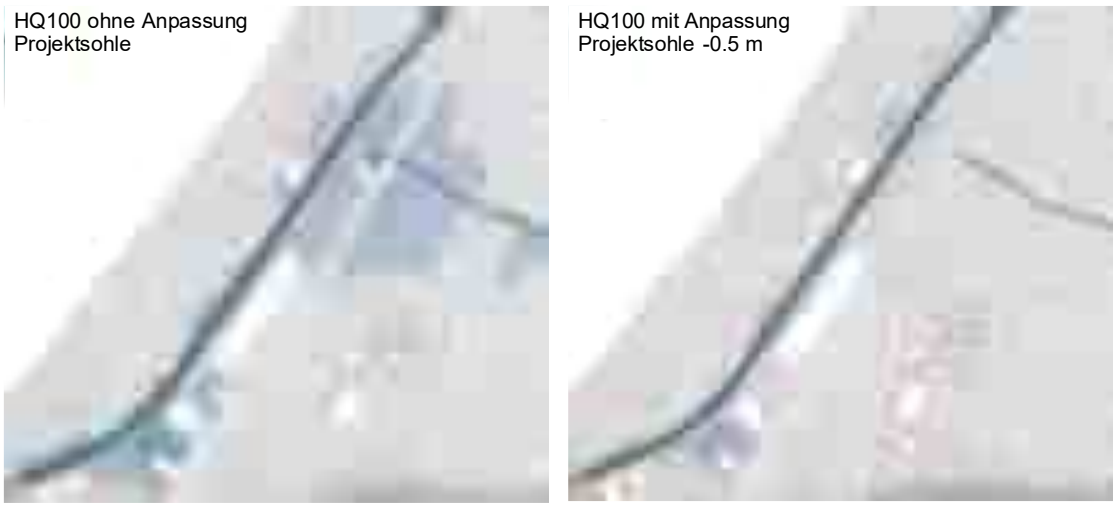


Abbildung 52 *Qualitative Darstellung der Überflutungsflächen bei stationärer Simulation von HQ_{100} in der Seeweren; links: ohne Anpassung der Projektsohle; rechts: mit Anpassung der Projektsohle um -0.5 m*

An der 9. Projektgruppensitzung vom 15. Dezember 2025 wurde beschlossen, die weitere Projektierung auf Grundlage der um -0.5 m angepassten mittleren, ebenen Projektsohle durchzuführen. An der grundsätzlichen Geometrie der Aufweitung beim Zusammenfluss Muota/Seeweren wurde festgehalten.

5.4.3 Prüfung Relief und Bankhöhen/ Kolktiefen mittels Langzeitsimulationen über 4 Jahre

Die angepasste mittlere, ebene Projektsohle wurde durch Langzeitsimulationen über vier repräsentative Jahre überprüft. Dadurch sollte eine möglichst plausible, naturnahe Grundlage für die Planerstellung und weiteren Planungsschritte erstellt werden. Der Geschiebeeintrag wurde mit 9'000 m^3/a bewusst hoch angesetzt. Es ist nicht absehbar, wann der Geschiebeeintrag im sanierten Zustand der Muota dieser Wert erreichen wird. Im Modell konnte unter Annahme dieses hohen Werts effizient ein möglichst ausgeprägtes Relief erreicht werden, welches auch für die Materialbilanzen bei der Umsetzung von Vorteil ist.

Abbildung 53: Flächendarstellung der Sohlentwicklung nach vier repräsentativen Jahren mit jährlichem Geschiebeeintrag von 9'000 m³/a, oberer Bereich des Projektperimeters

Abbildung 54: Flächendarstellung der Sohlentwicklung nach vier repräsentativen Jahren mit jährlichem Geschiebeeintrag von 9'000 m³/a, unterer Bereich des Projektperimeters

Während der Langzeitsimulationen wurden im 2D-Modell in den aufgeweiteten Bereichen die für Flussaufweitungen typischen Sohlversätze gebildet (siehe Längenprofil in Abbildung 57, «Projektsohle Auflageprojekt»). Des Weiteren wurde das Relief der

Muota durch laterale Verlagerungen von Sohlmaterial gestaltet, im Modell wurden Kiesbänke sowie korrespondierende Kolke gebildet. Die Simulationsergebnisse geben somit, neben Aussagen zur Entwicklung der mittleren Sohlenlagen und der Sohlstabilität, auch Auskunft über die Lage und Ausdehnung von Kiesbänken sowie die zu erwartenden Bankhöhen und Kolktiefen (Abbildung 53, Abbildung 54). Diese Informationen wurden in den Projektplänen sowie bei der Erstellung der Materialbilanzen berücksichtigt.

5.4.4 Sohlentwicklung über 20 Jahre

Die Projektsohle wurde durch morphologische Langzeitsimulationen über 20 Jahre geprüft und plausibilisiert (5-malige Wiederholung der Blöcke mit vier repräsentativen Jahren, siehe Kapitel 5.3.5). Als Grundlage für die Bewertung dienten die Simulationen mit einem mittleren jährlichen Eintrag von 5'000 m^3/a (Geschiebefracht im aktuellen Zustand).

Gemäss der Simulationsergebnisse landet die Sohle nach Umsetzung der Revitalisierung laufend leicht auf. Dies ist in der signifikanten Erhöhung der Gerinnebreite (bis zu ca. Faktor 2) begründet: aufgrund der Aufweitung des Gerinnes sinkt die Geschiebetransportkapazität und liegt unter jener im aktuellen Zustand. Um dies zu kompensieren, müsste das Längsgefälle erhöht werden. Dies wurde im Rahmen des Möglichen im Projekt umgesetzt. Aufgrund der diversen Randbedingungen (Anschluss an Gerinne ober- und unterstrom, tiefe Sohlenlage bei Zusammenfluss für Optimierung der Hochwassersituation in Seeweren) konnte das Längsgefälle der Muota jedoch nicht frei angepasst und erhöht werden.

Die Flächendarstellungen der Sohlentwicklung nach 20 repräsentativen Jahren zeigen, dass im Projektgebiet eine Dynamik herrscht und sich die Lage der Bänke und Kolke im Vergleich zum Ausgangszustand (vgl. Abbildung 53 und Abbildung 54) verändert und weiterentwickelt. Es herrscht eine Auflandungstendenz, welche jedoch für den Hochwasserschutz der Muota nicht kritisch ist und im Rahmen der Bewirtschaftung sichergestellt werden kann.

Es ist zu erwähnen, dass Auflandungen im Bereich von Dezimetern über 2 Jahrzehnte grundsätzlich innerhalb der Genauigkeit von numerischen Simulationen mit Feststofftransport liegen. Die für die Nachbildung bzw. Abschätzung des Geschiebetransports massgebenden Parametern können nur abgeschätzt werden und unterliegen auch in der Natur starken Fluktuationen. Bereits kleine Differenzen in den Grundlagen oder Annahmen, z.B. eine Veränderung der Kornverteilung der Sohle oder natürliche Variationen des Eintrags von oberstrom, verändern die Ergebnisse im 2D-Modell und die Sohlentwicklung in Natur signifikant. Diesen Umständen wird durch ein Bewirtschaftungskonzept resp. das regelmässige Monitoring der Sohlenlagen (vgl. Unterhaltskonzept, Berichtbeilage 1.07) Rechnung getragen.

Abbildung 55: Flächendarstellung der Sohlentwicklung nach 20 repräsentativen Jahren mit jährlichem Geschiebeeintrag von 5'000 m^3/a, oberer Bereich des Projektperimeters

Abbildung 56: Flächendarstellung der Sohlentwicklung nach 20 repräsentativen Jahren mit jährlichem Geschiebeeintrag von 5'000 m^3/a, unterer Bereich des Projektperimeters

Aus den morphologischen Langzeitsimulationen über 20 Jahre gilt es folgende relevanten Prozesse festzuhalten:

- Die Langzeitsimulationen zeigen, dass die mittleren Sohlenlagen bei einem Geschiebeeintrag von 5'000 m^3/a (Ist-Zustand) im Verlauf von 20 Jahren in Bezug zur mittleren Projektsohle im Schnitt um ca. 20 cm, lokal um bis zu 60 cm höher liegen können (Abbildung 57). In diesem Fall wäre die Hochwassersicherheit in der Muota resp. das erforderliche Freibord bei HQ_{300} weiterhin gewährleistet.
- Beim Zusammenfluss von Muota und Seeweren kommt es infolge der lokalen Gerinneaufweitung zu Auflandungen, welche die bewusst tiefer angesetzte Projektsohle in diesem Bereich wieder erhöhen. Nach ca. 15 Jahren wäre wieder das heutige Sohlniveau erreicht und der Hochwasserschutz in der Seeweren entsprechend reduziert. Bei Hochwasser in der Muota käme es zu starkem Rückstau in der Seeweren und in weiterer Folge zu Überflutungen im Bereich des Gewerbegebiets Grossried.

  Dies verdeutlicht, dass im Rahmen des Bewirtschaftungskonzepts die Sohlenlagen der Muota im Bereich des Zusammenflusses regelmässig überwacht und bei Bedarf bedarfsgerechte Geschiebeentnahmen notwendig sind.
- Um die Wirksamkeit der Entnahmen im Bereich des Zusammenflusses zu überprüfen, wurde diese im 2D-Modell durch die Definition eines Interventionshorizonts 20 cm > Projektsohle [m ü. M.] nachgebildet. Sobald die Sohlenhöhe während der Simulationen höher als dieser Horizont liegt, wird an den entsprechenden Knoten des Berechnungsgitters während der Laufzeit des Modells Geschiebe entnommen, bis die Zielkoten wieder eingehalten werden. Gemäss diesem Ansatz wurden während der 20-jährigen Simulationsdauer insgesamt rund 16'000 m^3 Geschiebe entnommen. Dies entspricht ca. 16% des Gesamteintrags während des Simulationszeitraums.

  Die Simulationen mit Entnahmen zeigen, dass die lokalen, bedarfsgesteuerten Entnahmen im Bereich des Zusammenflusses ihren Zweck erfüllen und die Projektsohle damit im gesamten Projektperimeter sichergestellt werden kann (Abbildung 58).

Die tiefere Lage der Projektsohle im Bereich des Zusammenflusses bedingt im Gerinne der Muota oberstrom bei den GEWISS-Adressen 3031 und 3143 um ca. 0.75 – 1 m tiefere Sohlenlagen (Abbildung 58). In diesem Bereich überlagern sich die Effekte des Rückbaus der Schwelle bei der Ausleitung zum ehemaligen KW Brunnen (Höhenversatz im IST-Zustand ca. 1 m) mit der tieferen Sohlenlage beim Zusammenfluss. In Rücksprache mit dem AfG Kt. SZ und mit Blick auf das laufende Grundwassermonitoring wurde entschieden, dass im Bereich zwischen dem Zusammenfluss und der SBB-Schwelle 3298 keine Stützung der Sohle erforderlich ist. Die seit 2024 gemachten Überwachungsmessungen (Grundwassermonitoring) des Grundwasserspiegels zeigen, dass eine projektbedingte Absenkung des Grundwasserspiegels als

unwahrscheinlich taxiert werden (vgl. Berichtbeilage 1.04, UVP-Hauptuntersuchung). Die Messdaten zeigen, dass der Wasserspiegel der Muota generell 1-2 m höher liegt als der gleichzeitige Grundwasserspiegel. Dies lässt darauf schliessen, dass zwischen Oberflächen- und Grundwasser im IST-Zustand stets eine Potentialdifferenz von mindestens 1 m besteht.
Weiter wird davon ausgegangen, dass die bestehende Ufersicherung tief genug fundiert ist und durch eine zeitenweise Absenkung der Sohlenlage nicht instabil wird. Es wird jedoch empfohlen, im Rahmen der Ausführung durch Sondierungen den Zustand sowie die Tiefe der Ufersicherung vor Ort zu prüfen. Falls nötig ist der Uferschutz mit einer Blockvorlage oder einer ähnlichen Massnahme zu ergänzen.

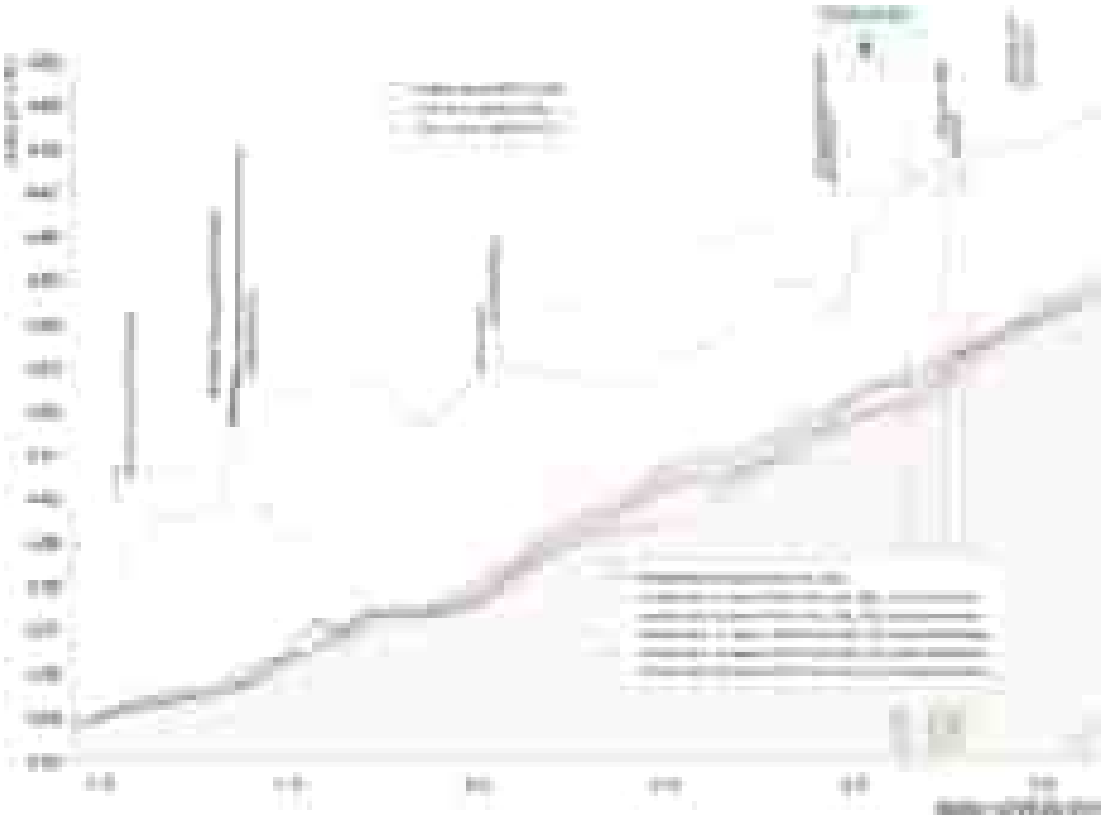


Abbildung 57 Längenprofil der mittleren Sohlenlagen nach 20 Jahren Sohlentwicklung mit einem Geschiebeeintrag von 5'000 m³/a ohne bedarfsgesteuerte Geschiebeentnahmen oberstrom des Zusammenflusses Muota/Seeweren

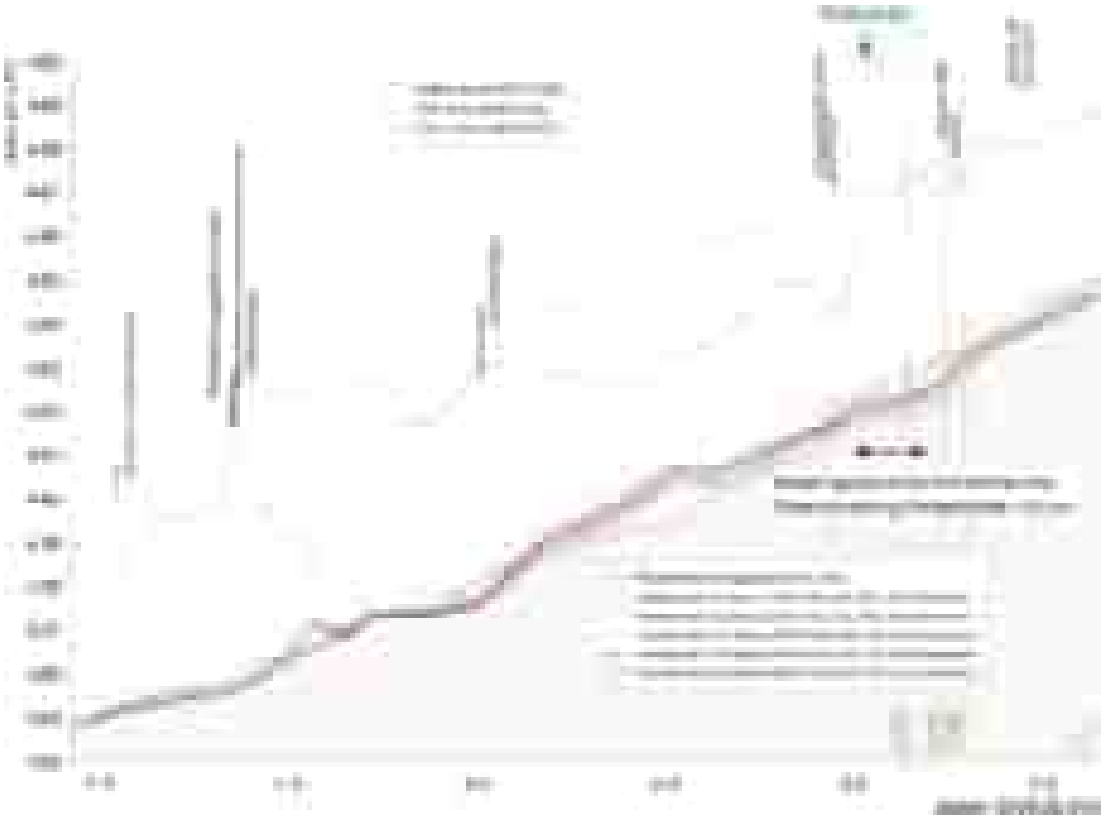


Abbildung 58 Längenprofil der mittleren Sohlenlagen nach 20 Jahren Sohlentwicklung mit einem Geschiebeeintrag von 5'000 m³/a mit bedarfsgesteuerten Geschiebeentnahmen oberstrom des Zusammenflusses Muota/Seeweren

Die Auswirkungen eines potenziell höheren Geschiebeeintrags von 9'000 m³/a (sanierter Zustand) wurden geprüft, dienten jedoch nicht als Projektierungsgrundlage. Die entsprechenden Simulationen zeigten, dass derartige Geschiebefrachten zu starken Auflandungen oberstrom des Projektperimeters führen. Dies verdeutlicht, dass das Gerinne der Muota oberstrom im aktuellen Zustand Frachten dieser Grössenordnung nicht aufnehmen und entsprechend auch nicht weitergeben kann. Es ist davon auszugehen, dass erst in mehreren Jahrzehnten deutlich höhere Geschiebefrachten das Projektgebiet erreichen können. Vor diesem Hintergrund ist es nicht sinnvoll, das Projekt auf die Frachten nach Sanierung des Geschiebehaushalts auszulegen. Sollten in Zukunft höhere Geschiebefrachten auftreten, können zu starke Auflandungen durch bedarfsgesteuerte Entnahmen verhindert resp. kompensiert werden.

5.5 Geschiebehaushalt nach Projektabschluss

5.5.1 Ist-Zustand

Im aktuellen Zustand wird die jährliche Geschiebefracht der Muota zwischen Langenstegbrücke und der Mündung in den Vierwaldstättersee auf rund 5‘000 m³/a geschätzt (vgl. Kapitel 3.2.2, Abbildung 2). Nach Umsetzung der Revitalisierung im Abschnitt KW Brunnen sollen vergleichbare Frachten möglichst frühzeitig nach Abschluss des Revitalisierungsprojekts an den Abschnitt unterstrom der Wylerbrücke

weitergegeben werden. Ein mehrjähriges Geschiebedefizit, welches zu Erosionen im Abschnitt unterstrom führen können, ist zu verhindern.

Das Transportdiagramm in Abbildung 59 verdeutlicht, dass im Projektgebiet grundsätzlich eine Auflandungstendenz herrscht (in Fliessrichtung von rechts nach links abfallende Linien, d.h. Ablagerung von Geschiebe). Ohne die bedarfsgesteuerten Entnahmen im Bereich der Mündung Muota/ Seeweren (durchgezogene Linien) nimmt das Transportvermögen in der Projektstrecke aufgrund der Aufweitungen ab und es würden bis zu ca. 35% des eingetragenen Geschiebes abgelagert (Jahre 12 bis 16, Abbildung 59).

Die Entnahmen zur Sicherstellung der Projektsohle im Bereich der Mündung verbessern den Transport nach unterstrom deutlich. Gemäss Langzeitsimulationen herrscht weiterhin eine Auflandungstendenz, diese ist jedoch schwächer ausgeprägt als ohne Entnahmen (siehe dazu auch Entwicklung der mittleren Sohle in Abbildung 57 und Abbildung 58). Es ist zu beachten, dass die Entnahmen im numerischen Modell sich rein auf den Interventionshorizont bei der Mündung beziehen (Kapitel 5.4.4). Sollten unterstrom unerwünschte oder übermässige Auflandungen auftreten, könnte dies durch angepasste Entnahmen kompensiert werden.

Die durchgeführten Langzeitsimulationen zeigen, dass das Revitalisierungsprojekt den Geschiebeaustrag nach unterstrom tendenziell reduziert. Es ist jedoch anzumerken, dass der Geschiebeeintrag von 5'000 m^3/a im 2D-Modell nicht ohne Auflandungen in die Projektstrecke transportiert werden konnte (abfallende Linien zwischen oberem Modellrand und GEWISS 3143 in Abbildung 57). Dies deutet darauf hin, dass der im Ist-Zustand angenommene Geschiebeeintrag in das Projektgebiet überschätzt wird.

Im Bereich unterstrom des Husmattstegs, in welchem die Gerinnebreiten im Projekt ca. jenem im aktuellen Zustand entsprechen, herrscht Gleichgewichtstransport. Es ist daher davon auszugehen, dass unterstrom des Projektgebiets kein Geschiebedefizit verursacht wird.

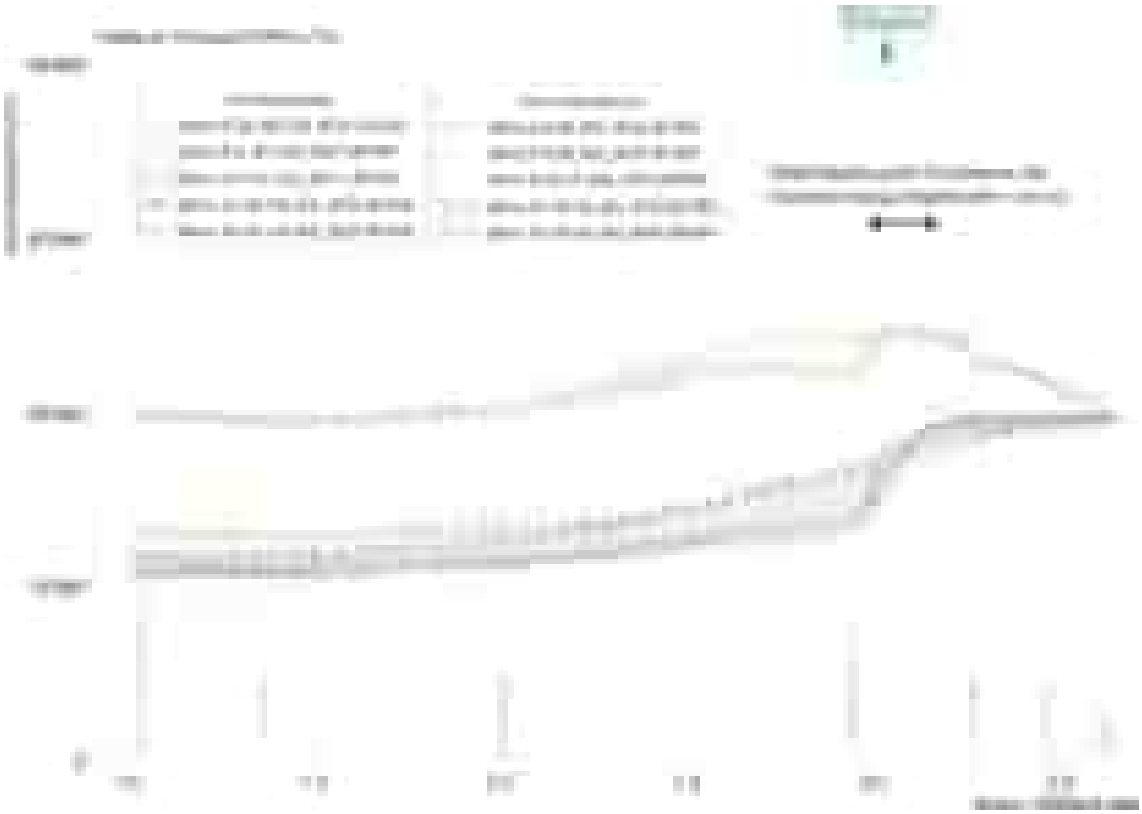


Abbildung 59: Transportdiagramme der Geschiebefrachten in Langzeitsimulationen über 20 Jahre mit sowie ohne Entnahmen zur Sicherstellung der Projektsohle im Bereich der Mündung Muota/ Seeweren

Aufgrund der diversen Unsicherheiten bei der Prognose von Geschiebetransport und Sohlenveränderungen (Kornverteilung, realer Eintrag von oberstrom, etc.), ist nach Umsetzung des Projekts ein regelmässiges Monitoring der Sohlenlagen vorzusehen. Dies ist besonders in den ersten Jahren nach der Umsetzung des Projekts wichtig. In weiterer Folge können die Monitoring-Intervalle allenfalls vergrössert werden (vgl. Unterhaltskonzept, Berichtbeilage 1.07).

5.5.2 Sanierter Zustand

Derzeit sind die Transportkapazität resp. die transportierten Frachten im Abschnitt der Muota oberstrom des Projektperimeters, aufgrund der Gerinnegeometrie und des vorhandenen Längsgefälles, limitiert. Selbst wenn durch diverse Massnahmen der Geschiebeeintrag (Rückbau von KW, Entfernung von Schwellen, etc.) nach Ibach zunimmt, würde dieses Material aufgrund der zu geringen Transportkapazität nicht bis zum Abschnitt KW Brunnen transportiert werden können. Es ist daher davon auszugehen, dass auf absehbare Zeit der jährliche Geschiebeeintrag in den Projektperimeter auf dem Niveau des heutigen Zustands verbleiben wird.

