

BAUHERRENGEMEINSCHAFT



Oberingenieurkreis II
Tiefbauamt des Kanton Bern

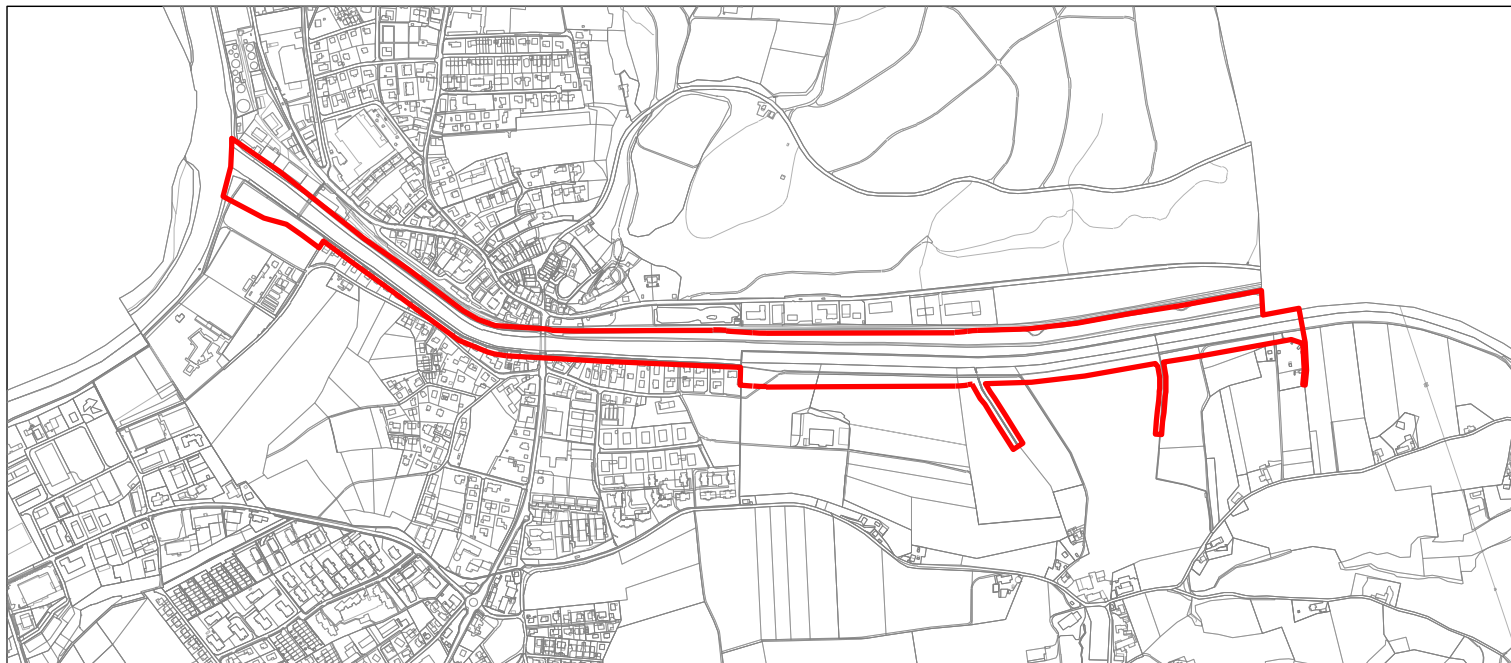


Gemeinde Laupen



Sensetalbahn

In Koordination mit dem Kanton Freiburg und der Gemeinde Böisingen



Plangenehmigungsverfahren Wasserbau

LaUP!en

Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen

AAA 2020 Bahnhof Laupen / Bushof / Abstellgleis

Technischer Bericht

Projektverfasser

Firma: PLANERGEMEINSCHAFT SENSEORIUM

Name: Michael Gallmann

Datum: 10.08.2018

Unterschrift:

PLANERGEMEINSCHAFT SENSEORIUM:

Roduner BSB + Partner AG Ingenieure und Planer 3097 Liebefeld <input type="checkbox"/>	CSD Ingenieure AG 3097 Liebefeld <input checked="" type="checkbox"/>	Maurus Schifferli Landschaftsarchitekten AG 3011 Bern <input type="checkbox"/>	Schär Buri Architekten BSA SIA 3006 Bern <input type="checkbox"/>	ingenta ag ingenieure und planer 3000 Bern 31 <input type="checkbox"/>
---	--	---	--	---

Index	Datum	Aenderungen	gez.	gepr.	gen.	Liebefeld, 10.08.2018	geprüft: MGa	genehmigt: ...
						gezeichnet: MLS	Plan Nr. BE07635.320.32	W40
						Grösse:		
						user:		
						gedruckt: 02.08.2018		
AV- Grundlage vom: April 2017 (LV95)						CAD-File:	BE7635-320-32__Titelblätter.dwg	

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	10
1. EINLEITUNG	11
1.1 Ausgangslage	11
1.2 Projektorganisation	12
1.3 Genehmigungsverfahren	13
2. ANLASS UND AUFTRAG	14
2.1 Projektorganisation	15
2.2 Partizipation	15
3. ALLGEMEINE PROJEKTDATEN	16
3.1 Projektdaten	16
3.2 Projektabgrenzung	16
3.3 Projektperimeter	16
3.4 Grundlagen	17
4. AUSGANGSSITUATION / IST-ZUSTAND	19
4.1 Einzugsgebiet der Sense	19
4.2 Projektperimeter	19
4.2.1 Allgemeiner Beschrieb	19
4.2.2 Verbauungen	20
4.2.3 Seitenbäche	21
4.3 Hydrologische Verhältnisse	21
4.3.1 Abflussmengen Sense	21
4.3.2 Mittelwasser- und Niedrigwasserabfluss	22
4.3.3 Seitenbäche	22
4.4 Historische Ereignisse	22
4.5 Historischer Gewässerlauf	23
4.6 Geschiebehaushalt	24
4.6.1 Geschiebefrachten	24
4.6.2 Geschiebeentnahmen	24
4.6.3 Kornverteilung der Deckschicht und der Geschiebeablagerungen	24
4.6.4 Auflandung und Sohlenerosion	25
4.7 Schwemmholzfrachten	25
4.8 Gefährdungssituation	26
4.8.1 Analyse der Gefahrenkarte	26
4.8.2 Defizite gemäss Abflussberechnung	28
4.9 Ökomorphologischer Zustand	29

4.10	Landwirtschaftliche Nutzung	29
4.11	Freizeitnutzung und Naherholung	29
4.11.1	Badeplätze und Feuerstellen	29
4.11.2	Spazier- und Wanderwege	29
4.11.3	Fahrradwege	30
4.12	Naturschutz und ökologischer Zustand	30
4.12.1	Wasserqualität	30
4.12.2	Fische	30
4.12.3	Terrestrische Fauna	30
4.12.4	Flora	31
4.13	Geologische und hydrogeologische Verhältnisse	31
4.13.1	Geologie	31
4.13.2	Hydrogeologie	31
4.14	Altlasten	32
4.14.1	Kanton Bern	32
4.14.2	Kanton Freiburg	32
4.15	Denkmalschutz	32
4.16	Archäologie	33
4.17	Werkleitungen und Infrastrukturanlagen	33
5.	PROJEKTDEFINITION	34
5.1	Projektziele	34
5.2	Hochwasserschutzziele	34
5.3	Dimensionierungswassermenge	34
5.4	Freibord	35
5.4.1	Freibord gemäss Projektzielsetzung	35
5.4.2	Freibord nach KOHS	35
5.4.3	Wahl Freibord	36
5.5	Gewässerraum	37
5.5.1	Gültige Regelung (Baureglement)	37
5.5.2	Gewässerraum im Projekt (Sense)	37
5.5.3	Einfluss Bahnprojekt	38
5.5.4	Seitenbäche	39
5.6	Ökologische Entwicklungsziele	39
5.7	Ziele für die Naherholung und Freizeitnutzung	40
6.	RISIKOANALYSE	41
7.	PROJEKTBSCHREIBUNG / MASSNAHMENPLANUNG	42
7.1	Konzept	42
7.1.1	Mündung (Flusskilometer 0.000 bis 0.200)	42
7.1.2	Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.200 bis 1.100)	42
7.1.3	Oberhalb des Siedlungsgebiets (Flusskilometer 1.100 bis 2.100)	43
7.1.4	Konzept für den Uferschutz	44

7.2	Variantenstudium	46
7.2.1	Uferverbau	46
7.2.2	Mündungsbereich	50
7.2.3	Abstellgleis	51
7.2.4	Interventionslinie	52
7.2.5	Verbandskanal ARA-Sensetal	53
7.3	Massnahmen Wasserbau	54
7.3.1	Uferverbau	54
7.3.2	Bestehender Sensedamm linkes Ufer	55
7.3.3	Neue Dämme	55
7.3.4	Blockrampen	56
7.3.5	Aktive Aufweitung	57
7.3.6	Eigendynamische Aufweitung	57
7.3.7	Strukturelemente	59
7.3.8	Objektschutzmassnahme Camping Noflen	59
7.3.9	Massnahmen oberhalb km 2.000	59
7.3.10	Objektschutzmassnahmen Mündung	59
7.4	Seitenbäche	60
7.4.1	Müli- und Noflenbach	60
7.4.2	Diverse kleine Seitenbäche	61
7.5	Werkleitungen	61
7.5.1	Verbandskanal ARA-Sensetal	61
7.5.2	BKW-Leitung km 1.100	63
7.5.3	Trinkwasserleitung km 1.100	63
7.5.4	Diverse Werkleitungen	63
7.6	Umwelt	64
7.6.1	Massnahmen zur Förderung der Zielarten	64
7.6.2	Ufervegetation und Bepflanzung	64
7.6.3	Boden 64	
7.6.4	Grundwasser	65
7.7	Unterhalt	65
7.7.1	Unterhalt Sense und Gewässerraum	65
7.7.2	Unterhalt Wald	65
7.7.3	Unterhalt Landwirtschaftsflächen und Seitenbäche	66
7.7.4	Blockrampen Aufweitung	66
7.7.5	Verankerungen für Totholz	66
7.7.6	Geschiebe Mündung	67
8.	KOSTEN	68
8.1	Projektkosten	68
8.1.1	Gesamtprojekt	68
8.1.2	Altlasten	70
8.1.3	Verschiedene Kosten	70
8.1.4	Risikokosten	71
8.2	Landerwerb	71
8.3	Subventionen	72

8.4	Subventionsberechtigte Kosten	72
9.	BAUABLAUF	73
9.1	Übersicht Gesamtprojekt	73
9.2	Übersicht Bauablauf Wasserbauprojekt	73
9.2.1	Abschnitt 1: Ufer rechts, oberhalb Brücke bis Perimeter Ende (km 0.780 - 2.100)	74
9.2.2	Abschnitt 2: Ufer links, oberhalb Brücke (km 0.780 - 2.130) inkl. Camping und Seitenbäche	75
9.2.3	Abschnitt 3: Ufer links, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.680)	76
9.2.4	Abschnitt 4: Ufer rechts, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.630)	76
9.2.5	Abschnitt 5: Ufer beidseitig, im Bereich der Brücke (km 0.650 - 0.750)	77
9.2.6	Abschnitt 6: Mündungsbereich (km 0.000 - 0.118)	77
9.3	Randbedingungen	77
9.3.1	Gefährdung der Baustelle durch Hochwasser	77
9.3.2	Rodung	78
9.3.3	Baupisten im Gerinne	78
9.4	Materialbewirtschaftung	78
10.	AUSWIRKUNGEN PROJEKT / MASSNAHMEN	80
10.1	Hochwasserschutz	80
10.2	Geschiebetransport	80
10.2.1	Abschnitt oberhalb des Siedlungsgebietes (Flusskilometer ca. 1.100 bis 2.100)	80
10.2.2	Abschnitt Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.000 bis ca. 1.100)	81
10.2.3	Auswirkungen auf die Saane unterhalb der Mündung der Sense	81
10.3	Flussmorphologie	81
10.3.1	Abschnitt oberhalb des Siedlungsgebietes (Flusskilometer ca. 1.100 bis 2.100)	81
10.3.2	Abschnitt Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.000 bis ca. 1.100)	81
10.4	Ökologie	82
10.5	Landwirtschaft	82
10.5.1	Linke Seite, Aufweitung (Flusskilometer 1.100 und 2.100)	82
10.5.2	Linke Seite, Mündungsbereich (Flusskilometer 0.000 bis ca. 0.200)	82
10.5.3	Rechte Seite	83
10.5.4	Installations- / Zwischenlagerflächen	83
10.5.5	Bewässerung	83
10.6	Naherholung und Freizeitnutzung	83
10.7	Archäologie	84
10.8	Wald	84
11.	VERBLEIBENDE GEFAHREN UND RISIKEN	85
11.1	Überlastfall	85
11.1.1	Geprüfte Variante	85
11.1.2	Überlastfall	86
11.1.3	Weitere Elemente	88
11.2	Verbleibende Gefahren	88
11.2.1	Siedlungsgebiet	88

11.2.2 Eigendynamische Aufweitung	88
11.3 Notfallplanung	89
11.4 Ungeklärte Gefahren und Risiken	89
12. NACHWEIS KOSTENWIRKSAMKEIT	90
12.1 Untersuchungsperimeter	90
12.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung	90
12.2.1 Schadenspotential und Schadenausmass	90
12.2.2 Ergebnisübersicht	91
13. TECHNISCHE NACHWEISE	92
13.1 Abflussberechnung	92
13.2 Wasserbau-Elemente	92
13.2.1 Blocksatz	92
13.2.2 Blockrampen	92
13.2.3 Aufweitung	93
13.2.4 Kolkentiefe im verzweigten Gerinne	94
13.2.5 Erosionsschutz mit Bewuchs	94
13.2.6 Überlastsektion	95
13.2.7 Ersatzgerinnebreite	95
13.2.8 Stabilität Böschung	96
13.3 Geschiebe	96
13.4 Temporärer Zustand Aufweitung	97
13.5 Wege	97
14. TERMINE UND WEITERES VORGEHEN	98

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1	Projektorganisation	15
Tabelle 3.1	Projektdateien	16
Tabelle 4.1	Querbauwerke im Projektperimeter (Bezeichnung gemäss [8], Anhang 3)	20
Tabelle 4.2	Seitengewässer im Projektperimeter (die Einzugsgebietsflächen sind aus [4] entnommen, ergänzt mit [12], [14])	21
Tabelle 4.3	Statistische Abflüsse der Sense	21
Tabelle 4.4	Mittelwasser- und Niedrigwasserabfluss, aus [15]	22
Tabelle 4.5	Statistische Abflüsse Seitenbäche (Quelle: [1])	22
Tabelle 4.6	Geschiebefrachten für Hochwasserereignis gemäss [4]	24
Tabelle 4.7	Charakteristische Korndurchmesser Sohlenmaterial und Geschiebe (interpoliert mit Werten aus [8])	25
Tabelle 4.8	Belastete Standorte gemäss KbS [12]	32

Tabelle 5.1	Hochwasserschutzziele	34
Tabelle 5.2	Dimensionierungswassermengen für die massgebenden Gewässer	34
Tabelle 5.3	Kombination Hochwasserabflussregime Sense Saane	35
Tabelle 5.4	Freibord f_e nach KOHS für die unterschiedlichen Projektabschnitte	36
Tabelle 5.5	Für die Berechnung verwendete Parameter (Erläuterung im Anhang E)	36
Tabelle 7.1	Bewertung Varianten Uferverbau	49
Tabelle 7.2	Bewertung Varianten aus Sicht Ökologie nach [18]	51
Tabelle 8.1	Projektkosten Wasserbau (gerundet auf Tsd.) nach Verfahren	68
Tabelle 8.2	Projektkosten Wasserbau nach Kantone BE / FR (gerundet auf Tsd.)	69
Tabelle 8.3	Mögliche Projektrisiken	71
Tabelle 8.4	Landerwerb Kanton BE und FR	71
Tabelle 8.5	Nicht subventionsberechtigende Leistungen	72
Tabelle 8.6	Subventionsberechtigende Projektkosten	72
Tabelle 12.1	Zusammenfassung Resultate EconoMe	91

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1	Übersicht Teilprojekte	11
Abbildung 1.2	Organigramm Gesamtprojekt	12
Abbildung 1.3	Übersicht Verfahren	13
Abbildung 4.1	Abschnitt Sensebrücke bis zur Mündung in die Saane (Ecke oben links)	19
Abbildung 4.2	Sense oberhalb der Sensebrücke	19
Abbildung 4.3	Unterspülter Uferverbau auf dem Gemeindegebiet von Bösing (Km 1.80 bis 2.0)	20
Abbildung 4.4	Uferverbau im Siedlungsgebiet von Laupen	20
Abbildung 4.5	Ausschnitt Dufourkarte 1845 – 1865 nach [14]	23
Abbildung 4.6	Ausschnitt Siegfriedkarte 1900 nach [14]	23
Abbildung 4.7	Ausschnitt Siegfriedkarte 1905 nach [14]	23
Abbildung 4.8	Ausschnitt Siegfriedkarte 1929 nach [14]	23
Abbildung 4.9	Schwemmholtz Teppich in der Sense	25
Abbildung 4.10	Schwemmholtz Teppich in der Sense	25
Abbildung 4.11	Auszug aus der Gefahrenkarte der Gemeinde Laupen [4]	26
Abbildung 4.12	Auszug aus der Gefahrenkarte Sense und Saane von 2007 [1]	27
Abbildung 4.13	Austrittsstellen (rote Pfeile) Sense bei einem HQ ₃₀₀ (Quelle: Karte aus [1])	28
Abbildung 4.14	Profilschnitt aus „Hydrogeologie Unteres Sensetal“, WEA, 1993 (ca. auf Höhe der Sensebrücke)	31
Abbildung 5.1	Gewässerraum entlang der Bahnanlagen	38

Abbildung 5.2	Natürliche Sohlenbreite, Auszug GIS Kanton FR (E-Mail von J.-C. Raemy, AfU vom 30.01.2018)	39
Abbildung 7.1	Übersicht Massnahmen	42
Abbildung 7.2	Ansicht Sensebrücke flussaufwärts geschaut	43
Abbildung 7.3	Abschnitt Eigendynamische Aufweitung (schraffierte Fläche: aktive Aufweitung zur Förderung der Eigendynamik)	44
Abbildung 7.4	Variante 1: Deklinante Buhnen (vollständiger Uferschutz)	47
Abbildung 7.5	Variante 2: Inklinante Buhnen (Erosionen im Buhnenfeld möglich)	47
Abbildung 7.6	Beispiel Leitwerke an der Emme (aus Hunzinger 2004)	48
Abbildung 7.7	Situation Variante 2 Handskizze	50
Abbildung 7.8	Situation Variante 3 „PRONAT“ nach [18]	50
Abbildung 7.9	Prioritäre Nutzung Sense gemäss GEK Sense21 (Quelle: [11])	52
Abbildung 7.10	Variantenprüfung neue Linienführung Kanalisation	53
Abbildung 7.11	Beispielbild Flachdamm Aare/Gürbe	56
Abbildung 7.12	Beispielbild Flachdamm Aare/Gürbe	56
Abbildung 7.13	Bau Kanalisation von 1976 Quelle: Archiv ARA Sensetal	62
Abbildung 7.14	Bau Kanalisation von 1976 Quelle: Archiv ARA Sensetal	62
Abbildung 9.1	Bauabschnitte Wasserbauprojekt	74
Abbildung 10.1	Entwicklung Sohlenlage [16]	80
Abbildung 11.1	Überprüfte Variante mit Überlastsektion zwischen km 1.100 bis ca. 1.500.	86
Abbildung 12.1	Untersuchungssperimeter EconoMe	90
Abbildung 12.2	Intensitätskarte für Wassergefahren vor Massnahmen, Wiederkehrperiode 300 Jahre [4]	90
Abbildung 13.1	Prinzipskizze Aufweitung: Situation (Quelle: [26])	94
Abbildung 13.2	Prinzipskizze Aufweitung:Längenprofil (Quelle: [26])	94
Abbildung 13.3	Konzept Ersatzgerinneverfahren nach Zarn	95

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Grundlagen
Anhang B	Temporärer Zustand (HQ_{Erosion})
Anhang C	Nachweis EconoMe
Anhang D	Normalprofil Gewässerraum Entlang Abstellgeleise
Anhang E	Freibord (nach KOHS)
Anhang F	Variantenvergleich
Anhang G	Technische Nachweise
Anhang H	Berechnung Geschiebe
Anhang I	Kostenvoranschlag
Anhang J	Abflusskorridor im Überlastfall
Anhang K	Bauprogramm
Anhang L	Standortgebundenheit Abstellgleis

PRÄAMBEL

CSD bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

CSD geht davon aus, dass

- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt CSD gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Gesamtprojektes LaUP!en „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“ sollen im Raum Laupen umfassende Bau- und Umgestaltungsmassnahmen realisiert werden. Bestandteile des Gesamtprojektes bilden Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen, die Sanierung der Sensebrücke, der Bau temporärer Umfahrungsstrassen, die Verlegung der Bahnstation, die Sanierung der Kantonsstrasse und Werkleitungen sowie die Verlegung der bestehenden ARA-Leitung. Ziele des Vorhabens sind die Optimierung der Verkehrssituation und die Verbesserung des Hochwasserschutzes kombiniert mit der ökologischen Aufwertung der Sense.

Das Gesamtprojekt Laupen zeichnet sich durch hohe Komplexität aus und basiert auf einer mehrjährigen und umfangreichen Planungsphase, in deren Rahmen auch die EinwohnerInnen von Laupen und Bösinggen involviert wurden.

Beim Wasserbauplan handelt es sich um ein kantonsübergreifendes Vorhaben, welches die Gemeinden Laupen (BE) und Bösinggen (FR) betrifft.

Die aus dem Gesamtprojekt hervorgehenden Bauvorhaben unterliegen unterschiedlichen Genehmigungsverfahren:

- Eisenbahnrechtliches Plangenehmigungsverfahren (PGV)
(Rück- und Neubau Bahnhofareal inkl. Anpassungen Gleisanlagen sowie die wasserbaulichen Massnahmen oberhalb der Sensebrücke von Flusskilometer 0.723 bis 2.130)
- Kantonales Strassenplanverfahren
(Sanierung Kantonsstrasse und Werkleitungen, der Abbruch und Neubau der Sensebrücke, die Baustellenumfahrung Stedtli und Baustellenumfahrung West inkl. Hilfsbrücke Langsamverkehr)
- Kommunales Wasserbauplanverfahren Kanton BE
(wasserbauliche Massnahmen unterhalb der Sensebrücke bis zur Mündung)

Gemäss der Gefahrenkarte ist das Siedlungsgebiet von Laupen grossflächig von Überschwemmungen durch die Sense betroffen. Zudem ist das Risiko von Ufererosion im Siedlungsgebiet abschnittsweise ausgewiesen. Das Schadenpotential beträgt nach EconoMe für Personen und Sachwerte CHF 8.3 Mia. Wird lediglich der Abschnitt im Siedlungsgebiet betrachtet, auf welchem hauptsächlich Hochwasserschutzmassnahmen umgesetzt werden, resultiert ein günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis von 1.0. Die Umsetzung der Hochwasserschutzmassnahmen ist demzufolge wirtschaftlich sinnvoll.

Der Projektperimeter erstreckt sich entlang der Sense. Er beginnt bei der Gemeindegrenze Neuenegg / Laupen beim Flusskilometer 2.130 und endet bei der Mündung der Sense in die Saane (Flusskilometer 0.000).

Die Abflusskapazität der Sense im Hochwasserfall soll verbessert werden, indem das Gerinneprofil bestmöglich aufgeweitet wird. Zusätzlich wird der Sense ausserhalb des Siedlungsgebiets mehr Raum für eine natürliche Dynamik gegeben (Revitalisierung).

Gesamthaft betrachtet, versprechen die Vorhaben im Raum Laupen eine Verbesserung der Ausgangssituation, indem die Hochwassersicherheit und der Verkehrsfluss optimiert werden und gleichzeitig ein Beitrag zur Aufwertung der Sense als Natur- und Erholungsraum geleistet wird.

Der Wasserbauplan wurde im August 2017 zur Vorprüfung eingereicht und überarbeitet.

Die Umsetzung des Wasserbauprojekts und der restlichen Teilprojekte ist in den Jahren 2020 bis 2024 geplant.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Projekt LaUPlen „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“ wurde wegen der unbefriedigenden Ortsdurchfahrt im Bereich der Sensebrücke bereits 2007 ausgelöst. Bei geschlossener Bahnschranke entsteht ein Verkehrsrückstau im Ortskern und bei den Ortseinfahrten auf der Neuenegg- und Bösingenstrasse. Vor diesem Hintergrund entstand die Idee, den heutigen Bahnhof in Richtung Neuenegg zu verschieben und damit den Bahnübergang bei der Brücke aufzuheben.

Basierend auf dem Studienauftrag „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen 2010“ wurde das Vorprojekt¹ [10] über das Gesamtprojekt ausgearbeitet und Ende 2014 in die öffentliche Mitwirkung gegeben.

Das Gesamtprojekt umfasst die folgenden Teilprojekte (TP):

- TP 1: Sanierung der Kantonsstrasse, temporäre Baustellenumfahrungen (Umfahrung West, Umfahrung Stedtli und Hilfsbrücke Langsamverkehr)
- TP 2: Abbruch und Neubau der Sensebrücke
- TP 3: Hochwasserschutz und Revitalisierung Sense inkl. Verlegung des Verbandskanals ARA-Sensetal
- TP 4a/b: Verlegung Bahnhof und Anpassung Gleisanlagen
- TP 5: Entwicklung altes Bahnhofareal
- TP 6: Sanierung Werkleitungen

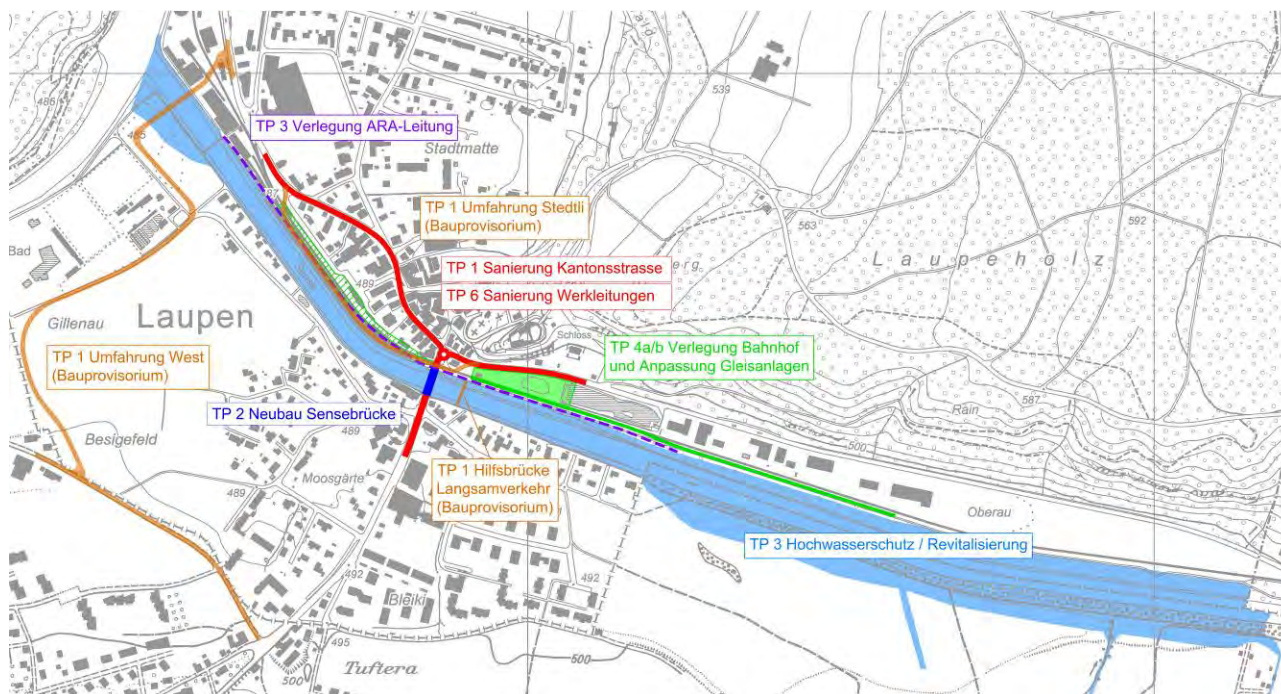


Abbildung 1.1 Übersicht Teilprojekte

¹ Beim Vorprojekt [10] verlief der Wasserbauperimeter von der Sensemündung (Flusskilometer 0.000) bis zur Kantonsgrenze BE/FR (Flusskilometer 1.150).

Das Gesamtprojekt ist als umfassende, raumwirkende Aufgabe zu verstehen. Dieses nimmt Einfluss auf die Gewässer, die Natur, die Mobilität, die städtebauliche Geschichte und Entwicklung, das Wohnen und Leben in Laupen.