Die Langzeitsimulationen im 2D-Modell zeigen, dass im Projektperimeter auch mit deutlich höheren Geschiebeeinträgen die Sohlenlagen im unteren, schmaleren Projektabschnitt über 8-10 Jahre stabil bleiben. Im oberen, stark aufgeweiteten Bereich führen Einträge in der Grössenordnung des sanierten Zustands jedoch nach ca. 8-10 Jahren zu Erhöhung der Sohlenlagen. In weiterer Folge würde sich ein neues Gleichgewichtsgefälle einstellen, welches jedoch mittelfristig die Hochwassersicherheit gefährdet.

Zur Sicherstellung des geforderten Schutzniveaus ist auch im geschiebetechnisch sanierten Zustand entsprechend auf ein regelmässiges Monitoring der Sohlenlagen zu achten. Nach Umsetzung der Sanierungsmassnahmen oberstrom des Projektgebiets (Zeithorizont mehrere Jahrzehnte) sind die Projektsohlen im Abschnitt KW-Brunnen durch bedarfsgesteuerte Entnahmen oberstrom des Projektgebiets sicherzustellen (vgl. Unterhaltskonzept, Berichtbeilage 1.07). Dieses Szenario liegt jedoch in ferner Zukunft und bedingt dann zu gegebener Zeit auf jeden Fall eine Neubeurteilung der Situation und der angepassten Randbedingungen im Projektgebiet.

5.6 Bemessungsabflüsse

Im Rahmen des Bauprojekts wurden die Szenarien HQ_{30}, HQ_{100} und HQ_{300} (Kapitel 3.2.1) im 2D-Modell stationär mit fixierter Projektsohle simuliert (Zustand nach vier Jahren mit Geschiebeeintrag gemäss aktuellen Zustand 5'000 m^3/a). Die Projektsohle bildet die im Sohlbereich zu erwartende Bänke und Kolke ab, die ermittelten Wasserspiegel wurden über die Sohlbreite gemittelt. Bei sämtlichen Hochwasserszenarien wurde eine Teilverklausung der Wylerbrücke angenommen.

Im Nachgang erfolgten Modellversuche der EPFL (LCH) zur Ermittlung der Verklausungsgefahr [43]. Im entsprechenden Bericht wird aufgezeigt, dass mit einer Erhöhung der Brücke um einen Meter, welche schliesslich im Jahr 2007 umgesetzt wurde, die Verklausungsgefahr zwar verringert wird, bei seltenen Hochwasserereignissen jedoch weiterhin besteht. Dies bedeutet, dass das Verklausungsszenario auch bei Projektierungen von zukünftigen Zuständen zu berücksichtigen ist.

Für die hydraulische Dimensionierung des Revitalisierungsprojekts wurde daher bei Szenarien ≥ HQ30 von einer Teilverklausung der historischen Wylerbrücke ausgegangen. Konkret wurde angenommen, dass rund 2/5 des Durchflussprofils ab dem linken Ufer verklaust sind. Dieser Teil des Durchflussprofils wurde im 2D-Modell mit hohem Rauheitsbeiwert als schlecht durchströmbare Fläche abgebildet (vgl. Abbildung 45 und Tabelle 9).

Tabelle 11: Bemessungsabflüsse Muota und Seeweren

Szenario	Muota Ingenbohl [m^3/s]	Seeweren inkl. Nietenbach [m^3/s]	Summe [m^3/s]
HQ_{30}	300	26	326
HQ_{100}	368	32	400
HQ_{300}	440	40	480

Auf den Querprofilplänen (Planbeilagen 2.11 - 2.13) sowie in den Längenprofilen (Planbeilagen 2.09 - 2.10) sind die jeweils über das Querprofil gemittelten Wasserspiegellagen für die Bemessungsabflüsse innerhalb des Gerinnes dargestellt. Allfällige Ausuferungen, insbesondere am rechten Ufer der Muota, wurden für die Ermittlung der Wasserspiegellagen nicht berücksichtigt. Die dargestellten Wasserspiegel für HQ_{30}, HQ_{100} und HQ_{300} liegen somit auf der sicheren Seite. Es ist zu beachten, dass aufgrund des

Kurveneffekts die Wasserspiegel in Aussenkurven um bis zu 25 cm über den gemittelten Wasserspiegeln liegen können.

5.7 Bemessungsvorgaben fischgängige Querbauwerke und Rampen

Für den Bau notwendiger Querbauwerke oder den Umbau von bestehenden Schwellen in fischgängige Rampen gilt es Bemessungsvorgaben für fischgängige Bauwerke zu berücksichtigen. Diese sind in der Folge beschrieben.

5.7.1 Anforderungen und Ziele

Für fischgängige Querbauwerke und Rampen gelten folgende übergeordnete Anforderungen und Ziele:

- Alle potenziell vorkommenden Fischarten und deren Lebens- bzw. Altersstadien sind zu berücksichtigen.
- Folgende Fischarten kommen im Unterlauf der Muota vor und sind bei der Dimensionierung bestmöglich zu berücksichtigen: Seeforelle, Bachforelle, Groppe, Äsche, Barbe, Alet, Bargrundel/ Schmerle, Gründling, Hasel, Schneider, Trüsche, potenziell Nase.
- Als grösste Fischart stellt die Seeforelle die höchsten Anforderungen an die Wassertiefe.
- Die höchsten Anforderungen an die Fliessgeschwindigkeit und die Energiedissipation stellen die Groppe (bodenorientierte und schwimmschwächste Art) und andere kleine Begleitarten der Äschenregion.
- Die Passierbarkeit der Blockrampe ist an mindestens 300 Tagen im Jahr zu funktionieren, bei den Abflüssen zwischen Q_{30} = 50 m^3 und Q_{330} = 4 m^3.
- Die Drift von Wasserwirbellosen muss funktionieren, deren Aufstieg (in der Sohle) muss ebenfalls berücksichtigt werden.
- Weitere Tierarten wie Biber und Fischotter sollen ebenfalls auf- und absteigen können, auch wenn die Priorität bei den Fischen zu liegen hat.

5.7.2 Fischökologischen Kennwerte

Die relevanten fischökologischen Kennwerte leiten sich aus der Fischregion ab. Die Muota ist (im Naturzustand) eine Äschenregion. In ihr treten Leit- und Begleitarten der Äschen-, Barbenregion sowie Seefischarten auf. Der Zufluss Seeweren zählt zur Barbenregion.

Die für die Dimensionierung eines fischgängigen Querbauwerks relevanten Zielfischarten und ihre massgebenden Körpermasse sind:

- Seeforelle: schwimmstark, grösster Fisch (saisonal, Herbst), 90 cm Länge, Höhe 20 cm, Breite 9 cm

- Barbe: grösster Fisch (ganzjährig), 70 cm Länge, Höhe 13 cm, Breite 9 cm
- Groppe: schwimmschwach, bodenorientiert, 15 cm Länge, Höhe 12 cm, Breite 2.4 cm

5.7.3 Vorgaben Rampe

Folgende Vorgaben sind bei der Dimensionierung der Rampe zu berücksichtigen

- Typenwahl: aus ökologischer Sicht sind aufgelöste, unstrukturierte oder gesetzte Rampen möglich. Bei längeren gesetzten Rampen müssen ausreichend strömungsberuhigte Stellen und tiefere Becken vorhanden sein.
- Funktionsfähigkeit der Rampe: 300 Tage im Jahr, zwischen Q330 und Q30
- Aufgrund des Vorkommens von schwimmschwachen Fischen (z.B. kleine Karpfenartige, Groppe) ist ein Gefälle von kleiner 3% zu wählen
- Mindestwassertiefe: 2.5 x maximale Körperhöhe der Seeforelle (0.5 m)
- Grenzwert Leistungsdichte: in der Annahme einer Rampenlänge von > 10 m: 200 W/m^3 für Äschenregion, 160 W/m^3 für Barbenregion (gemäss DWA 2014 für Raugerinne mit Störsteinbauweise).
- Zulässige mittlere Fliessgeschwindigkeiten in Engstellen: in der Annahme einer Rampenlänge von > 10 m: 1.1 m/s für Äschenregion, 1.0 m/s für Barbenregion (gemäss DWA 2014 für Raugerinne mit Störsteinbauweise).
- auf Q330 ausgelegte Niederwasserrinne vorsehen, z.B. durch asymmetrischen Sohlquerschnitt mit seitlicher Neigung sicherstellen.
- bis Q30 darf keine hydraulische Überlastung der Niederwasserrinne eintreten oder es müssen alternative/ mehrere Wanderkorridore sichergestellt werden.

5.8 Bauliche Massnahmen

5.8.1 Ufertypen

Für den Uferverbau an der Muota sind drei verschiedene Ufertypen angedacht (vgl. Planbeilage 2.14, Normalien Ufertypen):

- Klassischer Blocksatz in Filterschicht (Ufertyp 1)
- Neuer Blocksatz mit anschliessender oder vorgelagerter ingenieurbiologischer Begrünung (Ufertypen 2a und 2b)
- Biogene maschinelle Ufersicherung BMU (Ufertyp 3)

Bei der Erstellung der klassischen Blocksätze (Ufertyp 1 und 2a) ist darauf zu achten, dass sie so erstellt werden, dass sie auch die Funktion einer Steinlinse haben. Hierfür werden u.a. am oberen Ende des Blocksatzes Bollensteine platziert.

In der Folge werden die Ufertypen 2 und 3 genauer beschrieben.

Biogene maschinelle Ufersicherung BMU (Ufertyp 3)

Die biogene maschinelle Ufersicherung (BMU) ist eine ingenieurbiologische Bauweise zum Uferschutz, die mit Maschinen gebaut wird. Konkret erfolgt auch das Auflegen und der Einbau des Astwerks maschinell mit einem Hydraulikbagger. Im Unterschied zum Heckenbuschlagenverbau werden zusätzlich zum anstehenden Böschungsmaterial umgedrehte Wurzelstämme und weiteres Totholz eingebaut.

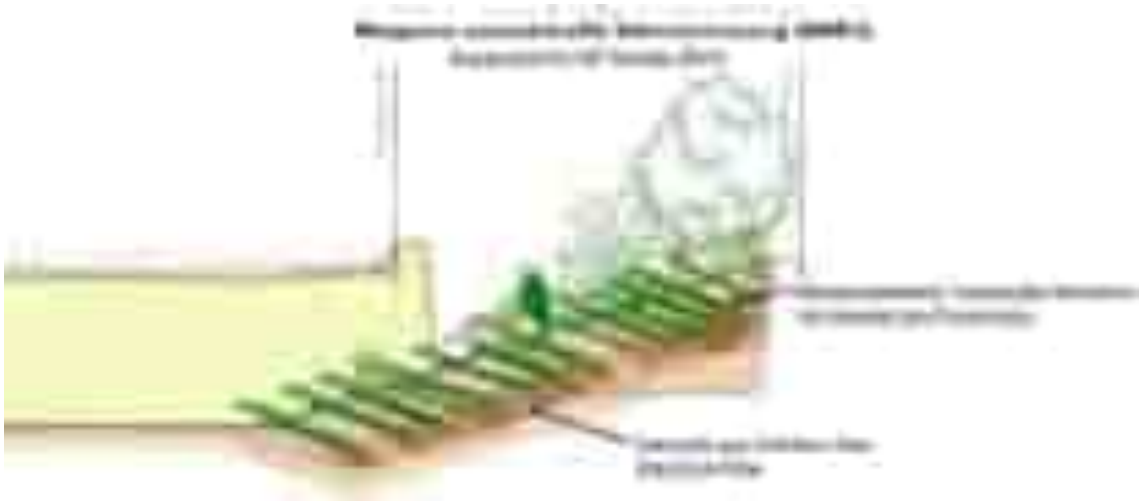


Abbildung 60: Normalie biogene, maschinelle Ufersicherung

Die uferschützende Wirkung der BMU basiert vor allem auf der grossen Rauheit, durch welche die Fliessgeschwindigkeit am zu schützenden Ufer stark reduziert wird. Im Schutze des eingebauten Astwerks kann der eingesetzte Baum- und Strauchbewuchs anwurzeln und das Ufer später zusätzlich mit seinen Wurzeln stabilisieren. Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass keine grösseren Flächen (> 1 m^2) ohne schützendes Astwerk entstehen. Andernfalls kann Material erodiert werden.

Als biogene Baumaterialien werden vorzugsweise stark und rasch austriebsfähige bzw. bewurzelte Weiden und Schwarzerlen in Kombination mit weiteren bewurzelten Sträuchern und Bäumen verwendet. Zusätzlich werden Wurzelstämme, Raubäume und weiteres Totholz eingesetzt. Das Material wird in der vegetationsfreien Zeit von November bis Mitte April lagenweise in die Uferböschung eingebaut und dabei möglichst tief (> 3 m) in die Böschung eingebunden. Die Äste ragen nach Einbau etwa 0.5 bis 1 m aus der Böschung heraus. Über diese Lage biogenen Materials wird eine ca. 50 cm dicke Schicht aus anstehendem Material (Kies, Geröll, teilw. Oberboden) eingebracht und leicht verdichtet, wodurch auch die Zwischenräume des darunter liegenden Astwerks verfüllt werden. Bei grossen zu erwartenden Schleppspannungen ist der Anteil an grobem Material (Geröll, Blöcke) zu erhöhen. Diese Schichtenabfolge wird so lange wiederholt, bis die volle Böschungshöhe erreicht ist.

Wesentliche Vorteile der BMU gegenüber anderen ingenieurbiologischen Bauweisen sind die sofortige Wirksamkeit und die Effizienz beim Einbau (maschinell). Ausserdem bilden die in das Gerinne ragenden Äste wertvolle Fischunterstände und der Totholzanteil wird erhöht.

Begrünter Blocksatz / Blocksatz mit BMU (Ufertyp 2)

Die BMU kann auch in Kombination mit einem Blocksatz, entweder im Anschluss (Ufertyp 2a) oder vorgelagert an den Blocksatz (vorgelagerte Begrünung, Ufertyp 2b) eingesetzt werden. Der ökologisch nachteilige Blocksatz wird auf diese Weise, insbesondere mit der vorgelagerten Bauweise deutlich aufgewertet, ebenso das Landschaftsbild.

Bei einer vorgelagerten Bauweise ist auf eine enge Verzahnung von BMU und Blocksatz zu achten. Sie wird durch ausschlagfähige Weidenäste erreicht, welche die BMU und den dahinterliegenden Blocksatz vollständig durchdringen und bis in den anstehenden Boden reichen. Blocksatz und BMU sind daher in einem Arbeitsgang zu erstellen.

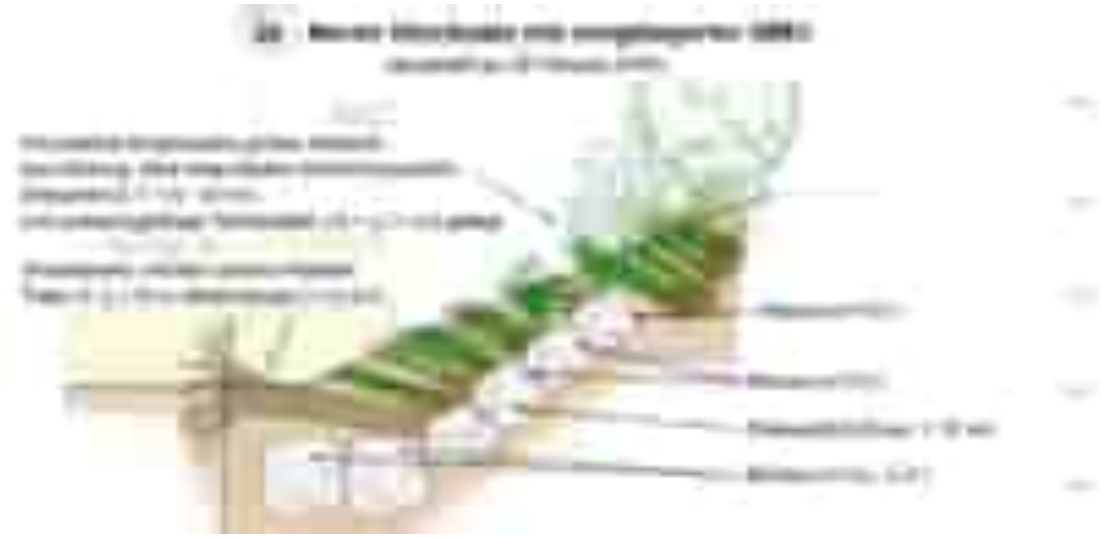


Abbildung 61: Normalie Blocksatz mit vorgelagerter Begrünung / BMU

Abbildung 62: Blocksatz und Blocksatz mit vorgelagerter BMU nach ein bis drei Jahre nach Erstellung, Foto: Projekt HWS Emme Solothurn, PG Bau

Abbildung 63: Blocksatz mit vorgelagerter BMU direkt nach dem Einbau, Foto: Projekt HWS Emme Solothurn, PG Bau

Konzept zur Wahl der Ufertypen im Projektperimeter

Im Projektperimeter werden die Ufertypen abschnittsweise festgelegt und definiert. Die konkrete Wahl des Ufertyps erfolgte in Abhängigkeit des Schadenpotenzials und der Belastungen im Hochwasserfall, d.h. in Abhängigkeit von den vorherrschenden Fliessgeschwindigkeiten und Schubspannungen.

In der Literatur finden sich diverse Richtwerte für den Schleppwiderstand bzw. die Grenzschubspannung ingenieurbiologischer Massnahmen. Professor Frossard (HEPIA / HES-SO Genf, 2025) macht beispielsweise folgende Angaben dazu:

- Buschlagen: 300 bis 450 N/m^2
- Weidenstecklinge: 100 N/m^2
- junger bis gut verwachsener Rasen: 50 bis 80 N/m^2

Bei Professor Bezzola (ETH Zürich, 2014) finden sich folgende Richtwerte:

- Weidenfaschinen, Reisiglagen: 60 N/m^2
- Weidenspreitlage: 150 bis 300 N/m^2
- junger bis gut verwachsener Rasen: 50 bis 80 N/m^2

Aus dem 2D-Modell lassen sich tiefengemittelte Schubspannungen an der Gewässersohle bzw. an den Ufern ablesen. Die Werte geben über die Wassertiefe gemittelte Werte wieder. Lokale dreidimensionale Effekte können lokal zu deutlich höher auftretende Schubspannungen führen, was bei der Festlegung des maximal zulässigen Schubspannungsgrenzwerts für einen rein ingenieurbiologischen Verbau zu berücksichtigen ist.

In Anlehnung an die oben genannten Angaben zu ingenieurbiologischen Bauweisen in der Literatur [44] und die Tatsache, dass die im Modell berechneten Schubspannungen tiefengemittelte Werte wiedergeben, wird daher für den Verbau der BMU (Ufertyp 3) ein maximaler Grenzwert für die Schubspannung von 60 N/m^2 festgelegt. Bei allen Uferabschnitten mit Infrastruktureinrichtungen direkt am Ufer entlang (Strassen, Widerlager Brücken, schützenswerte Gebäude), bei denen im Fall eines HQ_{300} eine höhere Schubspannung als 60 N/m^2 auftritt, wird somit keine rein ingenieurbiologische

Ufersicherung (BMU) verbaut. An diesen Stellen wird ein Blocksatz verbaut (Ufertyp 1 oder Ufertyp 2). Bei Uferabschnitten ohne angrenzende Infrastrukturanlagen wird der Ufertyp 3 auch bei Schubspannungen grösser als 60 N/m^2 gewählt. Dies ist im Teilabschnitt unterstrom Steg Husmatt auf der rechten Uferseite (Gewiss-Adresse 1985 bis ca. Gewiss-Adresse 1690) der Fall.

Namentlich herrschen am rechten Ufer an den Kurvenaussenseiten und teilweise in den geraden Abschnitten sehr hohe Schubspannungen. Weiter befinden sich hier auch die Wiederlager der Langestegbrücke und des Husmattstegs sowie der Husmattweg unterhalb der Langestegbrücke. Konkret ist somit der Bau eines Blocksatzes zwischen Gewiss Adresse 2641 – 2980 und 1976 – 2160 vorgesehen. Am linken Ufer besteht bereits heute grösstenteils ein intakter Blocksatz. Der Ufertyp 2 kommt im Übergangsbereich zwischen dem Blocksatz und der BMU zum Zug.

In den Abschnitten Gewiss Adresse 2641 – 2160 sowie 1976 – 1680 ist gemäss hydraulischer Modellierung mit geringeren Schubspannungen (< 60 N/m^2) zu rechnen (*Abbildung* 64, *Abbildung* 65). Zudem ist hier das Schadenpotenzial gering (Landwirtschaftsland). Da es sich beim benachbarten Landwirtschaftsland jedoch um schützenswerte Fruchtfolgeflächen handelt, soll nach vorgenommener Interessenabwägung das Ufer auch hier verhältnismässig und ingenieurbiologisch (Ufertyp 3) geschützt werden. Auf eine völlig eigendynamische Entwicklung mittels Ausscheidung einer Interventionslinie wird verzichtet. Mit der Wahl des Ufertyps 3 sind aber leichte Dynamiken (lokale Anrisse, punktuelle Ufererosionen) nach wie vor denkbar.

Abbildung 64 Schubspannungen bei HQ_{300} (Spitzenabfluss 480 m^3/s), GEWISS-Adresse 2192 bis 3031

Abbildung 65 Schubspannungen bei HQ_{300} (Spitzenabfluss 480 m^3/s) GEWISS-Adresse 1327 bis 2192

Bei der Aufweitung im Bereich des Altarms wird das rechte Ufer der Insel nicht gesichert, um eine eigendynamische Entwicklung des Ufers zu ermöglichen. Eine Interventionslinie wird in diesem Bereich als nicht nötig erachtet, da eine eigendynamische Verbreiterung höchstens bis zum Altarm möglich ist.

Anhang E enthält den Stabilitätsnachweis des Blocksatzes für Ufertyp 1 und 2 und die Dimensionierung der Filterschicht des Blocksatzes (d_{50} = 6 cm, d_{90} = 19 cm).

5.8.2 Aquatische Strukturelemente

Nebst der Verbreiterung der Sohle, der Wiederherstellung der Fischgängigkeit bei der Fassung Langesteg (Rückbau Spundwandschwelle) und der ingenieurbiologischen Gestaltung langer Uferabschnitte soll ein guter ökologischer Zustand mit zusätzlichen Strukturierungsmassnahmen im Gerinne erfolgen. Namentlich werden im gesamten Projektperimeter in Rücksprache mit der Abteilung Fischerei des Amts für Gewässer, Einbauten aus Totholz in der Gewässersohle erfolgen. Diese aquatischen Strukturelemente tragen zur Bildung von tiefen Kolken und einer erhöhten Strömungsvielfalt bei. Des Weiteren dienen sie als Unterstände für Fische und Habitate einer Vielzahl weiterer Wasserlebewesen. Die geplanten Strukturelemente und ihre Bauweisen sind in Planbeilage 2.15 ersichtlich. Nachfolgende Tabelle hält die verschiedenen Elementtypen und ihre Stückzahlen fest. Die Lage und Anzahl der geplanten aquatischen Strukturelemente ist zudem auch in den Situationsplänen ersichtlich (vgl. Planbeilagen 2.03 - 2.05).

Tabelle 12: Aquatische Strukturelemente und Stückzahl pro Abschnitt

Die Standorte der Strukturelemente wurden in groben Zügen mit der Abteilung Fischerei des Amts für Gewässer festgelegt. Nach dem Ansatz der Fischökotope wurde die Anordnung der Elemente verfeinert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Habitatsansprüche in Abhängigkeit der Lebensphase der Zielfischarten in der erforderlichen Grösse und relativen Lage zueinander erfüllt werden können. Damit soll erreicht werden, dass über den gesamten Projektperimeter alle erforderlichen Habitate für den Lebenszyklus der Zielfischarten vorhanden sind. Des Weiteren wurde die Auswirkung der grossen Strukturelemente auf die Hochwassersicherheit überprüft. An sensiblen Standorten respektive auf Abschnitten mit knappem Freibord wird auf den Einbau grösserer Elemente verzichtet. Ebenfalls wird an denjenigen Stellen, wo sich gemäss 2D-Geschiebemodellierung grosse Kiesbänke bilden, auf den Einbau von Strukturelementen verzichtet. Die aquatischen Strukturelemente entfalten ihre fischökologische Wirkung nur, wenn Sie im benetzen Bereich liegen.

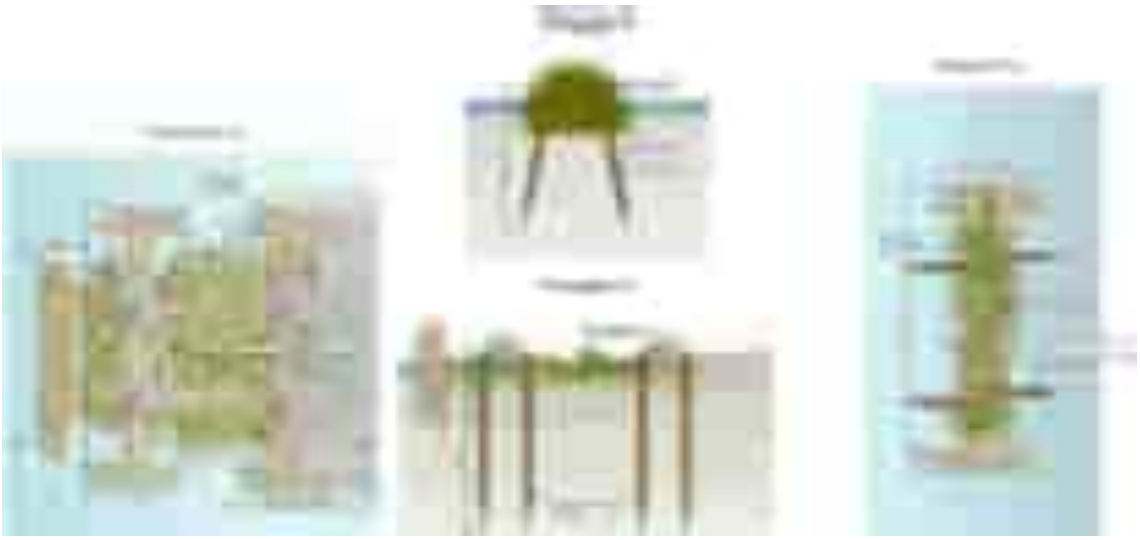


Abbildung 66: Auszug Normalien Strukturelemente - Totholzinseln, Planbeilage 2.15

Abbildung 67: Beispielbild von eingebauten Totholzinseln an der Emme in Solothurn, Quelle: Projekt HWS Emme Solothurn, PG Bau

5.8.3 Bauliche Massnahmen Muota

Abschnitt A: Eisenbahnbrücke bis Brücke Langesteg

Die Langzeitsimulationen zeigen, dass zur Gewährleistung der Hochwassersicherheit entlang der Seeweren eine Überwachung der Sohlenlage der Muota sowie eine bedarfsgerechte Geschiebebewirtschaftung in Form von Kiesentnahmen, oberhalb der Einmündung Seeweren nötig sind. Aufgrund der veränderten Geschiebeprozesse und der Geschiebebewirtschaftung sind im Abschnitt zwischen der Eisenbahnbrücke und der Brücke Langesteg zwischenzeitliche Sohlabsenkungen ggü. der heutigen Sohlenlage von -0.5 bis 0.8 m und somit eine Erhöhung der Absturzhöhe und eine Verschlechterung der Passierbarkeit für Fische bei der bestehenden Schwelle oberhalb der Eisenbahnbrücke denkbar. Zur Sicherstellung der Fischgängigkeit ist daher im Projekt eine strukturierte Blockrampe in Form einer Riegel-Becken-Rampe, als optionale Massnahme, vorgesehen. Ob der Bau der Rampe notwendig wird, ist anhand der Überwachung der Geschiebeprozesse und der Sohlentwicklung in den ersten Jahren nach Bauabschluss der Einmündung Seeweren und einer genaueren Betrachtung der Fischgängigkeit der bestehenden Rampe zu beurteilen.