Folglich sind die Teilprojekte sowohl räumlich als auch inhaltlich verknüpft und stehen in terminlicher Abhängigkeit. Der Bauablauf des Gesamtprojektes wird vom Fortschritt in den einzelnen Teilprojekten beeinflusst. In Abbildung 1.1 sind die Perimeter der Teilprojekte lokalisiert.

Im März 2017 wurde die Bevölkerung beider Gemeinden zu einer öffentlichen Informations- und Mitwirkungsveranstaltungen eingeladen.

Der Wasserbauplan wurde im August 2017 zur Vorprüfung eingereicht und überarbeitet.

1.2 Projektorganisation

Das Gesamtprojekt wird von einer Bauherrngemeinschaft (BHG) bestehend aus der Gemeinde Laupen und der Sensetalbahn AG unter der Federführung des Kantonalen Tiefbauamts des Kantons Bern, OIK II getragen (vgl. Abbildung 1.2). Das Gesamtprojekt wird in enger Kooperation mit dem Kanton Freiburg und der Gemeinde Böisingen entwickelt.

Das Planerteam SENS(e)ORIUM unter der Federführung der Roduner BSP+Planer AG, setzt sich aus fünf Büros zusammen, welche gemeinsam fachspezifisch die einzelnen Teilprojekte bearbeiten.

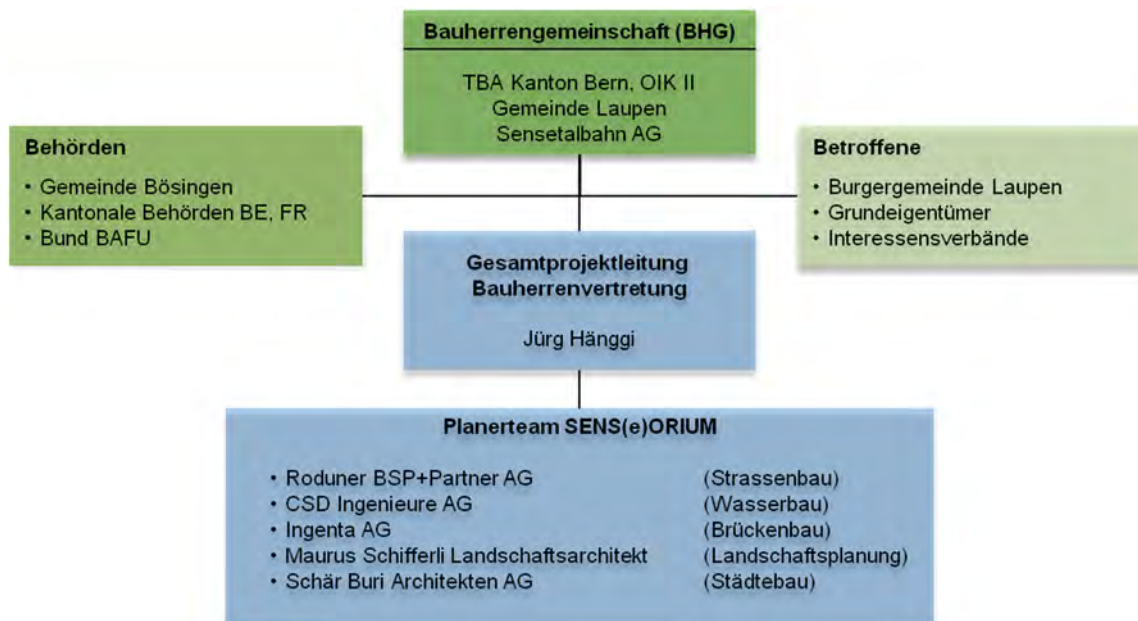


Abbildung 1.2 Organigramm Gesamtprojekt

1.3 Genehmigungsverfahren

Die einzelnen Teilprojekte des Gesamtprojekts unterliegen verschiedenen Genehmigungsverfahren. Mit dem Ziel, eine gemeinsame öffentliche Auflage zu erreichen, koordinierte die Gruppe „Verfahrenskoordination Laupen“ die Wahl und den zeitlichen Ablauf der verschiedenen Verfahren.

Das Gremium setzt sich wie folgt zusammen:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| ■ Bundesamt für Verkehr | Paul Flury, Sektion Bewilligungen II |
| ■ Sensetalbahn (STB/SBB) | Fredy Summermatter, CEO Sensetalbahn AG |
| ■ Tiefbauamt des Kantons Bern, OIK II | Thomas Wüthrich, Bereichsleiter Wasserbau |
| ■ Amt für Umwelt (AfU) Staat Freiburg | Jean-Claude Raemy, Sektorchef |
| ■ Advokat | Dr. Karl Ludwig Fahrländer, Fürsprecher |

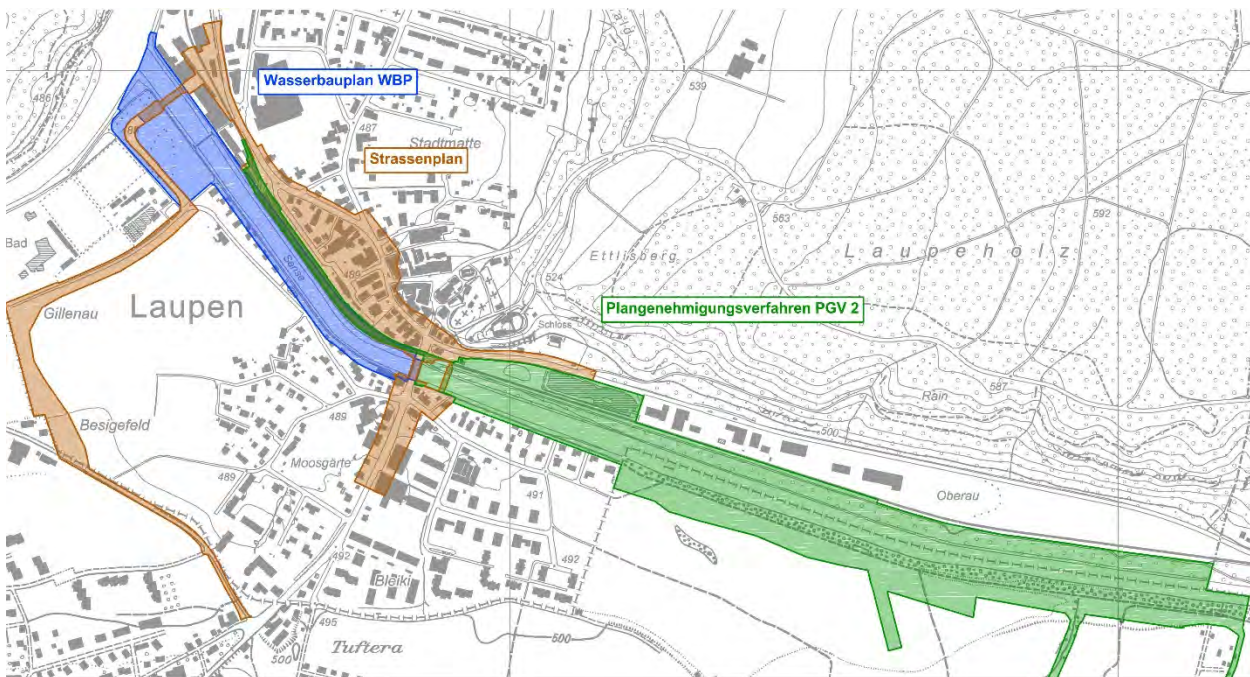


Abbildung 1.3 Übersicht Verfahren

Die einzelnen Teilprojekte des Gesamtprojekts LaUPlen „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“ unterliegen verschiedenen Genehmigungsverfahren (vgl. Abbildung 1.3 sowie Plan Nr. M1-2 im Masterdokument):

- Eisenbahnrechtliches Plangenehmigungsverfahren (PGV) nach Art. 18 ff EBG² für den Rückbau des bestehenden Bahnhofareals, den Neubau der Bahnstation inkl. Anpassung der Gleisanlagen, den Bushof sowie die Parkierung im Stationsbereich. Die wasserbaulichen Massnahmen oberhalb der Sensebrücke von Flusskilometer 0.723 bis 2.130 auf dem Gebiet der Gemeinden Bösinggen (FR) und Laupen (BE).

² Eisenbahngesetz vom 20. Dezember 1957, EBG, SR 742.101

- Kantonales Strassenplanverfahren nach Art. 29 ff SG³ für die Sanierung der Kantonsstrasse inkl. Werkleitungen sowie der Bauumfahrungen (Umfahrung West, Umfahrung Stedtli und Hilfsbrücke Langsamverkehr) und den Abbruch und Neubau der Sensebrücke.
- Kommunales Wasserbauplanverfahren nach Art. 21 ff WBG⁴ für die wasserbaulichen Massnahmen unterhalb der Strassenbrücke bis zur Mündung.

Die oberhalb der Sensebrücke auf dem Gebiet des Kantons Freiburg und der Gemeinde Böisingen vorgesehenen Wasserbaumassnahmen sind im Wesentlichen deshalb erforderlich, weil die neue Bahnstation Laupen und das dafür unmittelbar entlang der Sense benötigte Abstellgleis eine kompensatorische zusätzliche Ausdehnung des Gewässerraums auf der Freiburger Seite der Sense nach sich ziehen. Die auf der Freiburger Seite vorgesehenen Wasserbaumassnahmen sind mit anderen Worten weitgehend bahnbedingt. Im Interesse einer verbesserten Verfahrenskoordination rechtfertigt es sich deshalb, diese wasserbaulichen Vorkehren in das eisenbahnrechtliche PGV zu integrieren.

Die Verfahren sind im Masterdokument (Beilage Nr. M-1-1) ausführlich beschrieben.

2. Anlass und Auftrag

Das vorliegende Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekt der Sense ist das Teilprojekt 3 (TP 3) des Gesamtprojektes LaUP!en „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“, umfasst rund 2 km Flussabschnitt und betrifft die Gemeinden Laupen (Kanton Bern) und Böisingen (Kanton Freiburg).

Das Stedtli von Laupen wurde in den vergangenen Jahren wiederholt durch die südwestlich des Ortskerns verlaufende Sense bedroht und teilweise überflutet. In der Gefahrenkarte der Gemeinde Laupen [4] sind die Hochwasserschutzdefizite für das Siedlungsgebiet ausgewiesen. Die sanierungsbedürftige Sensebrücke genügt den geltenden Hochwasserschutzvorgaben nicht mehr und weist eine ungenügende Abflusskapazität auf.

Die wasserbaulichen Massnahmen basieren auf dem Gewässerentwicklungskonzept (GEK) Sense 21, welches im Auftrag der Tiefbauämter der Kantone Bern und Freiburg im Jahr 2014 erarbeitet wurde. Basierend auf der richtungsweisenden Grobplanung des GEK wurde das vorliegende Bauprojekt partizipativ ausgearbeitet.

Das Ziel des Projekts besteht darin, nebst der Verkehrssanierung, auch die Defizite bezüglich Hochwasserschutz und Ökologie zu beheben. Durch geeignete Revitalisierungs- und Gestaltungsmaßnahmen sollen die Zugänglichkeit, die Strukturevielfalt und die Vernetzung der Ökosysteme des Gewässers verbessert werden.

Die CSD Ingenieure AG (als Teil der Planergemeinschaft SENSE(e)ORIUM) wurde von der Bauherrngemeinschaft mit der Erarbeitung des Wasserbauplans für das Teilprojekt 3 beauftragt.

³ Kantonales Strassengesetz vom 4. Juni 2008, SG, BSG 732.11

⁴ Kantonales Wasserbaugesetz vom 14. Februar 1989, WBG, BSG 751.11

2.1 Projektorganisation

Auftraggeber	Bauherrengemeinschaft (BHG) Tiefbauamt des Kantons Bern Oberingenieurkreis II Schermenweg 11, Postfach 3001 Bern	Hansjörg Fischer
	Gemeinde Laupen	Urs Balsiger, Gemeindepräsident
	Sensetalbahn AG	Fredy Summermatter, CEO Sensetalbahn AG
Gesamtprojektleiter	HÄNGI Planung + Beratung GmbH Ostermundigenstrasse 73 3006 Bern	Jürg Hänggi
Bauherren- unterstützung		
Planerteam	CSD Ingenieure AG Hessstrasse 27 d 3097 Liebefeld	Michael Gallmann
SENSE(e)ORIUM		
TP Nr. 3 Wasserbau		
Amtsstellen	Tiefbauamt des Kantons Bern Oberingenieurkries II Schermenweg 11, Postfach 3001 Bern	Thomas Wüthrich
	Tiefbauamt des Kantons Freiburg Route du Mont Carmel 1 1762 Givisiez	Jean-Claude Raemy

Tabelle 2.1 Projektorganisation

Die CSD Ingenieure AG ist Teil der Planergemeinschaft SENSE(e)ORIUM und für das Teilprojekt 3 Wasserbau zuständig.

Die Federführung für das Teilprojekt Wasserbau liegt bei der Gemeinde Laupen.

2.2 Partizipation

Folgende Anlässe wurden im Rahmen der Partizipation durchgeführt:

- 01.09.2016: 1. Workshop für betroffene Grundeigentümer
- 12.01.2017: 2. Workshop für betroffene Grundeigentümer
- 16.03.2017: Öffentliche Informationsveranstaltung, Laupen / Bösinggen

Die öffentliche Auflage der Projektpläne (Entwurf Bauprojekt) auf den Gemeindeverwaltungen Laupen und Bösinggen sowie auf der Webseite der Gemeinde Laupen erfolgte vom 16.03. bis 21.04.2017. Das Mitwirkungsverfahren wurde im Amtsanzeiger und auf dem Online-Portal der Gemeinde Laupen sowie im Bösingerkurier vom 30.03.2017 publiziert.

Zudem fanden diverse Sitzungen mit den Behörden der Kantone Bern (OIK II) und Freiburg sowie dem BAFU statt.

Im Zeitraum vom August bis Dezember 2017 fand die Vorprüfung des Bauprojekts durch die involvierten Amtsstellen statt (kantonale Fachstellen Kanton Bern und Kanton Freiburg sowie durch das BAFU). Die unterschiedlichen Stellungnahmen zum Projektdossier wurden anlässlich einer Sitzung vom 25.01.2018 bereinigt (vgl. Dokument Nr. W44 im Projektdossier).

3. Allgemeine Projektdaten

3.1 Projektdaten

Objekt	Sense, Gemeinde Laupen (Kanton Bern) und Gemeinde Böisingen (Kanton Freiburg)
Landeskoordinaten	2°584'845 / 1°194'506 , LK Blatt 1165 Murten 1:25'000 und LK Blatt 1166 Bern 1:25'000
Oberflächengewässer	Sense, Gewässernummer Kanton Bern 269
Betroffene Grundstücke	Vgl. Master-, PGV- und WBP-Dossier, Landerwerbspläne (M2, B11, W20)

Tabelle 3.1 Projektdaten

3.2 Projektabgrenzung

Der vorliegende Bericht umfasst das Bauprojekt für das TP 3. Der Verbandskanal ARA-Sensetal liegt teilweise im Projektperimeter des Wasserbauprojekts und wird folglich dem Wasserbauprojekt zugeordnet (Bewilligung und Kosten). Der Projektperimeter ist im Kapitel 3.3 definiert.

Der Rückbau der Gleisanlage ist nicht Bestandteil des Wasserbauprojekts, sondern erfolgt im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens der Bahn.

3.3 Projektperimeter

Der Projektperimeter erstreckt sich entlang der Sense. Er beginnt für die rechte Uferseite bei der Gemeindegrenze Neuenegg / Laupen beim Flusskilometer 2.070 und endet bei der Mündung der Sense in die Saane (Flusskilometer 0.000). Auf der linken Flussseite beginnt der Projektperimeter bereits bei Flusskilometer 2.130, mit dem Ziel die Objektschutzmassnahmen oberhalb des Campingplatzes zu berücksichtigen.

Die Sense ist oberhalb des Flusskilometers 1.090 Gemeinde- und Kantonsgrenze zugleich. Linksufrig befindet sich die Gemeinde Böisingen (Kanton Freiburg). Die rechte Uferseite liegt im Gemeindegebiet von Laupen (Kanton Bern). Unterhalb von Flusskilometer 1.090 liegen sowohl das linke als auch das rechte Ufer im Gemeindegebiet von Laupen.

Auf der linken Uferseite in der Noflenmatte werden die beiden grösseren Seitenbäche (Mülibach mit Zufluss bei km 1.530 und Noflenbach bei km 1.860) der Gemeinde Böisingen in das Projekt integriert. Der Projektperimeter für die Seitenbäche wird so festgelegt, dass der hydraulische Einfluss der Sense bei Hochwasser und der damit verbundene Rückstau in den Seitenbächen vollständig abgedeckt werden.

Die restlichen Seitenbäche werden lediglich im Mündungsbereich auf das Wasserbauprojekt abgestimmt. Die entsprechenden Massnahmen finden innerhalb des Gewässerraums der Sense statt.

3.4 Grundlagen

Für die Projektentwicklung und die Erarbeitung des Berichts wurden folgende Grundlagen konsultiert:

Projektspezifische Grundlagen

- [1] Schälchli, Abegg + Hunzinger, Geo7 AG; Gefahrenkarte Sense und Saane; 10.12.2007
- [2] Flussbau AG; Flussaufweitungen an der Sense, Machbarkeit; 02.01.2011
- [3] Schälchli, Abegg + Hunzinger; Sense und Saane, Studie über den Geschiebehalt; 01.02.2007
- [4] Geo7 AG, Flussbau AG; Gefahrenkarte Laupen; 15.02.2011 (Version 1.0)
- [5] Geotechnischer Institut AG; Altes Bahnareal, Altdeponie Spielplatz Halde, Abfallrechtliche Untersuchungen und Schätzung der belastungsbedingten Mehrkosten; 11.11.2011
- [6] Planerteam SENSE(e)ORIUM; Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen, Masterplan; 01.03.2012
- [7] Pronat; Gewässerentwicklungskonzept Sense21, Grundlagenbericht Ökologie; 10.03.2014
- [8] Flussbau AG; Gewässerentwicklungskonzept Sense 21, Systembeschreibung – Grundlagenbericht Flussmorphologie und Wasserbau; 04.04.2014 (Version v1.2)
- [9] Pbplan AG; Gewässerentwicklungskonzept Sense 21, Systembeschreibung – Grundlagenbericht Raumnutzung, Land- und Forstwirtschaft; 21.03.2014 (Version v2.1)
- [10] Planerteam SENSE(e)ORIUM; Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen, Technischer Bericht, Vorprojekt / Mitwirkung; 18.11.2014 (Version 001)
- [11] Flussbau AG; Gewässerentwicklungskonzept Sense21; 15.12.2015
- [12] Geoportal des Kantons Bern (<http://www.apps.be.ch/geo/>); Zugriff im März 2016
- [13] Geoportal des Kantons Freiburg (<http://map.geo.fr.ch/>); Zugriff im März 2016
- [14] Geoportal des Bundes (<https://map.geo.admin.ch/>); Zugriff im März 2016
- [15] Hydrodaten BAFU (<http://www.hydrodaten.admin.ch/de/>); Zugriff im März 2016
- [16] Flussbau AG; Wasserbauplan Sense Laupen, Kurzdokumentation; 05.04.2016 (inkl. Update Berechnungen 2017) → im Anhang H
- [17] SBB; STB AG, Flamatt – Laupen Anlagenanpassung Angebot 2020; Laupen, Standortgebundenheit Anschlussgleis; Version 3 vom 22.09.2016
- [18] Pronat; Aufwertung der Sense-Mündung beim Zusammenfluss mit der Saane; Ökologischer Nutzen von Revitalisierungsmassnahmen; 19. Oktober 2016
- [19] CSD Ingenieure AG; Factsheet Bühnen Sense, Dokument zur Sitzung vom 26.10.2016; 18.10.2016
- [20] CSD Ingenieure AG; Neubau Brücke und Hilfsbrücke – Bericht über die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse; 29.07.2017

Diverse Unterlagen

- [21] Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG (heute BAFU); Hochwasserschutz an Fliessgewässern – Wegleitung des BWG; 2001.
- [22] Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG (heute BAFU); Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe, 2003
- [23] VAW Mitteilung Nr. 159: Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung; Zürich; 1998
- [24] VAW Mitteilung Nr. 199: Morphologie von verzweigten Gerinnen; Zürich; 2006
- [25] VAW; Mitteilung Nr. 210: Seitenerosion in kiesführenden Flüssen; Zürich; 2008
- [26] VAW; Mitteilung Nr. 200: Flussaufweitungen, Möglichkeiten und Grenzen; Zürich; 2007
- [27] Gian Reto Bezzola; Vorlesungsmanuskript Flussbau; Eidgenössische Technische Hochschule Zürich; Fassung FS 2009
- [28] Hunziker, Zarn & Partner; Blockrampen Normalien; Aarau; Mai 2008
- [29] BAFU, Bodenschutz beim Bauen, Leitfaden Umwelt Nr. 10; 2001
- [30] Marti, C., Bezzola, G. R. & Minor, H.-E.; Kolkproblematik in aufgeweiteten Flussabschnitten. Lebensraum Fluss, Symposium vom 16.-19. Juni 2004 in Wallgau, Band 1; 2004
- [31] KOHS; KOHS-Empfehlung Freibord; Artikel „Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen“, erschienen in „Wasser Energie Luft“ – 105. Jahrgang; 2013, Heft 1

Stellungnahmen

- [32] Bereinigungssitzung vom 25.01.2018, Offene Punkte Stellungnahmen, Stand 25.01.2018 mit Beschluss zum weiteren Vorgehen (Bereinigungssitzung zum Projektstand Vorprüfung)
- [33] Zusammenfassung Stellungnahme zu den Amts- und Fachberichten zur Vorprüfung, Version vom 29.03.2018.

4. Ausgangssituation / IST-Zustand

4.1 Einzugsgebiet der Sense

Das Einzugsgebiet der Sense hat bei Laupen eine Fläche von ca. 430 km² [8]. Die kalte Sense entspringt nordwestlich des Gurnigels und die warme Sense aus dem Schwarzsee. Die beiden Quellflüsse vereinen sich kurz unterhalb von Zollhaus zur Sense. Von Zollhaus bis Thörishaus fliesst die Sense im Sensegraben. Auf diesem Abschnitt ist der Fluss kaum verbaut und hat die Morphologie eines verzweigten Gerinnes. Unterhalb des Sensegrabens bis zur Mündung in die Saane ist die Sense mehrheitlich ein kanalisiertes Gerinne mit ebener Sohle.

Das Quellgebiet der Sense liegt in den Voralpen. In diesem Gebiet entstehen in den Sommermonaten oft grosse und starke Gewitter. Diese Gewitter lösen die Hochwasserereignisse der Sense aus.

4.2 Projektperimeter

4.2.1 Allgemeiner Beschrieb

Der Projektperimeter beginnt im Bereich der Gemeindegrenze zwischen Laupen und Neueneegg (ca. Flusskilometer 2.130, vgl. Kap. 3.3). Die Sense ist auf dem Abschnitt bis zum Siedlungsgebiet zugleich die Kantonsgrenze zwischen Bern und Freiburg. Der Abschnitt ist geprägt durch mehrheitlich landwirtschaftlich genutzte Flächen. Das Gerinne wird beidseitig durch einen Waldstreifen gesäumt. Auf der linken Flusseite beträgt die Breite des Waldstreifens ca. 15 m. Auf der rechten Seite ist der Streifen 25 bis 30 m breit und reicht bis zum Damm der Sensetalbahn.

Vom Flusskilometer 1.090 bis zur Mündung in die Saane durchfliesst die Sense das Siedlungsgebiet von Laupen. Das Gerinne wird auf diesem Abschnitt durch Gebäude oder Infrastrukturanlagen (Wege und Gleise) gesäumt. Der Grünstreifen an beiden Uferseiten ist auf den Böschungsbereich beschränkt und nur wenige Meter breit.



Abbildung 4.1 Abschnitt Sensebrücke bis zur Mündung in die Saane (Ecke oben links)



Abbildung 4.2 Sense oberhalb der Sensebrücke (Strassenbrücke Bildmitte unten)

Zur Verhinderung von Ausuferungen verläuft linksufrig entlang des gesamten Projektperimeters ein Damm. Dieser liegt im Bereich des Landwirtschaftslands etwa 17 m von der Sense entfernt. Im Siedlungsgebiet liegt dieser direkt an der Sense. Rechtsufrig wird das Abflussprofil bis zur Strassenbrücke durch den Bahndamm begrenzt. Unterhalb der Strassenbrücke verläuft rechtsufrig anfänglich ebenfalls ein kleiner Damm.

Gemäss den Querprofilaufnahmen aus dem Jahre 2008 hat die Sense im Projektperimeter eine Sohlenbreite zwischen 20 m und maximal 34 m. Oberhalb des Siedlungsgebietes (Flusskilometer 1.070 bis 2.070) beträgt die durchschnittliche Breite 29 m. Im Siedlungsgebiet ist die Sense im Durchschnitt 4 m weniger breit.

4.2.2 Verbauungen

Die Ufer der Sense sind im Projektperimeter auf einer Länge von 3.2 km mit Betonquader, Steinkörben und mit Blockwurf oder Blocksatz verbaut. Lediglich 0.7 km sind aktuell nicht verbaut. Von den verbauten Ufer sind 1.1 km beschädigt und 0.9 km stellen ein Versagensrisiko dar [8].



Abbildung 4.3 Unterspülter Uferverbau auf dem Gemeindegebiet von Bösinggen (Km 1.80 bis 2.0)



Abbildung 4.4 Uferverbau im Siedlungsgebiet von Laupen

Nr.	Fluss-km	Bauwerkstyp	Höhendifferenz [m]	Länge Bauwerk [m]
S1	0.05	Schwelle (ARA Hauptleitung)	ca. 0.2	ca. 1.5
S2	0.30	Blockrampe	ca. 0.5	ca. 13
S3	0.40	Blockrampe	ca. 0.7	ca. 20
S4	0.50	Schwelle / Blockrampe	ca. 0.5	ca. 2
S5	0.75	Blockrampe	ca. 1.0	ca. 15
S6	1.05	Blockrampe	ca. 0.4	ca. 7
S7	1.35	Blockrampe	ca. 0.5	ca. 10
S8	1.50	Blockrampe	ca. 0.4	ca. 20
S9	1.65	Blockrampe	ca. 0.7	ca. 11
-	1.80	Blockrampe	ca. 0.7	ca. 18
S10	1.90	Blockrampe	ca. 0.5	ca. 4

Tabelle 4.1 Querbauwerke im Projektperimeter (Bezeichnung gemäss [8], Anhang 3)

Die Sohle der Sense hat auf dem Projektperimeter ein Bruttolängsgefälle von 0.6 % und ist mit 11 Querbauwerken gesichert. Die Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über den Typ und die Absturzhöhe der jeweiligen Querbauwerke.

Die Absturzhöhen gemäss obiger Tabelle sind geschätzt. Die Summe der Absturzhöhen beträgt ca. 6.0 m. Daraus resultiert ein Nettogefälle auf dem Projektperimeter von 0.3 % (Gefälle zwischen den Rampen).

Gemäss [8] schränkt das Querbauwerk S5 im Projektperimeter die Fischdurchgängigkeit ein.

4.2.3 Seitenbäche

In dem Projektperimeter münden folgende Seitenbäche in die Sense:

Gewässername	Ufer, Kilometer	Kanton	Länge [m]	Fläche Einzugsgebiet [km ²]	Gewässer Nr. (Gewiss-Nr.)	Zustand im Mündungsbereich
Laupenholzbach	RU, 0.72	Bern	1'364	ca. 0.20	70'774	eingedolt
Rainbächli	RU, 0.92	Bern	503	0.04	70'778	eingedolt
Wyderaingrabe	RU, 1.55	Bern	524	0.06	70'775	eingedolt
„Namenlos“	RU, 2.00	Bern	207	0.08	70'788	eingedolt
Gillenaugrabe (Feldbächli)	LU, 0.00	Bern	702	0.20	72'130	eingedolt
Tufterebächli	LU, 0.72	Bern	416	0.20	70'793	eingedolt
Schmutzemattbach	LU, 0.78	Bern	418	0.20	70'795	eingedolt
Mülibach*	LU, 1.53	Freiburg	2'600	2.43	(12434.0)	Auf kurzer Strecke eingedolt
Noflenbach*	LU, 1.86	Freiburg	ca. 650	-	-	Auf kurzer Strecke eingedolt

Tabelle 4.2 Seitengewässer im Projektperimeter (die Einzugsgebietsflächen sind aus [4] entnommen, ergänzt mit [12], [14])

**Bemerkung: Bezeichnungen der Seitenbäche gemäss betroffenen Grundeigentümer. Gemäss AV-Daten wird jedoch der Zufluss bei km 1.53 als Noflenbach bezeichnet.*

4.3 Hydrologische Verhältnisse

4.3.1 Abflussmengen Sense

In Thörishaus an der Sense betreibt das Bundesamt für Umwelt, BAFU eine Abflussmessstelle (Nr. 2179). Das Einzugsgebiet der Sense bei Thörishaus beträgt 352 km² [15]. Die statistischen Abflusswerte der Messstelle Thörishaus (Stand 2017) und der Gefahrenkarte sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Werte wurden in den letzten Jahren aufgrund von mehreren Hochwasserereignissen tendenziell nach oben angepasst.

Abfluss	Q ₃₄₇	MQ	HQ ₂	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀	
Messstation Thörishaus [15]	2.5	10.5	146	315	404	498	[m ³ /s]
Gefahrenkarte [4]	-	-	-	310	395	485	[m ³ /s]

Tabelle 4.3 Statistische Abflüsse der Sense

4.3.2 Mittelwasser- und Niedrigwasserabfluss

Da im Einzugsgebiet der Sense keine grösseren Stauanlagen vorhanden sind, entspricht die Hydrologie der Sense bei Hoch-, Mittel-, und Niedrigwasserabflüssen dem natürlichen Zustand.

Der Mittelwasserabfluss (MQ) und der Niedrigwasserabfluss (Q_{347}) sind in Laupen infolge der Seitenbäche höher als die gemessenen Werte in Thörishaus. Da diese Werte für das vorliegende Projekt von untergeordneter Bedeutung sind, werden die Abflusswerte proportional zur Einzugsgebietsgrösse anhand der Abflusswerte in Thörishaus extrapoliert.

Die aktuellsten Werte für den Mittelwasserabfluss MQ und den Abfluss Q_{347} stammen aus dem Jahr 2015 (für das langjährige Mittel der Periode 1928 bis 2015).

Abflussregime	Messstation	Extrapoliert	
Mittelwasserabfluss (MQ)	8.56	10.50	[m ³ /s]
Niedrigwasserabfluss (Q_{347})	2.05	2.50	[m ³ /s]

Tabelle 4.4 Mittelwasser- und Niedrigwasserabfluss, aus [15]

Die benetzte Gerinnebreite für den Mittelwasserabfluss beträgt ca. 35 m (vgl. Definition im Kap. 13.2.7). Folgende Ansätze wurden zum Bestimmen der benetzten Gerinnebreite verwendet:

- Ersatzgerinnebreite nach Zarn: ca. 40 m (vgl. 13.2.7).
- Luftaufnahmen im Bereich von Aufweitungen (z.B. Thörishaus): ca. 30 m
- HEC-RAS Berechnung: ca. 35 m

4.3.3 Seitenbäche

Die Hochwasserabflüsse der wichtigsten Seitenbäche sind in der Gefahrenkarte Sense und Saane von 2007 aufgeführt (vgl. Dokument [1], Tabelle 9). Die Hochwasserabflüsse sind insbesondere für die beiden Seitenbäche im Gebiet Noflenmatte für das Projekt von Bedeutung. Die beiden Bäche werden umfassend in das Projekt eingebunden (vgl. Kap. 3.3 und 7.4).

Abfluss	Fläche [km ²]	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]
Mülibach, km 1.53	2.43	3.4	5.8	7.5
Noflenbach, km 1.86	0.20	1.0	1.5	1.9

Tabelle 4.5 Statistische Abflüsse Seitenbäche (Quelle: [1])

Die Hochwasserabflüsse für den Seitenbach „Noflenbach“, der bei Flusskilometer 1.86 in die Sense mündet, wurden anhand von vergleichbaren Einzugsgebieten abgeschätzt. Als Grundlage für die Abschätzung dient die Gefahrenkarte Sense und Saane.

4.4 Historische Ereignisse

Eine Chronik zu den Hochwasserereignissen an der Sense befindet sich in [8]. Die Chronik zeigt, dass Grossereignisse häufig durch Starkniederschläge (Gewitter) ausgelöst wurden und sich in den Sommermonaten (Juli, August) ereigneten. Vereinzelt waren auch Schneeschmelze und langanhaltende Niederschläge Auslöser für grosse Ereignisse. Die Ereignisse führten wiederholt zu Schäden in den angrenzenden Gemeinden.

Erwähnenswert ist das Ereignis vom 29.07.1990 mit einer in Thörishaus gemessenen Abflussspitze von 495 m³/s. Dies stellt den bisher grössten gemessenen Abfluss an der Sense dar. Das Ereignis führte zu Schäden in den Gemeinden Laupen, Neueneegg, Wünnewil-Flamatt und Köniz.

Beim Hochwasser im Jahr 2007 wurde in Thörishaus ein Abfluss von 333 m³/s gemessen. Gemäss „Ereignisanalyse Hochwasser August 2007⁵“ wurde an der Messstation in Thörishaus ein Hochwasseralarm ausgelöst, jedoch sind in der Dokumentation keine nennenswerte Schäden für den Abschnitt Neueneegg bis Laupen aufgeführt.

4.5 Historischer Gewässerlauf

Die Ausschnitte des Projektperimeters aus den historischen Karten dokumentieren den historischen Gewässerverlauf sowie die wasserbauliche Kanalisierung.



Abbildung 4.5 Ausschnitt Dufourkarte 1845 – 1865 nach [14]

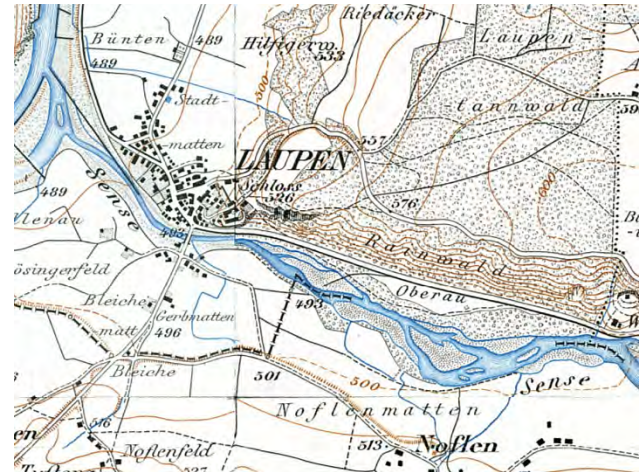


Abbildung 4.6 Ausschnitt Siegfriedkarte 1900 nach [14]

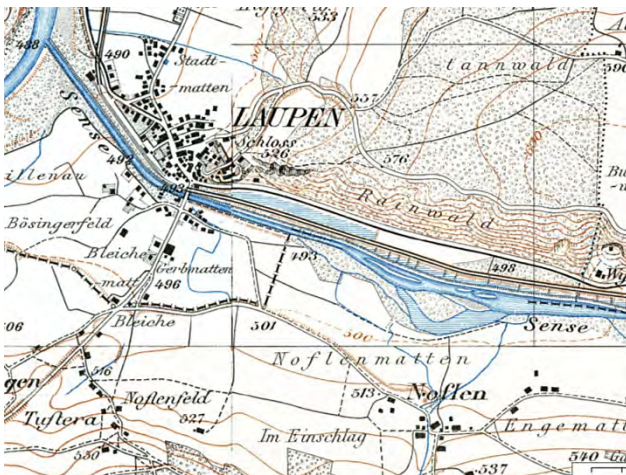


Abbildung 4.7 Ausschnitt Siegfriedkarte 1905 nach [14]

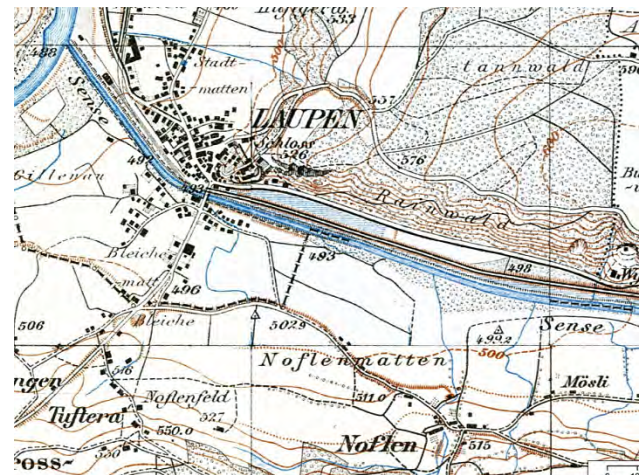


Abbildung 4.8 Ausschnitt Siegfriedkarte 1929 nach [14]

Die Sense wurde zwischen 1900 und 1905 im Bereich der heutigen Siedlung von Laupen stark begradigt und kanalisiert. Bis zum Jahr 1929 folgte anschliessend der Abschnitt in der Noflenmatte. Das ursprünglich verzweigte Gerinne besteht seither aus einem relativ gleichförmigen Kanal. Die Auenflächen an der Sense wurden durch die Flusskorrekturen im letzten Jahrhundert fast vollständig zerstört.

⁵ BAFU; Ereignisanalyse Hochwasser 2007; Bern; 2009

4.6 Geschiebehaushalt

Der Geschiebehaushalt der Sense im Projektperimeter wurde in [1] und [8] untersucht. Die folgenden Angaben stützen sich auf diese beiden Berichte.

4.6.1 Geschiebefrachten

Geschiebe, das bei Hochwasserereignissen im Einzugsgebiet mobilisiert wird, lagert sich teilweise im Sensegraben, wo die Sense die Morphologie eines verzweigten Gerinnes hat, wieder ab. Man kann davon ausgehen, dass die Geschiebefracht am Ende des Sensegrabens der Geschiebetransportkapazität der Sense an dieser Stelle entspricht.

Der Eintrag von Geschiebe durch Seitenbäche, die zwischen Thörishaus und Laupen in die Sense münden, ist von untergeordneter Bedeutung.

Nach [8] beträgt die durchschnittliche jährliche Geschiebefracht in Thörishaus 7'500 m³ pro Jahr. Der Austrag in die Saane wird auf 7'000 m³ pro Jahr geschätzt. Da vor allem bei Hochwasserereignissen grosse Mengen an Geschiebe transportiert werden, sind diese durchschnittlichen jährlichen Geschiebefrachten sehr stark von den Hochwasserereignissen abhängig. So beträgt die gerechnete Geschiebefracht auf Basis der Eichperiode von 1985 bis 1998 in Thörishaus knapp 100'000 m³, während sie für die Eichperiode von 1985 bis 2008 ca. 180'000 m³ beträgt.

Für das Hochwasserereignis von 2007 wurde ein Geschiebeeintrag von 17'000 m³ in den Abschnitt unterhalb von Thörishaus berechnet. Das entspricht rund dem 2.5-fachen durchschnittlichen jährlichen Geschiebeeintrag in Thörishaus. Der Austrag in die Saane wurde für dieses Ereignis auf 11'000 m³ geschätzt.

Im technischen Bericht zur Gefahrenkarte [4] wurden deutlich kleinere Geschiebefrachten definiert:

HW-Ereignis	Geschiebefracht [m ³]
HQ ₃₀	800
HQ ₁₀₀	1'100
HQ ₃₀₀	1'200

Tabelle 4.6 Geschiebefrachten für Hochwasserereignis gemäss [4]

4.6.2 Geschiebeentnahmen

Unterhalb des Sensegrabens wird kein Kies aus der Sense entnommen. In der Vergangenheit gab es Materialentnahmen im Einzugsgebiet der Sense. Diese Entnahmen sind für das vorliegende Projekt nur untergeordnet relevant und werden darum nicht weiter behandelt.

Bis zu Beginn der 1980er Jahre wurde in der Saane im Mündungsbereich der Sense regelmässig Kies entnommen. Die Mengen von diesem Entnahmestandort sind nicht bekannt. Gemäss [3] ist der Ablagerungsvorgang im Mündungsbereich weitgehend abgeschlossen und die Sohle hat somit wieder die ursprüngliche Ausgangshöhe erreicht (vgl. Kap. 7.7.6).

4.6.3 Kornverteilung der Deckschicht und der Geschiebeablagerungen

Im Rahmen der Studie über den Geschiebehaushalt wurden Linienzahlanalysen an der Sense und der Saane durchgeführt und die Kornverteilungskurven des Geschiebes und des Sohlenmaterials bestimmt (vgl. GEK Sense21 [8]). Zwei Analysen, die das Geschiebe betreffen, wurden im Projektperimeter durchgeführt. Die Resultate für die charakteristischen Korndurchmesser sind in Tabelle 4.7 zusammengestellt. Für das

Sohlenmaterial liegt keine Linienzahlanalyse im Projektperimeter vor. Die charakteristischen Werte wurden daher aus Analysen interpoliert, die ober- oder unterhalb des Perimeters durchgeführt wurden.

Charakteristischer Korndurchmesser	Sohlenmaterial [mm]	Geschiebe [mm]
d ₃₅	12	12
d _m	50	35
d ₉₀	125	80

Tabelle 4.7 Charakteristische Korndurchmesser Sohlenmaterial und Geschiebe (interpoliert mit Werten aus [8])

4.6.4 Auflandung und Sohlenerosion

In den Jahren 1984/1985, 1998 und 2008 wurden an der Sense Querprofilaufnahmen durchgeführt (Flussvermessung BAFU). Gemäss diesen Aufnahmen kam es auf dem gesamten Abschnitt seit Messbeginn zu leichten Auflandungen. In einigen Querprofilen betragen die Auflandungen mehrere Dezimeter. Es wird vermutet, dass diese massgebenden Sohlenveränderungen durch wasserbauliche Massnahmen an den Querbauwerken verursacht wurden.

4.7 Schwemmholzfrachten

Bei der Erarbeitung der Gefahrenkarte wurden keine Schwemmholzfrachten bei der Beurteilung der Gefahrensituation berücksichtigt. Es wurde darauf hingewiesen, dass Schwemmholz für die Gefahrenszenarien nicht massgebend ist.

Gemäss Bildaufnahmen vom 05. Juli 2009 kann die Sense bei Hochwasser erhebliche Schwemmholzfrachten mit sich führen (vgl. Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10, Quelle: Internet⁶). Die Aufnahmen wurden in Laupen vom Fussgängersteg entgegen der Fliessrichtung gemacht.

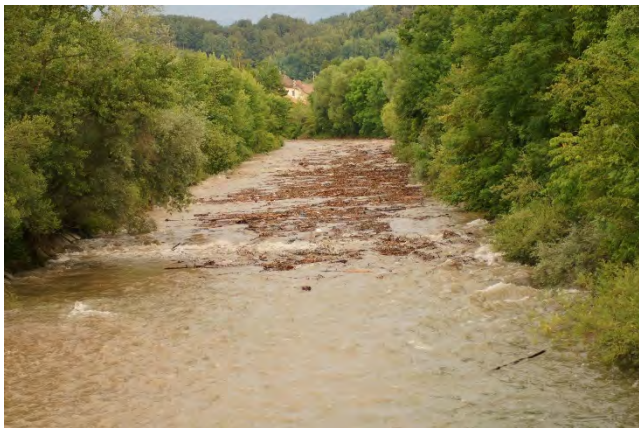


Abbildung 4.9 Schwemmholzteppich in der Sense



Abbildung 4.10 Schwemmholzteppich in der Sense

⁶ <http://www.sturmforum.ch/viewtopic.php?p=108287>; Eintrag vom Sonntag 05. Juli 2009; Autor: „Säschu“ (Bösingen)

4.8 Gefährdungssituation

Im Jahr 2007 wurde eine Gefahrenkarte erarbeitet, die das Gebiet der Gemeinde Laupen und Bösinggen umfasste und abbildete [1]. Im Jahr 2010 hat die Gemeinde Laupen die Gefahrenkarte überarbeiten lassen. Die Gemeinde Laupen verfügt deshalb über eine aktualisierte Gefahrenkarte aus dem Jahr 2011 [4].

Gemäss Gefahrenkarte sind diverse Defizite für das Siedlungsgebiet von Laupen bezüglich Hochwasser ausgewiesen. Die Sense verfügt bei Hochwasser an verschiedenen Abschnitten über eine ungenügende Abflusskapazität.

4.8.1 Analyse der Gefahrenkarte

Die Abbildung 4.11 zeigt den Ausschnitt aus der Gefahrenkarte [4] für die Gemeinde Laupen auf dem Projektperimeter.

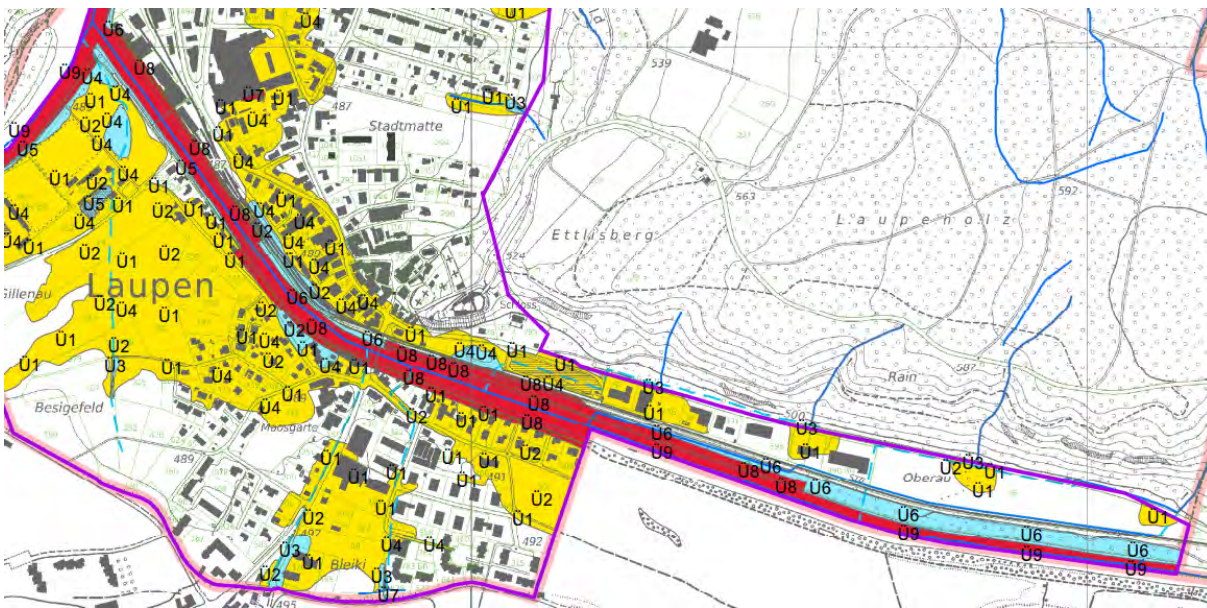


Abbildung 4.11 Auszug aus der Gefahrenkarte der Gemeinde Laupen [4]

Die Abbildung 4.12 zeigt die Gefährdung für den Ortsteil Noflen (Gemeinde Bösinggen). Für die Gemeinde Bösinggen stammen die Angaben aus der Gefahrenkarte von 2007⁷, da die aktuelle Gefahrenkarte von Laupen keine Angaben zur Gefährdung auf dem Gemeindegebiet von Bösinggen macht.

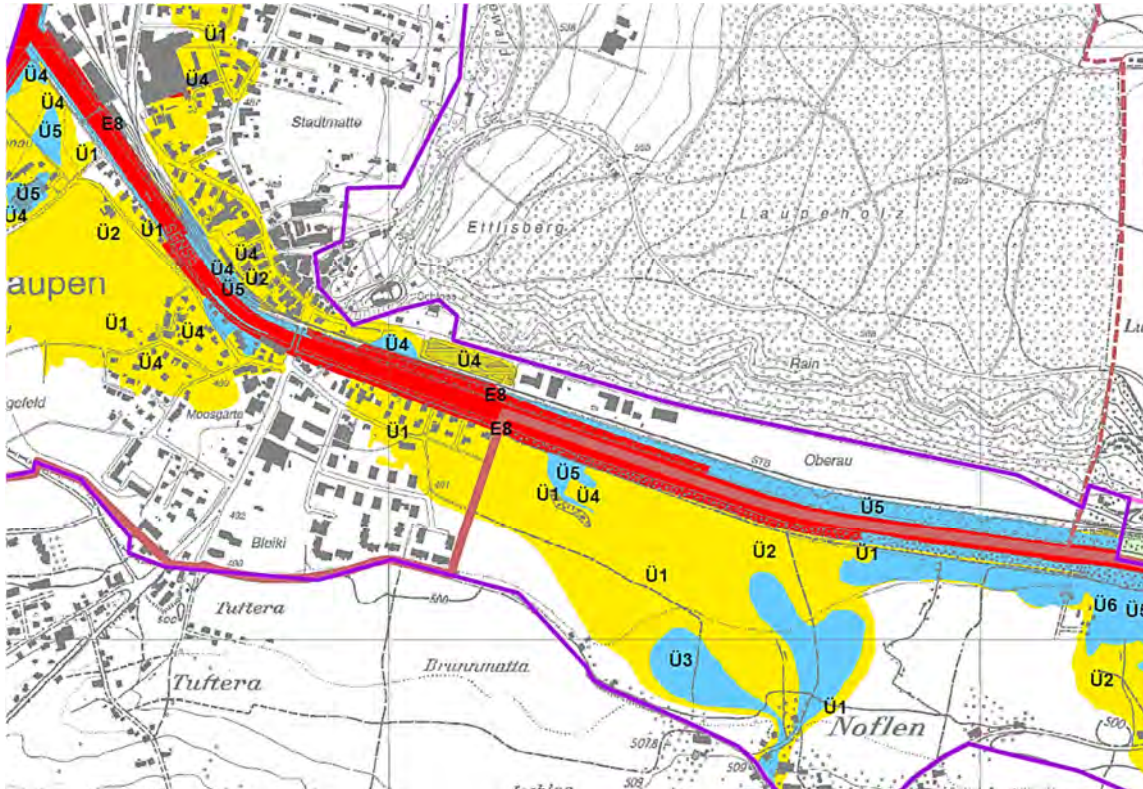


Abbildung 4.12 Auszug aus der Gefahrenkarte Sense und Saane von 2007 [1]

Gemäss der Gefahrenkarten sind an der Sense folgende Schwachstellen aufgeführt:

- Bei Abflüssen bis HQ₁₀₀ tritt die Sense linksseitig bei der Gemeindegrenze und unterhalb der Strassenbrücke in Laupen (beidseitig) über die Ufer. Die Überflutungen sind flächenmässig noch begrenzt und haben in der Regel schwache Intensität. Es sind jedoch einige Wohngebäude in den Quartieren am Gillernauweg und um den Noflenweg betroffen.
- In Laupen vergrössern sich bei HQ₃₀₀ die Überflutungsflächen beidseits der Sense. Das Zentrum von Laupen wird überflutet. Wasser, das in der Noflenmatte über die Ufer tritt, fliesst ausserhalb im Talboden bis ins Quartier um den Noflenweg.
- An einigen Stellen tritt die Sense bei einem 30-jährlichen Abfluss ins Hinterland aus. Davon betroffen ist lediglich der Flussabschnitt im Bereich des Ortsteils Noflen (FR) mit dem Camping.
- Die Gemeinde Bösinggen verfügt im Bereich Noflenmatte eine ausgewiesene Gefährdung. Die Überschwemmungen im Gebiet Noflen / Noflenmatte erfolgt nicht nur durch die Sense, sondern auch durch die beiden Seitenbäche Noflen-, resp. Mülibach (vgl. Abbildung 4.12).
- Oberhalb des Projektperimeters im Bereich Riedliau / Grossmatt befinden sich bedeutende Ausbruchsstellen. Bereits für ein Ereignis HQ₃₀ sind Ausuferungen zu erwarten, die sich bis in die Noflenmatte erstrecken (Abbildung 4.1) und zu Überflutungen im Bereich des Campings führen.

⁷ Schälchli, Abegg + Hunzinger, geo7; Gefahrenkarte Sense und Saane; 10.12.2007

Die möglichen Austrittsstellen für ein Hochwasser mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 300 Jahren sind in der Abbildung 4.13 dargestellt.

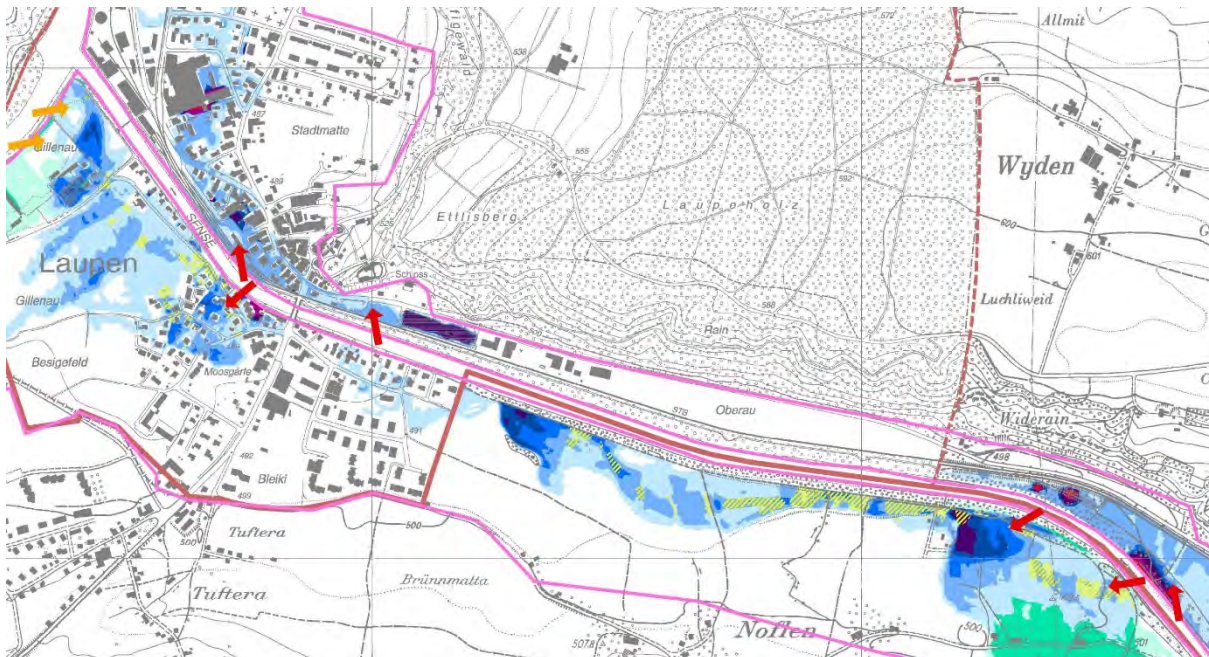


Abbildung 4.13 Austrittsstellen (rote Pfeile) Sense bei einem HQ_{300} (Quelle: Karte aus [1])

Ebenfalls sind in der Gefahrenkarte von 2007 [1] auf folgenden Abschnitten Ufererosionsprozesse mit der Intensität E8 kartiert:

- Linksufrig: Flusskilometer 0.45 bis 1.65
- Rechtsufrig: Flusskilometer 0.0 bis 0.45 und Flusskilometer 0.7 bis 1.45

Gemäss Gefahrenkarte beträgt die Rückgriffweite bei Erosionen bis zu 10 m bei schadhaftem Uferverbau. Für Uferabschnitte ohne Verbau beträgt sie sogar bis zu 20 m.

4.8.2 Defizite gemäss Abflussberechnung

Die eigenen Berechnungen mit der Software HEC-RAS zeigen für den IST-Zustand ein ähnliches Bild (vgl. Kap. 13.1):

- Für den Abfluss HQ_{100} ist die Kapazität der Querprofile QP 0.419 bis 0.621 ausgeschöpft. Da der Effekt der Brücke im Modell nur ungenügend abgebildet ist, muss mit Wasseraustritten gerechnet werden.
- Die Querprofile 0.419 und 0.621 weisen für den Abfluss HQ_{300} deutliche Austrittsstellen auf. Mit weiteren Wasseraustritten am rechten Ufer ist bei QP 0.827 und QP 0.929 zu rechnen. Die Berechnungen deuten zudem darauf hin, dass die Kapazität im Bereich der Querprofile QP 1.128 und QP 1.228 ungenügend ist (linkes Ufer).

Grundsätzlich werden die erforderlichen Freibordhöhen für das HQ_{100} auf etlichen Abschnitten unterschritten. Ein sicheres Ableiten der Hochwasser kann somit nicht gewährleistet werden, da verschiedene Effekte unter Umständen zu höheren Wasserspiegellagen führen, als dies die Berechnungen abbilden (z.B. Wellenschlag, Erhöhung des Wasserspiegels in Kurven, Ungenauigkeit Sohlenlage, etc.).

4.9 Ökomorphologischer Zustand

Gemäss [7] wird der ökomorphologische Zustand der Sense im Projektperimeter als stark beeinträchtigt beurteilt. Einzig bei der Mündung des Wyderaingrabe wird der Zustand als wenig beeinträchtigt klassiert. Unterhalb der Strassenbrücke ist der Zustand der Sense auf gut 200 m künstlich / naturfremd. Der ökomorphologische Zustand ist im Anhang A dargestellt.

Mit einer Sohlenbreite von 30 m bildet heute die Sense im Projektperimeter bei Mittelwasserabfluss Ansätze von alternierenden Bänken.

Die Gleichgewichtsbreite nach primärer Ufererosion beträgt nach dem Ansatz von Yalin rund 45 m. Bei dieser Flussbreite bilden sich in der Sense Bankstrukturen. Diese führen zu Querströmungen, die die Ufer stärker belasten als in einem kanalisiertem Flussbett. Diese Querströmungen bewirken sekundäre Ufererosionen. Die natürliche Gerinnebreite ist daher grösser als 45 m.