Die Rampe wird naturnah und mit einer Niederwasserrinne in Beckenstruktur gestaltet. Die Sohle steigt im Querprofil zu den Ufern hin an. Die Randbereiche werden gleichmässig gestaltet und mit Störsteinen und Steinspornen als Deckungsstrukturen bei hohen Abflüssen strukturiert. Durch diese Gestaltung kann innerhalb eines grossen Abflussbereichs ein Wanderkorridor für Fische bereitgestellt werden (Abbildung 68 und Abbildung 69).

Die Becken der Niederwasserrinne werden so dimensioniert, dass die hydraulischen und geometrischen Grenzwerte des massgebenden DWA-Regelwerks [45] für die

Äschen und die Barbenregion eingehalten werden und die Rampen auch für grosse Seeforellen passierbar sind.

Anhang F enthält die Vordimensionierung der Blockrampe nach DWA.

Unmittelbar unterhalb der Rampe gilt es im Rahmen der Ausführung den Zustand und die Fundationstiefe der Blocksätze (mittels Baggersondagen) zu prüfen. Bei ungenügender Fundationstiefe (mit Blick auf die temporär möglichen Sohlabsenkungen) ist eine Ergänzung des bestehenden Uferschutzes durch eine Blockvorlage oder gar ein Neuaufbau des Blocksatzes vorzunehmen.

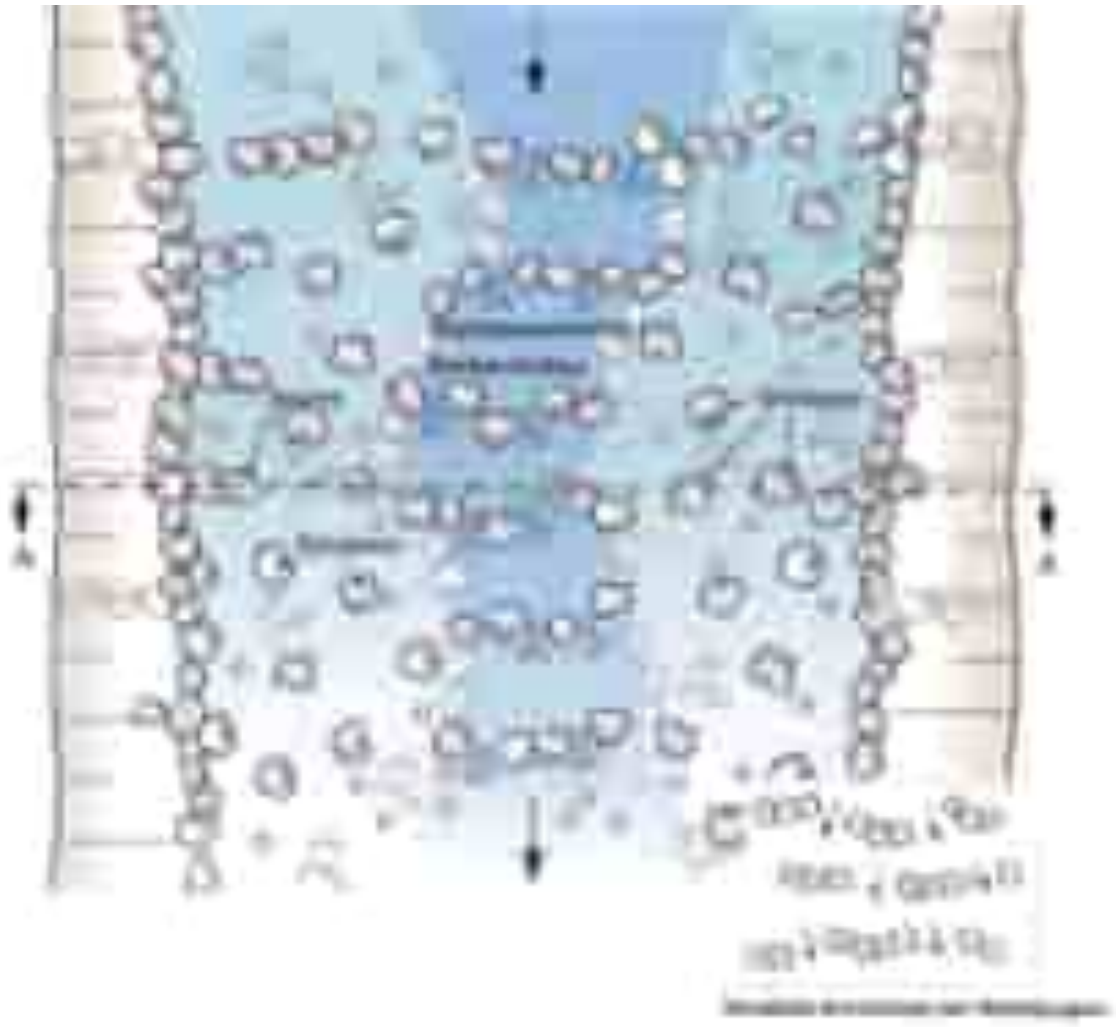


Abbildung 68: Systemskizze, Draufsicht einer naturnahen Rampe mit Niederwasserrinne in Riegel-Becken-Bauweise. Quelle: Gebler (2009) [46]

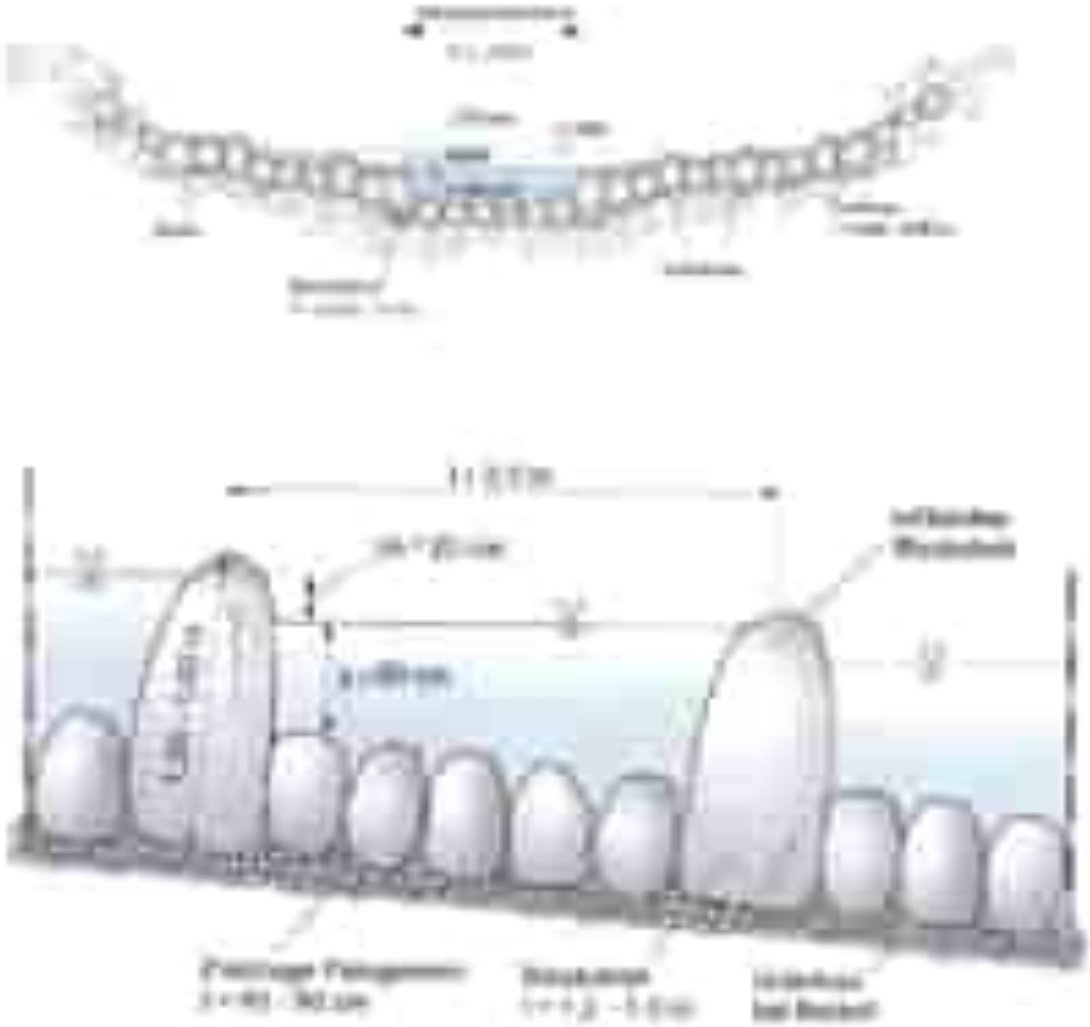


Abbildung 69: Systemskizze, Querprofil und Längsschnitt Niederwasserrinne einer naturnahen Rampe mit Niederwasserrinne in Riegel-Becken-Bauweise. Quelle: Gebler (2009) [46]

Abschnitt B: Brücke Langesteg bis Steg Husmatt

Im Abschnitt zwischen der Brücke Langesteg und dem Steg Husmatt wird der Oberwasserkanal des Kraftwerks Brunnen auf der ganzen Länge rückgebaut. Ebenso wird die Spundwandschwelle unterhalb der Brücke Langesteg (Gewiss Adr. 2896 – 2937) abgebrochen. Am linken Ufer muss im Bereich des Pfeilers der neuen Langestegbrücke das Ufer angepasst werden. Die Ufersicherung wird da im Rahmen des Drittprojekts Neubau Brücke Langesteg im Detail geplant.

Der in Fliessrichtung rechte Damm des Oberwasserkanals verbleibt unverändert im Bestand. Bauliche Anpassungen am Damm sind lediglich auf der Wasserseite vorgesehen. Der Damm liegt ausserhalb des Massnahmenperimeters und verfügt über Bestandsgarantie. Eine geotechnische Überprüfung der Dammstabilität erfolgt nicht, da der Damm für den Hochwasserschutz nicht erforderlich ist. Haftungs-, Forderungs- oder Entschädigungsansprüche gegenüber der ebs Energie AG oder dem Bezirk sind ausgeschlossen.

Maschinell abgetragen wird auch die heutige Insel zwischen dem Oberwasserkanal und der Muota. Dadurch entsteht eine Aufweitung der Muota auf die rechte Seite. Das heutige rechte Ufer des Kanals entspricht in etwa der neuen Uferoberkante der Muota. Die wasserseitige Böschung wird mit unterschiedlicher Neigung zwischen steil (n = 2:3) bis flach ausgestaltet (n = 1:3). Das stark beanspruchte rechte Ufer von der Seewerenmündung bis ca. GEWISS km 2640 (Kurvenaussenseite) wird mit einem Blocksatz gesichert. Als Strukturierungsmassnahme werden zwischen GEWISS Adr. 2760 - 2820 drei Holzkasten, sogenannte Engineered Log Jams (ELJ), im Blocksatz integriert und verankert.

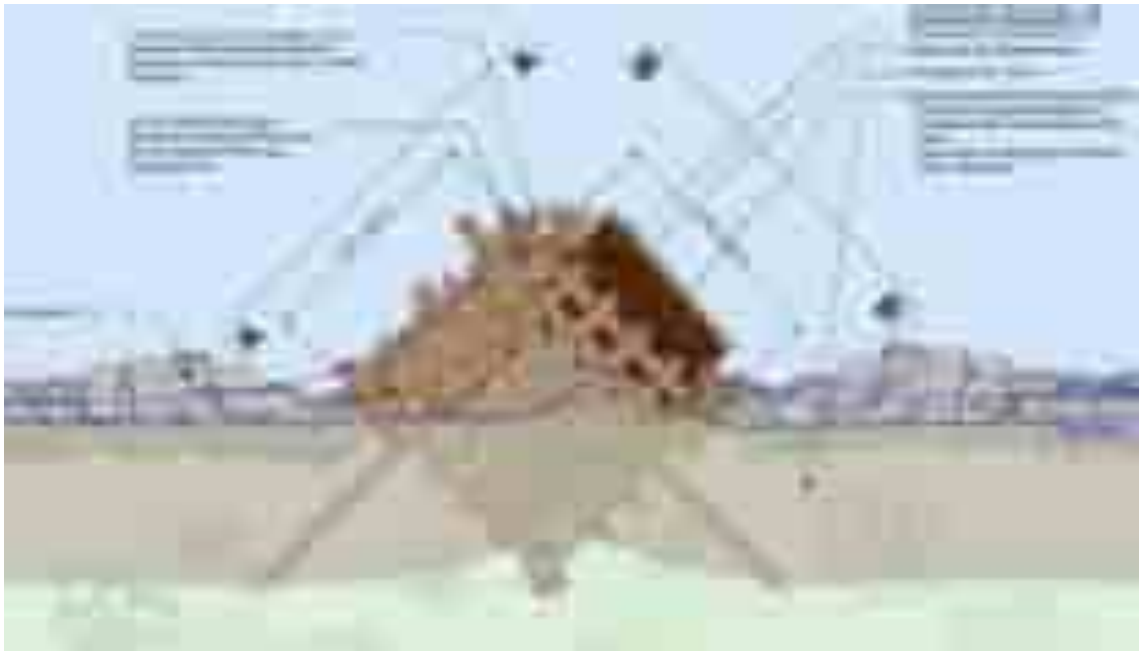


Abbildung 70: In Blockwurf integrierter Holzkasten, Bsp. Normalie ELJ, Simme Wimmis (Ausführung 2023)

Abbildung 71: In Blockwurf integrierter Holzkasten, Foto, Simme Wimmis (Ausführung 2023), K+Z AG

Zwischen GEWISS Adr. 2640 und dem Naherholungsbereich vor dem Husmattsteg (Beginn Kurvenaussenseite) wird die Böschung mit einer biogenen maschinellen

Ufersicherung (BMU, Ufertyp 3) gesichert. Die obere Hälfte der Böschung (ca. 2 m über der Flusssohle) wird zusätzlich mit einheimischen Gehölzen bestockt. Das heutige rechte Ufer des Oberwasserkanals bildet bereits heute ein bestehender Hochwasserschutzdamm. Dieser wird erhalten. An der luftseitigen Dammböschung erfolgen keine baulichen Eingriffe. Die Dammkrone wird leicht verbreitert, sodass ein durchgehender Fussweg von ca. 1 m Breite (plus beidseitige Bankette) auf der Dammkrone erstellt werden kann.

Im Bereich vor dem Fussgängersteg Husmatt wird ein Aufenthaltsbereich für Naherholung gestaltet. Zwischen dem heutigen Hochwasserschutzdamm und der Muota soll ein naturnaher Naherholungsbereich mit grossen, schattenspendenden Bäumen entstehen. Ziel ist die Schaffung einer Naturparkähnlichen Umgebung jedoch ohne «touristische» Kleinstrukturen wie Bänke, Feuerstellen, WC-Anlage etc. Der Gemeinderat von Ingenbohl wünscht einzig die Erstellung von ein paar Sitzgelegenheiten mit einladend angeordneten Blocksteinen [47]. Der Unterhalt und die Abfallbewirtschaftung der Fläche liegt in der Zuständigkeit der Gemeinde Ingenbohl. Eine spätere Möblierung der Naherholungsfläche kann, unter Beachtung der Bestimmungen zum Gewässerraums, jederzeit nachgerüstet werden.

Das Kraftwerksgebäude des Kraftwerks Brunnen, unmittelbar neben dem Steg Husmatt wird rückgebaut und die Fläche rekultiviert.

Das Wiesengräbli (Gewässer aus dem Gebiet Husmatt), welches heute kurz unterhalb des Kraftwerksgebäude in den Unterwasserkanal mündet, wird verlängert und in die Muota umgeleitet. Zwischen dem aufgefüllten Unterwasserkanal und dem Hochwasserschutzdamm, kurz vor dem Durchlass durch den Damm, wird der Bach durch eine leicht abgesenkte Grube geleitet. Der Durchstich durch den Hochwasserschutzdamm erfolgt mittels eines Durchlasses, welcher mit einer Rückstauklappe versehen wird. Die Rückstauklappe ist nötig, da aufgrund der topografischen Gegebenheiten der Wiesenbach nur ca. 1.30 m über der Sohle der Muota eingeleitet werden kann. Das führt dazu, dass die Einleitung des Wiesengräbli bei Abflüssen von ca. 65 – 70 m^3/s durch Rückstau der Muota eingestaut wird. Mit Blick auf die Dauerkurve der BAFU-Messtation Ingenbohl ist dies an ca. 10 Tagen im Jahr der Fall. Dies erscheint verkraftbar. Auf eine zusätzliche Entlastungsleitung wird daher verzichtet. Das kleine Gewässer ist zudem kein Fischgewässer. Die Mündung in die Muota wird deshalb nicht fischgängig ausgestaltet.

Die Zustandsbeurteilung vom Fussgängersteg Husmatt (vgl. Berichtbeilage 1.06) kommt zum Schluss, dass der Steg zwar lokale Betonabplatzungen an der Brückenunterseite (Platte und Balken) aufweist, jedoch keine erkennbaren Schäden hat, die auf eine reduzierte statische Tragfähigkeit schliessen lassen. Im Weiteren wird das Schutzziel der rechten Uferseite beim Steg problemlos eingehalten. Aufgrund dieses annehmbaren Zustands ist vorgesehen den Steg mittels einfacher Oberflächensanierung zu sanieren und zu erhalten. Auf ein Ersatzneubau, wie noch im Vorprojekt vorgesehen, wird verzichtet. Damit wird dem Gebot des nachhaltigen Bauens (Reduktion der Bauabfälle, Ressourceneffizienz) sowie dem Verhältnismässigkeitsprinzip nachgelebt. Konkret sind eine Reinigung der gesamten Betonoberflächen mittels Wasserstrahlverfahren mit einem maximalen Druck von 150 bar (ohne Verletzung der Zementhaut)

sowie die lokale Sanierung aller schadhafter Bereiche mittels Abspitzen, Reprofilieren und lokalem Betonauftrag, vorgesehen.

Abbildung 72: Beispielbilder Sanierung von lokalen Schadstellen an Tragwerkskonstruktionen, Projekt Instandsetzung Verladeanlage Goppenstein Teil 1+2, Foto: K+Z AG

Abschnitt C: Steg Husmatt bis Mündung Unterwasserkanal

Im Abschnitt C wird der rechtsseitige Hochwasserschutzdamm unterhalb des Kraftwerks zugunsten einer leichten Sohlenverbreiterung und einer flacheren Böschung (n = 1:2) leicht verschoben. Die Dammhöhe des neu aufgebauten Dammes wird in diesem Teilabschnitt auf HQ30+30 cm Freibord festgelegt.

Der Blocksatz am rechten Ufer wird nach dem Steg noch auf einer Länge von ca. 30 m weitergezogen. Anschliessend wird die Böschung mit einer biogenen maschinellen Ufersicherung (BMU) gesichert.

Abschnitt D: Mündung Unterwasserkanal

Die oberen ca. 270 m des Unterwasserkanals werden rückgebaut, der Kanal wird aufgefüllt und die Flächen in FFF Qualität rekultiviert. Zukünftig werden diese Flächen landwirtschaftlich bewirtschaftet. Die untersten ca. 160 m des Unterwasserkanals werden als Altarm ausgestaltet. In der unteren Hälfte des Altarms wird der Uferweg auf der rechten Seite an den Rand des Gewässerraums resp. an den Hangfuss verschoben. Dadurch können die Sohle des Altarms um einige Meter verbreitert und die Ufer flacher und naturnah ausgestaltet werden (n=1:2). Allenfalls vorhandene Ufersicherungen am linken Ufer des Altarms werden entfernt.

Ca. ab GEWISS Adresse 1730 flussabwärts wird der bestehende Blocksatz am rechten Ufer entfernt und die Muota gegen rechts aufgeweitet. Die Halbinsel zwischen der Muota und dem Altarm wird somit um bis zu 9 m verschmälert bzw. die Flusssohle des Hauptgerinnes um ca. 9m verbreitert. Mit einem Teil des Aushubmaterials wird am linken Ufer eine Kiesbank geschüttet. Auf den obersten 50 m der Halbinsel wird das Terrain so weit abgesenkt, dass die Fläche 4 bis 5 mal im Jahr überflutet wird (438.0 m ü. M.). Somit wird der Altarm periodisch von oben geflutet. Auf der abgesenkten Fläche werden die Voraussetzungen für einen Auenwaldähnlichen Lebensraum geschaffen. Die heute als Wald eingetragene Fläche auf der Halbinsel bleibt bewaldet und wird nicht abgesenkt. Es werden lediglich standortfremde Bäume entfernt.

Linkes Ufer

Das linke Ufer der Muota wird grösstenteils in seinem Bestand erhalten. Wo nötig wird der Uferschutz punktuell ertüchtigt/ erneuert. Ein harter Uferverbau ist am linken Ufer, aufgrund des hohen Schadenpotenzials (verdichtetes Siedlungsgebiet, Nova Brunnen) unverzichtbar.

Einbau von Strukturelementen und bauliche Vorwegnahme von Kiesbänken

Es ist vorgesehen im gesamten Projektperimeter aquatische Strukturelemente aus Totholz in das Gerinne einzubauen. Die Platzierung der Elemente ist in den Situationsplänen ersichtlich (vgl. Planbeilage 2.03 - 2.05). Der Einbau der aquatischen Strukturelemente erfolgt explizit auch am linken Ufer zu dessen ökologischen Aufwertung. Damit wird einer Forderung des Bundesamts für Umwelt aus der Vorprüfung des Vorprojekts, wonach auch das linke Ufer ökologisch aufzuwerten sei, erfüllt.

Die aquatischen Strukturen werden so eingebaut, dass sie ca. 1.5 m aus der projektierten Sohle herausragen. Die projektierte Sohlenlage entspricht dabei der errechneten Sohlenlage nach der Langzeitsimulation des Geschiebetransports (vgl. Planbeilage 2.09 Längenprofil). Es ist vorgesehen, dass diese berechnete Gleichgewichtssohle nach der Langzeitsimulation baulich vorweggenommen wird. Konkret werden grosse Kiesbänke, vor allem in den Kurveninnenseiten, bereits mit der Realisierung des Projekts geschüttet bzw. bei der Verbreiterung gegen rechts, gar nicht erst ausgehoben und abgeführt. Dadurch wird die Ressourceneffizienz des Projekts deutlich verbessert. An den Randbereichen der Kiesbänke wird mit Pfahlreihen weiterhin eine dynamische Entwicklung der Kiesflächen gefördert.

Neue Wegführung am rechten Ufer

Auf der rechten Seite der Muota wir ein durchgehender, neuer Fussweg mit einer Breite von rund 1 m auf dem Damm angelegt. Damit wird eine Massnahme zur Besucherlenkung und zur Entschärfung der heute vorherrschenden Nutzungskonflikte zwischen der Naherholung und der Landwirtschaft umgesetzt.

Nicht umgesetzt wird der im Vorprojekt vorgesehene kombinierte Fuss- und Radweg. Die Vorprüfung des Vorprojekts hat gezeigt, dass sowohl aus Sicht des Bundesamt für Umwelt als auch aus Sicht der kantonalen Vollzugsbehörde (Amt für Gewässer) ein neuer 3 m breiter Fuss- und Radweg im Gewässerraum nicht zulässig ist und somit nicht gesetzeskonform umgesetzt werden kann. Die notwendige Standortgebundenheit ist nicht gegeben. Für einen Fuss- und Radweg ausserhalb des Gewässerraums steht der Raum/ das zu erwerbende Land nicht zur Verfügung.

5.8.4 Bauliche Massnahmen Seeweren

Vor der Mündung in die Muota wird der Verlauf der Seeweren ggü. dem heutigen Verlauf nach links (von der Strasse weg) verschoben. Einerseits wird neu ein Abstand von 8 m zwischen dem äusseren Strassenrand und der Böschungsoberkannte eingehalten (Drittprojekt Neubau Brücke Langensteg und Seewerenstrasse), andererseits wird die Uferböschung flacher gestaltet (Neigung n = 1:2 – 1:3). Bis zur Mündung wird das Gerinne von ca. 7 m Breite auf eine neue Sohlenbreite von rund 10 m verbreitert

(natürliche Sohlenbreite). Die Mündung selbst wird stark aufgeweitet, sodass der bereits ausgeschiedene Gewässerraum auf der linken Seite vollständig ausgenutzt wird. Die Neigung der linken Uferböschung beträgt vor der Mündung ca. n = 1:3. Im Mündungsbereich beträgt die Neigung des obersten Böschungsabschnitts n = 2:3 (bis ca. Wasserspiegel HQ_2). Darunter soll sich auf einem sehr flachen Ufer eine Weichholzaue bilden können. Wo nötig wir das Ufer mit einem Blocksatz gesichert (Kurvenaussenseite, vor der Brücke), ansonsten werden die Ufer mit standortgerechten Pflanzen bestockt.

Die Muota wird im Mündungsbereich der Seeweren Geschiebe ablagern, wodurch eine Kiesinsel entstehen wird. Die Niederwasserrinne der Seeweren wird sich am rechten Ufer ausbilden. Mit einer Blockbuhne ca. 50 m vor der Mündung wird die Strömung der Seeweren in die Mitte gelenkt. Dadurch entsteht ein variableres Strömungsbild.

Abbildung 73: Beispielbild aufgeweitete Mündung Palanggenbach bei Seedorf/ Attinghausen bei der Einmündung in die Reuss, Foto: K+Z AG

Die landwirtschaftliche Erschliessungsbrücke, welche parallel zur Zufahrt der ARA verläuft, ist baufällig und wird zurückgebaut.

Abbildung 74: Rückzubauende Brücke bei der ARA

5.8.5 Bauliche Massnahmen Werkleitungen

Aufgrund der wasserbaulichen Massnahmen werden an diversen Werkleitungen kleinere Anpassungen nötig. Die sich ergebenden Werkleitungskonflikte sind in der Planbeilage 2.06, Situation Werkleitungen aufgeführt und beschrieben. Der Plan hält fest, wo aufgrund der wasserbaulichen Massnahmen Anpassungen an den Werkleitungen nötig werden, was zu machen ist und welches Projekt (Revitalisierungsprojekt oder Ersatzneubau Brücke Langesteg) zuständig ist für die Umsetzung.