Basierend auf der Siegfriedkarte von 1879 wird die natürliche Flussbreite im Grundlagebericht „Flussmorphologie und Wasserbau“ [8] der Sense zu Beginn des 19. Jahrhunderts auf 60 bis 80 m geschätzt. Der Gewässerraum, der das aktive Flussbett und den Auenwald miteinschliesst, war zu dieser Zeit zwischen 150 und 300 m breit. Gemäss GEK Sense21 [8] beträgt der Gewässerraum zur Erfüllung von 60 % bis 90 % der natürlichen Funktionen 75 bis 135 m.

4.10 Landwirtschaftliche Nutzung

Landwirtschaftliche Flächen befinden sich im Projektperimeter hauptsächlich am linken Ufer, im Mündungsbereich (bis ca. km 0.250) und oberhalb des Siedlungsgebiets (ab km 1.100).

Gemäss [9] werden die Flächen hauptsächlich als Wiese genutzt. Oberhalb Flusskilometer 1.6 bis zum Beginn des Projektperimeters (Flusskilometer 2.130) sind die Landwirtschaftsflächen beidseitig der Sense als Fruchtfolgefläche ausgeschieden. Aufgrund des gültigen Gewässerraums an der Sense, ist diese Fläche jedoch mit einer Nutzungseinschränkung nach Gewässerschutzverordnung (GSchV) belegt.

4.11 Freizeitnutzung und Naherholung

Die Angaben zur Freizeitnutzung stammen aus dem Grundlagebericht „Ökologie“ [7] sowie „Raumnutzung, Land- und Forstwirtschaft“ [9].

Die Sense mit dem dazugehörigen Naturraum wird heute als Naherholungsraum genutzt und bildet einen wesentlichen Standortfaktor für die Wohnqualität in der Region. Gleichzeitig ist dieser Raum auch attraktiv für den Tourismus (wandern, Velo fahren, reiten, baden, fischen und campieren).

4.11.1 Badeplätze und Feuerstellen

Das linke Ufer im Bereich der Sensemündung ist ein in der Bevölkerung beliebter Badeplatz. Das flache Ufer mit der Kiesbank lädt zum Erholen und Baden am Fluss ein. Zudem gibt es an dieser Stelle eine offizielle Feuerstelle. Im Projektperimeter wurden diverse Feuerstellen kartiert und in den Situationsplänen abgebildet (vgl. Dokumente Nr. W2-1 bis W2-3 im Projektdossier).

4.11.2 Spazier- und Wanderwege

Die Wege beidseits der Sense sind Teil von lokalen Wanderwegen. Die Wege dienen zudem als Spazierwege für die lokale Bevölkerung. Entlang der rechten Flussseite führt die nationale Wanderroute Nr. 2 Trans Swiss Trail. Diese wechselt beim Fussgängersteg in der Gillenau auf die linke Flussseite und führt weiter entlang der Saane.

4.11.3 Fahrradwege

Die Fahrradwege beidseits der Sense werden für den Alltagsverkehr mit dem Fahrrad und als MTB-Routen genutzt. Entlang der rechten Flussseite bis zur Strassenbrücke bei Laupen führt die regionale Veloroute 74 Gürbe-Sense. Im Projektperimeter liegen zudem die Freizeittrouten Nr. 34 und 99. Ferner befindet sich das Bauvorhaben in der Netzlücke Nr. 4.

4.12 Naturschutz und ökologischer Zustand

Ausführliche Informationen zum Thema befinden sich im Umweltverträglichkeitsbericht (Dokumente Nr. W41 im Projektdossier).

Gemäss der Naturschutzkarte des Kantons Bern [12] und Freiburg [13] sind im Projektperimeter keine Naturschutzgebiete vorhanden. Der ökologische Zustand der Sense unterhalb des Sensegrabens wird im Grundlagebericht „Ökologie“ [7] beschrieben.

4.12.1 Wasserqualität

Das Amt für Umwelt (AfU) des Kantons Freiburg beurteilt die chemische Wasserqualität und die biologische Gewässergüte seit 1982. Gemäss den im Jahr 2010 durchgeführten chemischen Analysen ist die Wasserqualität der Sense bei Laupen gut bis sehr gut. Der IBGN (Indice biologique global normalisé) wird auf dem Projektabschnitt als mässig bis gut benotet.

4.12.2 Fische

In der Sense unterhalb des Sensegrabens wurden zwischen 2002 und 2012 folgende Fischarten nachgewiesen: Alet, Äsche, Bachforelle, Barbe, Groppe, Regenbogenforelle, Bachneunauge und Nase. Vor 2003 konnten zudem noch folgende weitere Arten nachgewiesen werden: Bitterling, Karpfen und Schneider.

Die Fangstatistik wie auch weitere Untersuchungen zeigen für die Bachforelle einen Rückgang des Bestandes in den letzten Jahren. Die Barbe und die Äsche sind oberhalb des Siedlungsgebietes aktuell vorhanden.

Nasenlaichplätze wurden bis 2003 im Bereich des Siedlungsgebietes von Laupen kartiert. Gemäss GEK Sense21 ist davon auszugehen, dass die Nasenpopulation erloschen ist. Für die gefährdete Nase wäre die Sense im Projektperimeter ein potentiell Habitat.

4.12.3 Terrestrische Fauna

Entlang der gesamten Sense sind verschiedene Amphibien-, Reptilien- und Fledermausarten nachgewiesen welche geschützt bzw. gefährdet sind.

Im Gebiet sind national prioritäre Vogelarten anzutreffen: Gänsesäger, Turmfalke, Schleiereule, Steinkauz, Grauspecht, Eisvogel, Wasseramsel und Gartengrasmücke. Die prioritären Säugetierarten umfassen: Zwergfledermaus, Mückenfledermaus und Haselmaus. Ausserdem kommt im Untersuchungsgebiet der Biber vor.

Nördlich der Sense ist im kantonalen Landschaftsentwicklungskonzept (KLEK) ein überregionaler Wildtierkorridor ausgeschieden. Er verläuft vom Schloss Laupen her über die Oberau bis an die Gemeindegrenze (Wyderrain), quert die Sense auf Gemeindegebiet Bösing (Riedliu) und erstreckt sich bis Neuenegg.

4.12.4 Flora

Bei den erfassten Arten handelt es sich fast durchwegs um ruderale Arten mit häufig unbeständigem Vorkommen. Eigentliche Wasser- und Sumpfpflanzen sind nicht darunter. Auf den Feldbegehungen wurden keine Arten entdeckt, deren Bestände durch das Projekt gefährdet würden und die besondere Schutzmassnahmen erforderten.

Im gesamten Untersuchungsperimeter finden sich Neophytenbestände.

4.13 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

4.13.1 Geologie

Der tertiäre Untergrund der Talflanken und des Talbodens des Sensetals wird aus den Gesteinen der Unteren Süsswassermolasse (USM, Gümменenschichten) aufgebaut. Sie besteht aus einer Wechsellagerung von feinkörnigen Sandsteinen mit mergeligen Zwischenlagen. Die Molasseoberfläche ist durchfurcht von alten Flussläufen. Die Lage der Rinnen stimmt nur teilweise mit der Lage des heutigen Flusslaufes überein.

Im zentralen Bereich des Sensetals (heutiger tiefster Talboden) folgen unmittelbar über der Molasse Schotterablagerungen (Rückzugschotter und rezente Senseablagerungen). Die Schottermächtigkeit liegt bei rund 5 bis 7 m. Die Schotter werden überlagert von einer ca. 0.5 bis 1.0 m mächtigen Deckschicht.

4.13.2 Hydrogeologie

Die geringmächtigen Schottervorkommen im Talboden sind grundwassergesättigt. Die Grundwasserstauer-oberfläche bildet praktisch durchgehend der Molassefels. Im zentralen Bereich des Sensetals (heutiger Senselauf) ist im Allgemeinen mit grossen Durchlässigkeiten ($> 10^{-3}$ m/s) zu rechnen. Gegen die Talrand-bereiche nehmen diese tendenziell ab.

Der Projektperimeter liegt im Gewässerschutzbereich Au und B. Das Grundwasser exfiltriert grundsätzlich in die Sense. Der mittlere Flurabstand ist mit ca. 1.0 bis 2.0 m sehr gering. Die Grundwasserspiegel-schwankungen betragen maximal 0.5 bis 1.0 m. Aufgrund der geringen Aquifermächtigkeit und der Exfiltra-tionsverhältnisse ist das Potential für die Grundwassernutzung nicht besonders gross.

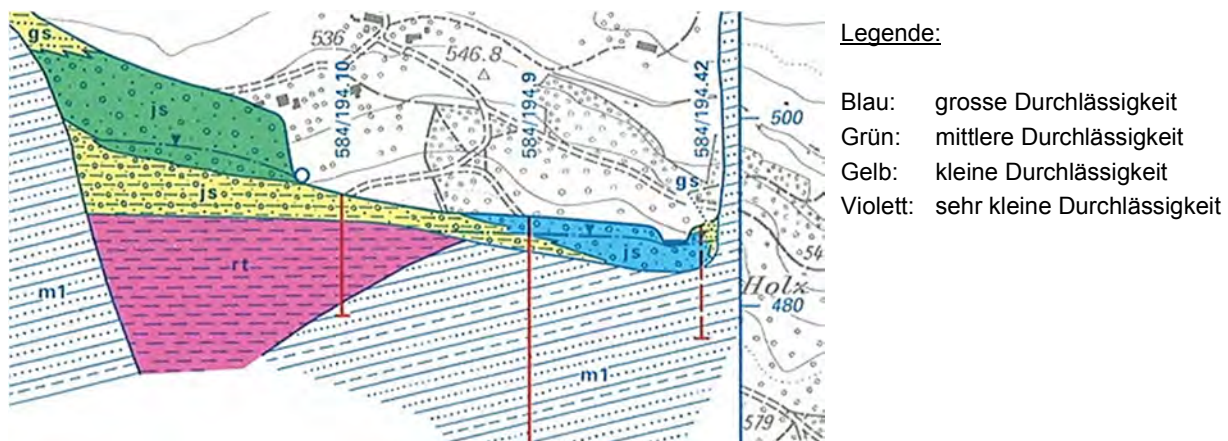


Abbildung 4.14 Profilschnitt aus „Hydrogeologie Unteres Sensetal“, WEA, 1993 (ca. auf Höhe der Sensebrücke)

4.14 Altlasten

4.14.1 Kanton Bern

Auf dem Gebiet des Kantons Bern befinden sich angrenzend an den Projektperimeter die folgenden belasteten Standorte:

Standort Nr.	Art des Standorts	Standortname	Untersuchung	Schadstoffe vorhanden
0667-0011	Betriebsstandort	STB Depot Laupen	JA	Lösungsmittel, Mineralöl, Schwermetalle
0667-0013	Ablagerungsstandort	Spielplatz Halde	JA	Siedlungsabfälle
0669-0014	Ablagerungsstandort	Halde / Klopstein	NEIN	Siedlungsabfälle

Tabelle 4.8 Belastete Standorte gemäss KbS [12]

Die Standorte Nr. 066-0014 und 0667-0013 befinden sich hinter dem Damm der Sensetalbahn und werden durch das Wasserbauprojekt nicht tangiert. Das heutige Bahnareal (Standort Nr. 0667-0011) wird durch das Wasserbauprojekt tangiert. Ein Auszug aus dem KbS [12] ist im Anhang A aufgeführt. Die Projektauswirkungen auf den Grundwasserspiegel und der damit verbundene Einfluss auf die aufgeführten Standorte gemäss KbS werden im UVB geprüft (vgl. Kap. 4.6 im UVB, Dokument Nr. W41 im Projektdossier).

Im Rahmen des geplanten Landabtauschs zwischen der Sensetalbahn AG und der Gemeinde Laupen wurde u.a. beim Standort des alten Bahnareals der Verschmutzungsgrad, die Verbreitung und die Menge an verschmutztem Untergrund in einer abfallrechtlichen Untersuchung abgeschätzt [5].

Gemäss Untersuchungsbericht wurde mit dem Bau der Bahn und des dazugehörenden Bahnhofareals die Sense begradigt und das Gelände – wo nötig – angeschüttet. Aufgrund der Entstehungsgeschichte ist aber voraussichtlich damit zu rechnen, dass auf dem ganzen Bahnareal künstliche Auffüllungen auftreten. In einer Sondierung konnte diese künstliche Aufschüttung nachgewiesen werden. In einer Tiefe von 2.1 bis 2.7 m liegt in dieser Sondierung eine mit Fremdstoffen verschmutzte, schwarz gefärbte Schicht vor.

4.14.2 Kanton Freiburg

Auf dem Projektperimeter befinden sich gemäss Kataster der belasteten Standorte des Kantons Freiburg keine belasteten Standorte [13].

4.15 Denkmalschutz

Gemäss dem Bauinventar des Kantons Bern ist die Brücke an der Bösingenstrasse über die Sense schützenswert (K- Objekt). Der Ersatz der Brücke ist nicht Bestandteil des Wasserbauprojekts, sondern stellt ein eigenes Teilprojekt dar (TP 2).

Im Inventar der Ortsbilder von nationaler Bedeutung ISOS ist Laupen als schützenswerte Kleinstadt vermerkt.

4.16 Archäologie

Gemäss Informationen des archäologischen Dienstes des Kantons Bern sind im Untersuchungsperimeter selbst und in der angrenzenden Umgebung archäologische Fundstellen mehrerer Epochen bekannt. Insbesondere die Flächen auf der Gillenau sind von Bedeutung (vgl. Kap. 4.17 im UVB, Dokument Nr. W41 im Projektdossier).

Gemäss Auskunft des AAFR wurden bisher keine archäologischen Funde gemacht. Entdeckung von unbekanntem archäologischem Fundgut ist jedoch nicht ausgeschlossen.

4.17 Werkleitungen und Infrastrukturanlagen

Die im Projekt tangierten Werkleitungen sind in den separaten Werkleitungsplänen eingetragen (vgl. Pläne Nr. W11-1 bis W11-3 im Projektdossier). Im Folgenden sind die wichtigsten Werkleitungen und Infrastrukturanlagen kurz erwähnt:

- Rechtsufrig verläuft im Projektperimeter zwischen Flusskilometer 0.000 bis 1.410 der Verbandskanal ARA-Sensetal. Dieser wird im Bereich zwischen Flusskilometer 0.278 bis 1.128 durch das Projekt tangiert.
- Auf der linken Uferseite im Bereich Flusskilometer 0.250 bis zur Mündung in die Saane tangiert das Projekt die ARA-Leitung Gillenau. Auf dem gleichen Projektabschnitt befindet sich auch das Regenüberlaufbecken. Die ARA-Leitung quert bei Flusskilometer 0.070 mit dem Rohrbloch der BKW die Sense.
- Ein weiterer Rohrbloch der BKW quert bei Flusskilometer 1.070 die Sense. Dieser wird im Bereich des Verengungskolks tangiert und muss verlegt werden (vgl. Kap. 7.5.2.).
- Bei Flusskilometer 0.920 ist auf diversen Plangrundlagen eine weitere Leitungsquerung der BKW eingezeichnet. Abklärungen mit der BKW haben ergeben, dass jedoch in diesem Bereich vermutlich keine Leitungsquerung vorliegt. Auf Stufe Ausführungsprojekt muss dies noch definitiv geklärt werden.
- Bei Flusskilometer 1.100 quert eine Trinkwasserleitung die Sense die vom Projekt tangiert wird (vgl. Kap. 7.5.3.).
- Auf der Länge des ganzen Projektabschnittes münden diverse eingedolte Seitenbäche und Meteorwassereinleitungen in die Sense (vgl. Situationsplan Nr. W2-1 und W2-2 im Projektdossier).
- Eine Kanalisations-Pumpleitung quert das Flussprofil bei ca. km 2.100.
- Bei Flusskilometer 0.200 quert ein Fussgängersteg und bei Flusskilometer 0.250 eine Freileitung der BKW die Sense. Die Freileitung ist rechtsufrig unterhalb der Querung noch auf einer Länge von ca. 140 m durch das Projekt betroffen. Die Verlegung der Freileitung ist ein separates Projekt der BKW.
- Die Strassenbrücke (Sensebrücke) befindet sich bei Flusskilometer 0.720.

5. Projektdefinition

5.1 Projektziele

Mit dem vorliegenden Projekt werden folgende drei Hauptziele verfolgt:

- Gewährleistung des Hochwasserschutzes gemäss den Empfehlungen des Bundesamtes für Umwelt.
- Die ökologische Aufwertung des Gewässers und des Gewässerraumes zur Schaffung von wertvollen Lebensräumen für Tiere und Pflanzen.
- Aufwertung des Naherholungsgebietes Sense durch die Schaffung einer attraktiven Naturlandschaft und Zugänge zum Gewässer fürs Baden, Bräteln und Verweilen.

5.2 Hochwasserschutzziele

Die Hochwasserschutzziele werden gemäss der Wegleitung „Hochwasserschutz an Fliessgewässer“ [21] festgelegt. Die untenstehende Tabelle fasst die Hochwasserschutzziele zusammen:

Flusskilometer [km]	Schutzziel linkes Ufer	Nutzung linkes Ufer	Schutzziel rechtes Ufer	Nutzung rechtes Ufer
2.13 – 1.10	HQ ₁₀₀	Landwirtschaftszone / Camping	HQ ₁₀₀	Bahndamm
1.10 – 0.26	HQ ₁₀₀	Siedlungsgebiet	HQ ₁₀₀	Siedlungsgebiet und Bahndamm
0.26 – 0.00	HQ ₃₀	Zone für öffentliche Nutzung	HQ ₁₀₀	Siedlungsgebiet

Tabelle 5.1 Hochwasserschutzziele

Bei der Projektierung ist zu berücksichtigen, dass Ausuferungen im Bereich der Landwirtschaftszonen und der Zone für öffentliche Nutzung zu Überschwemmungen im Siedlungsgebiet führen. Aus diesen Gründen wird das Schutzziel HQ₁₀₀ im Projekt übernommen. Zudem verfügen die landwirtschaftlich genutzten Flächen bereits heute über einen Schutz bis zum Abfluss HQ₁₀₀. Auf dem Abschnitt der Gemeinde Bösinggen hat gemäss GEK Sense21 (vgl. [11] Teil E: Strategien und Massnahmen) der Schutz der Landwirtschaft die höchste Priorität.

Für die Seitenbäche wird das Schutzziel durch das Ereignis HQ₃₀ definiert.

5.3 Dimensionierungswassermenge

Basierend auf den Grundlagen aus Kapitel 4.3, werden dem vorliegenden Projekt folgende Abflussmengen zugrunde gelegt:

Gewässer	HQ ₃₀ [m ³ /s]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ ₃₀₀ [m ³ /s]	EHQ [m ³ /s]
Sense ⁸	315	405	500	610
Mülibach, km 1.53	3.4	5.8	7.5	-
Noflenbach, km 1.86	1.0	1.5	1.9	-

Tabelle 5.2 Dimensionierungswassermengen für die massgebenden Gewässer

⁸ Werte gerundet

Der Wert für den EHQ-Abfluss wurde gemäss Empfehlung der Praxishilfe „Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten“ [22] (vgl. Kap. 4.3) festgelegt⁹:

$$EHQ = 1,5 HQ_{100}$$

Als Grundlage für die Dimensionierungswassermenge dienen die hydrologischen Daten aus Kapitel 4.3. Gemäss [3] führen Sense und Saane nicht gleichzeitig Hochwasser. Für die hydraulische Berechnung der Hochwasserspiegellagen werden deshalb zwei Abflusskombinationen berücksichtigt.

Szenario	Abfluss Sense [m ³ /s]	Abfluss Saane (oberhalb Mündung) [m ³ /s]	Abfluss Saane (unterhalb Mündung) [m ³ /s]
HQ ₁₀₀ Sense	HQ ₁₀₀ = 405	HQ ₂₀ = 543	HQ ₂₀ = 948
HQ ₁₀₀ Saane	HQ ₃₀ = 315	HQ ₁₀₀ = 691	HQ ₁₀₀ = 1'006

Tabelle 5.3 Kombination Hochwasserabflussregime Sense Saane

Für die Berechnung wurde jeweils ein HQ₁₀₀ in der Sense, resp. in der Saane betrachtet. Das zweite Szenario (HQ₁₀₀ Saane) ist insbesondere für die Massnahmen im Mündungsbereich massgebend, da der Abfluss in der Saane zum Rückstau in der Sense führt.

Während der Bauphase wird für temporäre Installationen eine Bemessungswassermenge von HQ₂₀ = 280 m³/s angesetzt (z.B. Hilfsbrücken).

5.4 Freibord

Zur Verbesserung der Hochwassersicherheit wird zum Bemessungshochwasser ein Freibord definiert. Der erforderliche Freibord bezeichnet den vertikalen Abstand zwischen dem Wasserspiegel und dem Ufer resp. der Unterkante einer Brücke.

5.4.1 Freibord gemäss Projektzielsetzung

Im Studienauftrag „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen 2010“ sind zur Verbesserung des Hochwasserschutzes von Laupen und dessen Umgebung folgende Randbedingungen in Bezug auf den Freibord definiert worden:

- Freibord Brücke für HQ₁₀₀ min. 1.0 m
- Freibord Ufer (ohne Brücken) für HQ₁₀₀ min. 0.8 m

5.4.2 Freibord nach KOHS

Der Freibord wurde für den Projektperimeter nach den Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS)¹⁰ überprüft. Für die Ermittlung des Freibords im Bereich der eigendynamischen Aufweitung wird ein temporärer Zustand mit einer Gerinnebreite von ca. 45 m berücksichtigt. In diesem Fall ist der bestehende Damm bereits wegerodiert, dem Abfluss steht jedoch noch nicht die gesamte Gerinnebreite zur Verfügung.

⁹ Empfohlen sind Werte zwischen 1,3 bis 1,5 x HQ₁₀₀

¹⁰ Kommission Hochwasserschutz KOHS (2013); Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilung Wasser Energie Luft; Erschienen in: Wasser Energie Luft – 105 Heft 1. S. 43 – 53

Die Resultate sind in der Tabelle 4.2 zusammengefasst:

Abschnitt	Abfluss HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	Abflusstiefe h [m]	Sohlenbreite b [m]	Freibord f _e [m]
Strassenbrücke (QP 0.723)	405	2.82	35.25	1.3
Abschnitt Siedlungsgebiet (km 0.000 – 1.100)	405	3.0 – 4.0	30 – 40	0.5 – 0.8
Eigendyn. Aufweitung (km 1.100 – 2.070)	405	3.0 – 3.5	45	0.7 – 0.8
Seitenbach: Mülibach, km 1.53	3.4	0.9	1.2	0.6
Seitenbach: Noflenbach, km 1.86	1.0	0.4 – 0.5	0.8	0.4 – 0.6

Tabelle 5.4 Freibord f_e nach KOHS für die unterschiedlichen Projektabschnitte

Die Freibordhöhen wurden mit den Abflussberechnungen für den Endzustand unter der Berücksichtigung des Geschiebetriebes verifiziert (vgl. Kap. 13.1).

Die Berechnungsmethode wird im Anhang E am Beispiel für den Abschnitt „Strassenbrücke“ schrittweise erläutert. Für die Berechnung wurden folgende Parameter verwendet:

Abschnitt	σ _{wz}	f _w	f _v	f _t
Strassenbrücke (QP 0.723)	0.25	0.34	0.82	1.0
Abschnitt Siedlungsgebiet (km 0.000 – 1.100)	0.25	0.35 – 0.39	0.41 – 0.72	0.0
Eigendyn. Aufweitung (km 1.100 – 2.070)	0.60	0.65 – 0.66	0.32 – 0.44	0.0
Seitenbach: Mülibach, km 1.53	0.25	0.27	0.50	0.3
Seitenbach: Noflenbach, km 1.86	0.25	0.27	0.50	0.3

Tabelle 5.5 Für die Berechnung verwendete Parameter (Erläuterung im Anhang E)

5.4.3 Wahl Freibord

Sense:

Basierend auf den oben genannten Resultaten wird die Freibordhöhe im Projekt folgendermassen festgelegt:

- Strassenbrücke (QP 0.723) f_e = 1.3 m
- Abschnitt Siedlungsgebiet (km 0.000 – 1.100) f_e = 0.8 m
- Eigendyn. Aufweitung (km 1.100 – 2.070) f_e = 0.8 m

Während der Bauphase wird für temporäre Installationen eine reduzierte Freibordhöhe von 0.8 m berücksichtigt (Hilfsbrücke für Umfahrung und temporäre Fussgängerbrücke). Die gewählte Höhe für den Bauzustand stellt einen Kompromiss zwischen Sicherheit und Baukosten der Hilfsbrücke dar.

Seitenbäche:

Für die Massnahmen an den Seitenbächen wird folgender Freibord festgelegt:

- Mülibach, km 1.53 f_e = 0.6 m
- Noflenbach, km 1.86 f_e = 0.5 m

5.5 Gewässerraum

Der dargestellte Gewässerraum im Wasserbauplan hat lediglich hinweisenden Charakter. Der Gewässerraum wird im Rahmen der Ortsplanung grundeigentümergebunden festgelegt.

5.5.1 Gültige Regelung (Baureglement)

Das Baureglement der Gemeinde Laupen resp. Bösingen regelt heute die Abstandsvorschriften zur Sense:

- Die baurechtlichen Abstandsvorschriften zur Sense betragen in Laupen in der Bauzone 15 m und ausserhalb der Bauzone 30 m ab der Mittelwasserlinie.
- Der Gewässerraum in der Gemeinde Bösingen ist durch den Zonennutzungsplan (Mai 2011) rechtsverbindlich festgelegt: Er beträgt ab Flussmitte 50 m.

5.5.2 Gewässerraum im Projekt (Sense)

Im Rahmen des Projektes GEK Sense21 wurde zur Sicherung des Raumbedarfs der Sense durch die Behörden des Kantons Bern und Freiburg sowie das BAFU ein minimaler Raumbedarf von insgesamt 100 m Breite ermittelt. Nur in dicht überbautem Gebiet kann der Gewässerraum reduziert werden.

Die Angaben im Baureglement der Gemeinde Laupen entsprechen nicht mehr den geltenden Vorschriften für die Festlegung des Gewässerraums. Der Gewässerraum wurde für das Bauprojekt zusammen mit den involvierten Behörden¹¹ nach folgenden Kriterien festgelegt:

- Ausserhalb des Siedlungsgebiets wird ein Gewässerraum mit einer Gesamtbreite von 100 m angestrebt (ca. Flusskilometer 1.100 bis 2.130). Im Gewässerraum dürfen sich mit Ausnahme des Unterhaltsweges keine Infrastrukturobjekte befinden.
- Im Mündungsbereich können die Vorgaben aus dem GEK lediglich auf der linken Uferseite eingehalten werden; die rechte Uferseite ist stark bebaut. Somit wird der Gewässerraum zwischen Flusskilometer 0.000 bis ca. 0.250 (Höhe Gillenauweg) linksufrig mit einer Breite von 50 m ab Gewässerachse festgelegt.
- Im Siedlungsgebiet umfasst der Gewässerraum beidseitig je einen Streifen mit einer Breite von 15 m ab Mittelwasserlinie (gemäss Baureglement Laupen).

In Absprache mit dem BAFU werden folgende Entscheide im Zusammenhang mit den Velo- und Wanderwege im Bereich des Gewässerraums als Bedingung für eine allfällige Subventionsberechtigung getroffen:

- Der Weg am linken Ufer im Bereich der eigendynamischen Aufweitung muss ausserhalb des Gewässerraums liegen, da es sich um eine Neuanlage handelt.
- Es ist vorgesehen, den Uferweg (Wanderroute Nr. 2: Trans Suisse Trail / Veloroute 74: Gürbe-Sense) mit einem Mergelbelag auszubilden. Dieser Weg ist für den Gewässerunterhalt notwendig und wird folglich im Gewässerraum bewilligt.

Anlässlich der Bereinigungssitzung im Rahmen der Vorprüfung [31] wurde zusammen mit dem OIK II und dem BAFU festgelegt, dass sich die Lage des projektierten Damms am linken Ufer im Mündungsbereich an der aktuell geltenden Gewässerraumlinie gemäss Baureglement Laupen orientiert (30 m ab Mittelwasserlinie und nicht an der im Projekt definierten Gewässerraumlinie mit einer Breite von 50 m ab Gewässerachse). Die bestehenden Infrastrukturanlagen im Mündungsbereich werden nicht rückgebaut. Eine Aufweitung im Mündungsbereich wurde untersucht, jedoch aufgrund der hohen Kosten verworfen (vgl. Kapitel 7.2.2).

¹¹ Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis II; Kanton Freiburg, Amt für Umwelt AfU; BAFU, Sektion Hochwasserschutz

Die aufgeführten Vorgaben sind im Projekt zwingend einzuhalten, damit das Projekt durch den Bund subventioniert wird.