Speziell zu erwähnen ist die Umlegung der Meteorwassersammelleitung des Quartiers Wylen (Planbeilage 2.20, Detailplan Anschluss RAW). Die bestehende Meteorwasserleitung des Quartiers Wylen mündet in den heutigen Unterwasserkanal, der rückgebaut resp. aufgefüllt und rekultiviert wird. Ab dem Siedlungsrand wird die Regenabwasserleitung quer durch das Feld (Parz. Nr. 1921) geführt und in den Altarm des Unterwasserkanals eingeleitet, welcher erhalten bleibt. Ein Variantenstudium zur neuen Leitungsführung hat gezeigt, dass die ursprüngliche Idee, die Leitung im aufzufüllenden Teil des Unterwasserkanals zu verlängern aus topografischen Gründen nicht realisierbar ist (ungenügende Leitungsüberdeckung und ungenügendes Leitungsgefälle).

5.9 Raumplanerische Massnahmen

5.9.1 Raumbedarf nach Roulier

Im Rahmen des Vorprojekts wurde eine Herleitung bzw. Ermittlung des Raumbedarfs sowie des Erfüllungsgrades nach Roulier [33] vorgenommen. Für die Beschreibung und Herleitung des Raumbedarfs nach Roulier wird auf den Kurzbericht Gewässerraum verwiesen (Berichtbeilage 1.03).

Mit den geplanten Massnahmen dieses Projekts wird über den gesamten Perimeter ein durchschnittlicher Erfüllungsgrad nach Roulier von rund 36% erreicht. Gegenüber dem Ausgangszustand entspricht dies einer Erhöhung von gut 10%. Besonders im Bereich der Seewerenmündung (Abschnitt 1) und der Mündung des Unterwasserkanals (Abschnitt 7) wird eine Verbesserung erreicht. Durch die grossen Aufweitungen in den beiden Abschnitten erhöht sich der Erfüllungsgrad ggü. dem IST-Zustand um jeweils ca. 20%.

5.9.2 Festlegung des Gewässerraums

Auf der linken Seite der Muota und auf dem Gebiet der Gemeinde Schwyz ist der Gewässerraum bereits grundeigentümer- resp. behördenverbindlich ausgeschieden. Im Rahmen des Projekts erfolgen an dieser Festlegung keine Anpassungen.

Auf der rechten Seite der Muota und der Seeweren wurde bisher grösstenteils noch kein Gewässerraum ausgeschieden. Im Rahmen des Projekts wird die Breite des Gewässerraums grundsätzlich auf 15 m ab dem projektierten, wasserseitigen Böschungsfuss definiert. Der Vorschlag dieser GWR Breite ist das Resultat einer Diskussion und Interessenabwägung innerhalb der Projektgruppe[6] [48].

Die genaue Herleitung und die Abweichungen zu der oben genannten Festlegungsart der Gewässerraumbreite ist dem Kurzbericht Gewässerraum zu entnehmen (Dossier Beilage 1.03). Ebenso enthält der Kurzbericht Gewässerraum, auf Verlangen der NGOs, eine Bilanzierung des ausgeschiedenen Gewässerraums.

5.9.3 Raumplanerische Sicherung des Überlastkorridors

Auf der rechten Uferseite der Muota verläuft heute wie auch zukünftig der Überlastkorridor. Im aktuellen, kommunalen Zonenplan [49] sind die Gefahrenzonen gelb, blau und rot eingezeichnet. Zurzeit läuft beim Amt für Gewässer ein separates Projekt zur raumplanerischen Sicherung der Überlastkorridore und Retentionsräume. Damit werden diese Räume rechtsgültig sowie behörden- und grundeigentümerverbindlich festgesetzt und es wird sichergestellt, dass die Überlastkorridore zu einem geschützten raumplanerischen Raum deklariert werden, die als solches zu respektieren sind. Es wird empfohlen den Überlastkorridor im vorliegenden Projektperimeter anhand der hydraulischen Modellierung des Projekts auszuscheiden.

[6] Zusammensetzung Projektgruppe: ebs Energie AG, Bezirk Schwyz, Gemeinde Ingenbohl, WWF, AquaViva, Amt für Gewässer Abteilungen Wasserbau und Fischerei, Planergemeinschaft INGE Mehrwert Muota

5.10 Materialbewirtschaftungskonzept

5.10.1 Materialbilanz

Die Optimierung der Massenflüsse sowie die sinnvolle, externe Verwertung von überschüssigem Abbruch-, Boden- und Aushubmaterial ist im vorliegenden Projekt für die Bau- und Subventionskosten, die Umweltverträglichkeit (u.a. Transporte) und die Baulogistik von grosser Bedeutung. Im Rahmen des Bauprojekts wurden Projektperimeter insgesamt vier Kernbohrungen vorgenommen (vgl. Baugrunduntersuchungen im Anhang). Aufgrund der Bohrungen wurden die zu erwartenden Aushubkubaturen folgenden Materialklassen zugeordnet:

- Sand
- Sand mit Steinen
- Kies, sandig, siltig mit Steinen.

Trotz der Kernbohrungen konnte ein bedeutender Teil des Aushubmaterials keiner Materialklasse zugeordnet werden und wurde im Vorausmass und Kostenvoranschlag als „übriger Aushub“ klassifiziert. Im gesamten Projekt fällt insgesamt rund 73‘500 m^3 Aushubmaterial an (fest). Rund 38% davon kann direkt oder via Zwischenlager projektintern wiederverwendet werden. Konkret werden die sich in der 2D-Simulation abgebildeten Kiesbänke baulich vorweggenommen (Sohle nach Bauabschluss).

Für das fruchtbare Bodenmaterial (Ober- und Unterboden) wurde eine vom Aushub unabhängige Massenbilanz erstellt. Das Bodenschutzkonzept (Berichtbeilage 1.05) weist diese Bodenbilanzierung im Detail aus. Aufgrund der Aufweitung der Muota wird auf fast doppelter Fläche Boden abgetragen, als er wieder aufgetragen wird. Sämtliche Flächen, die nicht durch die Aufweitung der Muota tangiert sind, werden wieder mit Boden rekultiviert. Durch den Rückbau des Unterwasserkanals entsteht so auf einer Fläche von rund 2‘700 m^2 eine neue Grünfläche mit Fruchtfolgefläche-Qualität (FFF).

Mit dem Vorausmass des Bauprojekts wird nach Abzug der Verwertungen innerhalb des Projektperimeters mit den in Tabelle 13 festgehaltenen Mengen und Kubaturen (Grössenordnungen) an Baumaterialien gerechnet, welche den Projektperimeter verlassen und extern verwertet werden müssen.

Tabelle 13: Kubaturen an Überschuss- (externer Verwertung zuführen)

Material	Kategorie	Menge	Verwertung (Annahmen)
Bodenmaterial (OB & UB)	Überschuss	50 m^3 fest	Projektintern
Betonabbruch	Überschuss	10‘300 m^3 fest	90% Recycling 10% Deponie Typ B (nicht verwertbare Reste)
Aushub total (sandig, siltig mit Steinen)	Überschuss	45‘500 m^3 fest	83% (37‘000 m^3) Aufbereitung in Baustoffpark 17% (8‘500 m^3) Verwertung in Deponie Typ A

Mischabbruch	Über-schuss	500 m³ fest	60% Aufbereitung in Baustoffpark 40% Ablagerung auf Deponie Typ B (nicht verwertbare Reste)
Altholz	Über-schuss	50 m³	Verbrennungsanlage für Fernwärme
Mit Bauschadstoffen (Asbest, PCB) belastetes Rückbaumaterial	Über-schuss	Kleinmengen gemäss Untersuchungsbericht Anhang D	Fachgerechte Entsorgung nach VVEA

Das extern zu verwertende Aushubmaterial wird zu einem möglichst grossen Anteil für die Verwendung als Sekundärbaustoffe in der Bauwirtschaft aufbereitet (Sortieranlagen). Im Rahmen der Unternehmersubmission werden entsprechende Vorgaben gemacht. In der Nähe des Projektperimeters bestehen diverse Baustoffparks, Aufbereitungsanlagen und Deponien. Mögliche Abnehmer sind:

- A. Betschart's Söhne AG, Brunnen
- Sand- & Kieswerk AG Schwyz, Ibach
- Bolfing AG, Aushubdeponie Rütli (Deponie Typ A), Schwyz
- Schelbert AG, Deponie Selgis (Deponie Typ A und B), Ried-Muotathal

Neben den Materialien, welche im Überschuss anfallen gibt es auch Bedarfsmaterialien, die zuzuführen sind. Dies sind insbesondere Natursteinblöcke, aufbereiteter Kies (Filterschicht) und Holz für die aquatischen Strukturelemente. Stand Auflageprojekt werden rund 9‘500 to Blöcke ausgebaut, vor Ort zwischengelagert und wieder verbaut. Zusätzlich müssen gemäss Vorausmass rund 3200 to Blöcke von extern zugeführt werden. Der Hauptteil davon braucht es für den Bau der Regel-Becken-Rampe. Der Bedarf an normiertem Material für die Filterschicht beläuft sich auf 3‘300 to.

5.11 Landerwerb und temporär beanspruchte Fläche

Der Bezirk Schwyz erwirbt alle Flächen welche neu durch die Muota und die Seeweren direkt beansprucht werden. Im Gegenzug tritt der Bezirk Schwyz Teile des Unterwasserkanals ab (Parzelle 428). Neben dem Landerwerb ist für die langfristige Sicherung der Funktionalität gewisser Bauwerke (Dämme, Fusswege) das Eintragen von Dienstbarkeiten ins Grundbuch notwendig. Der Landerwerb und die Flächen, für welche eine Dienstbarkeit abgeschlossen werden muss, sind im Landerwerbsplan detailliert ersichtlich (Dossier Planbeilage 2.24).

Neben dem Landerwerbsplan besteht im Dossier ein zusätzlicher Situationsplan zur temporären Landbeanspruchung während dem Bau. Auf diesem Plan sind diejenigen Flächen bezeichnet, welche zusätzlich zu den im Landerwerbsplan ausgewiesenen Flächen, temporär für den Bau beansprucht werden (Planbeilage 2.25).

5.12 Naherholung und Besucherlenkung

Die Themen Naherholung, Wegführung, Langsamverkehr und Besucherlenkung bildeten eigene Planungsschwerpunkte im Vor- und im Bauprojekt. Im Bericht „Konzept Besucherlenkung und Umgebungsgestaltung“ sind die Themen ausführlich abgehandelt.

6 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

6.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Mit Projektkosten (vgl. Kapitel 7) von mehr als CHF 10 Mio wird der Schwellenwert für die Umweltverträglichkeitsprüfungspflicht gemäss dem Anhang der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) überschritten. Somit ist das Revitalisierungsprojekt UVP pflichtig.

Im Rahmen der UVP wird festgestellt, ob das Vorhaben den gesetzlichen Bestimmungen bezüglich Umwelt-, Gewässer-, Landschafts-, Natur- und Heimatschutz, Walderhaltung sowie Jagd und Fischerei entspricht.

Im Kanton Schwyz erfolgt die UVP im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens (§ 4 Abs. 2 KVVzWasserrechtsgesetz). Die Koordination der formellen und materiellen Prüfung des UVB erfolgt durch das Amt für Umwelt und Energie.

Die Auswirkungen auf die Umwelt in der Bau- und Betriebsphase (Projektzustand) wurden im Rahmen der UVP-Hauptuntersuchung im Detail für sämtliche Umweltaspekte untersucht, Massnahmen zur Minimierung der negativen Auswirkungen und zur Einhaltung der Umweltgesetzgebung aufgezeigt und im Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVB) festgehalten.

Die UVP-Hauptuntersuchung wurde in SIA Phase 32 (Bauprojekt) erarbeitet und ist in der SIA-Phase 33 (Auflageprojekt) Genehmigungsinhalt des Auflagedossiers. Der UVB liegt dem Dossier als Berichtbeilage Nr. 1.04 bei.

6.2 Hochwasserschutz und Überlastfall

6.2.1 Gefahrensituation nach Massnahmen

Mit Blick auf die berechneten Wasserspiegellagen kann festgehalten werden, dass die Schutzzielvorgaben gemäss der Nutzungsvereinbarung (Beilage Nr.1.01) bzw. die Angaben in Kapitel 4.2 erfüllt werden. Zum Vergleich mit der Gefahrensituation vor Massnahmen wurden im 2D-Modell instationäre Simulationen mit zeitgleichen Hochwasserspitzen der Muota und der Seeweren durchgeführt. Die Grundlagen und Szenarien wurden aus der Gefahrenkartierung übernommen [26] . In der Gefahrenkartierung von 2008 wurde für die Wylerbrücke kein Verklausungsszenario angenommen. Entsprechend wurden die Simulationen für die Erstellung der Intensitäts- und Gefahrenkarten nach Massnahmen auch ohne Annahme einer (Teil-)Verklausung durchgeführt. Die in den Projektplänen angegebenen Wasserspiegel wurden jedoch mit Annahme einer Teilverklausung der Wylerbrücke für Ereignisse ≥HQ_{30} ermittelt (siehe auch Kapitel 5.6 «Bemessungsabflüsse»).

Am linken Ufer kann das Schutzziel HQ_{300} + Freibord durchgehend eingehalten werden.

Am rechten Ufer ergibt sich mit dem Projekt, trotz höherer Sohlenlagen keine Verschlechterung des Schutzniveaus, im Gegenteil. Da im Abschnitt Brücke Langensteg bis Steg Husmatt, im Sinne einer Bestandsgarantie die bestehenden Dämme am rechten Ufer bestehen bleiben sind die Dämmhöhen so hoch wie im IST-Zustand. Mit der deutlichen Flussaufweitung, welche zu einer Absenkung der Hochwasserspiegellagen ggü. dem IST-Zustand führt, ergibt sich so eine verbesserte Schutzwirkung für das rechte Vorland.

Im Abschnitt Steg Husmatt bis Beginn Altarm Unterwasserkanal (ca. Gewiss-Adr. 1630) wird die rechte Uferseite durch den neu erstellten Damm mit Höhe HQ30 + 30 cm Freibord geschützt. Ab Beginn des Altarms, wo mit der rechten Uferhöhe das Niveau HQ30 + Freibord nicht erreicht wird, wird eine Ausuferung natürlicherweise durch die Topografie begrenzt.

Die aktuell gültige Intensitätskarte HQ_{100} zeigt (vgl. Kapitel 3.2.12), dass es im IST-Zustand bei einem HQ_{100} rechtsufrig zwischen Gewiss-Adresse 2641 und 2527 zu einem Wasseraustritt in die rechtsufrige Vorlandebene kommt. Weiter kommt es zu einer Überflutung des rechten Vorlands aufgrund des Rückstaus bei der historischen Wylerbrücke.

Die Intensitätskarte HQ_{100} nach Massnahmen zeigt, dass nach Umsetzung des Revitalisierungsprojekts bei einem HQ_{100} die rechtsufrige Fläche unterstrom von QP Gewiss-Adresse 2641 nicht (mehr) aktiv überströmt wird. Der Wasserspiegel bei HQ100 liegt unter der Höhe der bestehenden Dämme. Trotzdem kommt es auch mit dem Projekt bei einem HQ_{100} nach wie vor zu Überflutungen rechts der Muota bei QP Gewiss-Adr. 2192 (vgl. Abbildung 75) und somit zu einer Aktivierung des Überlastkorridors. Die Überflutungen erfolgen aufgrund der Ausuferungen im Bereich des Altarms und des Rückstaus bei der historischen Wylerbrücke (Rückfluss in der Ebene). Im Mündungsbereich der Seeweren ist die Situation nach Massnahmen mit der Gefahrenkartierung im Ist-Zustand nur bedingt vergleichbar. Das Gerinne wird in diesem Bereich stark aufgeweitet, entsprechend nehmen die Wasserflächen zu. Am rechten Ufer der Seeweren kommt es bei HQ_{100} und HQ_{300} weiterhin zu Ausuferungen. Die ARA am linken wird aufgrund der tieferen Wasserspiegel im Mündungsbereich nicht mehr geflutet. Für die übergeordnete Bewertung der Wirksamkeit der Massnahmen, vor allem in Bezug auf das Gewerbegebiet Grossried, wird auf die Untersuchungen von HZP im Gesamtmodell des Unterlaufs der Muota (separater Auftrag Amt für Gewässer Kt. SZ) verwiesen.

Bei HQ_{300} zeigt sich ein mit HQ_{100} vergleichbares Bild. Die Dämme am rechten Ufer unterstrom von GEWISS-Adresse 2641 werden nicht überströmt, das Gelände rechts der Muota wird jedoch von unterstrom eingestaut. Die Intensitäten sind aufgrund der grösseren Wassertiefen höher als bei HQ_{100}.

Abbildung 75: Intensitätskarte HQ100 nach Massnahmen (Quelle: HZP)

Abbildung 76: Intensitätskarte HQ300 nach Massnahmen (Quelle: HZP)

6.2.2 Retentionseffekt im Gebiet Husmatt im Überlastfall

Um den Retentionseffekt des Gebiets Husmatt im Überlastfall bzw. den gefährdungsmindernden Effekt dieser Retention auf den Abschnitt der Muota unterstrom des Projektperimeters zu quantifizieren, erfolgte im Rahmen der Untersuchungen am Gesamtmodell des Unterlaufs der Muota (separater Auftrag Amt für Gewässer Kt. SZ) eine Gegenüberstellung der Ausuferungssituation bei HQ_{300} mit einem überströmbarem und einem undurchlässigen rechten Ufer der Muota (Gangliniensimulation).

Die Gegenüberstellung mit der Gangliniensimulation zeigt für das Modell mit dem überströmbaren Ufer eine austretende Wassermenge von lediglich maximal 15.4 m^3/s über

einen kurzen Zeitraum am rechten Ufer. Dies entspricht ca. 3% der Abflussspitze. Entsprechend klein und vernachlässigbar ist somit der Retentionseffekt der Ebene Husmatt.

Abbildung 77: Gegenüberstellung der max. Fliesstiefen bei HQ_{300} (Gangliniensimulation) mit überströmbarem und undurchlässigem rechtem Ufer, Quelle: HZP

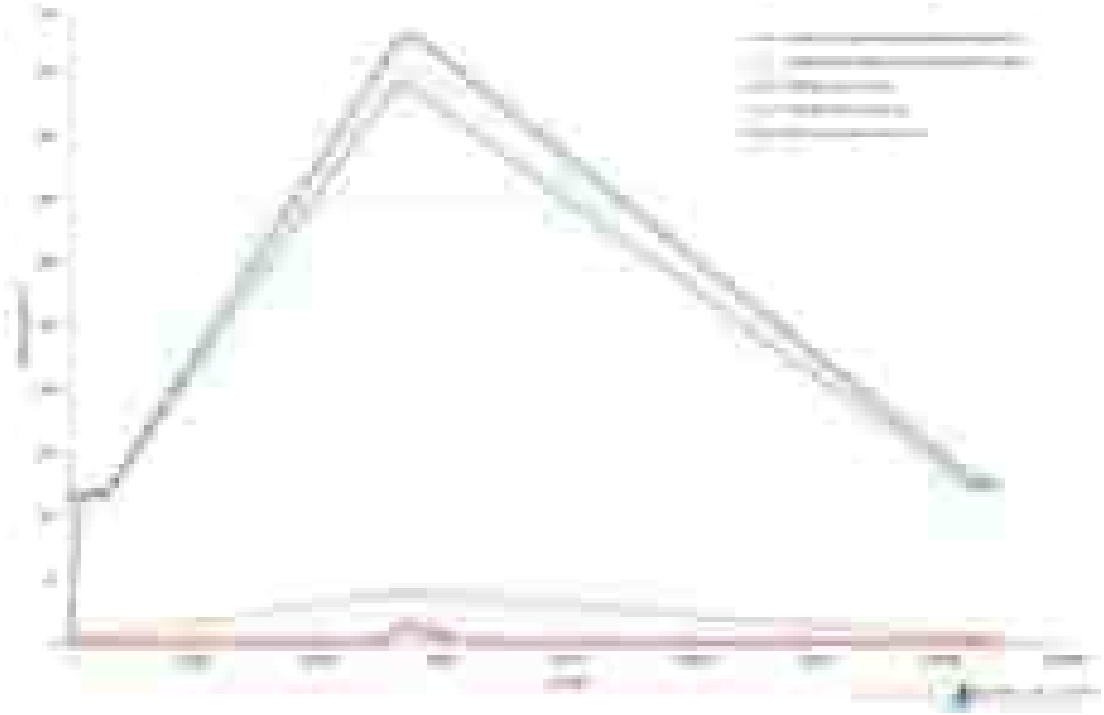


Abbildung 78: Visualisierung des Effekts der Ausuferungen, die Durchflussganglinien bei QP 1222 sowie die Zuflussganglinien von Muota und Seeweren. Die Unterschiede zwischen den beiden Durchflussganglinien sind minimal. Die austretende Wassermenge liegt bei 15.4 m^3/s im Maximum am rechten Ufer (ca. 3% der Abflussspitze).

6.3 Effekte auf Gefährdung durch Oberflächenabfluss

Das Gebiet Husmatt sowie das rechtsufrige Gebiet zwischen Gewiss-Adr. 1576 und 1371 sind im IST-Zustand neben der Gefährdung durch die Muota auch durch Oberflächenabfluss gefährdet. An beiden Stellen kann es bei Starkniederschlägen zu erheblichen Gefährdungen durch Hangwasserbildung kommen (Abbildung 79).

Die Oberflächenabflussproblematik im Gebiet Husmatt kann mit dem Revitalisierungsprojekt nicht verbessert werden. Die Aufweitung der Muota führt nicht zu einer verbesserten Abflusssituation für das Oberflächenwasser.

Eine gewisse Verbesserung der Oberflächenabflusssituation kann jedoch im Gebiet rechtsufrig, zwischen Gewiss-Adr. 1576 und 1371, konkret zwischen Gewiss-Adr. 1576 und 1445 erreicht werden. Mit der Verbreiterung des Seitenarms (ehem. Unterwasserkanal) wird der Weg Richtung Hangfuss versetzt. Damit kann in Zukunft das Hangwasser über den Weg in den Altarm abfliessen. Zwischen Gewiss Adr. 1445 und 1371 hingegen kann die Situation nicht verbessert werden. Der topografische Bestand bleibt hier bestehen.

Allfällige Objektschutzmassnahmen vor Oberflächenwasser, aber auch vor Wasser aus Übersarungen im Überlastfall liegen in der Eigenverantwortung der Liegenschaftsbesitzern/-innen und sind nicht Bestandteils des Projekts.

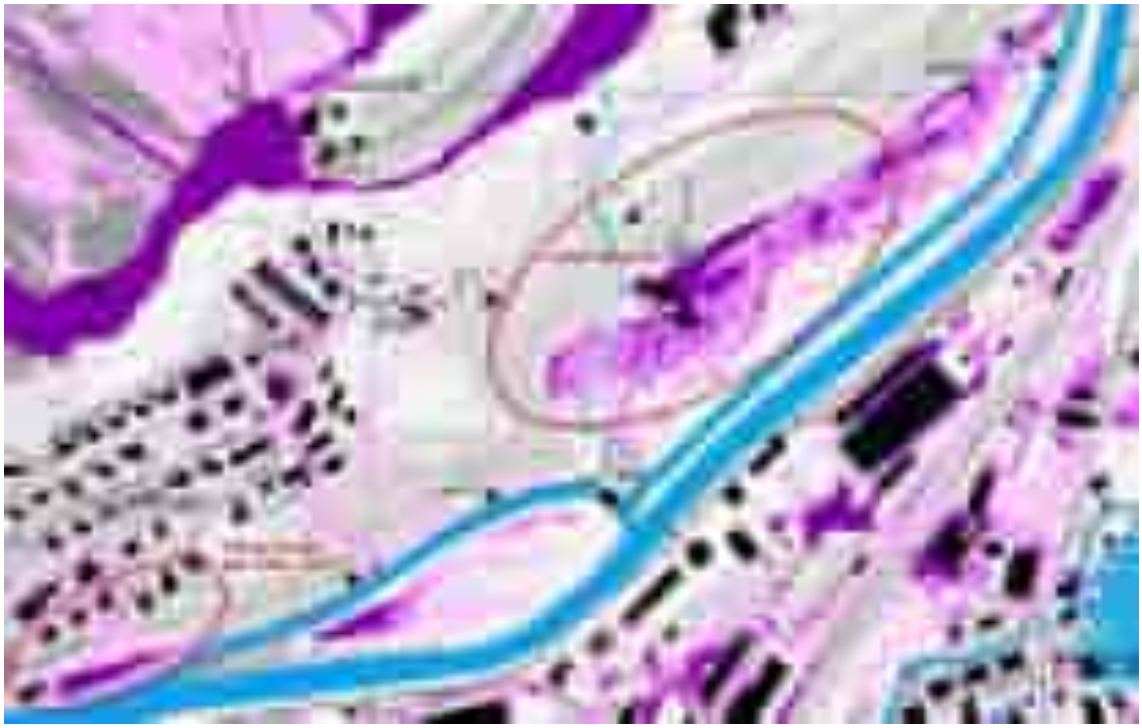


Abbildung 79: Gefährdung Oberflächenabfluss. Quelle: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss BAFU

7 KOSTEN

7.1 Kostenvoranschlag

Der Kostenvoranschlag für die Erstellungskosten beträgt CHF 14.18 Mio. inkl. MwSt.. Tabelle 14 gibt Auskunft über die Zusammensetzung der Kosten. Der Kostenvoranschlag der Baumeisterarbeiten beruht auf Einheitspreisen realisierter und vergleichbarer Objekte (Preisbasis: 1. Quartal 2025). Die Genauigkeit des KV beträgt +/- 10 %.

Tabelle 14: Kostenvoranschlag +/- 10% gegliedert nach NPK

Die Kosten wurden u.a. mit folgenden Pauschalen gerechnet: für Baustelleneinrichtungen 5% und für Regiearbeiten 10% der Nettobaukosten. Weiter wurden 15% der Nettobaukosten für die Projektierung und Bauleitung eingesetzt. Die Risikokosten (Unvorhergesehenes und Reserve) wurden mit 10% der Nettobau- und Honorarkosten beziffert.

Die effektiven Kosten sind jeweils stark von den Marktbedingungen für Bauleistungen zum Zeitpunkt der Arbeitsvergabe abhängig.

7.2 Finanzierung und Kostenteiler

7.2.1 Abschnitte für Berechnung Kostenteiler

Für die Erstellung des Kostenvoranschlags und den Kostenteiler wurde der Projektperimeter in unterschiedliche Abschnitte unterteilt. Je nach Teilabschnitt bestehen unterschiedliche Kostenbeteiligungen und -teiler. Nachfolgende Abbildung zeigt die Teilabschnittsbildung.