5.5.3 Einfluss Bahnprojekt

Das von der Sensetalbahn AG (STB) geplante Abstellgleis erstreckt sich vom neuen Bahnhof in Richtung Neuenegg, ca. zwischen Flusskilometer 1.028 und 1.480. Es liegt somit grösstenteils ausserhalb des Siedlungsgebiets, wo ein Raumbedarf von je 50 m ab Flussmitte gilt. Unter der Berücksichtigung dieser Definition würden die Gleise innerhalb des Gewässerraums der Sense zu liegen kommen.

Mit dem Bericht vom 22.09.2016 (vgl. Anhang K) hat die STB AG die Standortgebundenheit für das Abstellgleis nachgewiesen. Die Lage des Abstellgleises erlaubt es jedoch nicht, den Gewässerraum beidseitig ab Flussmitte mit einer Breite von je 50 m festzulegen, ohne die in Kap. 5.5.2 aufgeführten Kriterien zu verletzen: Die Bahnanlagen dürfen nicht innerhalb des Gewässerraums liegen. Dies hat zur Folge, dass der Gewässerraum zwischen Flusskilometer 1.100 und 1.500 um bis zu 16 m Meter in Richtung linkes Ufer (Seite Bösinggen) verschoben werden muss. Der Gewässerraum liegt dadurch nicht mehr gleichmässig über beide Uferseiten verteilt.

Die seitliche Begrenzung zur Bahnanlage ist definiert durch:

- Die Mastfundamente liegen ausserhalb des Gewässerraums. Der minimale Abstand zwischen Gleisachse und Gewässerraum gemäss Abbildung 5.1 (vgl. Anhang D) darf nicht unterschritten werden.
- Oberhalb des Abstellgleises (ca. ab Flusskilometer 1.500) wird der rechte Rand des Gewässerraums durch den Böschungsfuss des Bahndamms definiert.

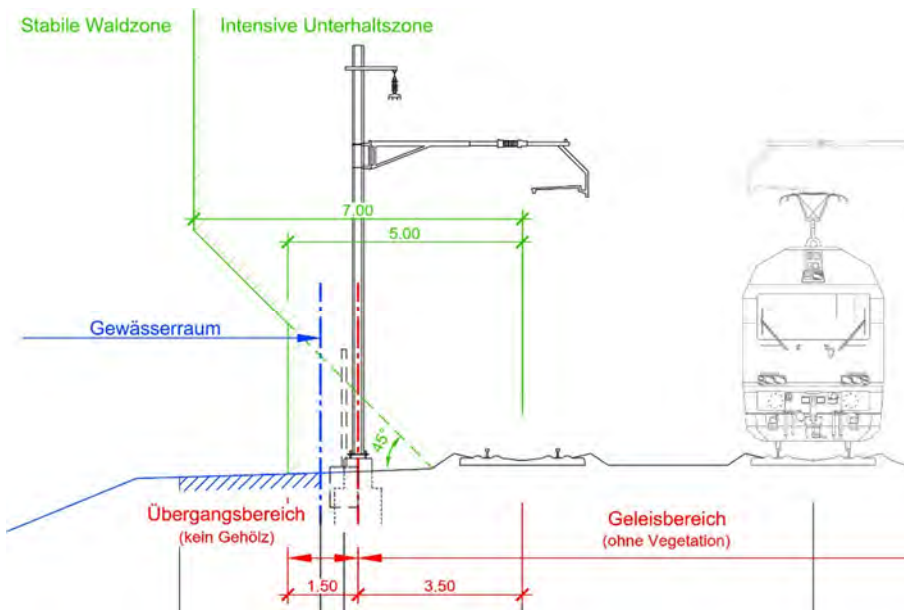


Abbildung 5.1 Gewässerraum entlang der Bahnanlagen

5.5.4 Seitenbäche

Für die im Projektperimeter liegenden Seitenbäche wurde der Gewässerraum bereits im Rahmen der Ortsplanung festgelegt. Es gilt der Gewässerraum gemäss Zonennutzungsplan der Gemeinde Böisingen (aktuell gültige Version vom Mai 2011). Für die beiden betroffenen Bäche sind folgende Breiten für den Gewässerraum angegeben:

- Mülibach, km 1.53 22 m (2 x 11 m)
- Noflenbach, km 1.86 12 m (2 x 6 m)

Die Gewässerräume auf den Projektplänen entsprechen der Ortsplanungsrevision und sind rechtsverbindlich. Der Kanton Freiburg wird voraussichtlich die Gewässerraumbreite im Rahmen der nächsten Ortsplanungsrevision reduzieren. In Absprache mit dem Amt für Umwelt (vgl. Bereinigungssitzung vom 25.01.2018 [32]) erfolgt die Planung der Projektmassnahmen unter der Berücksichtigung der zukünftigen reduzierten Gewässerraumbreite. Für die Bäche werden folgende reduzierte Breiten festgelegt:

- Mülibach, km 1.53 $L_{nat} = 1.0$ m Breite Gewässerraum 14 m
- Noflenbach, km 1.86 $L_{nat} = 2.5 - 3.0$ m Breite Gewässerraum 12 m

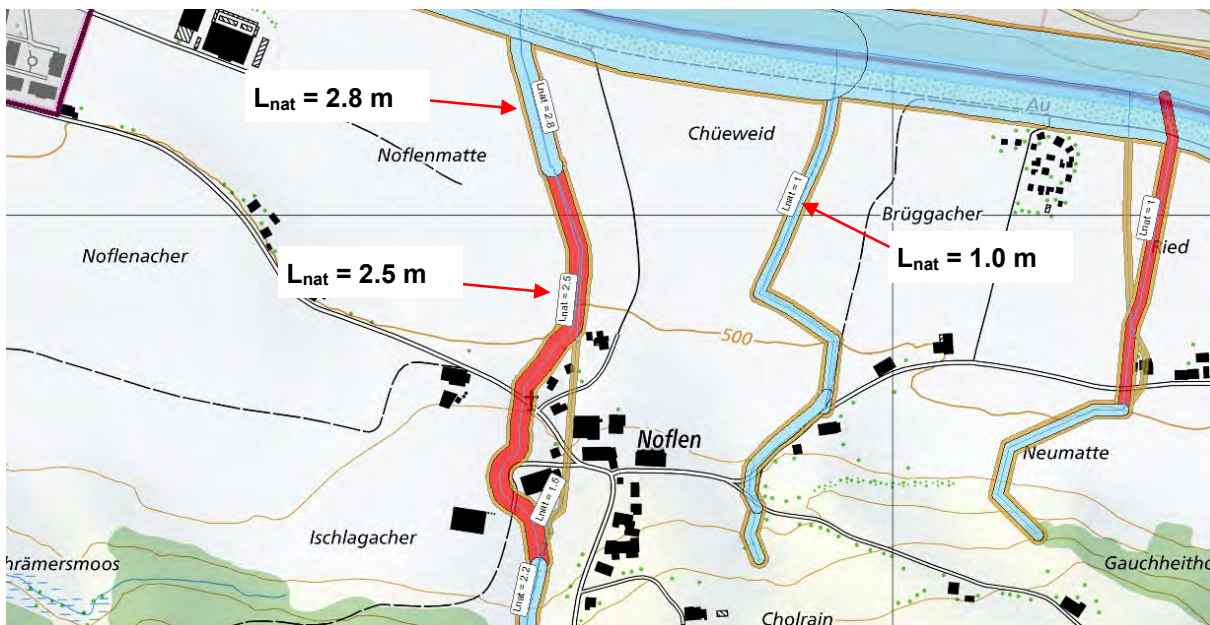


Abbildung 5.2 Natürliche Sohlenbreite, Auszug GIS Kanton FR (E-Mail von J.-C. Raemy, AfU vom 30.01.2018)

5.6 Ökologische Entwicklungsziele

Wo es die Platzverhältnisse zulassen, sollen die Sense und die angrenzenden Uferbereiche sich ihrem natürlichen Zustand, den sie vor ihrer Korrektion Anfang des 20 Jahrhunderts hatten, annähern können. Ziel ist, dass in diesen Bereichen eine natürliche und dynamische Fluss- und Auenlandschaft entsteht, die Habitate für die standortgerechte Flora und Fauna bietet.

Damit dies möglich wird, muss ein ausreichender Gewässerraum ausgeschieden und der Sense die Möglichkeit zur selbstständigen Entwicklung gegeben werden. Notwendige Verbauungsmassnahmen sind so zu gestalten, dass die morphologische Vielfalt gefördert wird und die Vernetzung gewährleistet ist. Für die Ökologie interessante Seitengewässer sollen wenn möglich mit der Sense vernetzt werden.

An der Besprechung vom 06.06.2011¹² wurden zusammen mit den Behörden des Kantons Bern und Freiburg, dem WWF sowie den Gemeinden Laupen und Bösingen folgende Ziele und Rahmenbedingungen festgelegt:

- Erhöhung morphologische Dynamik und dadurch Strukturvielfalt der Sohle sowie der Ufer (Bankbildung, Verzweigung Gerinne, Uferdynamik, Flachufer)
- Erhöhen der Habitatsdiversität (Fischdurchgängigkeit, Kies- und Sandinseln, Nebenläufe u. Seitenarme, Kleingewässer, strukturierte Uferbereiche)
- Wiederherstellen von Pionierlebensräumen
- Fauna: Fördern von kieslaichenden Arten wie z.B. Nase
- Flora: Leitarten Initialpflanzungen
- Es sollen nicht störungsempfindliche Arten gefördert werden, da die Sense als Naherholungsgebiet von den umliegenden Gemeinden rege genutzt wird.

5.7 Ziele für die Naherholung und Freizeitnutzung

Die Sense ist als Naherholungsgebiet zu erhalten und aufzuwerten. Im Projekt werden folgende Punkte umgesetzt:

- Die Routen für den Langsamverkehr werden erhalten und dort wo notwendig ausgebessert.
- Die Kiesbank am linken Ufer, bei der Mündung der Sense in die Saane, bleibt zum Baden und Bräteln erhalten.
- Durch die Schaffung von Flachufer im Bereich des heutigen Bahnhofareals wird der Zugang zum Gewässer erleichtert.

Bei der Planung der Infrastrukturen für die Naherholung und die Freizeitnutzung ist darauf zu achten, dass mögliche negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Anwohner (Lärm, Abfall, etc.) mit planerischen Massnahmen in Grenzen gehalten werden. Auf eine Besucherlenkung wird verzichtet, da sich das Projekt in unmittelbarer Nähe zur Siedlung befindet (vgl. Umweltverträglichkeitsbericht, Dokument Nr. 41 im Projektdossier).

¹² CSD Ingenieure AG; Protokoll zur Sitzung vom 06.06.2011; Protokoll Teilprojekt Wasserbau; Protokoll vom 06.06.2011

6. Risikoanalyse

Das Schadenpotential wurde der Wirtschaftlichkeitsberechnung entnommen, welche mit EconoMe durchgeführt wurde (vgl. Kap. 12, Nachweis Kostenwirksamkeit). Das Schadenpotential im betrachteten Projektperimeter beläuft sich für Personen und Sachwerte auf CHF 8.3 Mia. (vgl. Ereignisübersicht „Übersicht Schadenpotential“ aus EconoMe im Anhang C). Das Schadenpotential Personen ist mit einem Wert von CHF 8.0 Mia. ausschlaggebend. Im Schadenpotential sind insgesamt 1'603 Personen berücksichtigt.

Das Schadenausmass wurde mit EconoMe für folgende Szenarien berechnet (Schadenausmass nach Szenarien, Tabelle „Zusammenstellung Schadenausmass ohne Aversion“):

- Szenario HQ₃₀ 0.11 Mio. CHF
- Szenario HQ₁₀₀ 10.95 Mio. CHF
- Szenario HQ₃₀₀ 29.24 Mio. CHF
- Szenario HQ₁₀₀₀ 29.95 Mio. CHF (entspricht EHQ)

7. Projektbeschreibung / Massnahmenplanung

7.1 Konzept

In den folgenden Kapiteln werden die in der Abbildung 7.1 dargestellten Massnahmen näher erläutert.

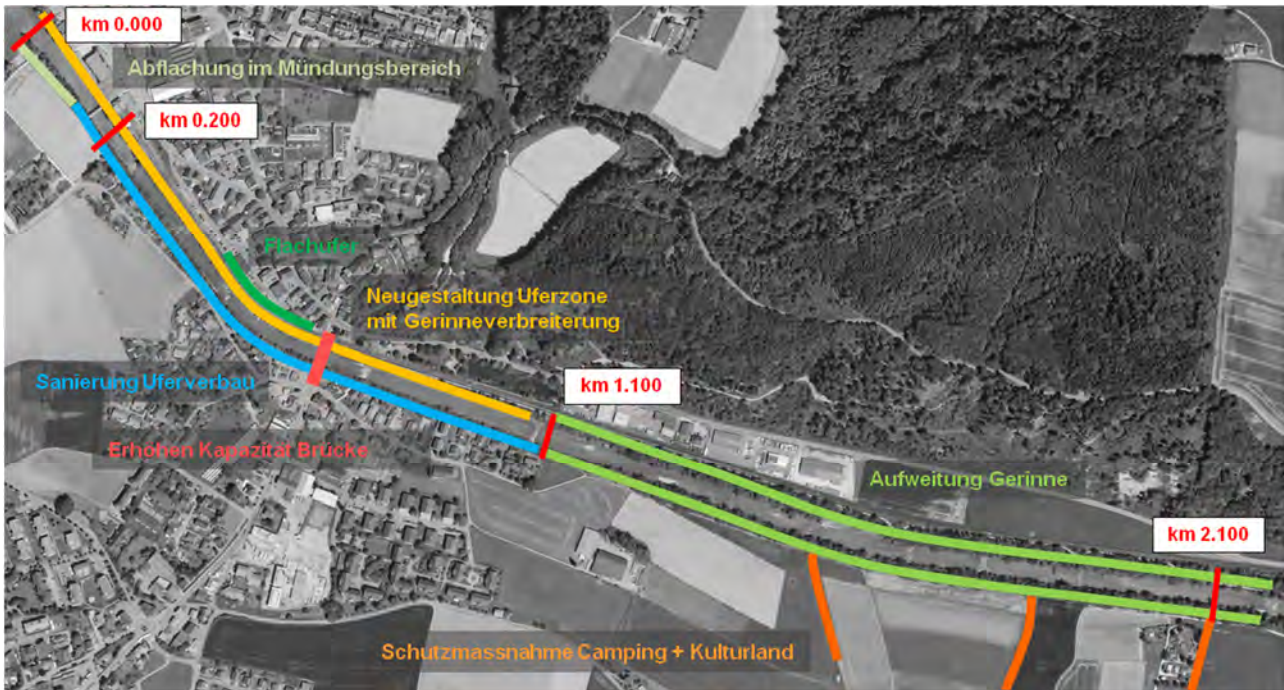


Abbildung 7.1 Übersicht Massnahmen

7.1.1 Mündung (Flusskilometer 0.000 bis 0.200)

Im Mündungsbereich der Sense beim Zusammenfluss mit der Saane wird eine moderate Aufweitung angestrebt. Bestehende Infrastrukturanlagen (Regenüberlaufbecken Gillenau) schränken die Möglichkeiten für eine Aufweitung jedoch stark ein; das Verlegen der Anlagen ist mit hohen Kosten verbunden. Der Uferverbau wird um ca. 7 m nach aussen versetzt und die Böschung deutlich flacher ausgestaltet. Der Hochwasserschutzdamm wird ebenfalls nach aussen verschoben. Auf eine weitere Verschiebung der Dämme, so dass diese ausserhalb des Gewässerraums zu liegen kommen, wird jedoch aus Kostengründen verzichtet (vgl. Varianten in Kapitel 7.2.2). Die Lage des Damms am linken Ufer orientiert sich an der aktuell geltenden Gewässerraumlinie aus der Ortsplanung Laupen (vgl. Bemerkungen zum Gewässerraum im Mündungsbereich in Kapitel 5.5.2). Die Sensequerung des regionalen Sammelkanals wird im Unterwasser mit einer Blockrampe gesichert, damit sich im Falle einer Absenkung der Saane keine Schwelle mit Absturz ausbilden kann.

Das Konzept für die moderate Aufweitung im Mündungsbereich basiert auf einem Variantenstudium (vgl. Kap. 7.2.2).

7.1.2 Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.200 bis 1.100)

Damit ein Hochwasser HQ_{100} schadlos abfliessen kann, muss im Siedlungsgebiet der Abflussquerschnitt maschinell erweitert und das Ufer mit einem Verbau geschützt werden. Die Strassenbrücke, die heute ein Abflussengpass darstellt, wird durch eine neue Brücke (TP 2) ersetzt. Die Blockschwelle bei km 0.547 wird leicht abgesenkt, damit die Freibordhöhe bei der Strassenbrücke eingehalten werden kann. Die

bestehenden Querbauwerke werden auf die neue Sohlenbreite ausgebaut und – falls das Bauwerk ein Wanderhindernis darstellt – fischgängig gemacht. Die Blöcke werden so verlegt, dass sich bei Niederwasserabfluss ein durchgängiger Abfluss über die Blockrampe einstellt.

Aufgrund der vorherrschenden Platzverhältnisse erfolgt die Vergrößerung des Abflussquerschnittes grösstenteils rechtsufrig. Die Gerinnebreite wird von ca. 20 auf 30 m erhöht. Unmittelbar unterhalb der Strassenbrücke macht die Sense eine leichte Rechtskurve. Auf der Kurveninnenseite ist ein Flachufer, das der Bevölkerung den Zugang zum Wasser ermöglicht, vorgesehen (vgl. Abbildung 7.2).



Abbildung 7.2 Ansicht Sensebrücke flussaufwärts geschaut

Auf der Kurvenaussenseite werden zur Erhöhung der Strukturvielfalt drei Steinbuhnen erbaut, die jedoch auf die Abflussverhältnisse der Sense nur einen geringfügigen Einfluss haben.

Aus Hochwasserschutzgründen wird der Abschnitt oberhalb der Strassenbrücke auf der rechten Seite maschinell ausgeweitet (ca. Flusskilometer 0.723 bis 1.350). Auf diesem Abschnitt steht der Sense nach Massnahmen eine Breite von ca. 30 bis 40 m zur Verfügung (Sohlenbreite heute: ca. 25 bis 30 m). Rechtsufrig ab km 1.350 und linksufrig ab km 1.100 befindet sich der Übergang zur eigendynamischen Aufweitung.

7.1.3 Oberhalb des Siedlungsgebiets (Flusskilometer 1.100 bis 2.100)

Der Übergangsbereich zwischen Aufweitung und dem Siedlungsgebiet liegt im Bereich km 1.128. Die Blockschwelle bei km 1.070 liegt im Verengungskolk. Die Schwelle muss deshalb gut 50 m flussabwärts geschoben werden, so dass sie ausserhalb des Kolks zu liegen kommt (Erosionsgefahr).

Am linken Ufer ist eine eigendynamische Aufweitung durch die Sense zwischen km 1.100 bis km 2.100 vorgesehen und am rechten Ufer zwischen km 1.400 bis 2.070. Der Abschnitt am rechten Ufer auf Höhe des neuen Bahnhofareals wird zur Erhöhung der Abflusskapazität bis zum km 1.400 maschinell verbreitert. Die Breite des Gewässerraums beträgt im Bereich der Aufweitung 100 m. Die bestehenden Uferverbauungen werden rückgebaut. Die neuen Verbauungen werden soweit wie möglich nach aussen verlegt, um den Gewässerraum möglichst effizient zu nutzen. Unter der Berücksichtigung des Uferverbau und des Unterhaltsweges beträgt die maximale Gerinnebreite zwischen 70 bis 80 m.

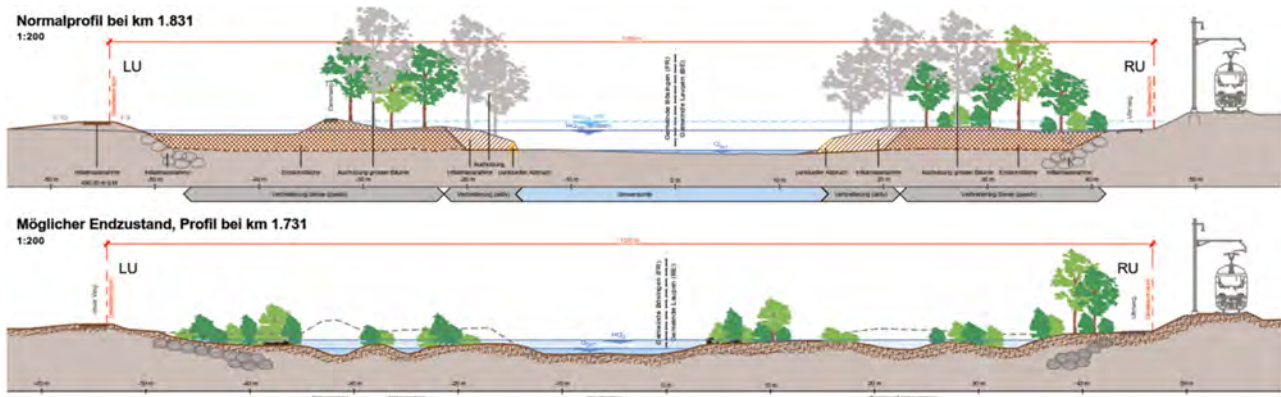


Abbildung 7.3 Abschnitt Eigendynamische Aufweitung (schraffierte Fläche: aktive Aufweitung zur Förderung der Eigendynamik)

Bei Seitenerosion durch die Sense besteht das Risiko, dass ganze Bäume mitgerissen werden. Dieses Schwemmholz kann zu einer Hochwassergefahr flussabwärts werden. Um dies zu verhindern, ist eine Sicherheitsrodung der grösseren Bäume im Bereich des Gewässerraums notwendig.

Aufgrund der fehlenden Dynamik der Sense sind nach dem Rückbau der Uferverbauungen Initialmassnahmen notwendig. Ohne Initiierungen besteht die Gefahr, dass die Sense die bestehenden Blockschwellen umströmt und sich folglich die Sohle absenkt, ohne dass dabei eine wesentliche Erhöhung der Gerinnebreite erreicht wird. Um die eigendynamische Verbreiterung der Sense zu begünstigen, muss die Gerinnebreite auf einer Länge von mind. 150 m auf eine Breite von mind. 40 m erhöht werden. Als weitere Massnahmen zur Förderung der Seitenerosion werden an insgesamt vier Stellen am linken Ufer künstliche Erosionsnischen als Initialmassnahme erstellt.

Der zeitliche Verlauf der seitlichen Ufererosion kann nicht zuverlässig prognostiziert werden. Angaben über wann und wo die Uferschutzmassnahmen umgesetzt werden müssen, können darum nicht gemacht werden.

Im Bereich der Aufweitung haben die Schwellen aufgrund der erwarteten Auflandungen keine Bedeutung mehr. Ein aktiver Rückbau der Schwellen ist hingegen nur bei Flusskilometer 1.800 und 1.931 vorgesehen. Die beiden Blockrampen liegen im Bereich der Initialmassnahme (Aufweitung auf 40 m). Die restlichen Blockrampen werden nicht rückgebaut, da andernfalls die Gefahr besteht, dass sich die Sohle aufgrund der fehlenden Dynamik absenkt und dies in der Folge nicht zur gewünschten Aufweitung führt.

Im Bereich des Campings Noflen sind Objektschutzmassnahmen (Schutzdamm) vorgesehen, um die auf der Gefahrenkarte ausgewiesenen Hochwasserschutzdefizite zu beheben. Die Massnahmen schützen in erster Linie die Feriensiedlung resp. den Camping auf Seite Bösingens vor Hochwasser, welches oberhalb des Projektperimeters im Bereich Riedliau / Grossmatt ausufernd und entlang des heutigen Damms Richtung Noflenmatten fließt. Das Projekt sieht vor, das oberhalb des Projektperimeters ausufernde Hochwasser vor der Feriensiedlung wieder in die Sense zurückfliessen zu lassen. Dies wird durch den von Süd nach Nord verlaufenden neuen Damm entlang der Feriensiedlung sowie durch das Entlastungsbauwerk auf der Höhe der Feriensiedlung gewährleistet.

7.1.4 Konzept für den Uferschutz

Die Massnahmen im Zusammenhang mit dem Uferschutz basieren auf folgendem Konzept:

- Der bestehende Uferverbau, der grösstenteils aus Betonquader besteht, wird auf dem gesamten Projektperimeter rückgebaut.
- Km 0.000 bis 1.100:
Im Siedlungsgebiet überwiegen die Interessen für den Hochwasserschutz. Der Uferverbau wird hier auf der gesamten Länge wiederhergestellt. Dort, wo die Platzverhältnisse ausreichen, wird das Gerinne verbreitert. Auf dem Abschnitt zwischen dem heutigen Bahnhof und der Sensebrücke (ca.

km 0.550 bis 0.600) wird in der Kurveninnenseite ein Flachufer ausgebildet. Das Flachufer wird nicht verbaut.

- Km 1.100 bis 2.100, Aufweitung rechtes Ufer (Gemeinde Laupen):
Das Trasse der Sensetalbahn, resp. der Bahndamm stellt ein wichtiges Infrastrukturelement dar. Um eine Gefährdung für die Bahnstrecke zu minimieren wird der Uferverbau entlang der Geleise vollständig wiederhergestellt. Der geplante Uferverbau wird jedoch rückversetzt, um der Sense möglichst viel Platz innerhalb des Gewässerraums zu gewährleisten (vgl. Kap. 7.3.1 und 11.2.2).
- Km 1.100 bis 2.100, Aufweitung linkes Ufer (Gemeinde Bösing):
Der Uferverbau am linken Ufer im Bereich der Aufweitung erfolgt – in Analogie zum rechten Ufer – durch einen Blocksatz. Im Gegensatz zum rechten Ufer werden die Böschungen jedoch tendenziell flacher und geschwungener gestaltet. Der Uferverbau wird entlang der Gewässerraumgrenze erstellt, damit die Sense für den Abfluss einen möglichst grossen Raum nutzen kann.
- Der rückversetzte Blocksatz im Bereich der Aufweitung wird überschüttet. Er verfügt über eine gut strukturierte und geschwungene Geometrie mit variabler Böschungsneigung.
- Auf eine Beurteilungs- und Interventionslinie wird verzichtet (vgl. Kap. 7.2.4).

Insgesamt werden im Projekt vier verschiedene Typen für den Blocksatz verwendet (vgl. Pläne Dokumente Nr. W2-1 bis W2-3 und W5-2 im Projektdossier).

7.2 Variantenstudium

Das in Kapitel 7.1 vorgestellte Konzept basiert auf einem Variantenstudium, welches im Rahmen des Bauprojekts durchgeführt wurde. Dabei wurden für einzelne Projektelemente, resp. Abschnitte ein detailliertes Variantenstudium durchgeführt, insbesondere für:

- Typ Uferverbau (Kap. 7.2.1)
- Aufweitung Mündungsbereich (Kap. 7.2.2)
- Linienführung Abstellgeleise SBB (Kap. 7.2.3)
- Interventionslinie (Kap. 7.2.4)
- Linienführung Kanalisation (Kap. 7.2.5)

7.2.1 Uferverbau

Das Variantenstudium für den Uferverbau betrifft lediglich das linke Ufer. Der Uferverbau am rechten Ufer ist aufgrund der Bahnlinie unbestritten und wird entsprechend durch einen Blocksatz bis zum Bemessungshochwasser HQ₁₀₀ geschützt.

Im Bereich der eigendynamischen Aufweitung ist in Zukunft mit Querströmungen zu rechnen (vgl. Kap. 7.3.6). Unter der Berücksichtigung von Querströmungen fallen die Ufersicherungsmassnahmen tendenziell umfangreicher aus, was bei der Bewertung der Varianten berücksichtigt wird.

Für den Uferverbau auf der Seite Bösinggen zwischen Flusskilometer 1.200 und 2.100 wurden drei Varianten geprüft und in Bezug auf verschiedene Kriterien bewertet. Das Variantenstudium ist im „Factsheet Bühnen Sense“ [19] dokumentiert und wurde anlässlich der Sitzung vom 26.10.2016 mit den kantonalen Behörden und dem BAFU besprochen. Im vorliegenden Dokument werden lediglich die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Variantenstudium aufgeführt. Für die detaillierte Auswertung ist das Dokument [19] zu konsultieren. Folgende Varianten für den Uferverbau wurden geprüft (vgl. Darstellung im Anhang F 1):

- Variante 1: Bühnen im verzweigten Gerinne (vollständiger Uferschutz)
- Variante 2: Bühnen grosser Abstand (Erosion im Bühnenfeld möglich)
- Variante 3: Geschwungener Blocksatz mit Sporen

Insbesondere wurde vertieft abgeklärt, ob der Uferverbau auf der linken Uferseite im Bereich der eigendynamischen Aufweitung mit Hilfe von Bühnen realisiert werden kann.

Im Rahmen der Vorprüfung wurde zudem gefordert, einen Uferverbau mittels Leitwerk qualitativ zu prüfen (vgl. Dokument [32]). Der Uferverbau mittels Leitwerk wird als Variante 4 bezeichnet.