Abbildung 80: Teilabschnittsbildung für die Erstellung des KV und des Kostenteilers

7.2.2 Finanzierung und Kostenteiler

Die ebs Energie AG hat sich aufgrund der Pflicht für ökologische Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen der Konzessionserneuerung der Muotakraftwerke mit 37.5% am Revitalisierungsprojekt (exkl. Abschnitte A und Seeweren) zu beteiligen. Der Anteil entspricht den notwendigen Ökopunkten für den ökologischen Ausgleich respektive Ersatz (in Prozent an den gesamthaften Ökopunkten). Gemäss unterzeichneter Vereinbarung soll der Beitrag nach Möglichkeit, die nicht beitragsberechtigten Kosten decken.

Der Abschnitt C (vgl. Abbildung 80) wird vom Bund als nicht subventionsberechtigt erachtet. Der Abschnitt erfüllt die Anforderungen an eine beitragsberechtigte Revitalisierung nicht. An der gemeinsamen Online-Besprechung vom 02.04.2025 [50] zwischen der ebs Energie AG, dem Bezirk Schwyz, dem AfG Kt. Schwyz, dem BAFU und dem Planerbüro wurde vereinbart, dass der Anteil der ebs Energie AG u.a. für die vollumfängliche Finanzierung des Abschnitts C verwendet werden kann.

Bei Stand Bauprojekt kann neben der Beteiligung der ebs Energie AG, aufgrund von ebenfalls bereits abgeschlossenen Vereinbarungen und Abmachungen, für die Abschnitte B und D von Drittbeiträgen von CHF 0.8 Mio. von der Bauherrschaft Nova Brunnen und diversen Werkeigentümern ausgegangen werden.

Die Gemeinde Ingenbohl hat sich an den Restkosten von Infrastrukturen, die in ihre Zuständigkeit fallen, zu beteiligen. Konkret sind dies Anlagen für die Naherholung wie der neu angelegte, rechtsufrige Uferweg. Die genaue Höhe der Kostenbeteiligung ist abhängig von der Subventionszusicherung seitens Bund und Kanton sowie von der Zuständigkeitsregelung, die mit dem Bezirk Schwyz noch zu vereinbaren ist.

Die nach Abzug der oben erwähnten Beiträge (ebs Energie AG, Nova Brunnen, Werkeigentümer) verbleibenden Projektkosten werden wie andere Revitalisierungsprojekte finanziert und subventioniert.

Mit Blick auf die nicht beitragsberechtigten Deponiegebühren stellte sich im Rahmen der Online-Besprechung mit dem BAFU am 02.04.2025 [50] die Frage, ob diese Kosten, analog den Kosten für die Massnahmen in Abschnitt C, vollumfänglich über den Beitrag der ebs Energie AG finanziert werden können. Dieser Voranfrage hat das BAFU im Nachgang zur Sitzung eine Absage erteilt (nicht vereinbar mit der aktuellen Praxis) [51]. Somit kommen beim Kostenteiler folgende Grundsätze zur Anwendung:

(Abschnitt B + D) + (Abschnitt C) – (Nacherholung / Uferweg / Husmattsteg)	davon 37.5% = ebs Total
ebs total - (Abschnitt C) - 37.5% (nicht beitragsberechtigte Kosten*)	≙ Anteil ebs für Abschnitte B + D

**z.B. nicht beitragsberechtigte Deponiegebühren*

Diese Grundsätze des Kostenteilers haben Einfluss auf die beitragsberechtigte Summe und die Höhen der Restkosten respektive die Kosten des Bezirks Schwyz. Für die ebs Energie AG bzw. deren Kostenbeteiligung und deren Anzahl erzielte Ökopunkte ändert sich nichts.

Anhang C hält den Kostenteiler gemäss Annahmen des Bauprojekts fest.

7.2.3 Anrechenbarkeit der Kosten

Ob Kosten als anrechenbar und nicht anrechenbar gelten, regelt Anhang 5 der gültigen Programmvereinbarung im Umweltbereich [52]. Aufgrund der gemeinsamen Online-Besprechung vom 02.04.2025 [50] zwischen der ebs Energie AG, dem Bezirk Schwyz, dem AfG Kt. Schwyz, dem BAFU und dem Planerbüro sowie zum besseren Verständnis des Kostenvoranschlags und des Kostenteilers in Anhang C werden folgende Aspekte festgehalten:

- Der Husmattsteg (Instandstellung mittels Oberflächensanierung) ist nicht subventionsberechtigt. Auch ist der vereinbarte Anteil der ebs Energie AG von 37.5% an den Gesamtkosten nicht für diese Instandstellung zu verwenden (kein ökologischer Mehrwert). Die ebs Energie AG, der Bezirk und ggf. Dritte haben die Finanzierung der Instandstellung untereinander und losgelöst vom Revitalisierungsprojekt zu klären. Im KV des Bauprojekts sind die Kosten separat aufgeführt und (provisorisch) den Restkosten des Bezirks zugewiesen.
- Der Rückbau respektive der Abbruch der Kraftwerksanlagen wird als ein projektbedingter Abbruch beurteilt. Es besteht keine konzessionsbedingte Pflicht für einen Rückbau und die Anlagen wurden seinerzeit rechtmässig erstellt. Die Kosten für den Abbruch sind subventionsberechtigt.
- Der Rückbau der «Nutzungselemente» des Kraftwerks (z.B. elektromechanische Anlageteile, Altlasten, usw.) werden als nicht subventionsberechtigt beurteilt. Dies beinhaltet Leistungen und Kosten welche nicht von einem herkömmlichen Baumeister (Tiefbau-/Wasserbauunternehmen) geleistet werden können. Im Rahmen des Subventionsgesuch ist dieser Grundsatz qualitativ zu

beschreiben. Auf quantitative Angaben im KV respektive im Subventionsgesuch kann verzichtet werden.

- Der Betonabbruch ist möglichst im Projekt wieder zu verwerten oder dem Recycling zu zuführen. Die Verwertungs- respektive die Recyclingkosten sind beitragsberechtigt. Ist eine Wiederverwertung/ Recycling nicht möglich oder nicht wirtschaftlich, sind allfällige Deponiekosten ebenfalls subventionsberechtigt. Im KV wird von einer Beitragsberechtigung von 100% für den Betonabbruch ausgegangen. Konkret wird erwartet, dass 90% des Betonabbruchs sortenrein getrennt und dem Recycling zugeführt werden kann und dass für die restlichen 10% eine sortenreine Trennung wirtschaftlich nicht tragbar ist.
- Im Materialbewirtschaftungskonzept und im KV wird davon ausgegangen, dass 38% des projektbezogenen Aushubmaterials im Projektperimeter selbst wieder eingebracht und verwertet werden können. Rund 62% des Aushubmaterials verlassen somit den Projektperimeter, wovon wiederum knapp 4/5 (81%) bzw. rund 50% des Gesamtaushubvolumens in nahe gelegenen Aufbereitungs- und Sortieranlagen zu Baumaterialien für den Baumarkt (Sekundärbaustoffe) aufbereitet werden können (Annahme). Letzlich entfallen so 11% des gesamten Aushubvolumens auf eine Deponie Typ A und somit auf nicht beitragsberechtigte Deponiegebühren.

7.2.4 Subventionssätze

Revitalisierungsprojekte werden durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU), den Kanton und den Bezirk massgeblich subventioniert. Das Revitalisierungsprojekt Muota im Abschnitt KW Brunnen fällt gemäss den Kriterien der Programmvereinbarung im Umweltbereich [52] in die Kategorie der Einzelprojekte. Einzelprojekte können mit einem Finanzierungssatz zwischen 35% und 80% der anrechenbaren Kosten seitens BAFU rechnen. Die effektive Höhe des Satzes richtet sich nach der Wirksamkeit der Massnahmen und des Projekts.

Auf Stufe Bau- und Auflageprojekt wird von den folgenden behördenverbindlich verankerten Subventionsansätzen ausgegangen:

- Bund: 55% der anrechenbaren Kosten (Annahme Grundsubventionen 35% + 20% für Projekte mit grossem Nutzen)
- Kanton: 15% - 21% der anrechenbaren Kosten
- Bezirk: 20% - 26% der anrechenbaren Kosten

Der Kostenteiler in Anhang C geht bei den Ansätzen vom Kanton und Bezirk von den minimalen Subventionsansätzen aus.

Zusätzlich zum Subventionsanteil des Bezirks gemäss §58 KWRG übernimmt der Bezirk im vorliegenden Projekt, aufgrund seiner Wasserbaupflicht an der Muota, auch die Restkosten. Hierzu erfolgt noch eine kleine Beteiligung der Gemeinde Ingenbohl für den neuen Uferweg (vgl. Kapitel 7.2.2).

8 BAUVORGANG

8.1 Bauzeit und Ausführungszeitpunkt

Aus Erfahrungswerten aus anderen Projekten wird mit einer Bauzeit von ungefähr 24 Monaten gerechnet. Die effektive Bauzeit ist stark abhängig von der Witterung, bzw. von den Abflüssen, aber auch von den bereitgestellten Ressourcen des Bauunternehmers.

Bei der Bauausführung ist die saisonal schwankende Wasserführung der Muota zu berücksichtigen. Der Ausführungszeitpunkt von Arbeiten im Hauptgerinne ist aus bautechnischer Sicht so zu wählen, dass sie möglichst bei Niedrigwasser durchgeführt werden können. Hierfür ist das Winterhalbjahr (ca. Oktober – März) prädestiniert. Dies steht jedoch im Konflikt zu den Laichzeiten gewisser Fischarten. Diese Thematik (Zielkonflikt) gilt es in der weiteren Planung mit den zuständigen Behörden zu thematisieren.

Im Weiteren wird auch der Schwall-Sunk Betrieb oberliegender Kraftwerke einen erheblichen Einfluss auf die Bauausführung haben.

8.2 Bauablauf und Baulose

Das Revitalisierungsprojekt wird in zwei Baulose aufgeteilt. Los 1 reicht von der Mitte des Industriegebiets Stegstuden bis zur historischen Wylerbrücke bzw. vom Gewässer Km 3.723 bis Km 5.075. Los 2 beinhaltet den Einmündungsbereich der Seeweren in die Muota bis zur Mitte Industriegebiet Stegstuden, d.h. vom Gewässer Km 3.367 bis Km 3.723.

Die Ausführung und der Ausführungszeitpunkt der beiden Lose sind mit den Drittprojekten Ersatzneubau Brücke Langesteg und Erschliessung Brunnen Nord abzustimmen. Der Ersatz der Brücke Langesteg seinerseits ist direkt vom Projekt zur Erschliessung des Entwicklungsgebiets Brunnen Nord abhängig. Die beiden Vorhaben (Brücke und Erschliessung Brunnen Nord) können aus baulogistischen Gründen nicht gleichzeitig realisiert werden. Beide Vorhaben bedingen eine Vollsperrung der Seewerenstrasse um ungefähr je ein Jahr [53].

Aufgrund der gewählten Losgrenze kann Los 1 des Revitalisierungsprojekt technisch unabhängig von den Drittprojekten Ersatzneubau Brücke Langesteg und Erschliessung Brunnen Nord realisiert werden. Die einzigen in der Submission wie auch in der Ausführungsplanung zu berücksichtigende Rahmenbedingung ist die allfällig vorherrschende Strassen- und Brückensperre (erhebliche Auswirkungen auf die Baustellenerschliessung und -logistik). Aus hochwasserschutztechnischen Gründen und aus Überlegungen zur Wasserhaltung (Nutzung des Oberwasserkanals für die Wasserhaltung zur Reduktion des Abflusses und der Schwall-Sunk Effekte im Baubereich) ist es sinnvoll die Massnahmen von flussabwärts Richtung flussaufwärts auszuführen. Die

Ausführung von Los 2 erfolgt idealerweise erst nach Fertigstellung der neuen Brücke Langesteg.

Die Sanierungsmassnahmen am Steg Husmatt (Oberflächenreinigung und punktuelle Reprofilierung mit Beton bei lokalen Schadstellen) sowie der Rückbau inkl. die Gebäudeschadstoffsanierung können als eigene losunabhängige Massnahme ausgeschrieben und realisiert werden.

8.3 Erschliessung der Baustelle

Die Erschliessung der Baustelle erfolgt über das öffentliche Strassennetz und die rechte Uferseite der Muota. Bei der Baustellenlogistik werden folgende Grundsätze verfolgt:

- Minimierung der schädlichen Auswirkungen des generierten Verkehrsaufkommens
- Optimale Nutzung bestehender Infrastrukturen, z.B. Nutzung bestehender Wege als Baupisten

Die vorgesehenen Erschliessungswege (Zufahrtswege), sowie die Baupisten, Installations-, Zwischenlager- und Materialumschlagsplätze sind auf den Situationsplänen (Planbeilagen 2.03 – 2.05) eingezeichnet. Die Baulogistik wird im Rahmen der weiteren Projektplanung laufend verfeinert und im Rahmen der Ausführungsplanung/ Ausführung definitiv festgelegt.

Insgesamt sind im gesamten Projektperimeter vier Materialumschlags- und Installationsplätze ausgeschieden:

- Installationsplatz und/ oder Zwischenlagerfläche bei der Einmündung Seeweren, auf dem Areal der ARA, F = 3'250 m^2
- Zwischenlagerfläche und Materialumschlagsplatz bei Gewässer Km 3.804, F = 760 m^2
- Installationsplatz und/ oder Zwischenlagerfläche auf der Fläche vom Kraftwerksgebäude (nach Rückbau) und der angrenzenden Landwirtschaftsparzelle, F = 1'100 m^2
- Installationsplatz und/ oder Zwischenlagerfläche auf dem zu verfüllenden Teil des Oberwasserkanals, F = 2'970 m^2
- Zwischenlagerfläche und Materialumschlagsplatz bei Gewässer Km 4.981, F = 1'300 m^2

Die Flächen liegen teilweise auf landwirtschaftlich genutztem Boden (exkl. Oberwasserkanal). Entsprechend sind beim Erstellen der Plätze die Bodenschutzmassnahmen gemäss Bodenschutzkonzept (Berichtbeilage 1.05) zu beachten. Dasselbe gilt für Baupisten auf Landwirtschaftsland.

Der obere Teil des Oberwasserkanals ist zuerst mit Aushubmaterial zu verfüllen, ehe er als Installations- und Zwischenlagerfläche verwendet werden kann (exkl. Anlegen von Unter- und Oberboden).

Die im Gewässer eingezeichneten Baupisten sind als hinweisende Erschliessungspisten zu interpretieren. Es sollen zum Bau von Baupiste keine Kiesschüttungen im Gewässer vorgenommen werden. Vielmehr ist das bestehende Flusskies so zusammen zu ziehen, dass mittels Bagger und Grossdumper darauf gearbeitet werden kann.

8.4 Wasserhaltung

Für den Bau von Los 1 bietet sich die Nutzung bzw. Teilnutzung des KW-Kanals für die Wasserhaltung an. Bei einem Bau der flussbaulichen Massnahmen von flussabwärts in Richtung flussaufwärts, kann jeweils immer noch Wasser in den Kanal / teilweise noch vorhandenen Kanal ausgeleitet werden. Dadurch können auch die Auswirkungen des Schwall-Sunk Betriebs abgemindert werden.

Weiter werden zur baulichen Umsetzung der Massnahmen entlang der Ufer und im Gerinne voraussichtlich kleine Umleitungsdämme aus anstehendem Sohlenmaterial geschüttet und grosse Leerrohre eingesetzt.

Wasserhaltungen mit Spundwänden oder Pumpensümpfen sind aus heutiger Sicht nicht notwendig.

9 WIRKUNGSKONTROLLE

9.1 Pflicht zur Wirkungskontrolle

Revitalisierungsprojekte, an welchen sich der Bund finanziell beteiligt, sind im Rahmen einer Erfolgskontrolle zu überprüfen [54]. Neben einer Umsetzungskontrolle wird mit einer standardisierten Wirkungskontrolle die ökologische Wirkung der umgesetzten Massnahmen erfasst. Für Einzelprojekte wie das vorliegende legt die vorgegebene Methode fest, dass im Minimum zwei der elf aufgeführten Indikatorsets zur Anwendung kommen.

9.2 Gesamtkonzept Wirkungskontrolle Muota

An der Muota und in ihrem Einzugsgebiet sollen in den nächsten Jahren eine ganze Reihe von Massnahmen durchgeführt werden. Diese Massnahmen resultieren aus der Sanierung Wasserkraft (Schwall-Sunk, Geschiebe, Fischgängigkeit), der Neukonzessionierung der Muotakraftwerke und der Revitalisierungsplanung. Ein übergeordnetes Gesamtkonzept [55] soll sicherstellen, dass die verschiedenen, durchzuführenden Wirkungskontrollen aufeinander abgestimmt und Synergien genutzt werden. Basierend auf Abschnitten werden für die Muota Indikatoren empfohlen. Der Projektperimeter ist nahezu übereinstimmend mit dem Abschnitt 34. Folgende Indikatoren-Sets sind für das Revitalisierungsprojekt vorgesehen:

- 1 Habitatvielfalt
- 6 Makrozoobenthos
- 7 Fische
- 8 Ufervegetation

Im übergeordneten Gesamtkonzept werden ausserdem weitere Indikatoren vorgeschlagen zur Überprüfung der Wirkung der Sanierungen Schwall-Sunk, Geschiebe und Fischgängigkeit. Synergien ergeben sich insbesondere bei der Sanierung Schwall-Sunk und Fischgängigkeit, für die der Indikator «Fische» (MSK Fische) erhoben werden muss.

Gemäss Wegleitung des BAFU «Wirkungskontrolle Revitalisierung. Gemeinsam lernen für die Zukunft» (BAFU, 2019) soll der Ausgangszustand bis max. 2 Jahre vor der Umsetzung sowie 4 und 12 Jahre nach der Umsetzung der Massnahmen erfolgen.

9.3 Vorschlag Indikatoren Revitalisierung

Die Indikatoren für die Wirkungskontrolle werden aus dem Gesamtkonzept Wirkungskontrolle Muota übernommen.

Da die Muota auch bei Niederwasser relativ viel Wasser führt, ist eine quantitative Abfischung nur mit sehr grossem Aufwand möglich. Es werden daher keine quantitativen

Befischungen (gemäss Indikatorset 7 «Fische») in der Muota stattfinden. Da im Gerinne spezifische Massnahmen zur Strukturierung der Gewässersohle umgesetzt werden sollen, welche u.a. darauf abzielen, vielfältige Habitatstrukturen für Fische zu schaffen, wird eine spezifische Überprüfung deren Wirkung als wichtig erachtet. Daher sollen punktuelle Befischungen von Strukturen (Totholzstrukturen, Kiesbänke, Längsverbau) durchgeführt werden. So kann die Wirkung der Strukturmassnahmen beurteilt werden.

Aufgrund der grossen Bedeutung dieses Abschnitts der Muota für die Vernetzung zwischen Vierwaldstättersee und Seeweren / Lauerzersee ist der untere Abschnitt der Seeweren in die Wirkungskontrolle betreffend Fische einzubeziehen. Es können so wichtige Aussagen zur Wirkung gemacht werden, welche bei einer alleinigen Untersuchung in der Muota nicht möglich wären.

9.4 Probenahmestandorte

Der Aufnahme der Indikatoren erfolgt im Jahr 2026. Die Habitatvielfalt und das Makrozoobenthos werden im Frühling erhoben. Die Kartierung der Ufervegetation erfolgt während der Vegetationsperiode im Sommer und die Befischungen finden schliesslich im Herbst statt.

Geschiebesanierung

Die Erhebung der Indikatoren «Veränderung mittlere Sohlenlage» und «Substratverteilung» erfolgen flächendeckend über den gesamten Abschnitt, während die Erhebung des Indikators «Innere Kolmation» punktuell in trockenen Sohlenbereichen im Abschnitt erfolgt (Abbildung 81).

Revitalisierung

Das Indikatorset 1 «Habitatvielfalt» wird in Bezug auf die Sohlen- und Uferstruktur im Gesamtabschnitt beprobt. Die Querprofile, Deckungsstrukturen, Substratbeschaffenheit und die Mobilisierbarkeit des Substrats werden dagegen nur im Unterabschnitt vermessen bzw. kartiert (Abbildung 81).

Das Indikatorset 8 «Ufervegetation» wird im gesamten Abschnitt untersucht, während das Indikatorset 6 «Makrozoobenthos» nur im Unterabschnitt beprobt wird. Abbildung 81 zeigt die Lage des Unterabschnitts und die voraussichtlichen Standortschwerpunkte der Strukturbefischung.

Sanierung Schwall-Sunk

Die Untersuchung des Indikators F2 «Stranden von Fischen» erfolgt in 1 - 2 ausgewählten Kiesbänken im Abschnitt. Für den Indikator F3 «Laichareale der Fische» und F6 «Habitateignung Fische» wird ein Habitateignungsmodell basierend auf einem hydraulischen Modell für den Unterabschnitt erstellt (Abbildung 81). Die Temperaturdaten für den Indikator Q1 «Temperatur» werden von der BAFU-Messstelle «Ingenbohl» bezogen.

Abbildung 81: Wirkungskontrolle, Probenahmestandorte

9.5 Berichterstattung

Nach Abschluss der Bauarbeiten werden die Ergebnisse der Massnahmen aufgezeigt. Die entsprechenden Feldprotokolle, Eingabeformulare und Hilfsmittel für die Indikatoren der Wirkungskontrolle wurden vom BAFU bereitgestellt. Ein eigentlicher Schlussbericht zu Handen des Kantons ist gemäss Praxisdokumentation «Wirkungskontrolle Revitalisierung – Gemeinsam Lernen für die Zukunft» nicht vorgesehen, erfolgt aber im Rahmen des Gesamtkonzepts Wirkungskontrolle Muota.

10 ANHANG

Anhang A: Plan Variantenstudium AquaPlus AG

Anhang B: Baugrunduntersuchungen

Anhang C: Kostenteiler

Anhang D: Untersuchungsbericht Bauschadstoffe Gebäude KW Brunnen

Anhang E: Stabilitätsnachweis Blocksatz und Dimensionierung Filterschicht

Anhang F: Vordimensionierung Riegel-Becken-Rampe

Anhang G: Resultate 2D-Modellierung

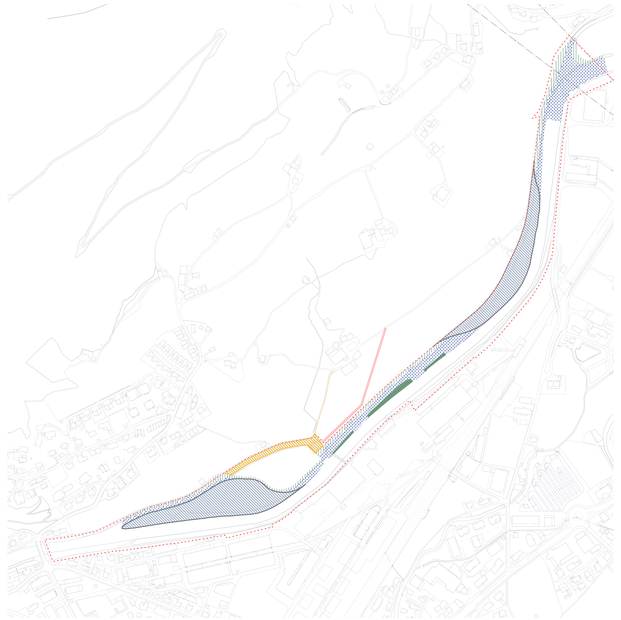
Anhang A

Plan Variantenstudium AquaPlus AG

VARIANTE A1 - "ALTARM"

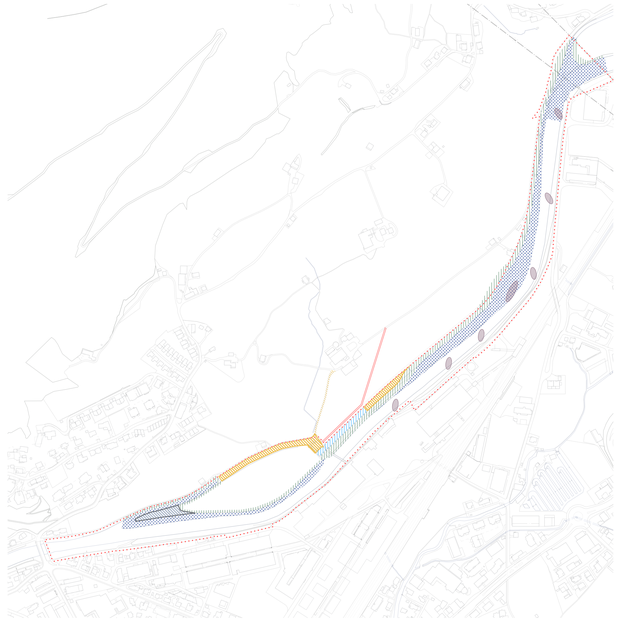
VARIANTE A2 - WÄSSERWIESEN

VARIANTE A3 - AUENLANDSCHAFT

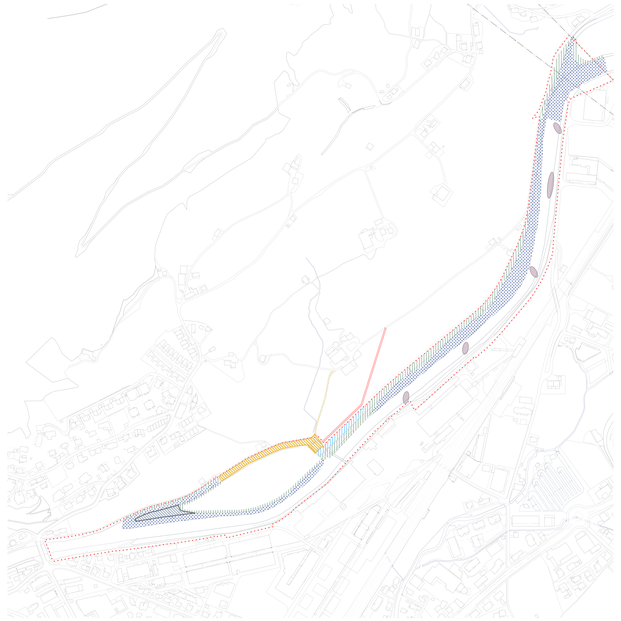


VARIANTE B1

VARIANTE B2



VARIANTE B3



Legende

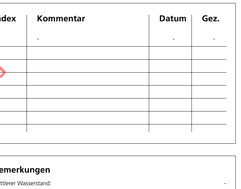
- Verbreiterung Muota / UW Kanal Aufwertung Gewässersohle
- Erhalt Gehölze
- Aufwertung Uferbereich / Böschung heterogen, variierend 1:3 - 2:3
- Zugang Erholungssuchende
- Abbruch Kanal; Rekultivierung
- Abbruch Weg; Rekultivierung
- Weg Projektiert
- Überflutbare Bereiche, Aue
- Buhne / Offene Kiesfläche
- Wässerwiesen
- Informationsstand, Besucherzentrum o.ä.