Variante 1: Bühnen im verzweigten Gerinne (vollständiger Uferschutz)

Der Uferverbau erfolgt durch deklinante Bühnen. Die Bühnengeometrie sowie der Abstand zwischen diesen werden so festgelegt, dass für das Bemessungshochwasser keine Ufererosionen zu erwarten sind (möglichst vollständiger Schutz der Ufer). In der Wahl der Geometrie wird berücksichtigt, dass – insbesondere bei kleineren Hochwasser – ausgeprägte Querströmungen im verzweigten Gerinne möglich sind, was zu zusätzlichen hydraulischen Belastungen in den Bühnenfeldern führt.

Damit der Uferschutz bis zum Bemessungshochwasser vollständig gewährleistet ist, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Im Vergleich zum prismatischen Gerinne muss der Bühnenabstand deutlich reduziert werden (Verhältnis Bühnenabstand zu Bühnenlänge beträgt max. 1.4).
- Im verzweigten Gerinne (resp. Gerinne mit alternierenden Bänken) sind nicht überströmbare deklinante Bühnen erforderlich. Die Bühnen haben somit eine erforderliche Höhe von 2 bis 3 m (Abflusstiefe für HQ₃₀, resp. HQ₁₀₀).

Fazit:

Die Bühnen führen im Bereich der Ufer zu einer vielseitigen Gerinnemorphologie, was aus ökologischer Sicht wertvoll ist. Aufgrund des engen Bühnenrasters sowie der mächtigen Geometrie der Bühnen (Höhen bis zu 3.0 m) sind im Vergleich zum Blocksatz Mehrkosten von rund CHF 1 bis 2 Mio. zu erwarten. Zudem wirken sich die mächtigen Bühnen negativ auf das Landschaftsbild aus.

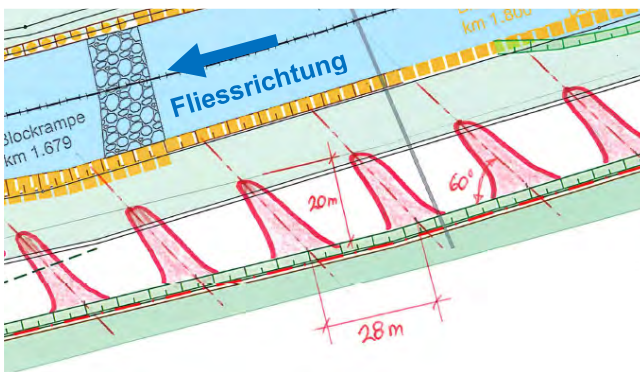


Abbildung 7.4 Variante 1: Deklinante Bühnen (vollständiger Uferschutz)

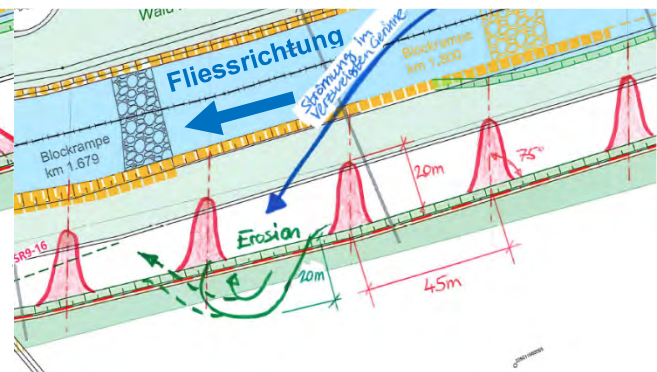


Abbildung 7.5 Variante 2: Inklinante Bühnen (Erosionen im Bühnenfeld möglich)

Variante 2: Bühnen grosser Abstand (Erosionen im Bühnenfeld möglich)

Der Uferverbau erfolgt durch inklinante Bühnen mit einem möglichst grossen Abstand von 45 m, mit dem Ziel den Materialbedarf möglichst zu reduzieren. Die Bemessung der Bühnengeometrie basiert auf den üblichen Berechnungen für ein prismatisches Gerinne. Allfällige Querströmungen werden nicht berücksichtigt. Demzufolge können im Hochwasserfall Erosionen in den Bühnenfeldern nicht ausgeschlossen werden. Bei mittleren bis grösseren Hochwasser sind grossflächige Erosionen möglich. Die Rückgriffweite beträgt bei einem Hochwasser bis zu 20 m.

Fazit:

Die Bühnen führen im Bereich der Ufer zu einer vielseitigen Gerinnemorphologie, was aus ökologischer Sicht wertvoll ist. Durch den grösseren Abstand der Bühnen kann der Materialbedarf im Vergleich zur Variante 1 reduziert werden und folglich Materialkosten eingespart werden. Ein vollständiger Hochwasserschutz kann jedoch nicht gewährleistet werden, da aufgrund des grösseren Rasters Erosionen in den Bühnenfeldern durch Querströmungen möglich sind. Bühnen mit grossem Abstand sind von den Kosten her vergleichbar mit einem Blocksatz.

Variante 3: Geschwungener Blocksatz mit Sporen

Mit dem Blocksatz soll der Uferschutz bis zum gewünschten Bemessungshochwasser sichergestellt werden. Der Uferschutz wird selbst unter der Berücksichtigung allfälliger Querströmungen gewährleistet. Der Blocksatz wird wellenförmig mit unterschiedlichen Neigungen erstellt, um ein möglichst vielfältiges Strömungsbild am Böschungsfuss zu erreichen. Sporen (kleine inklinante Buhnen) im Abstand von 100 bis 200 m lenken das Wasser zurück in die Gerinnemitte. So soll verhindert werden, dass das Wasser über längere Strecken am Blocksatz entlang fließt und sich dort festsetzt. Der Zugang zum Gewässer kann durch die Form des Blocksatzes gezielt gesteuert werden: Im Bereich mit eingeschränktem Zugang können die Böschungen beispielsweise steiler gestaltet werden.

Fazit:

Die Morphologie des Blocksatzes bietet weniger Variabilität als die Buhnen. Durch die geschwungene Bauweise mit variablen Böschungen wird trotzdem ein möglichst vielfältiges Strömungsbild erreicht. Der Materialeinsatz für einen durchgehenden Uferverbau (Blocksatz) ist ungefähr vergleichbar wie für die Variante 2 mit inklinanten Buhnen. Durch den Blocksatz kann ein vollständiger Uferschutz bis zum Bemessungshochwasser gewährleistet werden.

Variante 4: Leitwerke

Der Uferverbau wird in Variante 4 mit Leitwerken erstellt (vgl. Beispiel Abbildung 7.6). Die Annahmen zu den Leitwerken basieren auf Projektplänen für den Uferverbau an der Thur¹³. Die Leitwerke weisen eine Länge von 50 m und einen Abstand von je 20 m auf. Inwiefern die Problematik der Querströmungen berücksichtigt wurde, ist nicht bekannt.

Ob im Vergleich zum Blocksatz wesentliche Einsparungen im Materialbedarf möglich sind, ist nicht klar. Aufgrund der Querströmungen müssen Leitwerke gleich tief fundiert werden wie Buhnen. Demzufolge und aufgrund geometrischen Überlegungen ist der Materialbedarf in diesem Fall vergleichbar mit Buhnen mit engem Raster.

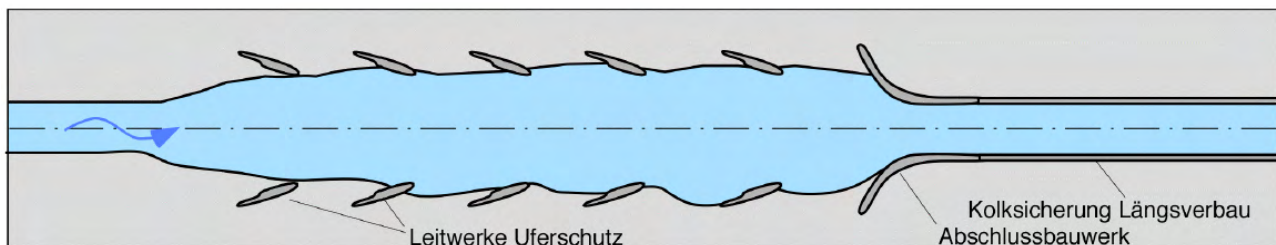


Abbildung 7.6 Beispiel Leitwerke an der Emme (aus Hunzinger 2004)

Fazit:

Der Materialaufwand ist voraussichtlich geringer als für einen durchgehenden Blockverbau. In Bezug auf den Hochwasserschutz weisen die Leitwerke ein Restrisiko auf. Durch Querströmungen sind Erosionen zwischen den Leitwerken möglich. Aus Sicht der Ökologie schneiden Leitwerke etwas besser ab als der Blockverbau, da unbefestigte Uferabschnitte bestehen bleiben.

¹³ Kanton Thurgau; Thur Niederneunforn, Ausbau Interventionslinie; Normalprofil; Plan des ausgeführten Bauwerks vom 09.10.2015

Bewertung der Varianten

Die Bewertung der vier Varianten ist in Tabelle 7.1 aufgeführt:

Kriterien	V1: Buhnen, Abstand klein	V2: Buhnen Abstand gross	V3: Blocksatz	V4: Leitwerke
Ökologie Gewässer (nur Uferbereich)	(++)	++	0	+
Hochwasserschutz, Schutzziel HQ ₁₀₀	+	--	++	-
Wirtschaftlichkeit	--	+	+	+
Rodung	--	-	++	+
Landschaftsbild	--	+	+	+
Zugänglichkeit zum Gerinne	0	++	-	0
Total	-3	+3	+5	+3

Tabelle 7.1 Bewertung Varianten Uferverbau

Legende Bewertung: Positiv: + Neutral: 0 Negativ: -

Der Blocksatz (Variante 3) verfügt über die ausgewogensten Eigenschaften in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Hochwasserschutz. Das Schutzziel HQ₁₀₀ wird gewährleistet. Im Vergleich zum Blocksatz sind Einsparungsmöglichkeiten an Blöcken für Buhnen (mit grossem Abstand) und Leitwerken möglich, jedoch nur unter der Einschränkung, dass Abstriche im Hochwasserschutz gemacht werden (Erosionen durch Querströmungen). Sowohl Buhnen als auch Leitwerke führen zu einer grösseren ökomorphologischen Vielfalt im Uferbereich, dazu muss der Verbau aber auch effektiv angeströmt werden. Die Buhnen verhindern durch ihre Länge eine grösstmögliche Verbreiterung der Gerinnesohle. Die Buhnen müssten nämlich eine Länge von mehr als 32 m aufweisen, was zu einer deutlichen Einschränkung der freien Sohlenbreite im Gerinne führen würde. Durch einen strukturierten und geschwungenen Blocksatz mit unterschiedlichen Böschungsneigungen können ebenfalls interessante und vielfältige Strömungsbilder erzielt werden.

Aus Sicht der Fischerei ist die Eigendynamik der Sense mit verzweigtem Gerinne höher zu Werten als die Morphologie der Buhnen. Die Sense hat im Endzustand nur punktuell Kontakt mit dem Ufer (verzweigtes Gerinne). Der Uferverbau ist folglich nur von untergeordneter Bedeutung bezüglich Morphologie. Die Breite des Gerinnes ist im Falle der Sense höher zu Werten als ein strukturiertes Ufer.

Auf dem Abschnitt der Gemeinde Bösinggen hat gemäss GEK Sense21 (vgl. [11] Teil E: Strategien und Massnahmen) der Schutz der Landwirtschaft die höchste Priorität. Ein wirksamer und effizienter Uferverbau ist zudem aus politischen Überlegungen zwingend notwendig, um die Projektakzeptanz nicht zu gefährden. Die Gemeinde Bösinggen wird sich voraussichtlich einzig unter den Bedingungen am Projekt beteiligen, wenn ein hohes Schutzziel angestrebt wird und die Finanzierung der Massnahmen langfristig sichergestellt ist.

Aufgrund der oben aufgeführten Erwägungen wird der Uferverbau im Projekt mit einem geschwungenen und strukturierten Blocksatzes mit variabler Böschungsneigung und kleinen Sporen erstellt.

7.2.2 Mündungsbereich

Pronat hat im Bericht „Aufwertung der Sense-Mündung beim Zusammenfluss mit der Saane“ [18] den ökologischen Nutzen für eine Aufwertung der Sensemündung aufgezeigt. Der Abschnitt betrifft die letzten 250 m vor der Mündung (km 0.000 bis 0.250). Im Bericht wurden drei Varianten untersucht (Bezeichnung gemäss [18]):

- Variante 1: Vorprojekt
- Variante 2: Handskizze
- Variante 3: „PRONAT“

Im Variantenvergleich von Pronat wurden lediglich ökologische Funktionen ausgewertet. Technische und finanzielle Aspekte wurden im Vergleich nicht berücksichtigt.



Abbildung 7.7 Situation Variante 2 Handskizze



Abbildung 7.8 Situation Variante 3 „PRONAT“ nach [18]

Variante 1: Vorprojekt

Die Variante entspricht dem bisher verfolgten Projektansatz mit einer moderaten Aufweitung und Abflachung der Böschungen. Ein ausführlicher Beschrieb ist in Kapitel 7.1.1 enthalten.

Variante 2: Handskizze

Im Vergleich zur Variante Vorprojekt wird die Sohle innerhalb des Gewässerraums ausgeweitet. Die Gerinnesohle wird dadurch von 30 m auf ca. 50 m verbreitert. Der Gewässerraum bleibt im Vergleich zur Variante Vorprojekt unverändert, der Raum wird jedoch bestmöglich dem Gerinne zugeteilt. Um die Strömungsvielfalt zu erhöhen, sind auf dem Mündungsabschnitt drei Blockbühnen vorgesehen. Aufgrund der Gerinneverbreiterung sind umfangreiche Anpassungen an diversen Infrastrukturanlagen notwendig, die sich heute innerhalb des Gewässerraums befinden:

- Ersatz Regenüberlaufbecken Gillenau
- Umlegen Kanalisation Gillenau
- Verlängerung der Schwelle für die Sensequerung der ARA Sammelleitung und des Rohrblocks der BKW
- Verschieben Fussgängersteg um mind. 65 m (flussaufwärts)

Variante 3: „PRONAT“

Die Massnahmen der Variante „PRONAT“ sind so gewählt, dass der ökologische Nutzen möglichst hoch ausfällt. Dabei wird im Mündungsbereich eine Gerinnesohlebreite zwischen 60 bis 120 m angestrebt, mit dem Ziel Kiesbänke, Seitenarme und Totholzablagerungen zu schaffen. Aufgrund der bestehenden Siedlung ist die Verbreiterung nur linksufrig möglich. Im Vergleich zu den vorangehenden Varianten ist dazu eine

Verbreiterung des Gewässerraums notwendig. Aufgrund der Gerinneverbreiterung sind – wie bereits in der Variante 2 – umfassende Anpassungen an den im Mündungsbereich vorhandenen Infrastrukturanlagen notwendig.

Fazit

Die Bewertung erfolgt anhand von 9 ökologischen Zustandsfunktionen. Natürliche bzw. ausgeweitete Fließgewässer weisen einen Erfüllungsgrad der jeweiligen Funktion von 100 % auf. Die Bewertung der untersuchten Varianten ist in Tabelle 7.2 dargestellt.

Variante	Gewässerfunktion
Ist-Zustand	14 %
Variante 1 Vorprojekt	27 %
Variante 2 Handskizze	54 %
Variante 3 „PRONAT“	67 %

Tabelle 7.2 Bewertung Varianten aus Sicht Ökologie nach [18]

Im Variantenvergleich von Pronat wurden technische Aspekte sowie die Kosten nicht berücksichtigt. Folgende Aspekte sind für den Variantenentscheid zu beachten:

- Bereits die Variante 2 verursacht Mehrkosten von rund 3.3 Mio. CHF. Die Variante 3 hat eine noch umfassendere Verlegung der Infrastrukturanlagen zur Folge und ist folglich noch kostenintensiver.
- Der Geschiebetrieb wurde nicht berücksichtigt. Bereits heute sind Ablagerungen im Mündungsbereich zu beobachten. Im Falle einer markanten Aufweitung sind umfangreiche Ablagerungen im Mündungsgebiet zu erwarten (Variante 2 und 3).
- Die Hochwassersicherheit im Siedlungsgebiet darf nicht beeinträchtigt werden. Unterhalb der Sensebrücke sind keine Reserven im Abfluss vorhanden. Eine Verschlechterung der Abflusskapazität durch Auflandungen muss vermieden werden.

Aufgrund der oben genannten Erwägungen haben die Vertreter der Kantone Bern und Freiburg sowie das BAFU¹⁴ entschieden, die Variante „Vorprojekt“ für das Bauprojekt umzusetzen. Begründet wird die Wahl der Variante dadurch, dass im Siedlungsgebiet die Hochwassersicherheit nicht eingeschränkt werden soll. Zudem wird die Gemeinde Laupen mit dem Basisprojekt bereits mit hohen Kosten belastet. Um die Akzeptanz des Gesamtprojekts nicht zu gefährden, wird eine Aufweitung im Mündungsbereich nicht im Rahmen dieses Projekts angestrebt.

Eine Aufweitung der Sensemündung kann bei Bedarf in einer späteren Projektphase realisiert werden.

7.2.3 Abstellgleis

Die Lage des Abstellgleises hat einen massgebenden Einfluss auf die Ausgestaltung des Gewässerraums. Das geplante Abstellgleis tangiert den heute geltenden Gewässerraum der Sense. Die SBB haben verschiedene Standorte für das Abstellgleis geprüft. Die Standortgebundenheit ist durch die SBB nachgewiesen worden (vgl. Anhang K).

Damit die Aufweitung subventionsberechtigt ist, dürfen jedoch keine Infrastrukturanlagen innerhalb des Gewässerraums liegen. Der Gewässerraum wurde in der Folge nach Süden in Richtung linkes Ufer verschoben (vgl. Kap. 5.5.3)

¹⁴ CSD Ingenieure AG; Sitzungsprotokoll Nr. 03/2016 – Sitzung BAFU / Kanton BE u. FR; Sitzung vom 26.10.2016

7.2.4 Interventionslinie

Bei der Interventionslinie handelt es sich um eine Planungslinie, welche die maximale Ausdehnung der Ufererosion eines Baches oder Flusses darstellt. Wird diese Linie überschritten wird das Ufer bis zu dieser Linie instand gestellt und geschützt.

Ein Konzept mit Interventionslinie (und allenfalls Beurteilungslinie) ist lediglich auf dem Abschnitt der eigendynamischen Aufweitung denkbar. Im Siedlungsgebiet wird die Sense von Gebäuden und diversen Infrastrukturanlagen gesäumt (Wege, Brücken, Werkleitungen, etc.). Diese Bauten liegen in unmittelbarer Nähe zum Gerinne. Dasselbe gilt für das rechte Ufer im Bereich der Aufweitung, wo das Gleis der Sensetalbahn dem Lauf der Sense folgt. Die Bahnanlage (Gleis, Abstellgleis, Perron, neuer Bahnhof) liegen nur 10 bis 20 m vom Gerinne entfernt. Bei mittleren bis grösseren Hochwassern muss mit grossflächigen Erosionen mit Rückgriffweiten von bis zu 20 m pro Ereignis gerechnet werden (vgl. Kap. 7.2.1). Die Anlagen können aufgrund ihrer Nähe zum Gewässer ohne Uferverbau durch ein einziges Hochwasser in Mitleidenschaft gezogen werden.

Somit kann ein Konzept mit Interventionslinie lediglich für das linke Ufer im Bereich der eigendynamischen Aufweitung geprüft werden. Aus folgenden Gründen wurde jedoch in Absprache mit den Behörden auf eine Interventionslinie zugunsten eines durchgehenden Uferverbaus verzichtet:

- Das Landwirtschaftsland verfügt bereits heute über einen Schutz bis zum Ereignis HQ₁₀₀. Auf dem Abschnitt der Gemeinde Bösinggen hat gemäss GEK Sense21 (vgl. Abbildung 7.9 aus [11], Teil E: Strategien und Massnahmen) der Schutz der Landwirtschaft die höchste Priorität.
- Das Konzept mit Interventionslinie hat eine grosse Unsicherheit, was die Finanzierung allfälliger Massnahmen zu einem späteren Zeitpunkt betrifft. Es ist nicht möglich abzuschätzen, wann die Interventionslinie überschritten wird und die Massnahmen umgesetzt werden müssen.
- Ein wirksamer und effizienter Uferverbau ist zudem aus politischen Überlegungen zwingend notwendig, um die Projektakzeptanz nicht zu gefährden. Die Gemeinde Bösinggen wird sich voraussichtlich einzig unter den Bedingungen am Projekt beteiligen, wenn ein hohes Schutzziel angestrebt wird und die Finanzierung langfristig sichergestellt ist.

Aufgrund der obengenannten Erwägungen wurde auf dem gesamten Projektperimeter auf eine Interventions- und Beurteilungslinie verzichtet.

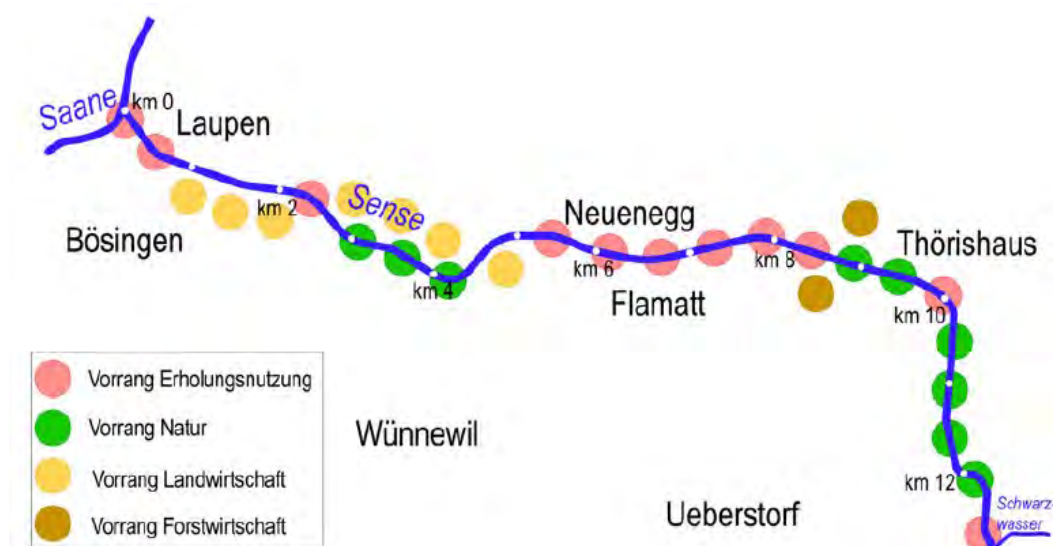


Abbildung 7.9 Prioritäre Nutzung Sense gemäss GEK Sense21 (Quelle: [11])

7.2.5 Verbandskanal ARA-Sensetal

Wie bereits unter Kap. 4.17 erwähnt, verläuft rechtsufrig im Projektperimeter zwischen Flusskilometer 0.00 bis 1.410 der Verbandskanal ARA-Sensetal. Dieser liegt heute innerhalb des Gewässerraums.

Der Verbandskanal wird im Bereich zwischen Flusskilometer 0.278 bis 1.128 durch die Flussaufweitung sowie durch den Bau der neuen Brücke tangiert. Der Kanal liegt auf dem betroffenen Abschnitt teilweise innerhalb des geplanten Abflussprofils. Folglich muss der in den Jahren 2011 bis 2014 sanierte ARA-Verbandskanal entlang des nördlichen Senseufers auf einer Gesamtlänge von 850 m in Richtung Norden verlegt werden.

Im unteren Abschnitt (Flusskilometer 0.278 bis 0.660) besteht aufgrund ausreichender Platzverhältnisse die Möglichkeit, den neuen Kanal ausserhalb des dem Projekt zugrunde gelegten Gewässerraums zu erstellen. Für den oberen Abschnitt zwischen Flusskilometer 0.660 bis 1.128 ist dies aufgrund der Siedlung sowie der Sensetalbahn nicht möglich.

Im Rahmen des vorliegenden Bauprojekts wurde eine alternative Linienführung für den Abschnitt zwischen Flusskilometer 0.723 bis 1.128 ausserhalb des Gewässerraums in der Neueneggstrasse geprüft:

Die Linienführung bedingt eine zusätzliche Leitungslänge von rund 370 m, was zu Mehrkosten von ca. 1.9 Mio. CHF führt. Durch die Verlängerung der Leitung verringert sich zudem das Gefälle, welches bereits heute eine kritische Grösse aufweist. Folglich verschlechtert sich die hydraulische Kapazität der Leitung deutlich. Aufgrund der geringen Fliessgeschwindigkeiten sind zudem Ablagerungen von Feststoffen zu erwarten. Die Kanalisation mit Linienführung in der Neueneggstrasse kann ihre Funktion somit nicht erfüllen.

Eine Linienführung, die über ein genügendes Gefälle verfügt und keinen Konflikt mit bestehenden Bauten aufweist, kann ausserhalb des Gewässerraums nicht gefunden werden (vgl. Kap. 7.5.1).

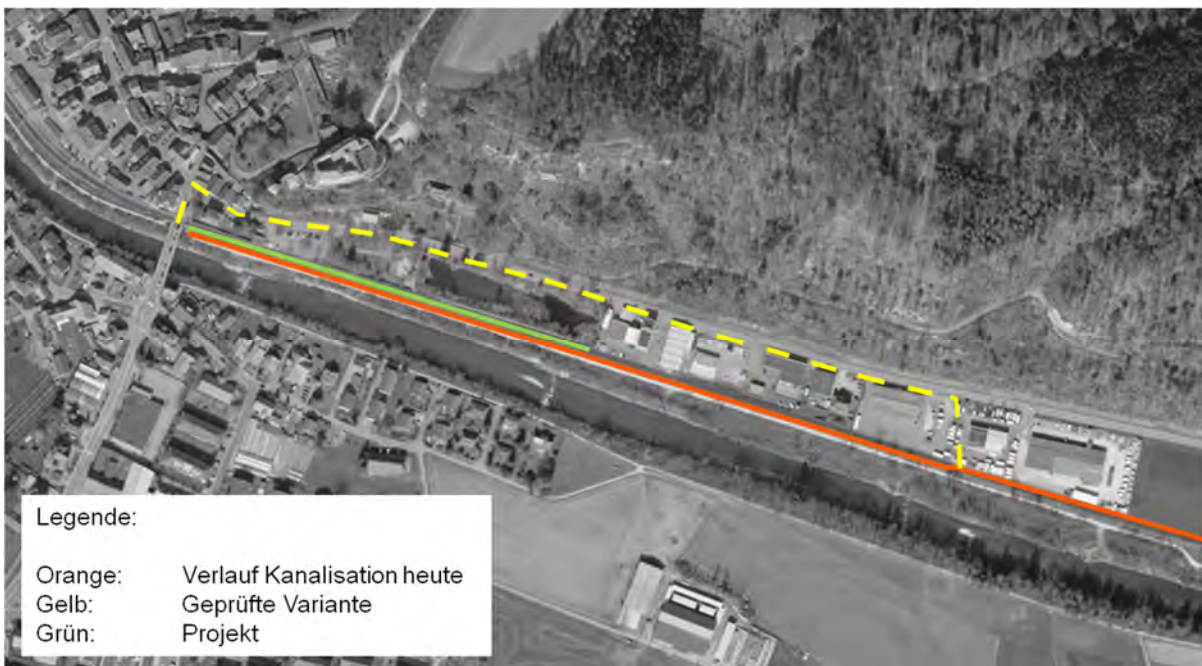


Abbildung 7.10 Variantenprüfung neue Linienführung Kanalisation

Aus den obengenannten Erwägungen kann die Kanalisationsleitung im Gewässerraum als standortgebunden betrachtet werden. Zudem führt eine Verlegung der Leitung zu keinem ökologischen Mehrwert für das Gewässer, da der Unterhaltsweg, unter welchem die projektierte Kanalisation verläuft, ohnehin durch einen Blocksatz gesichert ist.

7.3 Massnahmen Wasserbau

7.3.1 Uferverbau

Im Rahmen des Bauprojekts wurde ein ausführliches Variantenstudium durchgeführt (vgl. Kap. 7.2.1). Entscheidend für die Wahl der Bestvariante war, dass die Eigendynamik der Sense mit einem verzweigten Gerinne höher zu werten ist als die Morphologie der Ufer. Basierend auf dem Variantenentscheid werden die Ufer grösstenteils durch einen geschwungenen und gut strukturierten Blocksatz mit variablen Böschungsneigungen gesichert.

Die abwechslungsreiche Gestaltung der Böschungsneigung hat folgende Vorteile:

- Die geschwungene Ausführungsart entspricht eher einem naturnahen Ufer als ein geometrisch monotoner Uferverbau.
- Die Uferrauigkeit wird durch die unregelmässige Form vergrössert. Durch die Makrorauigkeit wird zudem die Kolkgefahr reduziert.
- Die kleinen Buchten dienen bei Hochwasserabflüssen als Rückzugsgebiete für Fische.