Referenzbilder

Weichholz-Auenwald. Quelle Bild: infoflora - Peter Bolliger

Durch die gezielte Schaffung adäquater Bedingungen (kiesige Sohle usw.) sollen die Aschenbestände langerfristig geschützt werden. Quelle Bild: Michel Roggo

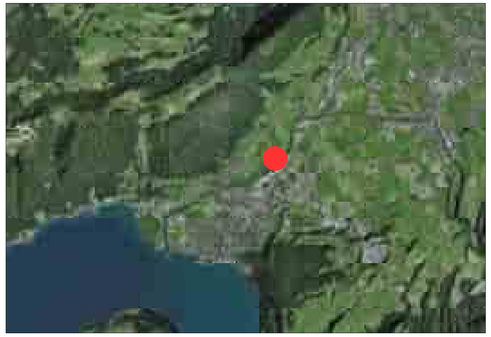
Totholzstrukturen besitzen eine strukturierende Funktion und bilden für Fische essentielle Lebensgrundlagen. Quelle Bild: AquaPlus - Roman Lussi



Die Muota soll durch gezielte Massnahmen ihre naturnahe Dynamik zurückerhalten, wie die Aare im Bild. Quelle Bild: RAOnline

REVITALISIERUNG MUOTA ABSCHNITT KW BRUNNEN

2293



VARIANTENSTUDIUM

2293_2412

Auftraggeber	Bezirk Schwyz | Umwelt Smrikgasse 15 6430 Schwyz
Datum 28.03.23	**Plangrösse** 1:050m / 0.594m
Massstab 1:5000	**Dateiname** 2293_2410_230328.vwx
Gezeichnet RL	**Gepüft** MC | RL

VORABZUG

Index	Kommentar	Datum	Gez.
A	-	-	-

AquaPlus

AquaPlus AG · Gotthardstrasse 30 · CH-6300 Zug
Fon +41 41 729 30 00 · Fax +41 41 729 30 01
admin@aquaplus.ch · www.aquaplus.ch

Bemerkungen

Mittlerer Wasserstand:	-
Stand AV Daten	15.3.23
Stand Grundlagen LA	-

Anhang B

Baugrunduntersuchungen und historische Unterlagen zum Baugrund

Beilage Nr. 2.02

Revitalisierung Muota

Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Vorprojekt

Situation 1:1000

Technischer Plan

INGE Mehrwert Muota
Kissling + Zbinden AG
AquaPlus AG
Dr. von Moos AG
Hunziker, Zarn & Partner AG

Projekt Nr.	Plan Nr.
6.460	/ 31.512

Format: 60 / 200

	Gezeichnet / Revidiert			Geprüft			Freigabe	
	Datum	Visum		Datum	Visum		Datum	Visum
A	15.09.2023	tg / ayh		15.09.2023	la		15.09.2023	ma
B								
C								
D								
E								

Auftraggeber: ebs / Bezirk Schwyz

Revitalisierung Muota

GRUNDWASSERMONITORING

Situation 1:1000

Legende:

- 81/24 — geplante Kernbohrung
- 32 — ältere Bohrung mit Archivnummer vM
- Pegelmesser
- geotechnisches Profil

Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

Grz	Kontr	Datum	Beilage:	1
BO	DL	22.01.2024		
			Bericht:	12911
			Format:	80 x 200

Legende

Orientierungsinhalt

- Gebäude
- Strassen, Wege, Flugplatz
- Trottoir, übrig befestigte Flächen
- Gewässer
- Wald (AV-Daten)
- übrige bestockte Flächen
- Überflutungsflächen
- Kantonsarme

- Querprofile BAFU
- Gemeindegrenzen
- Flussachse Muota
- Drittprojekte
- Grundwasserschutzzonen
- Gewässerraum
- Belastete Standorte

Werkleitungen

Bestand

- Schmutzabwasserleitungen
- Mischabwasser
- Regenabwasserleitungen / Drainage
- Druckwasser
- Elektro unterirdisch (EWS)
- Kommunikation (WW2)
- Kommunikation (Swisscom)
- Fernwärme (Agro FWL)

Genehmigungsinhalt

- Gewässerraum
- proj. Flussachse Muota
- Abbruch
- Überschüttung / Damm bestockt (50-80%)
- Projektierte Wege
- Naherholungsgebiet
- Auffüllung
- Absenkung

Plangrundlagen

Grundbuchplan
Digitales Geländemodell
Höhenkurven
Vermessungen

Digitale AV-Daten; Amt für Geoinformation des Kanton Schwyz, Stand Dezember 2022
Swiss ALTI®, Bundesamt für Landestopografie; Auflösung 2019
Äquidistanz 1 m
Stand Dezember 2022

V2011-81-Situ.ai

Weg Variante 5a

Weg Variante 5b

Hund um Insel Überschwemmung entfernen
Grundwasserabsenkung, alle 1 - 2 Jahre überflutet

Anpassung Entwässerungsleitung
In SIA-Phase 32 prüfen ob ein projektbedingter Anpassungsbedarf bei der Meteorwasserableitung des Gebäudes besteht.

In SIA-Phase 32 prüfen ob ein projektbedingter Anpassungsbedarf bei der Meteorwasserableitung des Gebäudes besteht.

Anpassungen Wasserleitung
Mögliche Einbindung Ersatzwasserleitung in renaturierte Wasserjgräbi oder in Muota. In SIA-Phase 32 prüfen.

Weitwinkelkurvilinear Mauerprofil

Abbruch Gebäude Rekultivieren

Weitwinkelkurvilinear Mauerprofil

Naherholung

In SIA-Phase 32 prüfen ob ein projektbedingter Anpassungsbedarf bei der Meteorwasserableitung des Gebäudes besteht.

Entsorgen: Ersatzwasserleitung Hochwasser Hauptbett

Mindestabstand zur Leitung 7 m; maximale Arbeitshöhe = 464.80 m ü. M.

Abbruch Freimast, wird durch a Turbs an Langzeig-Brücke ersetzt

Langzeig: Neubau Brücke

Langzeig: mit Gewässerraum

Abbruch Schwelle

Abbruch Freimast, wird durch a Turbs an Langzeig-Brücke ersetzt

Abbruch Schwelle

Abbruch Schwelle

Abbruch Schwelle

Revitalisierung Muota
Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Bericht: 12911

Beilage: 2

Auftraggeber:

Bezirk Schwyz / ebs Energie AG

Bohrunternehmung:

Studersond AG, 3635 Uebeschi

Geologische Begleitung:

vM Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

SONDIERBOHRUNG NR. B1/24

Höhenlage: 444.93 m ü.M.

Koordinaten: 2'689'645 / 1'207'151

Neigung: vertikal

Richtung: ----

Bohrart: Kernbohrung

Bohrprofil Massstab 1 : 100

Ausführungsdatum: 04.04.2024

Bohrmeister: Marco Feuz

Aufnahme: Dr. B. Schneider, Geologe
04. April 2024

Gezeichnet : BS

Format: A3

Verrohrung Kronen-Typ	Verrohrung Ø [mm]	Koten Höhen [m ü.M.]	Koten Tiefen ab OKT	Profil	Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes	Geologische Identifikation	Kernausbeute	Bemerkungen
			0.40		5 cm Grasnarbe, dann Silt, feinsandig, schwach kiesig, Komponenten bis ø 5 cm, kantig bis kantengerundet, erdfeucht, braun			
HM	150				Silt, feinsandig, mit Kies, Steinen und Blöcken bis 24 cm, kantig, leicht kompakter Kern, erdfeucht, braun bis hellbraun	Hangschutt		
		442.93	2.00					
		442.23	2.70		Mergel bis Siltstein, stark verwittert, teilweise zersetzt/zerbohrt, teilweise unverwitterte Quarz-/Calzitadern, braun bis beigebraun	verwitterter Fels (Stad-Mergel, Helvetikum)	100 %	

Bericht Nr. 12911
Beilage 2

Zürich, 22.04.24
12911-B2_KB1-24.ai

Revitalisierung Muota
Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Bericht: 12911

Beilage: 3

Auftraggeber:

Bezirk Schwyz / ebs Energie AG

Bohrunternehmung:

Studersond AG, 3635 Uebeschi

Geologische Begleitung:

vM Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

SONDIERBOHRUNG NR. B2/24

Höhenlage: 441.35 m ü.M.

Koordinaten: 2'689'389 / 1'206'793

Neigung: vertikal
Richtung: ----
Bohrart: Kernbohrung

Bohrprofil Massstab 1 : 100

Ausführungsdatum: 04.04.2024

Bohrmeister: Marco Feuz

Aufnahme: Dr. B. Schneider, Geologe
04. April 2024

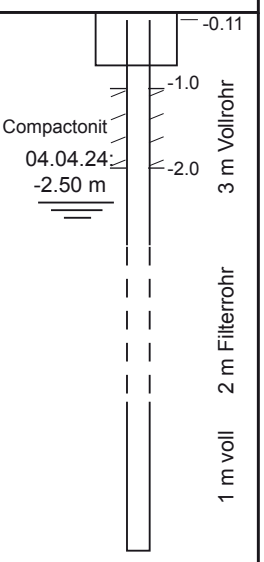
Gezeichnet : BS

Format: A3

Verrohrung Kronen-Typ	Verrohrung Ø [mm]	Koten Höhen [m ü.M.]	Koten Tiefen ab OKT	Profil	Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes	Geologische Identifikation	Kernausbeute
HM	150	440.55	0.80		5 cm Grasnarbe, dann Silt, schwach feinsandig, tonig, erdfeucht, braun ab 0.6 m kiesig, mit Steinen grösser ø 15 cm, kantig	Verlandungs-ablagerungen	100 %
			2.20		Sand, sauber, vereinzelt mit Steinen grösser ø 15 cm, kantig, leicht kompakter Kern, erdfeucht bis feucht, braun	Muotaschotter	
			4.00		Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis ø 14 cm, kantengerundet bis angerundet, erdfeucht bis feucht, braun		
			5.40		Kies, sandig, mit Steinen bis ø 12 cm, kantengerundet bis angerundet, feucht bis nass, braun bis graubraun 4 – 4.2 m: Sand, sauber, mit Kies		
		434.35	7.00		Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis ø 11 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, braun		

Bemerkungen

4.5"-Piezo:
OKR = 441.24



Bericht Nr. 12911
Beilage 3

Zürich, 22.04.24
12911-B3_KB2-24.ai

Revitalisierung Muota
Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Bericht: 12911

Beilage: 4

Auftraggeber:

Bezirk Schwyz / ebs Energie AG

Bohrunternehmung:

Studersond AG, 3635 Uebeschi

Geologische Begleitung:

vM Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

SONDIERBOHRUNG NR. B3/24

Höhenlage: 440.55 m ü.M.

Koordinaten: 2'689'218 / 1'206'654

Neigung: vertikal
Richtung: ----
Bohrart: Kernbohrung

Bohrprofil Massstab 1 : 100

Ausführungsdatum: 03. - 04.04.2024

Bohrmeister: Marco Feuz

Aufnahme: Dr. B. Schneider, Geologe
04. April 2024

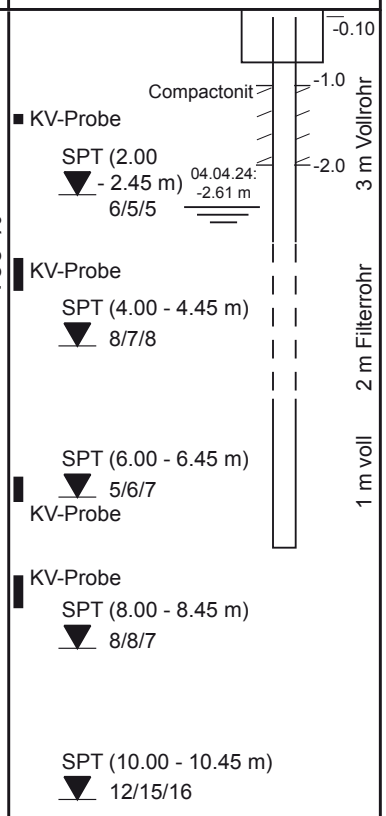
Gezeichnet : BS

Format: A3

Verrohrung Kronen-Typ	Verrohrung Ø [mm]	Koten Höhen [m ü.M.]	Koten Tiefen ab OKT	Profil	Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes	Geologische Identifikation	Kernausbeute
		439.85	0.70		10 cm Grasnarbe, dann Kies, schwach sandig, siltig, mit Steinen bis ø 10 cm, kantig bis kantengerundet, erdfeucht, braun, ab 0.4 m graubraun	künstliche Aufschüttung	
		438.55	2.00		Silt, tonig, schwach feinsandig, vereinzelt mit Kies bis ø 4 cm, Schneckenschalen, erdfeucht, braun ab 1.8 m dünne Sandlagen mit orangeockerfarbenen Schlieren	Verlandungs-ablagerungen	
HM	150		3.00		Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis ø 11 cm, kantengerundet bis angerundet, erdfeucht bis feucht, braun	Muotaschotter	100 %
			5.00		Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis ø 9 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, braun		
			6.80		Kies, sauber bis schwach sandig, mit Steinen bis ø 13 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, grau bis schwarzgrau		
			8.00		Kies, sandig, mit Steinen bis ø 10 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, braun 7.5 – 7.9 m: Mittel- bis Grobsand, sauber, braun		
			9.00		Kies, sauber bis schwach sandig, mit Steinen bis ø 10 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, grau bis schwarzgrau		
		430.55	10.00		Kies, sandig, mit Steinen bis ø 9 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, braun 9 – 9.15 m: Mittel- bis Grobsand, sauber, braun		

Bemerkungen

4.5"-Piezo:
OKR = 440.45



Bericht Nr. 12911
Beilage 4

Zürich, 22.04.24
12911-B4_KB3-24.ai

Revitalisierung Muota
Abschnitt Kraftwerk Brunnen

Bericht: 12911

Beilage: 5

Auftraggeber:

Bezirk Schwyz / ebs Energie AG

Bohrunternehmung:

Studersond AG, 3635 Uebeschi

Geologische Begleitung:

vM Dr. von Moos AG
Geologie + Geotechnik

SONDIERBOHRUNG NR. B4/24

Höhenlage: 440.24 m ü.M.

Koordinaten: 2'689'011 / 1'206'571

Neigung: vertikal
Richtung: ----
Bohrart: Kernbohrung

Bohrprofil Massstab 1 : 100

Ausführungsdatum: 03.04.2024

Bohrmeister: Marco Feuz

Aufnahme: Dr. B. Schneider, Geologe
04. April 2024

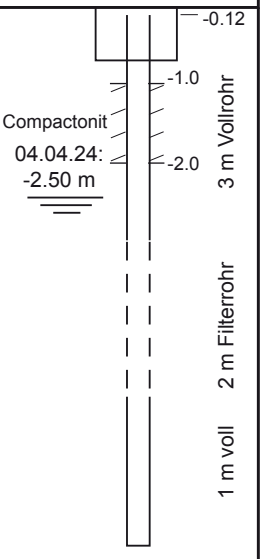
Gezeichnet : BS

Format: A3

Verrohrung Kronen-Typ	Verrohrung Ø [mm]	Koten Höhen [m ü.M.]	Koten Tiefen ab OKT	Profil	Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes	Geologische Identifikation	Kernausbeute
HM	150	439.79	0.45		10 cm Grasnarbe, dann Silt, schwach feinsandig, mit wenig Kies bis ø 2 cm, kantengerundet, durchwurzelt, erdfeucht, braun	künstliche Aufschüttung	100 %
					ab 0.3 m: Kies, sandig, mit Steinen bis ø 7 cm, kantig		
		438.79	1.45		Silt, schwach feinsandig, tonig, vereinzelt mit Kies bis ø 3 cm, kantengerundet, durchwurzelt, vereinzelt Schneckenschalen, erdfeucht, braun	Verlandungs-ablagerungen	
		427.24	3.00		Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis ø 13 cm, kantig bis kantengerundet, erdfeucht, braun bis rotbraun 2.25 – 2.5 m: Silt, tonig, graubraun	Hangschutt	
		433.66	6.60		Kies, sandig bis stark sandig, Komponenten (Siltsteingerölle) bis ø 17 cm, kantig bis kantengerundet, nass, graubraun mit schwarzen Schlieren	Muotaschotter	
		432.76	7.50		Kies, steinig, siltig, schwach sandig, Komponenten bis ø 13 cm, kantengerundet bis angerundet, nass, grau bis schwarzgrau	Hangschutt	
		432.26	8.00		Mergel bis Siltstein, verwittert, zerbohrt, grau bis schwarzgrau	verwitterter Fels (Stad-Mergel, Helvetikum)	
		???.??					

Bemerkungen

4.5"-Piezo:
OKR = 440.12



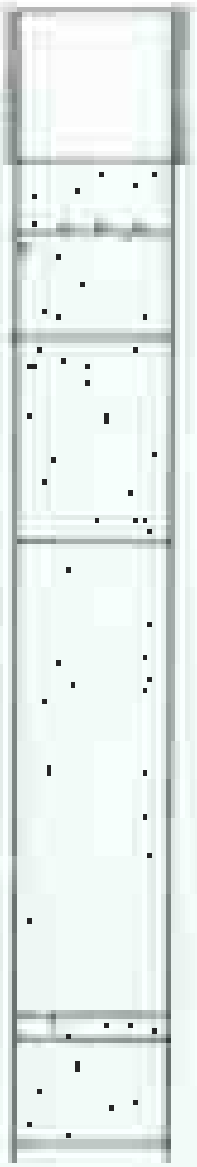
Bericht Nr. 12911
Beilage 5

Zürich, 22.04.24
12911-B5_KB4-24.ai

11

ARA SCHWIZ **SONDIERBOHRUNG**

16



Stump

Stump

Objekt : Ingenbohl, Erschliessung Brunnen Nord

Bohrprofil KB 01/17

Massstab 1:100

Auftrag Nr. :	2317198.1	Plan Nr. :	2317198.1_KB 01-17
Ausführungs-datum :	23.11 - 27.11.2017	Aufgenommen :	R. Kaiser
Unternehmung :	Gebr. Mengis AG	Gezeichnet :	Sw
Bohrmeister :	J. Rüdisüli	Geprüft :	R. Kaiser
Bohrmethode :	Rotationskernbohrung	Format :	A3
Koordinaten :	2'689'671 / 1'206'941	Terrainkote :	ca. 441.94 m ü.M.
		OK-Rohr :	ca. 443.07 m ü.M.

GEOTEST
GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

GEOTEST AG
GRISIGENSTRASSE 6
CH-6048 HORW

T +41 (0)41 349 24 50
F +41 (0)41 349 24 51
horw@geotest.ch

Tiefe	Materialbeschreibung	Geologische Interpretation
0.60	Grasnarbe, Humus, locker, dunkelbraun	Deckschicht A
2.00	Mittelsand, mässig siltig, schwach bis mässig fein- / mittelkiesig, ab 1.2 m vereinzelt feinkiesig, locker, braun	Überschwemmungs-ablagerungen B
3.00	Kies (Komponenten kantengerundet bis gerundet), schwach siltig, mässig sandig, ab 2.7 m vereinzelt siltig, locker, dunkelgrau	SPT = 2/2/3 N = 5
4.00	Kies (Komponenten kantengerundet bis gerundet), mässig sandig, mit Steinen, ab 3.5 m stark sandig, locker, dunkelgrau	
5.20	Kies (Komponenten kantengerundet bis gerundet), sauber, mit Steinen, locker, hellgrau	
5.40	Kies (Komponenten kantengerundet bis gerundet), schwach sandig, mit Steinen, locker, hellgrau	
5.80	Silt, mässig fein- / mittelsandig, schwach fein- / mittelkiesig, ms, dunkelgrau	
6.40	Fein- / Mittelkies, stark sandig, ab 6.0 auch Grobkies, locker, hellbraun	SPT = 4/4/5 N = 9
7.40	Sand, mässig fein- / mittelkiesig, locker, dunkelgrau	
9.30	Kies, schwach fein- / mittelsandig (zwischen 8.0 - 8.3 m sauber), locker, hellgrau - dunkelbeige	Fluss-ablagerungen C
9.80	Silt, mässig feinsandig, vereinzelt feinkiesig (zwischen 9.3 - 9.5 m wenig organ. Resten: Holz), locker, dunkelgrau - dunkelbraun	
12.00	Kies, stark sandig, locker, hellbraun - dunkelbeige - grau	SPT = 10/28/38 N = 66
13.40	Sand, mässig kiesig, ab 12.8 m stark kiesig, sehr dicht, hellbraun - dunkelbeige - grau	
15.00	Kies, mässig bis stark sandig, sehr dicht, hellbraun - dunkelbeige - grau	
18.00	Sand, schwach bis mässig fein- / mittelkiesig, ab 16.2 m vereinzelt feinkiesig, sehr dicht, dunkelgrau	Delta-ablagerungen D
22.00	Mittelsand, sehr dicht, dunkelbeige - grau	SPT = 22/25/40 N = 65
30.00	Wechsellagerung: - Feinsand, teilweise Mittelsand, mässig bis stark siltig, locker - Silt, mässig bis stark feinsandig, steif dunkelbeige - grau	SPT = 12/5/4 N = 9 See-ablagerungen E SPT = 7/11/12 N = 23

Wasser-eintritt Wsp. 27.11.2017

Proben: ungestört / gestört

Einbau: Piezo ø 2" — Überstand 1 m; Vollrohr 3 m mit Stahlschutz 2 m; 1.0; Ab-dichtung (Ton); 2.0; Filter-kies 4/8; Filterrohr geschlitzt 6 m; 8.0

Anhang C

Kostenteiler

6.460 Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen

Zusammenstellung Kostenvoranschlag Total

Genauigkeit: +/- 10%
Stand: 02.04.2026
Preisbasis: Feb 25

Erstellt: lap, mk / Kissling + Zbinden AG
Kontrolliert: mk / Kissling + Zbinden AG

		Seeweren + Muota Abschnitt A	Muota Abschnitte B + D	Muota Abschnitt C	Total
Baukosten		**1'407'000.00**	**8'125'000.00**	**548'000.00**	**10'080'000.00**
NPK 111 -	Regiearbeiten (über alle Baukosten)	122'000.00	699'000.00	47'000.00	868'000.00
NPK 112 -	Prüfungen	5'000.00	8'000.00	2'000.00	15'000.00
NPK 113 -	Baustelleneinrichtungen	61'000.00	433'000.00	24'000.00	518'000.00
NPK 116 -	Abholzen und Roden	9'000.00	60'000.00	17'000.00	86'000.00
NPK 117 -	Abbrüche	215'000.00	2'275'000.00	36'000.00	2'526'000.00
	davon Deponiegebühren beitragsberechtigt	68'517.23	757'826.21	0.00	826'343.44
NPK 141 -	Bauarbeiten für Werkleitungen	0.00	67'000.00	0.00	67'000.00
NPK 161 -	Wasserhaltung	11'000.00	16'000.00	11'000.00	38'000.00
NPK 211 -	Baugruben und Erdbau	421'000.00	2'859'000.00	92'000.00	3'372'000.00
	davon Deponiegebühren beitragsberechtigt	0.00	1'129'634.94	0.00	1'129'634.94
	davon Deponiegebühren nicht beitragsberechtigt	0.00	328'585.87	0.00	328'585.87
NPK 213 -	Wasserbau	563'000.00	1'616'000.00	319'000.00	2'498'000.00
NPK 228 -	Strassenbau	0.00	27'000.00	0.00	27'000.00
NPK 441 -	Ortsbeton	0.00	65'000.00	0.00	65'000.00
Honorarkosten		**211'000.00**	**1'219'000.00**	**82'000.00**	**1'512'000.00**
SIA-Phasen 31-53 Total, Annahme: 15% der Baukosten		211'000.00	1'219'000.00	82'000.00	1'512'000.00
Total Bau- und Honorarkosten netto		**1'618'000.00**	**9'344'000.00**	**630'000.00**	**11'592'000.00**
Gebühren, Bewilligungskosten, Verschiedenes		**8'000.00**	**47'000.00**	**3'000.00**	**58'000.00**
Gebühren, Abfischen, etc.: Annahme 0.5% der Bau- und Honorarkosten		8'000.00	47'000.00	3'000.00	58'000.00
Risikokosten und Reserven		**162'000.00**	**934'000.00**	**63'000.00**	**1'159'000.00**
Risikokosten total: Annahme 10% der Bau- und Honorarkostenkosten		162'000.00	934'000.00	63'000.00	1'159'000.00
Landerwerb, Inkonvenienzen, Nachführung AV		**41'000.00**	**257'400.00**	**10'000.00**	**308'400.00**
Landerwerb		31'000.00	212'400.00	0.00	243'400.00
Inkonvenienzen (grobe Schätzung)		5'000.00	20'000.00	5'000.00	30'000.00
Geometer (grobe Schätzung)		5'000.00	25'000.00	5'000.00	35'000.00
Mehrwertsteuer, 8.1%		148'149.00	857'174.40	57'186.00	1'062'509.40
Total veranschlagte Kosten inkl. MWSt.		1'977'149.00	11'439'574.40	763'186.00	14'179'909.40
Total veranschlagte Kosten inkl. MWSt. gerundet, Mio. CHF		**1.98**	**11.44**	**0.76**	**14.18**
		Total +10%		**Mio. sfr.**	**15.60**
		Total -10%		**Mio. sfr.**	**12.76**
Anteil Abschnitt an Gesamtkosten		13.9%	80.7%	5.4%	100.0%

6.460 Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen
Kostenteiler

Pos.		**Seeweren + Muota Abschnitt A**	**Muota Abschnitte B + D**	**Muota Abschnitt C**	**Total**
1	**KV total, inkl. MWSt.**	**CHF 1’977’100.00**	**CHF 11’439’600.00**	**CHF 763’200.00**	**CHF 14’179’900.00**
2	**KV total, exkl. MWSt.**	**CHF 1’829’000.00**	**CHF 10’582’400.00**	**CHF 706’000.00**	**CHF 13’117’400.00**
3	Beitrag ebs	**CHF 0.00**	**CHF 3’517’025.00**	**CHF 706’000.00**	**CHF 4’223’025.00**
6	Gebühren, Bewilligungskosten, Verschiedenes (37.5%)	CHF 3’000.00	CHF 17’625.00		CHF 20’625.00
7	Deponiekosten (37.5%)	CHF 0.00	CHF 123’200.00		CHF 123’200.00
4	Beitrag Werkeigentümer, Beitrag Nova Brunnen		CHF 800’000.00		CHF 800’000.00
5	**Zwischentotal (abzüglich Beitrag ebs + weitere)**	**CHF 1’829’000.00**	**CHF 6’265’375.00**		**CHF 8’094’375.00**
6	Gebühren, Bewilligungskosten, Verschiedenes (62.5%), nicht beitragsberechtigt	CHF 5’000.00	CHF 47’000.00		CHF 52’000.00
7	Deponiekosten (62.5%), nicht beitragsberechtigt	CHF 0.00	CHF 205’400.00		CHF 205’400.00
8	Instandstellung Steg Husmatt, nicht beitragsberechtigt		CHF 65’000.00		
9	**Zwischentotal (nicht subventionsberechtigte Kosten)**	**CHF 5’000.00**	**CHF 317’400.00**		**CHF 322’400.00**
10	**Zwischentotal (subventionsberechtigte Kosten)**	**CHF 1’824’000.00**	**CHF 5’947’975.00**		**CHF 7’771’975.00**
11	Beiträge Bund	55%	55%		
		CHF 1’003’200.00	**CHF 3’271’386.25**		**CHF 4’274’586.25**
12	Beiträge Kanton	15%	15%		
		CHF 273’600.00	**CHF 892’196.25**		**CHF 1’165’796.25**
13	Beiträge Bezirk	20%	20%		
		CHF 364’800.00	**CHF 1’189’595.00**		**CHF 1’554’395.00**
13	**Zwischentotal Restkosten**	**CHF 182’400.00**	**CHF 594’797.50**		**CHF 777’197.50**
14	Beiträge Gemeinde Ingenbohl (neuer Uferweg)	**CHF 0.00**	**CHF 8’100.00**		**CHF 8’100.00**
15	**Restkosten inkl. nicht subventionsberechtigte Kosten**	**CHF 187’400.00**	**CHF 904’097.50**		**CHF 1’091’497.50**
16	Beitrag Bezirk Schwyz	**CHF 187’400.00**	**CHF 904’097.50**		**CHF 1’091’497.50**

CHF 0.00

Berechnung Beitrag ebs

Muota Abschnitte B + D	CHF 10’582’400.00
Muota Abschnitt C	CHF 706’000.00
Total Abschnitte mit ebs-Beteiligung	**CHF 11’288’400.00**
Abzug Steg Husmatt	0.00
Abzug Naherholung + Uferweg	27’000.00
Total Abzug von ebs-Beteiligung	**27’000.00**
Projektkosten inkl. ebs-Beteiligung	CHF 11’261’400.00
Anteil ebs-Beteiligung %	37.5%
Total Beitrag ebs	**CHF 4’223’025.00**

Steg Husmatt geht nicht zulasten Revitalisierungsprojekt, Kostenteiler für den Steg Husmatt sind zwischen ebs und Bezirk (ggf. weiteren) separat noch zu vereinbaren

gemäss UVB Konzessionserneuerung und Vereinbarung

Anhang D

Untersuchungsbericht Bauschadstoffe Gebäude KW Brunnen

Bauschadstoffbericht

Untersuchung vor Rückbau

Version 1.0 vom 18.04.2024 Nr.240225

Bauherrschaft:

ebs Energie AG
Bau + Infrastruktur
Riedstrasse 17
6431 Schwyz

Auftraggeber:

ebs Energie AG
Bau + Infrastruktur
Riedstrasse 17
6431 Schwyz

Verfasser:

Vincent Guilloud

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3
1.1 Projektdaten 3
1.2 Ausgangslage und Auftrag 4
1.3 Zielsetzung 4
1.4 Relevante Grundlagen 4
2 Ausgeführte Untersuchung 5
2.1 Ausgeführte Arbeiten 5
2.2 Probenahme und Analytik 5
2.3 Bemerkungen 5
3 Resultate 6
3.1 Zusammenfassung Befund 6
3.2 Datenblätter schadstoffhaltige Befunde 9
Anhang 17
Anhang 1 Datenblätter schadstofffreie Befunde 17
Anhang 2 Gesetzliche Grundlagen 27
Anhang 3 Haftungsbeschränkung 27
Anhang 4 Analyseberichte 28

1 Einleitung

1.1 Projektdaten

Bauherrschaft	ebs Energie AG Bau + Infrastruktur Riedstrasse 17 6431 Schwyz
Auftraggeber	ebs Energie AG Bau + Infrastruktur Riedstrasse 17 6431 Schwyz
Untersuchungsdatum	04.04.2024
Projekt-Nr.	240225
Projektbezeichnung	Revitalisierung Muota, Abschnitt Kraftwerk Brunnen
Abschnitt 1: Gebäude mit Schleusen	
Grundstück-Nr.	386
Gebäude-Nr.	322
Abschnitt 2: Gebäude mit Schleusen	
Grundstück-Nr.	386
Gebäude-Nr.	321
Abschnitt 3: Gebäude mit Schleusen	
Grundstück-Nr.	431/386
Gebäude-Nr.	372
Baujahr	Vor 1990

1.2 Ausgangslage und Auftrag

Die ebs Energie AG plant eine Revitalisierung entlang der Muota im Bereich zwischen Seewen und Brunnen. Geplant ist der Rückbau aller Gebäude und Schleusen sowie das Kraftwerk. Die bestehenden Gebäude werden Rückgebaut und die Uferzonen revitalisiert. Im Bereich steht ein Kraftwerk und 3 Schleusenanlagen. Diese sind verteilt auf 3 Abschnitte.
Der Abschnitt ist nicht im Kataster der belasteten Standorte.
Aufgrund des Baujahres vor 1990 und den verwendeten Baumaterialien besteht ein Verdacht auf Bauschadstoffe.
Bei Verdacht auf Bauschadstoffe sind diese zu ermitteln (gesetzliche Ermittlungspflicht gemäss Bauarbeitenverordnung BauAV, Art. 3 und gemäss Abfallverordnung VVEA, Art 16).

Die Firma Guilloud Gebäudediagnostik GmbH wurde von der Firma ebs Energie AG aufgeboten, die Bauschadstoffuntersuchung durchzuführen.

1.3 Zielsetzung

Gesundheits- und umweltgefährdende Materialien zu identifizieren, analysieren und dokumentieren ist Ziel der Gebäudeuntersuchung.
Der Bauschadstoffbericht dient als Grundlage für den Rückbau der Gebäude und Schleusen.
Einerseits, damit die sachgerechte und gesetzeskonforme Entsorgung der schadstoffhaltigen Bauteile sichergestellt werden kann.
Andererseits, dass die Sanierung von schadstoffhaltigen Materialien geplant und ausgeführt werden kann.
Es wird klar definiert, welche Arbeiten von einer spezialisierten Sanierungsfirma ausgeführt werden müssen.
Die spezialisierten Sanierungsfirmen können auf der Homepage der SUVA gefunden werden.
Der Bericht gilt nicht als Entsorgungskonzept gemäss VVEA.

1.4 Relevante Grundlagen

Der Bericht wurde nach Stand der Technik ausgeführt. Als Hauptbestandteil dienen die aktuellen gesetzlichen Grundlagen, Merkblätter und Richtlinien.
Relevante gesetzliche Grundlagen und Merkblätter sind im Anhang aufgelistet.
Falls in der Zwischenzeit von Berichterstattung und Sanierung neue Richtlinien oder Merkblätter erscheinen sind diese zu berücksichtigen und allenfalls der Bericht anzupassen.
Es besteht die Möglichkeit, dass während der Sanierung schadstoffhaltige Materialien zum Vorschein kommen, welche während der Bauschadstoffuntersuchung nicht ersichtlich waren auf Grund der Unzugänglichkeit. Wie zum Beispiel in Zwischenböden, Wänden oder Steigschächten. In diesem Fall ist ein Schadstoffspezialist oder Bauschadstoffdiagnostiker aufzubieten, um die Sachlage und Gefährdung zu beurteilen und anschliessend neue Massnahmen zu empfehlen.

2 Ausgeführte Untersuchung

2.1 Ausgeführte Arbeiten

- Auftragsanalyse mit den vorhandenen Unterlagen
- Begehungen aller Räume
- Aufnahme verdächtiger Materialien inkl. Beprobung
- Versand der Proben an das Labor
- Auswertung, Interpretation und Dokumentation der Resultate
- Grobes Ausmass der schadstoffhaltigen Materialien

2.2 Probenahme und Analytik

Für die Bauschadstoffuntersuchung wurden gezielt Proben von verdächtigen Materialien genommen. Wenn Bauteile durch den Bauschadstoffdiagnostiker nicht demontiert/sondiert werden können, aber Schadstoffe vermutet werden, wird das Bauteil gemäss Datenblatt als Verdacht eingestuft.

Verputz:	Verputzproben werden systematisch als Mischprobe erstellt.
Fliesenkleber:	Es wurden keine Mischproben erstellt.
Labor Asbestanalyse:	Analysis Lab S.A., Eckweg 8a, 2504 Biel *Rasterelektronen-Mikroskop nach ISO 22'262-1*
PAK/PCB:	Analysis Lab S.A., Route de l'Etrier, 5, 1950 Sion *BAFU-S13 Richtlinie*
TOC400/Schwermetalle:	*SCITEC Research SA* *Gemäss DIN 19539 & EPA 200.7, ISO 17025*

2.3 Bemerkungen

Alle Gebäude und Schleusen wurden untersucht. Es konnten alle Räume begutachtet werden.

Auf Planunterlagen wurde verzichtet, da die Datenblätter der schadstoffhaltigen befunden eindeutige und klare Angaben zur Sanierung geben.
Es wurde auf eine Dringlichkeitsbeurteilung verzichtet, da das Gebäude nicht bewohnt und in naher Zukunft abgebrochen wird.

Personen, die in Räumen mit asbesthaltigen Materialien Unterhalts-, Reparatur-, Reinigungsarbeiten usw. ausführen, sind über das vorhandene asbesthaltige Material und die davon ausgehende Gefahren in Kenntnis zu setzen.

3 Resultate

3.1 Zusammenfassung Befund

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, wo schadstoffhaltige Materialien aufzufinden sind und in welcher Menge.

Bereich	Pos Nr.	Bauteil mit Beschreibung	Ausmass	Bestimmung		Befund				Massnahmen
				Lab.	Exp.	Asb.	PCB	PAK	Div.	
Abschnitt 1										
Schleuse 1	01	Beschichtung, Geländer & Schleuse 1		x						-
Schleuse 2	02	Beschichtung, Schleuse 2		x						-
Gebäude 1	03	Beschichtung, Antriebswelle		x						-
Gebäude 1	03a	Beschichtung, Antriebswelle		x						-
Gebäude 1	04	Beschichtung, Gegengewicht		x						-
Gebäude 1	04a	Beschichtung, Gegengewicht	ca. 10m^2	x			x			Instruierte Handwerker
Gebäude 1	04b	Beschichtung, Gegengewicht		X						-
Gebäude 1	05	Beschichtung, Stahlbauteile innen		X						-
Gebäude 1, Fassade	06	Fassadenputz		X						-
Gebäude 1, Fenster	07	Fensterkitt		X						-

Abschnitt 2										
Gebäude 2, Schleuse 3	08	Beschichtung, Schleuse 3		x						-
Abschnitt 3										
Gebäude 3, DG	09	Dachpappe		x						-
Gebäude 3, Schleuse 4	10	Beschichtung, Schleuse 4		x						-
Gebäude 3	11	Innenputz, Mischprobe		x						-
Gebäude 3	12	Beschichtung, Turbinen		x						-
Gebäude 3, Fassade	13	Verputz, Mischprobe		x						-
Gebäude 3, Fenster	14	Fensterkitt	ca. 10St.	x		x				Instruierter Handwerker
Gebäude3, UG, Turbinenraum	15	Beschichtung, Turbinenraum		x						-
Gebäude 3, UG Turbinenraum	15a	Beschichtung, Turbinenraum		x						-
Gebäude 3, DG	16	Schlacke	ca. 15m^3	x				x	x	Instruierter Handwerker
Gebäude 3, DG	17	Faserzement	ca. 2m^2	x		x				Instruierter Handwerker
Gebäude 3, EG	18	Bodenbeschichtung, Mischprobe		x						-
Gebäude 3, EG	19	Elektrotableau	1 St.		x	x				Sanierungsfirma
Gebäude 3, EG	20	Rohrdämmung	n.e.		x				V	Instruierter Handwerker
Gebäude 3, UG-DG	21	IT-Dichtungen	ca. 10St.		x	V				Instruierter Handwerker
Gebäude 3, UG	22	Bodenplatte			x				x	-

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Legende:			
Lab.	= Labor	PAK	= polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Exp.	= Expertenentscheid	Pb	= Blei
Asb.	= Asbest	S	= Schlacke
PCB	= polychlorierte Biphenyle	V	= Verdachtsmoment
CP	= Chlorparaffine	n.e.	= nicht ermittelt

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

3.2 Datenblätter schadstoffhaltige Befunde

Pos.-Nr. 04a	Farbbeschichtung		
Bauteil Stockwerk Bereich	Antrieb Gegengewicht EG Gebäude-Nr. 322	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Ausmass Total	ca. 10m²	Befund	Summe PCB 199.95mg/kg
Massnahme	Referenz PCB-Emissionen beim Korrosionsschutz (BAFU)	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ Instruierte Handwerker
Entsorgung	KVA	VeVA-Code	17 09 02 S

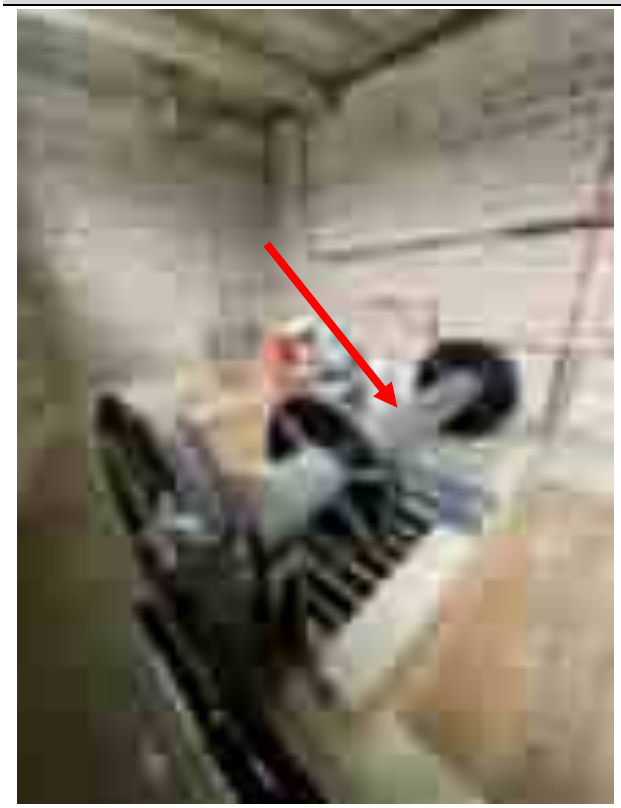
Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

- Ablaugen
- Nassstrahlverfahren
- Trocken- und Feuchtstrahlverfahren

Bemerkung

- Der Anstrich wurde auf das Bauteil gerechnet und der Endwert ergab 3.07mg/kg im Bauteil. Somit muss der Anstrich vorgängig entfernt werden, bevor die Bauteile fachgerecht entsorgt werden können.

Fotodokumentation



Pos.-Nr. 14	Fensterkitt		
Bauteil Stockwerk Bereich	Fensterrahmen EG-DG, Gebäude-Nr. 372 Fassade	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Ausmass	ca. 10 St. Fenster	Befund	Asbest festgebunden
Massnahme	Sanierung gemäss Suva Factsheet 33043	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ Instruierte Handwerker
Entsorgung	Deponie Typ E	VeVA-Code	17 06 05 S

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

PSA		Zone		Weiteres	
☒	Einwegmaske FFP3	☒	Im Freien	☐	Künstliche Lüftung
☒	Handschuhe und Schutzbrille	☐	1-Kammer Schleuse	☐	Unterdruck 20Pa
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☐	Quellenabsaugung
☒	Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

Fotodokumentation

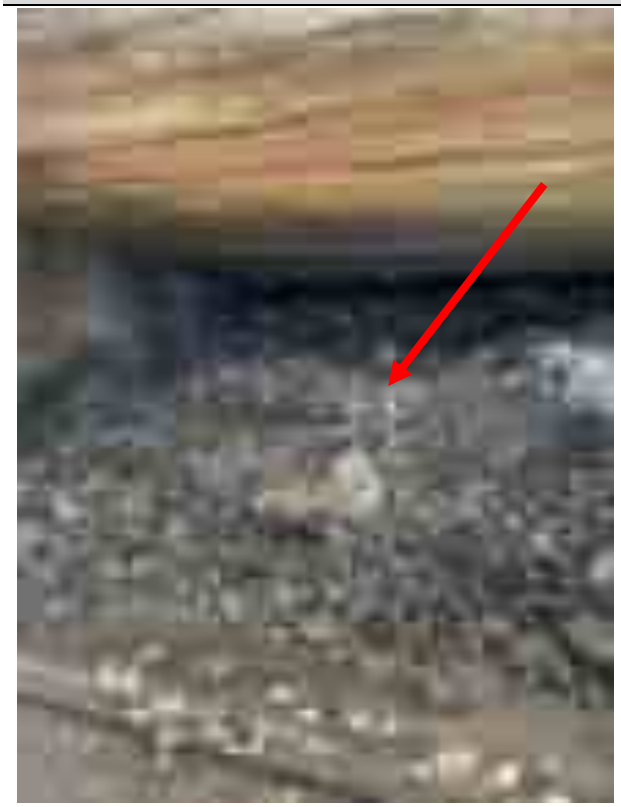
Pos.-Nr. 16	Schlacke		
Bauteil Stockwerk Bereich	Decke DG, Gebäude-Nr. 372 Zwischenboden	Bestimmung	☒ **Labor** ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Ausmass	**ca. 15m³**	Befund	**Gemäss Anhang 4**
Massnahme	**Von Hand oder mit Saugbagger entfernen**	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ **Instruierte Handwerker**
Entsorgung	**Deponie Typ B**	VeVA-Code	**17 09 04 ak**

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

PSA		Zone		Weiteres	
☒	**Einwegmaske FFP3**	☐	Abgegrenzte Zone	☒	**Natürliche oder künstliche Lüftung**
☒	**Handschuhe**	☐	1-Kammer Schleuse	☒	**Rauch- und Essverbot in der Nähe des Arbeitsbereichs**
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☒	**Zugang für Drittpersonen verhindern**
☒	**Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6**	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

Fotodokumentation



Pos.-Nr. 17	Faserzementplatten		
Bauteil Stockwerk Bereich	Faserzementplatte DG, Gebäude-Nr. 372 Estrich	Bestimmung	☒ **Labor** ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Ausmass	**Ca. 2 m²**	Befund	Asbest festgebunden
Massnahme	Suva-Merkblatt 84053 Suva Factsheet 33031	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ **Instruierte Handwerker**
Entsorgung	**Deponie Typ B**	VeVA-Code	17 06 98

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

PSA		Zone		Weiteres	
☒	**Einwegmaske FFP3**	☒	**Abgegrenzte Zone**	☒	**Schlussreinigung**
☒	**Handschuhe**	☐	1-Kammer Schleuse	☐	Unterdruck 20Pa
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☒	**Quellenabsaugung**
☒	**Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6**	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

- Mehrere lose Platten im Dachgeschoss.

Fotodokumentation

Pos.-Nr. 19	Elektrotableau		
Bauteil Stockwerk Bereich	Elektrotableau EG, Gebäude-Nr. 372 Technikraum	Bestimmung	☐ Labor ☒ **Expertenentscheid** ☐ Verdacht
Ausmass	**1 St.**	Befund	Asbest fest- und schwachgebunden
Massnahme	**Sanierung gemäss** Suva Factsheet 33036	Ausführung durch	☒ **Sanierungsfirma** ☐ Instruierte Handwerker
Entsorgung	**Deponie Typ E**	VeVA-Code	17 06 05 S

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

PSA		Zone		Weiteres	
☒	**Halbmaske mit Partikelfilter P3**	☒	**Abgegrenzte Zone**	☒	**Künstliche Lüftung**
☒	**Hand- und Überziehschuhe**	☐	1-Kammer Schleuse	☒	**Schlussreinigung**
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☒	**Quellenabsaugung**
☒	**Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6**	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

- Die Demontage von SGK (Elektrotableaus) kann durch einen instruierten Elektriker erfolgen, welcher die Suva-/VSEI-Asbest-Ausbildung "Asbest" absolviert hat. Anschliessend das Elektrotableau einem Suva-anerkannten Schadstoffsanierer übergeben.
- Falls die LAP nur entfernt werden kann mittels Schleifen oder in dem diese zerstört wird, ist die Sanierung gemäss EKAS 6503, Kap. 7 zu erfolgen.

Fotodokumentation

Pos.-Nr. 20	Dämmung Rohrleitungen		
Bauteil Stockwerk Bereich	Dämmung mit (PUR) EG, Gebäude-Nr. 372 Technikraum	Bestimmung	☐ Labor ☐ Expertenentscheid ☒ **Verdacht**
Ausmass	**n.e.**	Verdacht	**Ozon- und klimaschädliche Gase in Treibmittel (FCKW)**
Massnahme	**Möglichst zerstörungsfreier, staubarmer Rückbau**	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ **Instruierte Handwerker**
Entsorgung	**KVA**	VeVA-Code	**17 06 03 S**

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau

PSA		Zone		Weiteres	
☐	Einwegmaske FFP3	☐	Abgegrenzte Zone	☐	Künstliche Lüftung
☐	Handschuhe	☐	1-Kammer Schleuse	☐	Unterdruck 20Pa
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☐	Quellenabsaugung
☐	Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

Fotodokumentation

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Pos.-Nr. 21	IT-Dichtungen		
Bauteil Stockwerk Bereich	Flanschdichtungen UG-DG, Gebäude-Nr. 372 Alle Räume	Bestimmung	☐ Labor ☒ **Expertenentscheid** ☐ Verdacht
Ausmass	**Ca. 10St.**	Befund	Asbest festgebunden
Massnahme	**Sanierung gemäss** Suva-Merkblatt 84053	Ausführung durch	☐ Sanierungsfirma ☒ **Instruierte Handwerker**
Entsorgung	**Deponie Typ E**	VeVA-Code	17 06 05 S

Massnahmen bei Um- bzw. Rückbau — Dringlichkeitsstufe 3

PSA		Zone		Weiteres	
☒	**Einwegmaske FFP3**	☐	Abgegrenzte Zone	☐	kontrollierter Luftwechsel
☐	Handschuhe und Schutzbrille	☐	1-Kammer Schleuse	☐	Unterdruck 20Pa
☐	Frischluftzufuhr	☐	4-Kammer Schleuse	☒	**Quellenabsaugung**
☐	Einwegschutzanzug Kat. 3 Typ 5/6	☐	Material Schleuse	☐	Luftmessung

Bemerkung

- Bei der Demontage der Turbinen und anderen Bauteile macht es Sinn eine von der Suva anerkannte Sanierungsfirma beizuziehen, um die Dichtungen zu entfernen. Da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass noch weitere Dichtungen zum Vorschein kommen.

Fotodokumentation

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Anhang

Anhang 1 Datenblätter schadstofffreie Befunde

Die auf den folgenden Seiten aufgeführten Bauteile wurden begutachtet oder analysiert und als schadstofffrei nachgewiesen.

Pos.-Nr. 01		Beschichtung	
Bauteil Bereich	Schleuse 1, zweifach, beige & orange Abschnitt 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 02	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Schleuse 2, grün Abschnitt 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 03	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Antriebswelle, schwarz Abschnitt 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 03a	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Antriebswelle, schwarz Abschnitt 1 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 04	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Antrieb Gegengewicht grau & schwarz Gebäude 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 04b	Beschichtung		
Bauteil	Antrieb Gegengewicht grau & Schwarz	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Bereich	Gebäude 1	Befund	Kein PAK nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 05	Beschichtung		
Bauteil	Stahlbauteil, innen, grau & orange	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
Bereich	Gebäude 1	Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 06	Verputz, Mischprobe		
Bauteil Bereich	Fassade Gebäude 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 07	Fensterkitt		
Bauteil Bereich	Fensterrahmen Gebäude 1	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Pos.-Nr. 08	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Schleuse 3, grün & orange Gebäude 2	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 09	Dachpappe		
Bauteil Bereich	Unterdach Gebäude 3	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 10	Beschichtung		
Bauteil Bereich	Schleuse 4, beige, orange & rot Abschnitt 3	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 11	Verputz, Mischprobe		
Bauteil Bereich	Wände, innen Gebäude 3	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 12	Beschichtung		
Bauteil Stockwerk Bereich	Turbinen EG Gebäude 3	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 13	Verputz, Mischprobe		
Bauteil Bereich	Fassade Gebäude 3	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 15, 15a		Beschichtung	
Bauteil Stockwerk Bereich	Turbinenraum Gebäude 3, UG Turbinenraum	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest & PCB nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 18		Beschichtung, Mischprobe	
Bauteil Stockwerk Bereich	Boden Gebäude 3, EG Alle Räume	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Kein Asbest nachgewiesen
Fotodokumentation			

Pos.-Nr. 22	Bodenplatte		
Bauteil Stockwerk Bereich	Boden Gebäude 3, UG Turbinenraum	Bestimmung	☒ Labor ☐ Expertenentscheid ☐ Verdacht
		Befund	Nutzungsbedingte Belastung unter der Bagatellgrenze von 20m^2.

Fotodokumentation

Anhang 2 Gesetzliche Grundlagen

Die folgenden wichtigsten Gesetze und Verordnungen können im Zusammenhang mit Asbest-, PCB und PAK-Vorkommen relevant sein. Die genannten Erlasse beziehen sich auf die jeweils aktuellen Versionen.