Generell wird bei der Gestaltung des Blocksatzes auf folgende Details geachtet:

- Vor dem Blocksatz wird eine Kolkbildung ermöglicht. Die mögliche Wassertiefe beträgt dabei mindestens 60 bis 70 cm.
- Unmittelbar unter der voraussichtlichen Wasserlinie werden möglichst grosse Blöcke mit einem Gewicht von 3.0 bis 5.0 t verwendet. Zwischen den Blöcken sollen grosse Hohlräume entstehen, die den Fischen Versteckmöglichkeiten bieten.
- Erhöhung der Strukturvielfalt durch variable Böschungsneigungen von 2:3 bis 1:6.
- Der Blocksatz wird nach dem Einbau wieder überschüttet.
- Der Blocksatz wird nicht bis zum Bemessungswasserspiegel hochgezogen, sondern nur ca. 1.0 bis 1.2 m unter den Wasserspiegel. Aufgrund der geringen Schleppspannungen im oberen Bereich erfolgt die Ufersicherungen mit Bewuchs (vgl. Kap. 13.2.5).

Der Verbau wird 1.5 bis 2.0 m unter der mittleren Sohlentiefe fundiert oder in den Fels eingebunden. Der Blocksatz besteht aus Blöcken mit einem Gewicht von 2.0 bis 3.0 t (\varnothing 1.0 – 1.5 m), resp. 3.0 bis 5.0 t im Fundationsbereich resp. Unterhalb der Mittelwasserlinie. Für die Filterschicht werden Schrapfen mit einem durchschnittlichen Durchmesser von ca. 12 bis 15 cm verwendet (innere Erosion). Die Filterschicht weist eine Mächtigkeit von ca. 30 cm auf. Die Uferverbau-Typen sind schematisch im Plan Normalprofile 2 dargestellt (vgl. Plan Nr. W5-2 im Projektdossier). In der Situation (vgl. Plan Nr. W2-1 bis W2-3 im Projektdossier) ist ersichtlich, auf welchen Abschnitten die Verbau-Typen erstellt werden.

Die Ufersicherung mit Blockwurf erfolgt bis auf eine Höhe von 1.0 m unter den erwarteten Bemessungswasserspiegel (im Siedlungsgebiet zwischen km 1.0 und 1.1). Im Bereich der Aufweitung ist der Wasserspiegel für den temporären Zustand HQ_{Erosion} massgebend. Im Endzustand liegt der Wasserspiegel in der Aufweitung tiefer (vgl. Kap. 13.4). Die verbleibende Höhe von 1.0 m bis zum erwarteten Wasserspiegel wird durch Bewuchs gesichert. Der Nachweis ist im Kapitel 13.2.5 aufgeführt.

Siedlungsgebiet (km 0.000 bis 1.100)

Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse im Siedlungsgebiet, ist ein geschwungener Blocksatz nicht möglich. Der Blocksatz wird in der Regel mit einem Gefälle von 1:2 bis 2:3 ausgeführt.

Auf dem Abschnitt zwischen dem heutigen Bahnhof und der Sensebrücke (ca. km 0.550 bis 0.600) wird in der Kurveninnenseite ein Flachufer ausgebildet. Auf diesem Abschnitt ist kein Uferverbau notwendig und vorgesehen. Das Flachufer wird mittels Schroppenteppich geschützt, um bei Hochwasser genügend Widerstand zu bieten (bezüglich der Schleppspannungen). Die Schroppen werden mit Flusskies überschüttet und sind nicht sichtbar.

Im Bereich bei km 0.600 am linken Ufer wird der Uferverbau aufgrund der Gewässerdynamik und den beschränkten Platzverhältnissen mit steileren Böschungen erstellt (bis 2:3 bis 5:1). Da es sich auf dem Abschnitt um ein Prallufer handelt, sind die gewählten Neigungen nicht aussergewöhnlich. Aus Stabilitätsgründen wird der Verbau in Hinterbeton erstellt (vgl. Stabilitätsnachweis im Kapitel 13.2.8).

Aufweitung rechtes Ufer (km 1.100 bis 2.100)

Auf diesem Abschnitt wird der strukturierte Blocksatz mit geschwungener Linienführung erstellt. Die Böschungsneigungen variieren in unregelmässigen Abschnitten zwischen steileren (max. 4:5) und flacheren Bereichen (bis 1:2).

Aufweitung linkes Ufer (km 1.100 bis 2.100)

Der Blocksatz wird am linken Ufer im Bereich der Aufweitung mit einer deutlich ausgeprägt geschwungenen Linienführung erstellt. Die Böschungsneigungen variieren in unregelmässigen Abschnitten zwischen steileren (max. 4:5) bis sehr flachen Bereichen (bis 1:6).

7.3.2 Bestehender Sensedamm linkes Ufer

Der bestehende Sensedamm am linken Ufer im Bereich der eigendynamischen Aufweitung (km 1.100 bis 2.050) wird nicht rückgebaut. Mit dem Fortschreiten der eigendynamischen Aufweitung werden die bestehenden Dämme im Laufe der Zeit erodiert und weggespült.

Insgesamt sind drei Breschen notwendig, damit eine Offenlegung der Seitenbäche im Gewässerraum möglich ist. Eine weitere Bresche wird im Zuge des Rückbaus des bestehenden Entlastungsbauwerks am unteren Ende der Aufweitung ausgebildet. Damit das Wasser im Hochwasserfall zurück in das Gerinne fließen kann.

7.3.3 Neue Dämme

Im Projektperimeter werden auf unterschiedlichen Abschnitten bestehende Dämme ertüchtigt resp. neue Dämme erstellt. Im Bereich der Aufweitung werden die bestehenden Dämme ausserhalb des geplanten Flussbetts wiederhergestellt. Mit den Dammbauten wird der Hochwasserschutz sichergestellt:

- Km 0.000 bis 0.320 (Mündungsbereich), linke Seite Gemeinde Laupen:
Mit der Abflachung der Ufer wird der bestehende Damm abgetragen und muss ausserhalb der heute geltenden Bestimmung bez. Gewässerabstand erstellt werden (vgl. Bestimmungen in Kap. 5.5.2). Zwischen km 0.219 bis 0.320 genügt der bestehende Damm nicht den Hochwasserschutzanforderungen und muss um rund 30 cm erhöht werden.
- Km 1.100 bis 2.050, linke Seite Gemeinde Bösing:
Der komplette Rückbau des heutigen Uferverbau auf diesem Abschnitt ermöglicht der Sense den Flussraum eigendynamisch aufzuweiten. Dadurch wird der heutige Hochwasserschutzdamm früher oder später wegerodiert und muss an den Rand des Gewässerraums verlegt werden.
- Auf der rechten Flussseite wird der Hochwasserschutz durch den bestehenden Bahndamm sichergestellt. Der Bahndamm liegt in der Regel höher als der Sensedamm am linken Ufer. Diese

Gegebenheit begünstigt zudem das Ausleiten von Wasser über den linken Damm im Überlastfall (vgl. Kapitel 11.1.2).

- Damm beim Camping Noflen als Objektschutzmassnahme (vgl. Kap. 7.3.8)
- Seitenbäche (vgl. Kap. 7.4):
Damit das Landwirtschaftsland einerseits durch die Seitenbäche und andererseits durch einen allfälligen Rückstau der Sense bei einem HQ100 nicht überflutet wird, müssen im Bereich, bei welchem die Seitenbäche den neuen Sensedamm queren, entsprechende Terrainanpassungen realisiert werden.

Die Erddämme auf dem Landwirtschaftsland werden als Flachdämme mit einer Böschungsneigung von 1:10 ausgebildet. Die Erfahrung bei andern Projekten mit ähnlicher Dammgeometrie hat gezeigt, dass die Bewirtschaftung solcher Dämme ohne Einschränkung möglich ist (vgl. Abbildung 7.11 und Abbildung 7.12).



Abbildung 7.11 Beispielbild Flachdamm Aare/Gürbe



Abbildung 7.12 Beispielbild Flachdamm Aare/Gürbe

Für die Dammhöhen sind zwei Gefährdungsbilder massgebend:

- Bemessungswassermenge HQ₁₀₀ mit erforderlichem Freibord gemäss Kap. 5.4.3
- Temporärer Zustand (Erosion alter Damm ohne vollständige Aufweitung) gemäss Kap. 13.4.

Der temporäre Zustand ist insbesondere auf dem Abschnitt oberhalb km 1.426 massgebend. Im Bereich zwischen km 1.7 und 2.0 ist eine leichte Sohlenabsenkung zu erwarten (vgl. 10.2.1). Im Endzustand weisen die Dämme für das definierte Schutzziel keine Funktion mehr auf. Die Freibordkriterien werden somit langfristig (d.h. im Endzustand mit vollständiger Aufweitung) selbst ohne Damm erfüllt.

Es ist vorgesehen die Dämme mit geeignetem Aushubmaterial (Uferabtrag, Initialaufweitung) aus dem Projektperimeter zu realisieren.

7.3.4 Blockrampen

Die durchgeführten Berechnungen zum Geschiebetransport in der Sense [16] zeigen, dass die Sohlenfixpunkte im Bereich des Siedlungsgebiets unerlässlich sind. Hingegen verlieren diese im Bereich der geplanten Aufweitung zwischen Flusskilometer 1.100 und 2.050 mittel- bis langfristig ihre Funktion. Es sind folgende Massnahmen vorgesehen:

- Infolge der initialen Aufweitung des Gerinnes auf 40 m (vgl. Kap. 7.3.6), werden die beiden Blockrampen bei Flusskilometer 1.800 und 1.931 hinfällig und deshalb rückgebaut. Die Blöcke können im Projekt wiederverwendet werden.

- Die bestehende Blockrampe bei Flusskilometer 1.070 liegt im Verengungskolk und muss deshalb verschoben werden. Die neue Blockrampe wird bei km 1.000 erstellt.
- Die verbleibenden Schwellen im Bereich der Aufweitung (km 1.390, 1.530 und 1.679) werden nicht rückgebaut, um ein unkontrolliertes Abteufen der Sohle aufgrund der anfänglich fehlenden Dynamik zu vermeiden. Sobald die eigendynamische Aufweitung auch auf diesem Abschnitt einsetzt, werden die Schwellen ihre Funktion verlieren. Um negative Auswirkungen, verursacht durch die Blockrampen, zu verhindern, werden die Auswirkung der Blockrampen im Rahmen eines Überwachungs- und Unterhaltskonzept periodisch kontrolliert (vgl. Kap. 7.7.3). Sollten die Schwellen die Strömungsverhältnisse negativ beeinflussen (z.B. einseitige Konzentration der Strömung mit Sohlenabsenkung neben der Schwelle), werden die Schwellen rückgebaut.
- Die Fixpunkte im Siedlungsgebiet sind weiterhin unerlässlich. Da das Gerinne im Siedlungsgebiet auf der rechten Seite einige Meter verbreitet wird, müssen die Breite der Schwellen im gleichen Mass angepasst werden.
- Bei km 0.419 befindet sich eine alte Betonschwelle. Der ursprüngliche Absturz wird heute durch die bestehende Blockrampe entschärft. Im Projekt wird die Betonschwelle rückgebaut und die angrenzende Blockrampe entsprechend verbreitert und instandgesetzt. Der Rückbau der Betonschwelle erfolgt bis ca. 0.5 bis 1.0 m unter die Sohle, damit der Eingriff minimiert werden kann.
- Die Blockrampe unterhalb der Brücke bei km 0.547 wird im Vergleich zu heute leicht abgesenkt. Mit dem Zweck, den notwendigen Freibord der Strassenbrücke zu gewährleisten. Die neue Kote des Fixpunktes liegt auf 485.10 m ü. M.

Es ist vorgesehen, die neuen Sohlenfixpunkte bei km 0.547 und km 1.000 in Analogie zu den bestehenden Blockrampen, als geschlossene Blockrampe zu realisieren. Damit die Fischgängigkeit nicht eingeschränkt wird, wird die maximale Neigung der Rampen auf 5 % begrenzt.

Die Berechnungen zeigen, dass aufgelöste Blockrampen auf dem vorhandenen Untergrundmaterial nicht stabil sind, resp. die Neigung der Rampe sehr flach ausgestaltet werden muss (vgl. Kap. 13.2.2).

7.3.5 Aktive Aufweitung

Damit der Hochwasserschutz auf dem Projektabschnitt gewährleistet ist, muss die Sense an mehreren Stellen aktiv aufgeweitet werden. Das Ziel besteht darin, die Abflusskapazität zu erhöhen.

- Geringfügige Aufweitung und Abflachung linksufrig im Mündungsbereich (vgl. Kap. 7.1.1).
- Im Siedlungsgebiet wird rechtsufrig zwischen km 0.200 bis ca. 1.100 des Gerinnes von ca. 20 m auf rund 30 m aufgeweitet.
- Oberhalb der Strassenbrücke zwischen km 0.720 bis ca. 1.350 wird die Gerinnebreite rechtsufrig von ca. 25 m auf rund 40 m erhöht.

7.3.6 Eigendynamische Aufweitung

Zwischen Flusskilometer 1.100 und 2.050 ist eine Flussaufweitung geplant. Das Ziel der Aufweitung besteht darin, dass die Sense die grösstmögliche Breite des Gewässerraums von 100 m nutzen kann. Die Aufweitung wird bis auf den bereits beschriebenen rechtsufrigen Abschnitt bis km 1.350 (vgl. Kap. 7.3.5) nicht aktiv erstellt.

Um die eigendynamische Aufweitung zu begünstigen, wird die Gerinnebreite zwischen km 1.750 und 1.950 maschinell auf 40 m erhöht. Eine minimale Sohlenbreite von 40 m auf einer minimalen Länge von 150 bis 200 m ist notwendig, um eine eigendynamische Verbreiterung zu begünstigen (alternierende Kiesbänke). Mit

dem Material aus der maschinellen Gerinneverbreiterung werden Kiesbänke geschüttet, die die Dynamik im Aufweitungsbereich zusätzlich fördern (vgl. Kap. 7.3.7).

Gemäss Geschiebmodellierung (vgl. Anhang H) kann das Entfernen der Uferverbauungen ohne die oben erwähnten Initialmassnahmen (Aufweitung auf 40 m) aufgrund der anfänglich mangelnden Eigendynamik zu einer ungewollten Eintiefung der Sohle führen. Dies z.B. auf dem Abschnitt zwischen km 1.700 bis 2.000, bei dem die Blockrampen rückgebaut werden. Auf dem Abschnitt zwischen km 1.328 bis 1.731 besteht die Gefahr, dass die bestehenden Schwellen umspült werden und sich die Strömung infolge der fehlenden Eigendynamik lokal konzentriert was eine Eintiefung der Sohle zur Folge hat. Die Funktionstüchtigkeit der Schwellen ist im Rahmen des Unterhaltes nach der Realisierung regelmässig zu kontrollieren (vgl. Kap. 7.7.4).

Im Bereich der Aufweitung werden zur Förderung der Dynamik (resp. zur Verminderung des Risikos einer allfälligen Sohlenabsenkung) folgende aktiven Massnahmen umgesetzt:

- Entfernen des best. Uferverbaus (Betonquader) auf dem gesamten Abschnitt.
- Als Initialmassnahme zur Förderung der Eigendynamik wird das Gerinne zwischen km 1.750 und 1.950 auf 40 m verbreitet. Damit wird die Möglichkeit geschaffen, dass die Sense alternierende Bänke bilden kann (vgl. Kap. 10.3, Morphologie der Sense). Die dadurch entstehenden Querströmungen beschleunigen den Prozess der Ufererosion.
- Mit künstlich geschaffenen Erosionsnischen als Initialmassnahmen am linken Ufer wird die seitliche Erosion gefördert (drei kleine Nischen mit $L = 20$ m und eine grosse Nische mit $L = 40$ m).
- Die beiden Blockrampen bei Flusskilometer 1.800 und 1.931 werden rückgebaut (vgl. Kap. 7.3.4).
- Damit die an die Aufweitung angrenzenden Infrastrukturanlagen (Sensetalbahn, Verbandskanal ARA-Sensetal) sowie das Landwirtschaftsland von unkontrollierten Seitenerosionen geschützt sind, wird auf dem gesamten Perimeter der Aufweitung am Rande des Gewässerraums ein Blocksatz erstellt und überschüttet (vgl. Kap. 7.3.1).

Die Berechnungen [16] zeigen, dass sich die Sohlenlage im Verlauf der Zeit auf dem Abschnitt nicht massgebend verändert (vgl. Kap. 13.3).

Erweiterungsbereich

Der Öffnungstrichter der Aufweitung wird mit einem Winkel von ca. 20 Grad realisiert. Nach [27] sind die Ufer im Erweiterungsbereich relativ schwach beansprucht, weshalb auf eine Ufersicherung verzichtet werden kann. Im Projekt grenzen jedoch unmittelbar an den Erweiterungsbereich diverse Infrastrukturanlagen (Sensetalbahn und Camping Noflen). Da seitliche Erosionen auf diesem Abschnitt verhältnismässig hohe Auswirkungen haben, wird zur Sicherheit der Uferverbau auch auf diesem Abschnitt erstellt.

Der Erweiterungsbereich beträgt im Projekt ca. 100 m (Berechnung nach [27], Formel 12.4ff).

Verengungsbereich und Verengungskolk

Der Verengungsbereich wird mit einem Öffnungswinkel von ca. 20 Grad realisiert. Die Einengung verursacht Sekundärströmungen, die eine Kolkbildung begünstigen. Folglich bildet sich unterhalb des Verengungsbereichs ein Kolk. Die Tiefe des Verengungskolks hängt insbesondere von der Geometrie und der Abflusstiefe ober- und unterhalb der Aufweitung ab. Sowohl für den Abfluss HQ_{100} wie auch für den bettbildenden Abfluss¹⁵ HQ_{2-5} beträgt der Kolk maximal 2.6 m (Berechnung nach [27], Formel 12.7ff). Dementsprechend sind unterhalb der Aufweitung die Ufersicherungen zu verstärken und bis auf eine Tiefe von 3.0 m zu fundieren (Uferverbau Typ D, vgl. Plan Nr. W5-2).

¹⁵ Das Flussbett wird in der Regel durch einen Abfluss mit einer Wiederkehrperiode von 2 bis 5 Jahren gestaltet (HQ_{2-5})

7.3.7 Strukturelemente

Im Projekt sind folgende Strukturelemente vorgesehen:

- **Fischunterstände:**
Unterhalb der Wasserlinie werden möglichst grosse Blöcke (3 bis 5 t) verwendet, um entsprechende Unterschlupfmöglichkeiten in den Zwischenräumen zu gewährleisten (vgl. Beschrieb in Kap. 7.3.1).
- Im Abschnitt innerhalb des Siedlungsgebiets werden drei kleine Blockbuhnen erstellt, um die Strukturvielfalt auf dem Abschnitt unterhalb der Sensebrücke zu erhöhen. Zusätzlich sorgen Wurzelstöcke für eine weitere Strukturvielfalt auf dem Abschnitt zwischen Sensebrücke und der Mündung in die Saane.
- Zwischen km 1.750 und 1.950 wird das Gerinne maschinell auf 40 m verbreitert, um die Eigendynamik zu fördern. Das Material aus der maschinellen Aufweitung wird dazu verwendet, Kiesbänke im Gerinne zu schütten. Die Kiesbänke fördern die Morphologie im Gerinne und dienen zudem als strömunglenkende Massnahmen, um die Erosion der seitlichen Böschungen zu fördern und dadurch die eigendynamische Aufweitung zu begünstigen.

7.3.8 Objektschutzmassnahme Camping Noflen

Die Gefährdung des Campings Noflen ist in der Gefahrenkarte von 2007 [1] dargestellt. Gemäss der Gefahrenkarte liegt der Campingplatz teilweise im blauen und gelben Gefahrenbereich.

Der Campingplatz liegt leicht erhöht über dem angrenzenden Terrain. Um die Hochwasserschutzdefizite für den Camping bis zum definierten Schutzziel HQ_{100} (gemäss Kap. 5.2) zu beheben, sind dennoch Objektschutzmassnahmen notwendig. Die Hochwassersicherheit wird durch einen Erddamm, welcher den Camping auf der Nord- und Ostseite umschliesst, sichergestellt (vgl. Plan Nr. W8). Der Damm grenzt im Norden an den neuen Sensedamm. Von dort führt der Damm entlang der Parzellengrenze nach Süden bis zur südöstlichen Ecken, wo das bestehende Terrain die Hochwasserschutzkote erreicht.

7.3.9 Massnahmen oberhalb km 2.000

Sowohl die Sohle wie auch der Wasserspiegel weisen im Endzustand, d.h. nach der eigendynamischen Aufweitung, am Beginn des Projektperimeters bei km 2.050 eine markante Absenkung auf (vgl. Kap. 10.2.1). Um eine allfällige Sohlenabsenkung oberhalb des Projektperimeters zu vermeiden ist bei km 2.050 ein Fixpunkt am Beginn des Projektperimeters notwendig. Die Geschiebemodellierung [16] zeigt, dass unter der Berücksichtigung einer zusätzlichen Schwelle bei km 2.050 oberhalb des Projektperimeters keine massgebende Veränderung der Sohlen- und Wasserspiegellage für den Endzustand zu erwarten sind (vgl. Kap. 13.3).

Beim Camping Noflen sind im Projekt Massnahmen vorgesehen, um die in der Gefahrenkarte ausgewiesenen Wassermenge aus den Ausbruchsstellen oberhalb des Projektperimeters zurück in die Sense zu leiten. Der Erddamm beim Camping (vgl. Kap. 7.3.8) wird höher als der bestehende Sensedamm geschüttet. Dadurch kann das Wasser über den Sensedamm zurück in das Gerinne geleitet werden.

Ein Entlastungsbauwerk im Sensedamm dient dazu, das im Ackerland nach einem Hochwasserereignis gestaute Wasser über einen Schieber zurück in die Sense zu leiten. Der Schieber wird geöffnet sobald der Wasserpegel in der Sense unter dem umliegenden Terrain liegt.

7.3.10 Objektschutzmassnahmen Mündung

Die Schutzkote liegt am rechten Ufer im Mündungsbereich höher als der Uferweg (ca. km 0.000 bis 0.100). Die bestehenden Gebäude verhindern ein Ausufernd der Sense. Mit Objektschutzmassnahmen werden die Gebäude bis zur Freibordhöhe geschützt:

- Abdichtung Gebäudehülle und Fenster
- Oder Erstellen von Schächten vor den Fenster bis OK Freibord und Geländemodellierung mit Böschung zum Fussgängerweg

Durch die Massnahmen kann der Hochwasserschutz im Mündungsbereich gewährleistet werden.

7.4 Seitenbäche

Das vorliegende Bauprojekt umfasst die Grobplanung der Massnahmen an den Seitenbächen. Die definitive Gestaltung der Gewässer wird im Rahmen der Ausführungsplanung optimiert (insbesondere Gestaltungs- und Strukturelemente im Gerinne).

7.4.1 Müli- und Noflenbach

In Absprache mit dem Kanton Freiburg werden für die Seitenbäche nur minimale Massnahmen angestrebt. Um die Akzeptanz des Gesamtprojekts nicht zu gefährden, sollen im Bereich der Seitenbäche lediglich minimale Eingriffe stattfinden, um den Hochwasserschutz sicherzustellen und eine Verbesserung in der Ökologie zu erreichen. Dabei sind jedoch die gesetzlichen Vorgaben zu berücksichtigen. Terrainbewegungen sind innerhalb des Gewässerraums nur unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt: Die Hochwasserschutzdämme sind nur am äussersten Rand innerhalb des Gewässerraums bewilligungsfähig. Der Kanton Freiburg plant, die aktuell geltende Breite für den Gewässerraum im Rahmen der nächsten Ortsplanungsrevision zu reduzieren (vgl. Kap. 5.5.4). In Absprache mit dem AfU des Kantons Freiburg orientiert sich die Lage der Dämme deshalb an der minimalen Gewässerraumbreite nach GSchV.

Die Seitenbäche werden mit dem Hauptgerinne der Sense ohne Absturz verbunden, damit die Durchgängigkeit gewährleistet ist. Zudem werden die Seitenbäche innerhalb des Gewässerraums der Sense (resp. auf dem heutigen Vorland der Sense) offen gelegt. Für die beiden offenen Gewässer in der Noflenmatte (Mülibach und Noflenbach) sind folgende Massnahmen angedacht:

- Die Seitenbäche werden unter je einer Brücke im Bereich des neuen Sensedammes an die Sense angeschlossen. Der Uferweg wird beim Mülibach sowie beim Noflenbach über eine Brücke geführt. Allfällige Sohlenbewegungen sind uneingeschränkt möglich. Die Brücken werden gemäss Norm SN 640 696 faunagerecht mit trockenem Bankett erstellt. Das Lichtraumprofil entspricht den Vorgaben aus der Richtlinie „Überquerung von Fliessgewässern mit Strassen und Wegen“ vom Tiefbauamt des Kantons FR (Stand 13. Februar 2012).
- Für die Böschungen werden variable Neigungsverhältnisse gewählt, um eine Verbesserung der Strukturvielfalt zu erzielen. Buschgruppen sorgen für eine Aufwertung des Gewässerraums ausserhalb des Gerinnes sowie für eine Beschattung des Gewässers. Durch die Beschattung kann die Verkräutung im Gerinne reduziert werden, was zudem einen positiven Effekt auf ungewollte Sandablagerungen hat.
- Die Hochwassersicherheit wird bei Rückstau durch die Sense gewährleistet: Ein seitlicher Erddamm hindert das Wasser daran, in Richtung Siedlung zu fliessen. Erdbewegungen innerhalb des Gewässerraums sind in der Regel nicht zulässig. Die für den Hochwasserschutz notwendigen Erddämme können in Absprache mit dem Amt für Umwelt am äussersten Rand des Gewässerraums bewilligt werden.
- Die Dammhöhen der Seitenbäche werden auf ein HQ₁₀₀ in der Sense ausgelegt (Rückstau durch die Sense) und entsprechen somit weitgehend der Dammhöhe des neuen Sensedammes. Für den Hochwasserabfluss der Seitenbäche wird hingegen lediglich ein HQ₃₀ berücksichtigt.
 - Um den Eingriff in die landwirtschaftlichen Flächen zu reduzieren, wird der Hochwasserschutzdamm für den Mülibach nur auf der linken Bachseite erstellt. Der Damm stellt sicher,

dass Hochwasser in der Sense und im Seitenbach nicht in Richtung Siedlungsgebiet abfliessen kann. Bei Rückstau aus der Sense ist es möglich, dass der rechte Uferbereich für seltene Ereignisse (Abfluss grösser HQ_{100} , Betrachtung ohne Freibord) überflutet werden kann.

- Beim Noflenbach ist lediglich ein kurzer Damm im Anschlussbereich an den neuen Sense-damm von knapp 30 m Länge notwendig. Auf dem restlichen Abschnitt reicht die Gelände-höhe aus, um die Hochwassersicherheit (Rückstau Sense) zu gewährleisten.
- Um die Abflussverhältnisse zu verbessern, wird das Längsgefälle der Seitenbäche ausgeglichen. Die Sohle des Mülibachs wird auf einer Länge von ca. 180 m, diejenige des Noflenbachs auf einer Länge von ca. 200 m korrigiert.

Die Bäche weisen heute eine starke Auflandungstendenz auf und müssen regelmässig von Geschiebeab-lagerungen (hauptsächlich Sand) befreit werden. Der Mülibach weist heute auf gewissen Abschnitten ein negatives Gefälle auf, zudem liegt der Auslass der Eindolung unterhalb der heutigen Bachsohle. Anpassungen am Längsgefälle sind notwendig, um die Transportkapazität der Bäche zu verbessern. Eine Ausgestaltung mit Mäandern ist nicht zielführend, da aufgrund der längeren Wegstrecke die Transport-kapazität im Gerinne zusätzlich eingeschränkt wird. Um der Problematik von Ablagerungen im Gerinne entgegenzuwirken, ist eine systematische Bewirtschaftung der bestehenden Geschiebesammler an den Seitenbächen notwendig (vgl. Kapitel 7.7.3). Im Projekt werden Buschgruppen entlang des Gewässers geschaffen, um den Bewuchs im Gerinne zu reduzieren, was zu besseren Abflussverhältnissen führt (höhere Transportkapazität von Sand aufgrund der höheren Fliessgeschwindigkeit).

7.4.2 Diverse kleine Seitenbäche

Im Projektperimeter münden mehrere kleinere Seitenbäche in die Sense. Die Einmündungen werden den neuen Gegebenheiten angepasst. Im Siedlungsbereich werden diese dem neuen Blocksatz angepasst. Im Aufweitungssperimeter am rechten Ufer sieht das Projekt vor, die Seitenbäche ab dem Uferweg offen zu führen und das Gerinne möglichst naturnah als Mäander zu gestalten.

7.5 Werkleitungen

7.5.1 Verbandskanal ARA-Sensetal

Wie bereits unter (vgl. Kap. 7.2.5) erwähnt, wird der Verbandskanal im Bereich zwischen Flusskilometer 0.278 bis 1.128 durch die Flussaufweitung sowie durch den Bau der neuen Brücke tangiert. Der Kanal liegt auf dem betroffenen Abschnitt teilweise innerhalb des geplanten Abflussprofils und muss auf einer Gesamtlänge von 850 m in Richtung Norden verlegt werden.