- Umweltschutzgesetz (USG) vom 7. Oktober 1983
- Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer bei Bauarbeiten - (Bauarbeitenverordnung, BauAV) vom 18. Juni 2021 (Stand 01.01.2022)
- ILO-Übereinkommen Nr.162 über Sicherheit bei der Verwendung von Asbest vom 16. Juni 1993
- EKAS-Richtlinie Nr. 6503 (Asbest) vom Dezember 2008
- FACH Forum Asbest Schweiz, Asbest in Innenräumen, Dringlichkeit von Massnahmen vom Juli 2008
- Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4.Dezember 2015 (Stand 1.April 2022)
- Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) vom 22. Juni 2005

Anhang 3 Haftungsbeschränkung

Dieser Bericht wurde von der Firma Guilloud Gebäudediagnostik GmbH verfasst. Der Inhalt sowie die darin getroffenen Feststellungen, reflektieren nach bestem Wissen und Gewissen, aufgrund der zum Zeitpunkt der Abfassung zur Verfügung stehenden Informationen. Dieser Bericht ist ausschliesslich für den, auf dem Titelblatt bezeichneten, Auftraggeber bestimmt. Eine allfällige Haftung gegenüber Dritten, welche sich auf diesen Bericht berufen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Anhang 4 Analyseberichte

analysis

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Vincent Guilloud
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

Asbestanalyse in Materialproben

240225, Renitalsanierung Moosi, Abschnitt Kindbewirb Büromen

05.04.2024

Die Asbestanalysen in Materialien nach ISO 22262-1 mittels Rasterelektronen-mikroskope mit optimierter Probenvorbereitung, durch den Akkreditierungsbereich ISO/IEC 17025 (STS 0676) geprüft, liefern folgende Ergebnisse:

03 / Beschichtung Anhydritestrich
• Asbest nachgewiesen

04 / Anhydritestrich
• Kein Asbest nachgewiesen

05 / Fensterkitt
• Kein Asbest nachgewiesen

07 / Fensterkitt
• Kein Asbest nachgewiesen

09 / Dachpappe
• Kein Asbest nachgewiesen

11 / Innenputz Mischprobe
• Asbest nachgewiesen

13 / Aussenputz Mischprobe
• Kein Asbest nachgewiesen

14 / Fensterkitt
• Asbest nachgewiesen (Actinolith)

16 / Fensterkitt
• Kein Asbest nachgewiesen

17 / Fensterkitt
• Asbest nachgewiesen (Chrysotil)

18 / Bodenbeschichtung EG Mischprobe
• Asbest nachgewiesen

analysis

Allgemeine Bemerkung

Die Nachweisgrenze hängt von der Art des analysierten Materials ab. Tests an zertifizierten Referenzmaterialien haben eine Nachweisgrenze von weniger als 0.01% (Massengehalt) ergeben. Asbesthaltige Materialien sind unabhängig vom Asbestgehalt ordnungsgemäss zu behandeln und zu entsorgen. In der Schweiz existiert keine gesetzliche Gehaltsgrenze, innerhalb derer ein Material trotz Nachweis als asbestfrei gilt. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die analysierten Proben. Die Interpretation und Verwendung der Ergebnisse liegt ausserhalb der Verantwortung des Labors. Die zur Analyse verwendeten Probenträger werden vom Labor für einen Zeitraum von 2 Monaten archiviert. Dieser Bericht ist in seiner Vollständigkeit zu verwenden. Die partielle Reproduktion ist ohne die Zustimmung von Analysis Lab AG nicht gestattet.

Datum & Analysenart

Biel-Bienne, den 08.04.2024

Unterschrift

analysis

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Vincent Guilloud
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

PAK Untersuchung in Materialen

240225, Revitalisierung Mulde, Abschnitt Kraftwerk Brunnen

05.04.2024

Die Untersuchung von Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Materialen nach BAFU-S13 Richtlinie (modifizierte EPA 8270 und EPA 3510), durch den Akkreditierungsbereich ISO/IEC 17025 (STS 0670) bestätigt ergibt folgende Ergebnisse:

	04b Anstieb Gegengewicht		16 Schlacke	
	MG	Ergebnis	MG	Ergebnis
Naphthalin	0.6	<0.6	0.4	<0.4
Acenaphthylen	0.2	<0.2	0.3	<0.3
Acenaphthen	0.4	<0.4	0.4	<0.4
Fluoren	0.2	<0.2	0.3	<0.3
Phenanthren	0.6	<0.6	0.4	1.6
Anthracen	0.2	<0.2	0.3	<0.3
Fluoranthen	0.2	<0.2	0.3	2.5
Pyren	0.2	<0.2	0.3	1.7
Benzo(a)anthracen	0.1	<0.1	0.3	<0.3
Chrysen	0.9	<0.9	0.4	<0.4
Benzo(b)fluoranthen	0.4	<0.4	0.4	<0.4
Benzo(k)fluoranthen	0.4	<0.4	0.4	<0.4
Benzo(a)pyren	0.2	<0.2	0.4	<0.4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.3	<0.3	0.4	<0.4
Dibenz(a,h)anthracen	0.5	<0.5	0.4	<0.4
Benzo(g,h,i)perylen	0.6	<0.6	0.4	<0.4
Summe der 16 PAK	-	-	-	**5.8**

Resultate in mg/kg (ppm) ; BG : Bestimmungsgrenze

Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die eingegangenen Proben und werden mit einer Messunsicherheit von ca. 20% geliefert, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Genauere Angaben zu den Messunsicherheiten sind auf Anfrage beim Labor erhältlich. Eine teilweise Wiedergabe dieses Berichts ist ohne vorherige Genehmigung von Analysis Lab AG nicht gestattet.

Sion, den 09.04.2024

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

analysis

Bestätigung für Analysenlabor & Ort: PDE-525 09.04.2024 Sion

ZU HANDEN VON → **Guilloud Gebäudediagnostik GmbH**
Vincent Guilloud
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

PROBENART → **PCB in Feststoffen**

REFERENZ → 24022h, Revitalisierung Mühle, Abschnitt Kraftwerk Buchen
Eingangsdatum: 05.04.2024

VERFAHREN → Die Analyse von PCB (polychlorierte Biphenyle) in Materialien mittels GC-MS nach der modifizierten Methode BAFU S 12 / EPA 8082A, durch den Akkreditierungsbereich ISO/IEC 17025 (STS 0570) bedeckt, ergab folgende Resultate:

RESULTATE →

Probe	PCB-Gesamtgehalt (mg/kg)	Bemerkung
01 Beschichtung Schleuse 1	-	
02 Beschichtung Schleuse 2	-	
03a Beschichtung Antriebswelle	-	
04a Antrieb Gegengewicht	199.95	
05 Stahlbauteile innen	-	
06 Beschichtung Schleuse 3	-	
10 Beschichtung Schleuse 4	-	
12 Turbinen	-	
13a Turbinenraum UG	-	

Allgemeine Bemerkung: Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die eingegangenen Proben und werden mit einer Messunsicherheit von ca. 20% geliefert, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Genauere Angaben zu den Messunsicherheiten sind auf Anfrage beim Labor erhältlich. Eine teilweise Wiedergabe dieses Berichts ist ohne vorherige Genehmigung von Analysis Lab AG nicht gestattet.

Datum & Analysenort: Sion, den 09.04.2024

Unterschrift:

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

analysis

ANHANG: DETAILLIERTE ANALYSENBERICHT

Probe →	01 Beschichtung Schleuse 1		02 Beschichtung Schleuse 2		03a Beschichtung Arbeitsbereiche	
Parameter ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓
PCB 28 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 52 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 101 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 153 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 138 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 180 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
Summe der 6 Kongeneren →	-	-	-	-	-	-
Technisches Gemisch →	-	-	-	-	-	-
Faktor mit Multiplikation →	-	-	-	-	-	-
Total PCB →	-	-	-	-	-	-

Probe →	04a Arbeitsbereich Gegengewicht		05 Stahlbetonbalkon (innen)		06 Beschichtung Schleuse 3	
Parameter ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓
PCB 28 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 52 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 101 →	1.0	3.6	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 153 →	1.0	18	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 138 →	1.0	35.4	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 180 →	1.0	16.2	1.0	<1.0	1.0	<1.0
Summe der 6 Kongeneren →	-	84.5	-	-	-	-
Technisches Gemisch →	-	Aroclor 1260	-	-	-	-
Faktor für Multiplikation →	-	3.1	-	-	-	-
Total PCB →	-	**196.85**	-	-	-	-

Probe →	10 Beschichtung Schleuse 4		12 Türbuen		15a Treibeisenraum UG	
Parameter ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓	BG ↓	Ergebnis ↓
PCB 28 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 52 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 101 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 153 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 138 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
PCB 180 →	1.0	<1.0	1.0	<1.0	1.0	<1.0
Summe der 6 Kongeneren →	-	-	-	-	-	-
Technisches Gemisch →	-	-	-	-	-	-
Faktor für Multiplikation →	-	-	-	-	-	-
Total PCB →	-	-	-	-	-	-

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Resultate in mg/kg (ppm) ; BG : Bestimmungsgrenze

*Summe der 6 Kongenieren multipliziert mit Faktor für Multiplikation

Einzelwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden bei der Berechnung des PCB Gesamtwertes nicht berücksichtigt.

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Guilloud Gebäudediagnostik GmbH
Oberstockstrasse 14
6416 Steinerberg

info@bau-diagnostik.ch
bau-diagnostik.ch
079 413 73 06

Anhang E

Stabilitätsnachweis Blocksatz und Dimensionierung Filterschicht

Dimensionierung
Blocksatz in Filterschicht

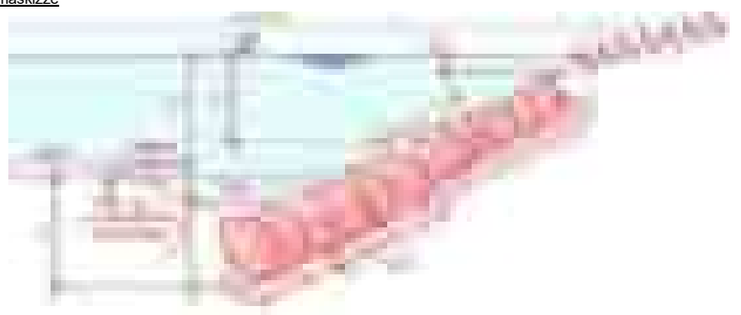
Projektnummer 6.460

Projektname Revitalisierung Muota, Abschnitt KW Brunnen

Bearbeitet mk

Stand

Schemaskizze



Lagebeschrieb des Blocksatzes	Dimensionierung Ufertyp 1 QP Gewiss 2956	Dimensionierung Ufertyp 3, Buschlagen am Böschungsfuss QP Gewiss 2425	Dimensionierung Ufertyp 3, Weidenstecklinge über Buschlage QP Gewiss 2425	Dimensionierung Ufertyp 3, Buschlagen am Böschungsfuss QP Gewiss 2425	

Dimensionierung von ingenieurbiologischen Massnahmen oberhalb Blocksatz

Ingenieurbiologischer Massnahmentyp oberhalb Blocksatzes				Buschlagen	Weidensteckling e	junger bis gut verwachsener Rasen	
Grenzschubspannung der ingenieurbiologischen Massnahmen?	τ_{Grenz}	N/m^2		300 bis 450	100	50 bis 80	
Gewählte Grenzschubspannung der ing.biol. Massnahme	τ_{Grenz}	N/m^2		180.00	60.00	30.00	
Wo befindet sich der Blocksatz?				Gerade	Gerade	Gerade	
Kurvenradius der Flussachse	R	m		200.00	200.00	200.00	
Breite der Flusssohle	B	m		45.00	45.00	45.00	
Längsgefälle der Flusssohle	J	-	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	
korrigierte Grenzschubspannung	τ_{korr}	N/m^2		180.00	60.00	30.00	
max. Verbauungshöhe ingenieurbiologischer Massnahmen	h_{Ufer}	m		5.24	1.75	0.87	

Dimensionierung der Fundationstiefe des Blocksatzes

abgeschätzte bzw. berechnete Kolktiefe	h_{Kolk}	m	1.00				
Durchmesser Blockstein bei Fundation (min. 1.0 m)	$h_{F,block}$	m	1.04				
Fundationstiefe	h_F	m	2.04				

Dimensionierung der Blockgrössen

Schutzziel / Bemessungshochwasser Ufersicherung				HQ300	HQ300	HQ300	HQ300	
Abflusstiefe bei Bemessungshochwasser	Teil oben	h_1	m	3.54	3.60	3.60	3.60	
Abflusstiefe bei Bemessungshochwasser	Teil unten	h_2	m	4.54	4.60	4.60	4.60	
Böschungsneigung		n	-	0.67	Mindestaufbau ingenieurbiologische Ufersicherung (Ufertyp 3):			
Sicherheitsfaktor		S		1.10	- unterste 2 m ab mittlerer Sohle: Buschlage (ausschlagfähig) - ab 2 m Höhe über mittlerer Sohle Übergang in Weidenstecklinge möglich			
Ruhewinkel Blocksatz		ψ	°	50.00	- ab 3 m Höhe über mittlerer Sohlenlage: Übergang in dichte Grasnarbe möglich			
Mindestblockdurchmesser	Teil oben	D_{65}	m	0.26				
	Teil unten		m	0.34				
min. Blockgewicht (berechnet)	Teil oben	G_{min}	t	0.03				
	Teil unten		t	0.06				
Blocksatz in Filterschicht möglich?				Ja				
min. Blockgewicht (gewählt)	Teil oben	$G_{1,min}$	t	1.50				
max. Blockgewicht (gewählt)	Teil oben	$G_{1,max}$	t	2.50				
min. Blockgewicht (gewählt)	Teil unten	$G_{2,min}$	t	2.50				
max. Blockgewicht (gewählt)	Teil unten	$G_{2,max}$	t	3.50				
mittlere Kantenlänge	Teil oben	D_1	m	0.91				
mittlere Kantenlänge	Teil unten	D_2	m	1.04				
Nachweis mit den gewählten Blocksteingewicht erfüllt?				Ja				

Dimensionierung Filterschicht

minmaler Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang	$d_{90,min}$	m	0.16				
maximaler Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang	$d_{90,max}$	m	0.22				
gewählter Kornduchmesser bei 90% Siebdurchgang	d_{90}	m	0.19				
berechneter Kornduchmesser bei 15% Siebdurchgang	d_{15}	m	0.005				
berechneter Korndurchmesser bei 50% Siebdurchgang	d_{50}	m	0.06				
berechneter max. Korndurchmesser	d_{max}	m	0.23				
Nachweis nach Raudviki und Ettema (1982) erfüllt?			Ja				
Nachweis nach VSS SN 70125a erfüllt?			Ja				

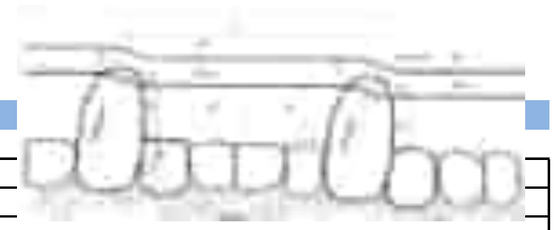
Anhang F

Vordimensionierung Riegel-Becken-Rampe

Dimensionierung Niederigwasserrinne Stufen-Becken nach DWA Themenband Naturnahe Sohlengleiten (2009)

Eingabewerte projektspezifisch erfasst	
Resultate	

Projekt	6.460 Revit. Muota
Bearbeitet	MK



1 Hydrologie

Niederwasserabfluss	Q_{330}	[m^3/s]	4	30 Überschreitungstage (CH)
Mittelwasserabfluss	Q_{30}	[m^3/s]	50	330 Überschreitungstage (CH)
Bemessungsabfluss (Hochwasser)	Q_{Bem}	[m^3/s]	480	z.B. HQ_{300}

2 Ökologische Grenzwerte

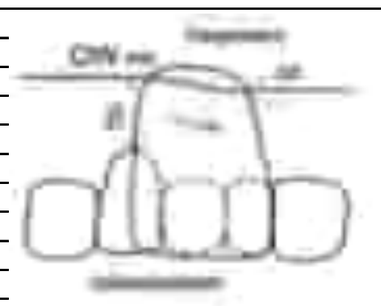
Fliessgewässerregion			Äschenregion	Äschenregion, Barbenregion
Zielfischart			Seeforelle	Seeforelle, Barbe, Groppe
Minimale Abflusstiefe Zielfischart	$h_{MC,min}$	[m]	0.5	Angabe AquaPlus
Körperlänge	L_{fisch}	[cm]	90	Angabe AquaPlus
Grenzwert Fliessgeschwindigkeit Wanderkorridor A	$u_{Grenz, A}$	[m/s]	0.2	für alle Arten, Wanderkorridor für Groppe, bodenorientiert
Grenzwert Fliessgeschwindigkeit Wanderkorridor B für Fliessregion	$u_{Grenz, B}$	[m/s]	0.35	Äschenregion 0.35, Barbenregion 0.3
Grenzwert Fliessgeschwindigkeit Wanderkorridor C1	$u_{Grenz, C1}$	[m/s]	1.20	Äschenregion 1.20, Barbenregion 1.0
Grenzwert Fliessgeschwindigkeit Wanderkorridor D2	$u_{Grenz, D2}$	[m/s]	1.85	Äschenregion 1.85, Barbenregion 1.7
Maximale Spezifische Leistungsdichte nach Fliessgewässerregion	P_D (max)	[W/m^3]	180	Äschenregion 180, Barbenregion 135, gemäss DWA 2014 S. 185
kritische Schwimmgeschwindigkeit (gesteigerte Geschwindigkeit)	u_{crit}	[m/s]	4.50	
Mindestlänge (lichte Beckenlänge)	$L_{becken, min}$	[m]	3	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 186
Lichte Mindestbreite Becken	$B_{Becken, min}$	[m]	2 bis 3	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 186
Mindesttiefe Becken	$h_{Becken, min}$	[m]	0.5	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 186
Lichte Mindestbreite Durchlässe			0.6	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 186
Mindesttiefe Durchlässe			0.4	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 187

3 Geometrie Becken

Mittlere Abflusstiefe in Becken	h_m	[m]	0.55	Diese ist zu wählen (bei NW-Abfluss) --> Daraus ergibt sich die Beckengeometrie
WSP Unterschied zwischen zwei Becken	Δh_{Becken}	[m]	0.08	Anzahl Becken = 0.75 m/0.08 m = 9 Stk.
Beckenlänge	l_B	[m]	5	Zu wählen / anpassen -> Gesamtlänge ca. 60 m
Mittlere Breite der Becken	b_B	[m]	16	angepasst
Gefälle Riegel / Becken	J_R	[-]	**1.6%**	

4 Öffnungsbreite Leistungsdichte und Fliessgeschwindigkeiten

Minimale Schlitzbreite	s_{min}	[m]	0.60	Äsche, Barbe gemäss DWA 2014 S. 186
Erdbeschleunigung	g	[m/s^2]	9.81	
Maximalgeschwindigkeit	v_{max}	[m/s]	**1.25**	Unterhalb Schlitz
Geschwindigkeit Engstelle	$v_{Engstelle}$	[m/s]	**0.88**	In Engstelle
Wassertiefe oberhalb vom Becken	h_o	[m]	**0.59**	
Wassertiefe unterhalb vom Becken	h_u	[m]	**0.51**	
Abflussquerschnitt um Aufstau zu erreichen	A'	[m^2]	3.19	
Berechnungsansatz ohne Schwellenstein				
Gesamtöffnungsbreite	s	[m]	**6.26**	
Anzahl Öffnungen (mind. Zwei)	n	[-]	3	
Öffnungsbreite einzelne Öffnung	B	[m]	**2.09**	
Berechnungsansatz mit Schwellenstein				Nur wenn Abfluss zu gering um Nindestwassertiefe und Schlitzweite abzudecken
Wassertiefe bei Schwellenstein	$h_Ü$	[m]	0.4	festzulegen
Überfallbeiwert	μ	[-]	0.50	Breite scharfkantige Steine = 0.5 bis 0.6 Abgerundete Steine = 0.6 bis 0.8
Gesamtöffnungsbreite	s	[m]	15.14	
Anzahl Öffnungen (mind. Zwei)	n	[-]	4	
Öffnungsbreite einzelne Öffnung	B	[m]	**3.79**	
Energieeintrag / Turbulenz				
Beckenvolumen	V_{Becken}	[m^3]	44	
Energieeintrag NW	W	[W/m^3]	**71**	Q30 / NW --> Soll eingehalten sein bestenfalls < 100 W / m3
Energieeintrag MW	W	[W/m^3]	**892**	Q300--> Dieser Wert wird fast nie eingehalten werden können.



5 Abflussberechnungen

Gerinnebreite (gesamt)	$B_{gerinne}$	[m]	25	Totale Breite (nicht NW-Rinne)
Spezifischer Abfluss Niederwasser	q_{NW}	[m^2/s]	**0.16**	
Spezifischer Abfluss Mittelwasserabfluss	q_{MW}	[m^2/s]	**2.00**	
Spezifischer Abfluss Bemessungsabfluss (Hochwasser)	q_{BMHW}	[m^2/s]	**19.20**	
Übergang zu gewelltem Abfluss bei	$q_{Grenzwert}$	[m^2/s]	0.20	DWA (2009) S. 95
Prüfung Breite dass bei Mittelwasserabfluss noch keine Wellenform vorhanden	$B_{gerinne, mind}$	[m]	249.4	Nicht möglich an der Kander (Platzverhältnisse)
Abfluss wenn zulässiger Energieeintrag überschritten	Q	[m^3/s]	10.1	

6 Hydraulischer Stabilitätsnachweis / Einzelblock

Stabilität Einzelblock DWA / Gebler (2009)				
Anströmgeschwindigkeit (= v_{max} Bemessungsabfluss)	v_{max}	[m/s]	5.6	v = 5.16 m/s bei HQ300; v = 5.56 m/s bei HQ30; Aus 2D Modell HZP; bei Gewiss Adr 3.143
Widerstandsbeiwert	c_w	[-]	1.1	kantig = 1, gerundet = 1.5
Sicherheitsfaktor	SF	[-]	1.1	
Mindestdurchmesser	D_{min}	[m]	**1.41**	
Mindestgewicht	G_{min}	[t]	**3.85**	
Gewähltes Blockgewicht Riegelsteine	G_{riegel}	[t]	4	
Durchmesser gewählte Riegelstein	d_{riegel}	[m]	**1.42**	
Prüfung Filterkriterien (Einfügen)				
d_{90} Untergrundmaterial / Filtermaterial	d_{90}	[m]	0.1	dmax = 0.12
Kontrolle Stabilität nach Raudviki Ettema (1986) 6 < D/d_{90} < 17		[-]	14.2	Grenzen Modellversuch minimale Bedingungen (Einsinken > 17, < 6 Abgleiten) -->
Stabilität Packlage nach Palt & Dittrich (2002)				
Optimierte Methoden von Withaker & Jäggi				
Neigung Sohle in Becken (zwischen Riegel)	J_B	[-]	1.60%	Gefälle der Riegel / Beckenstruktur wählen
Spezifischer Abfluss bei Bemessungshochwasser	q_{BMHW}	[m^3 / (ms)]	19.20	Bei Anordnung NW-Rinne muss der spezifische Abfluss höher gewählt werden.
Mindestdurchmesser d65	d_{65min}	[m]	**0.44**	
Mindestgewicht Packlage	G	[t]	**0.12**	
Minimaler äquivalenter Korndurchmesser Packlage	$d_{Packlage, min}$	[m]	**0.44**	
Gewähltes Blockgewicht Packlage	G	[t]	1.5	
Äquivalenter Korndurchmesser Packlage	$d_{Packlage}$	[m]	**1.03**	
Kontrolle Stabilität nach Raudviki Ettema (1986) 6 < D/d_{90} < 17		[-]	10.3	Grenzen Modellversuch minimale Bedingungen (Einsinken > 17, < 6 Abgleiten) -->

Anhang G

Resultate 2D-Modellierung

Muota: mittlere Sohlenlagen & massgebende Wasserspiegel HQ_{30}, HQ_{100} und HQ300

Querprofil GEWISS-Adresse	**mittlere Projektsohle** (Stand 27.05.2026)	**HQ_{30}** (326 m^3/s*)			**HQ_{100}** (400 m^3/s*)			**HQ_{300}** (480 m^3/s*)		
	[m ü. M.]	WSP [m ü. M]	V [m/s]	EL [m ü. M.]	WSP [m ü. M]	V [m/s]	EL [m ü. M.]	WSP [m ü. M]	V [m/s]	EL [m ü. M.]
0.923	434.79	438.17	2.6	438.57	438.58	2.7	439.03	438.98	2.8	439.47
1.023	435.10	438.53	2.5	438.89	438.94	2.8	439.37	439.36	3.0	439.83
1.126	435.34	438.79	2.6	439.15	439.21	2.9	439.64	439.65	3.0	440.12
1.222	435.50	439.03	2.9	439.48	439.43	3.2	439.97	439.88	3.3	440.46
1.327	435.63	439.40	2.9	439.87	439.81	3.3	440.37	440.24	3.4	440.85
1.351	435.78	439.54	2.5	439.91	439.97	2.7	440.39	440.42	2.9	440.91
1.371	435.74	439.87	2.3	440.19	440.33	2.5	440.69	440.79	2.7	441.22
1.445	436.03	440.09	2.7	440.49	440.58	3.0	441.03	441.05	3.2	441.58
1.576	436.62	440.59	2.0	440.79	441.10	2.1	441.33	441.61	2.2	441.87
1.654	436.90	440.58	1.7	440.78	441.09	1.9	441.31	441.58	2.0	441.84
1.718	437.29	440.72	2.4	441.03	441.20	2.6	441.56	441.70	2.7	442.08
1.893	437.29	441.13	2.9	441.57	441.62	2.9	442.06	442.10	3.1	442.60
2.016	437.62	441.43	3.0	441.89	441.90	3.2	442.44	442.38	3.5	443.00
2.192	438.83	442.11	2.1	442.35	442.61	2.3	442.88	443.12	2.3	443.41
2.311	439.34	442.29	2.2	442.55	442.79	2.2	443.05	443.30	2.3	443.58

2.425	439.86	442.52	2.4	442.83	442.98	2.6	443.32	443.46	2.6	443.81
2.527	440.42	442.85	2.1	443.09	443.28	2.2	443.55	443.73	2.2	444.00
2.641	440.36	442.88	3.0	443.37	443.22	3.2	443.78	443.64	3.2	444.22
2.764	440.89	443.49	2.8	443.94	443.85	3.1	444.38	444.19	3.4	444.81
2.875	441.48	444.00	3.1	444.51	444.34	3.4	444.94	444.69	3.4	445.31
2.956	441.71	444.49	2.5	444.83	444.87	2.7	445.27	445.25	2.9	445.70
3.031	441.96	444.70	2.4	445.04	445.09	2.6	445.49	445.48	2.5	445.84
3.143	442.17	444.92	3.8	445.67	445.25	4.2	446.15	445.65	3.9	446.50
3.241	442.74	445.31	4.2	446.24	445.83	3.8	446.60	446.22	3.7	447.00
3.298	443.50	445.89	4.2	446.78	446.21	4.2	447.14	446.58	4.0	447.48
3.338	443.59	446.36	3.4	446.95	446.74	3.4	447.36	447.07	3.7	447.79
3.474	444.24	447.16	3.0	447.65	447.53	3.2	448.08	447.89	3.4	448.52
3.65	445.05	448.05	3.0	448.52	448.42	3.3	448.98	448.77	3.6	449.43

** Gesamtabfluss unterstrom Einmündung Seeweren in Muota*

Seeweren: mittlere Sohlenlagen & massgebende Wasserspiegel HQ30, HQ100 und HQ_{300}

Querprofil	**mittlere Sohle** (Vermessung 2022)	**HQ_{30}** (26 m^3/s**) WSP [m ü. M]	**HQ_{100}** (32 m^3/s**) WSP [m ü. M]	**HQ_{300}** (40 m^3/s**) WSP [m ü. M]
S1	442.55	444.90	445.29	445.75
S2	442.48	444.86	445.26	445.73
S3 (Brücke ARA)	442.42	444.83	445.23	445.67
S4	442.40	444.82	445.22	445.66
S5	442.34	444.79	445.20	445.63
S6	442.22	444.73	445.15	445.59
S7	442.16	444.76	445.18	445.63
S8	441.98	444.76	445.18	445.62

*** Gesamtabfluss unterstrom Einmündung Seeweren in Muota*