Eine Verlegung mit Linienführung ausserhalb des Gewässerraums ist aufgrund der Neigungsverhältnisse nicht auf dem gesamten Projektabschnitt möglich. Damit die Kanalisation ihre Funktion erfüllen kann, ist eine möglichst direkte Linienführung - daher innerhalb des Gewässerraums zwischen Flusskilometer 0.660 bis 1.128 - unumgänglich (vgl. Variantenstudium in Kap. 7.2.5). Gemäss Variantenstudium kann der Verbands-kanal auf diesem Abschnitt mit der gewählten Linienführung als standortgebunden betrachtet werden.

Der neu zu erstellende Verbandskanal liegt folglich zwischen Flusskilometer 0.660 und 1.128 auch in Zukunft innerhalb des Gewässerraums. Der Kanal folgt mehrheitlich dem Verlauf des Unterhaltsweges. Der Unterhaltsweg und folglich auch der Verbandskanal werden durch den Blocksatz geschützt.

Der bestehende Leitungsquerschnitt beträgt 1'250 mm. Die heute vorhandenen Kapazitäten des Verbands-kanals bei Vollfüllung müssen erhalten bleiben. In Absprache mit dem Zweckverband Abwasserregion Sensetal und den zuständigen GEP-Verantwortlichen wurde das Projekt entsprechend entwickelt und gutgeheissen. Die Abflusskapazität der Leitung bleibt unverändert.

Leitungsspezifikationen:

- Rohrmaterial: GFK / GUP
- Rohrquerschnitt: DE 1'348 mm, DI 1'288 mm
- Rohrbettung: Rohr voll einbetoniert

Die Kontrollschächte werden als Fertigschächte (Material GFK/GUP oder Beton) ausgeführt. Die Zugänglichkeit (Grösse der Schächte) und die nach Norm erforderliche Dichtigkeit wird eingehalten. Vor Beginn jeglicher Bauarbeiten muss der Bauzustand (Kanalfernsehaufnahme) des Verbandskanals festgehalten werden. Nach Abschluss sämtlicher Arbeiten ist eine Abnahme (Kanalfernsehaufnahme) vorgesehen. Die Funktionstüchtigkeit des Verbandskanals wird jederzeit gewährleistet sein.

Baugrund und Risiken

Die Leitung kommt hauptsächlich in den Senseschotter zu liegen. Abschnittsweise wird die Leitung voraussichtlich in den Fels einschneiden. Auf den betroffenen Abschnitten ist ein entsprechender Aushub von Fels notwendig.

Im Nahbereich des Ufers korrespondiert der Grundwasserspiegel weitgehend mit dem Abflusspiegel der Sense. Bei Hochwasser wird deshalb voraussichtlich das Grundwasser im Bereich der Leitung schnell ansteigen. Hohe Grundwasserstände führen im Schotter unweigerlich zu instabilen Böschungen.

Empfehlungen für den Neubau

Freie Böschungen sind aus geometrischen Gründen nicht überall möglich. Insbesondere verläuft der neue Verbandskanal auch bedeutend näher an der Bahnlinie. Wir empfehlen aus Gründen der Geometrie und der Risiken bei höheren Grundwasserständen (siehe oben) den Graben systematisch und beidseitig mit einem vertikalen, stützenden und wasserdichten Verbau auszuführen, d.h. mit einer Spundwand. OK Spundwand sollte immer mindestens auf dem für die Bauzeit akzeptierten Hochwasser (inkl. Freibord) liegen.



Abbildung 7.13 Bau Kanalisation von 1976
Quelle: Archiv ARA Sensetal



Abbildung 7.14 Bau Kanalisation von 1976
Quelle: Archiv ARA Sensetal

Der Spundwandfuss ist in den mürben Fels einzubinden. Je nach Verwitterungsgrad werden zwischen 10 bis 30 cm Einbindung möglich sein. Damit kann ein statisch wirksames Fussaflager erreicht werden, welches horizontale Kräfte übernehmen kann. Dadurch kann der Graben voraussichtlich mit einer einzelnen, hohen Spriesslage erstellt und gestützt werden.

Der Spundwandfuss ist in den mürben Fels einzubinden. Je nach Verwitterungsgrad werden zwischen 10 bis 30 cm Einbindung möglich sein. Damit kann ein statisch wirksames Fussaflager erreicht werden, welches horizontale Kräfte übernehmen kann. Dadurch kann der Graben voraussichtlich mit einer einzelnen, hohen Spriesslage erstellt und gestützt werden.

Innerhalb des Grabens ist dann eine offene Wasserhaltung möglich, die analog zur früheren Bauweise aus einem Kieskoffer und zwei Drainageleitungen besteht (vgl. Abbildung 7.13 und Abbildung 7.14).

Im Anschlussbereich an die bestehende Leitung im Norden ist voraussichtlich das Grundwasser tief genug, um den Anschluss im Trockenen bauen zu können. Im Süden ist zu erwarten, dass Bauteile unterhalb des Grundwasserspiegels erstellt werden müssen. Hier steht eine punktuelle, pragmatische Lösung mit offener Wasserhaltung und leistungsfähigen Pumpen im Vordergrund. Es sind keine besonderen Abdichtungsmassnahmen mit Injektionsmittel o.ä. vorgesehen.

Desgleichen sind bei anderen Querungen ebenfalls punktuell und kurzfristig Lösungen mit leistungsfähigen Pumpen möglich. Die Risiken einer Grundwasserabsenkung für die Umgebung werden im Einzelfall im Detail geprüft.

7.5.2 BKW-Leitung km 1.100

Unmittelbar oberhalb der Blockrampe bei km 1.070 befindet sich eine Leitungsquerung der BKW. Die Starkstromleitung wird vermutlich durch die bestehende Blockrampe geschützt. Gemäss Auskunft der BKW sind keine genaueren Details (Grabenprofil, Tiefenlage, Bettung, etc.) zur Querung vorhanden.

Die Leitung liegt jedoch direkt im Bereich des erwarteten Verengungskolks. Die bestehende Blockrampe muss infolge des Verengungskolks verschoben werden (vgl. Kap. 7.1.3). Eine Verlegung der Leitung wird empfohlen, da sie aufgrund der Verschiebung der Blockrampe nicht mehr vor Sohlenerosionen geschützt sein wird.

Im Rahmen des Ausführungsprojekts wird deshalb mit der BKW ein Projekt ausgearbeitet, um die Leitung zu verschieben. Im Projekt ist vorgesehen, die neue Querung mittels Richtbohrung unter der Sohle im Fels zu erstellen. Die neue Linienführung der Starkstromleitung quert die Sense ca. bei km 1.100 und ist im Werkleitungsplan Mitte dargestellt (vgl. Plan Nr. W11-2 im Projektdossier).

7.5.3 Trinkwasserleitung km 1.100

Die Trinkwasserleitung quert die Sense ca. bei km 1.100 und liegt somit direkt im erwarteten Verengungskolk. Im Projekt ist vorgesehen, die neue Querung für die Trinkwasserleitung mittels Richtbohrung unter der Sohle im Fels zu erstellen. Die Detailprojektierung wird im Rahmen des Ausführungsprojekts durchgeführt.

7.5.4 Diverse Werkleitungen

Die Projektmassnahmen tangieren diverse Werkleitungen. Die betroffenen Werkleitungen sind in den Projektplänen abgebildet und allfällige Anpassungen im Projekt berücksichtigt.

Im Projektperimeter münden diverse Meteorleitungen in die Sense. Im Siedlungsgebiet werden diese in den neuen Blocksatz eingepasst. Im Bereich der Aufweitung werden diese ab dem neuen überschütteten Blocksatz resp. ab dem Uferweg freigelegt.

7.6 Umwelt

Sämtliche Umweltaspekte im Zusammenhang mit dem Wasserbauprojekt werden im Rahmen des Umweltverträglichkeitsberichtes (vgl. Dokument Nr. W41 im Projektdossier) umfassend untersucht. In den folgenden Kapiteln 7.6.1 bis 7.6.3 werden nur die wichtigsten Aspekte zusammengefasst.

7.6.1 Massnahmen zur Förderung der Zielarten

Im Bereich des Siedlungsgebiets, wo aufgrund der fehlenden Platzverhältnisse keine eigendynamische Aufweitung angestrebt wird, sind Strukturen zur Förderung der Fischfauna vorgesehen. Bei der Gestaltung der Uferböschungen sind ebenfalls Strukturen (Stein- und Asthaufen) vorgesehen. Zusätzlich ist hier eine abschnittsweise Bepflanzung mit Buschgruppen vorgesehen (standortheimische und regionale Typen). Vermutlich ist stellenweise eine Ansaat notwendig, um die Ausbreitung von Neophyten zu verhindern. Dazu werden ökologisch wertvolle Samenmischungen verwendet.

Als Massnahmen zu erwähnen sind:

- Im Bereich der Aufweitung wird eine möglichst natürliche Dynamik ohne künstliche Eingriffe angestrebt.
- Im Perimeter sind fünf Standorte für die Realisierung von Biotopen vorgesehen.
- Unter den Brücken werden Nisthilfen für Wasseramsel und Bergstelze montiert.

7.6.2 Ufervegetation und Bepflanzung

Die Ufervegetation und die Bepflanzung werden im Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) behandelt. Der Gestaltungsplan wird parallel zur Vorprüfung erarbeitet. Der Gestaltungsplan wird zusammen mit der Karch, der SBB und den entsprechenden Amtsstellen erarbeitet.

7.6.3 Boden

Für die Bauphase werden folgende Massnahmen zum Schutz des Bodens vorgeschlagen:

- Schütten einer Kieskofferung (Mächtigkeit: 50 cm im verdichteten Zustand) direkt auf den gewachsenen Boden ohne vorgängiges Abhumusieren (Geogewebe als Trennschicht).
- Es ist eine bodenkundliche Baubegleitung vorgesehen (Beratung bei Ausführungsplanung und Unternehmersubmission, Begleitung der bodenrelevanten Bauphasen).
- Die bodenrelevanten Vorgänge (Abtrag, Zwischenlagerung, Rekultivierung, Folgebewirtschaftung sowie Befahren des Bodens) haben nach den einschlägigen Bestimmungen zu erfolgen (vgl. [29]).
- Bodenarbeiten dürfen nur bei genügend abgetrocknetem Boden ausgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass in den Wintermonaten in der Regel keine bodenrelevanten Arbeiten stattfinden können.

Am linken Ufer im Bereich der eigendynamischen Aufweitung beim Bau des Uferverbau und der Hochwasserschutzdämmen fallen bodenintensive Arbeiten an. Der Bauablauf wird optimiert, damit das Volumen der Bodendepots gering gehalten werden kann. Das Bodenmaterial wird vom zu bearbeitenden Teilabschnitt zum bereits fertiggestellten Teilabschnitt direkt umgelagert, ohne dass ein Zwischendepot notwendig ist.

7.6.4 Grundwasser

Die Auswirkungen auf das Grundwasser sind im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht worden. Eine Beeinflussung des Grundwasserspiegels ist einzig dort zu erwarten, wo eine Veränderung der Sohlenlage stattfindet.

Unterhalb der Aufweitung sind keine Veränderungen in der Sohlenlage zu erwarten. Die Sohlenlage wird lediglich zwischen km 1.0 und 2.0 durch die Aufweitung beeinflusst (vgl. Kap. 10.2.1). Die erwarteten Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel sind im hydrogeologischen Kurzugutachten im UVB aufgeführt (vgl. Kap. 4.6 im Dokument Nr. W41).

Der Neubau des Verbandkanals ARA-Sensetal befindet sich im Gewässerschutzbereich üB. Um die Auswirkungen der Leitung auf das Grundwasser möglichst gering zu halten, werden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Unter der Leitung wird ein Kieskoffer erstellt, damit das Grundwasser quer zur Leitung hindurch sickern kann. Es ist mit einem Aufstau von lediglich 1-3 cm gegenüber dem komplett ungestörten Zustand zu rechnen.
- Teilweise liegt die Leitung direkt auf dem Fels. Mit Querschlägen und Sickerrohre wird das Wasser von der Nord- zur Südseite geleitet. Die effektive Anordnung dieser Querschläge wird nach dem effektiven Befund der Felsoberfläche vor Ort bestimmt.

7.7 Unterhalt

7.7.1 Unterhalt Sense und Gewässerraum

Die neue Bestockung im Siedlungsraum ist zu Beginn regelmässig zu pflegen.

Für den Unterhalt gelten allgemeine Grundregeln: Die Unterhaltsarbeiten sollten abschnittsweise ausgeführt werden. Das bedeutet, dass nicht die gesamte Uferlänge und nicht beide Ufer gleichzeitig bearbeitet werden. Als Richtwert für die einzelnen Unterhaltsabschnitte gelten ca. 50 m. Die Pflegearbeiten sind immer von unten nach oben auszuführen.

Als Biotopflächen sind Stein-/Kieswälle und Amphibiengewässer vorgesehen. Diese Bereiche sind von dichter Bestockung frei zu halten, um Sonneneinstrahlung zu gewährleisten. Die Pflegekonzepte und Zuständigkeiten werden im Rahmen des Ausführungsprojekts definiert.

Ein Neophytenkonzept ist auf Stufe Ausführungsprojekt vor Baubeginn auszuarbeiten.

7.7.2 Unterhalt Wald

Der Unterhalt im Wald erfolgt im gleichen Umfang wie bisher. Neu sind Unterhaltmassnahmen im Bereich der Biotopflächen (Teiche) erforderlich. Entlang der Wälle (Kies- / Erdwall entlang des rechten Uferwegs) ist die Vegetation licht zu halten. Zielzustand ist ein lichter Wald mit Habitaten für die Schlingnatter.

Auf Stufe Ausführungsprojekt (resp. vor Baubeginn) sind folgende Details zu klären:

- Abklärungen der Verantwortlichkeiten für die Feuerstellen
- Die Waldflächen auf der Uferseite Bösinggen sind Privatbesitz: Das Unterhaltskonzept erfolgt auf Stufe Ausführungsprojekt in Absprache mit dem Amt für Wald und den Eigentümern
- Kontrollen nach grösseren Ereignissen

7.7.3 Unterhalt Landwirtschaftsflächen und Seitenbäche

Das Landwirtschaftsland innerhalb des Gewässerraums wird durch die Bewirtschafter unterhalten. Sie sind gemäss der geltenden Gesetzgebung extensiv zu bewirtschaften. Den Bewirtschaftern werden die Abgeltungen gemäss Landwirtschaftsgesetz für die extensive Nutzung ihrer Flächen entrichtet. Innerhalb des Gewässerraums dürfen keine chemischen Hilfsstoffe und Dünger verwendet werden. Auch darf kein Bau- und Erdmaterial, Holz, Siloballen, Abfälle und keine Fahrzeuge auf dem Uferstreifen zwischendeponiert, resp. abgelagert werden. Der Uferstreifen darf nicht beweidet werden.

Die Zuständigkeit für den Unterhalt des Noflen- und Mülibachs (Gde. Bösinggen) liegen beim Eigentümer. Die bestockten Abschnitte werden zwischen Oktober bis Februar abschnittsweise ca. alle 5 Jahre gepflegt. Pro Gewässerabschnitt werden nie beide Uferseiten im gleichen Jahr ausgeführt. Einige Korb- und Purpurweiden werden durch regelmässigen Schnitt zu Kopfweiden geformt. Diese bieten einen vielfältigen Lebensraum auf kleinster Fläche (Nischen für Höhlen bewohnende Vögel und Fledermäuse sowie Nahrung für Insekten). Schnittmaterial kann als Asthaufen an der Böschungsoberkante deponiert werden. Damit werden Verstecke und Überwinterungsplätze für Kleintiere geschaffen.

Bei Bedarf wird das Abflussprofil ausgeräumt, jedoch höchstens alle 3 bis 5 Jahre. Diese Arbeiten werden in den Monaten August und September ausgeführt. Die Räumungsarbeiten sind schonend auszuführen. Das Aushubmaterial gut abtropfen lassen, ausserhalb der Ufervegetation zwischendeponieren und nach 2 bis 3 Tagen abführen.

Böschungsabschnitte mit Hochstauden sind abschnittsweise (Länge ca. 100 m) in der Zeit zwischen Oktober bis Februar zu mähen. Die Uferabschnitte der Hochstauden sind höchstens alle 3 bis 4 Jahre zu mähen. Der Ufersaum unmittelbar am Wasser (ca. 50 cm) sowie ein Drittel des Pflanzenbestandes pro Uferabschnitt wird stehengelassen. Das Schnittgut wird entfernt.

Die Gewässersohle ist nach Bedarf, jedoch höchstens alle 2 bis 3 Jahre, abschnittsweise zu entkrauten. Die Arbeiten werden zwischen August und September durchgeführt. Das entnommene Material wird abgeführt.

Um der Problematik von Ablagerungen im Gerinne entgegenzuwirken, ist eine systematische Bewirtschaftung der bestehenden Geschiebesammler an den Seitenbächen notwendig. Durch eine konsequente Leerung der Sammler soll möglichst viel Sand im vorgesehenen Rückhalteraum abgelagert werden.

7.7.4 Blockrampen Aufweitung

Wie bereits unter Kap. 7.3.4 erwähnt dürfen die Blockrampen (km 1.390, 1.530 und 1.679) im Rahmen der Ausführungsarbeiten nicht rückgebaut werden. Dies um ein unkontrolliertes Abteufen der Sohle aufgrund der anfänglich fehlenden Dynamik zu verhindern.

Die verbleibenden Schwellen im Bereich der Aufweitung (Flusskilometer 1.390, 1.530 und 1.679) werden nach Abschluss der Realisierung im Rahmen eines Überwachungs- und Unterhaltskonzept laufend überwacht. Sobald die Schwellen die Strömungsverhältnisse negativ beeinflussen (z.B. einseitige Konzentration der Strömung mit Sohlenabsenkung neben der Schwelle) werden die Schwellen rückgebaut. Die entsprechenden Kosten für den nachträglichen Rückbau sind in den Projektkosten in Kap. 8.1.1 aufgeführt.

7.7.5 Verankerungen für Totholz

Im Bereich der Flussaufweitung soll sich Totholz eigendynamisch ablagern. Im Rahmen des Unterhalts sollen die grösseren natürlich abgelagerten Totholzstrukturen verankert werden.

Um die Abflusskapazität nicht einzuschränken, ist die Verankerung von Totholzstrukturen erst zu einem späteren Zeitpunkt nach der eigendynamischen Aufweitung des Flussraums möglich.

7.7.6 Geschiebe Mündung

Die Flussbau AG hat in der „Studie über den Geschiebehaushalt“ [3] von 2007 Abklärungen zur Geschiebeproblematik im Mündungsbereich durchgeführt: Die Studienresultate deuten darauf hin, dass ein erhöhter Geschiebeeintrag in die Sense praktisch keinen Einfluss auf die Sohlenveränderungen der Saane unterhalb der Mündung hat. Bis in die 1980er Jahre wurden regelmässig Kiesbaggerungen durchgeführt. Gemäss den Berechnungen ist der Ablagerungsvorgang im Mündungsbereich weitgehend abgeschlossen und die Sohle hat somit wieder die Ausgangshöhe erreicht. Gemäss Studienresultaten [3] befindet sich der Abschnitt nun wieder im Gleichgewichtsgefälle und es ist keine weitere Erhöhung der Sohlenlage im Mündungsbereich zu erwarten.

Im Rahmen eines Unterhalts- und Überwachungskonzepts sind die Querprofile im Mündungsbereich periodisch oder nach grösseren Hochwasserereignissen zu prüfen. Massgebend für die Überwachung ist das Saane Profil der Flussvermessung bei km 120.800 (GEWISS-Adresse 9.682) sowie die Querprofile der Sense im Mündungsbereich (km 0.026 und 0.067). Als Referenzzustand für die Sohlenlage gilt die Periode 1986 bis 2008 (Periode, nachdem die Sohle den Ausgangszustand wieder erreicht hat). Werden folgende Werte für eine allfällige Sohlenufandung überschritten, sind Interventionsmassnahmen zu prüfen (Veränderung der mittleren Sohlenlage im Vergleich zum Referenzzustand):

- Aufandung in der Saane: +0.5 m (km 120.800)
- Aufandung Sense: +0.3 m (km 0.026 / 0.067)

Dies aus folgenden Überlegungen: Der Rückstau aus der Saane reicht im Hochwasserfall bis zum Fussgängersteg bei km 0.200. Sohlenveränderungen im Mündungsbereich beeinflussen den Abfluss in der Sense ungefähr im gleichen Mass. Das Freibord der Sense im Projektperimeter beträgt 0.8 m, im Bereich von Brücken 1.3 m. Die aufgeführten Veränderungen der Sohlenlage können durch das Freibord abgedeckt werden. In der Ermittlung der Freibordhöhe nach KOHS wurde zudem eine Unsicherheit in der Sohlenlage von 25 cm berücksichtigt.

Als Interventionsmassnahmen kann eine Erhöhung der Transportkapazität im Mündungsbereich geprüft werden. Der Bericht [3] schlägt zwei Massnahmen zur Verminderung von Ablagerungen im Mündungsbereich vor:

- Schaffen einer lokale Einengung im Mündungsbereich
- Erhöhung Abfluss aus dem Stausee Schiffenen

Der Vorteil der aufgeführten Massnahmen besteht darin, dass keine Entsorgungsgebühren für das Material anfallen, da das Kies im Fluss belassen wird. Alternativ ist auch eine Ausbaggerung im Mündungsbereich möglich.

Das Detailkonzept für den Geschiebehaushalt im Mündungsbereich wird im Rahmen des Ausführungsprojekts im Detail erarbeitet. Das Konzept ist mit der Sanierung des Geschiebehaushalts für das Kraftwerk Schiffenen abzustimmen und allfällige Synergien sollen genutzt werden.

8. Kosten

8.1 Projektkosten

8.1.1 Gesamtprojekt

Die Kosten für den Wasserbau wurden auf Stufe Bauprojekt geschätzt und können der Tabelle 8.1 entnommen werden. Die Kostengenauigkeit beträgt +/- 10%. Eine detaillierte Zusammenstellung der Projektkosten für das TP Wasserbau befindet sich im Anhang I .

Im vorliegenden Kostenvoranschlag sind die Leistungen für das TP 3 „Wasserbau“ berücksichtigt. Die Gesamtkosten betragen CHF **22.3 Mio.** inkl. MwSt. Die Aufteilung der Projektkosten für die beiden Verfahren ist in Tabelle 8.1 dargestellt:

Kostenpunkte	WBP [CHF]	PGV 2 [CHF]	Kosten total [CHF]
Baukosten (vgl. Anhang I)	4'566'840.00	9'173'510.00	13'740'350.00
Neubau Verbandskanal ARA-Sensetal	2'200'000.00	1'900'000.00	4'100'000.00
Honorarkosten, Teilphase 41 bis 53 gemäss SIA 103	482'000.00	968'000.00	1'450'000.00
Honorarkosten, bisherige Honorare	155'000.00	205'000.00	360'000.00
Verschiedenes	70'000.00	140'000.00	210'000.00
Total Bau und Honorarkosten (exkl. MwSt.)	7'473'840.00	12'386'510.00	19'860'350.00
MwSt. 7.7%	575'485.70	953'761.30	1'529'247.00
Total Bau- und Honorarkosten (inkl. 7.7% MwSt.)	8'049'325.70	13'340'271.30	21'389'597.00
Landerwerb und Inkonvenienzen	53'000.00	390'000.00	443'000.00
Temp. Beanspruchung landw. Flächen	13'000.00	25'000.00	38'000.00
Risikokosten	125'000.00	251'950.00	376'950.00
Total (inkl. 7.7% MwSt.)	8'240'325.70	14'007'221.30	22'247'547.00

Tabelle 8.1 Projektkosten Wasserbau (gerundet auf Tsd.) nach Verfahren

Dem Kostenvoranschlag liegt die in Kapitel 9.4 beschriebene Materialbewirtschaftung zugrunde. Für die Kostenzusammenstellung wird angenommen, dass ein grosser Teil des Aushubmaterials im Projekt wiederverwertet werden kann. Treffen die in Kapitel 9.4 erwähnten Annahmen nicht zu, ist mit massgebenden Änderungen im Kostenvoranschlag zu rechnen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die angestrebten Aufbereitungsquoten für Kies, Sand, Schoppen und Betonabbruch nicht erreicht werden oder der nicht verwertbare Anteil höher als erwartet ausfällt. In diesen Fällen ist mit zusätzlichen Materiallieferungen, Transporten und Deponiekosten zu rechnen.

Die Einheitspreise der Kostenschätzung basieren auf verschiedenen Unternehmerangeboten von aktuellen Projekten. Dabei wurden vergleichbare Projekte verwendet (Projektgrösse, grosse Erdbewegungen, Materiallieferungen, Ufersicherung etc.). Für die Ermittlung der Baukosten wurden folgende Annahmen getroffen, resp. berücksichtigt:

- Im Vergleich zum Projektstand „Vorprüfung“ wird der Neubau des Verbandkanals ARA-Sensetal dem Wasserbau zugeordnet (vgl. Kap. 3.2). Dadurch steigen die Projektkosten im Wasserbau um CHF 4.48 Mio. exkl. MwSt. (Baukosten CHF 4.1 Mio. und Honorar CHF 380'000).
- Die Betonquader werden als Betonabbruch wiederverwertet, dabei entstehen keine Deponiegebühren.
- Gemäss [5] ist im Bereich „alter Bahnhof“ mit Altlasten zu rechnen. Im Kostenvoranschlag wird davon ausgegangen, dass die Altlasten unter den Gleisen (0.5 m Inertstoffe und 0.5 m Reaktormaterial auf einer Breite von 2.5 m) im Rahmen des Rückbaus der Bahnanlagen erfolgen.
- Die Baukosten enthalten zudem die Unterhaltskosten für den Rückbau der verbleibenden Blockschwellen in der Aufweitung (vgl. Kap. 7.7.4). Der Rückbau der Blockschwellen wird mit ca. CHF 90'000 exkl. MwSt. ohne Honorare veranschlagt (vgl. Anhang I).

Die Aufteilung des Projekts nach Kantone (Bern und Freiburg) ist in der Tabelle 8.2 aufgeführt:

Kostenpunkte	Kosten BE [CHF]	Kosten FR [CHF]	Kosten total [CHF]
Baukosten (vgl. Anhang I)	9'872'250.00	3'868'100.00	13'740'350.00
Neubau Verbandskanal ARA-Sensetal	4'100'000.00	0.00	4'100'000.00
Honorarkosten, Teilphase 41 bis 53 gemäss SIA 103	1'100'000.00	350'000.00	1'450'000.00
Honorarkosten, bisherige Honorare	360'000.00	0.00	360'000.00
Verschiedenes	150'000.00	60'000.00	210'000.00
Total Bau und Honorarkosten (exkl. MwSt.)	15'582'250.00	4'278'100.00	19'860'350.00
MwSt. 7.7%	1'199'833.25	329'413.70	1'529'246.95
Rundungsdifferenzen	0.05	-	0.05
Total Bau- und Honorarkosten (inkl. 7.7% MwSt.)	16'782'083.30	4'607'513.70	21'389'597.00
Landerwerb und Inkonvenienzen	53'000.00	390'000.00	443'000.00
Temp. Beanspruchung landw. Flächen	17'000.00	21'000.00	38'000.00
Risikokosten	271'000.00	105'950.00	376'950.00
Total (inkl. 7.7% MwSt.)	17'123'083.30	5'124'463.70	22'247'547.00

Tabelle 8.2 Projektkosten Wasserbau nach Kantone BE / FR (gerundet auf Tsd.)

8.1.2 Altlasten

Im Bereich der Gleisanlagen (Parzellen 865 und 987) ist mit Altlasten zu rechnen (vgl. Kap. 4.14.1). Im Kostenvoranschlag wird davon ausgegangen, dass das belastete Erdmaterial unter den Gleisen bis in eine Tiefe von 1.0 m unter Terrain im Rahmen des Rückbaus der Bahnanlagen entfernt wird. Gemäss [5] muss ausserhalb dieses Gleiskörpers mit weiteren Altlasten gerechnet werden:

- Inertstoff 1'600 m³ (fest), resp. ca. 2'240 t
- Reaktormaterial 400 m³ (fest), resp. ca. 560 t

Die Entsorgung dieser Materialmengen beläuft sich gemäss [5] auf ca. CHF 130'000 (Abschätzung mithilfe der aufgeführten Entsorgungskosten). Aufgrund der räumlichen Verteilung wird davon ausgegangen, dass nicht sämtliches Material im Aushubbereich des Wasserbaus liegt (Annahme: 50 % des ausgeschiedenen Volumens liegt im Projektperimeter). Die Altlasten sind mit einem Volumen von 1'400 m³ und einem Preis von CHF 50 pro m³ (Transport und Deponiegebühren) im KV berücksichtigt.

8.1.3 Verschiedene Kosten

Unter dem Punkt „Verschiedenes“ sind folgende Kosten exkl. MwSt. berücksichtigt:

- Abfischen ca. 15'000 CHF
- Begleitung Karch ca. 15'000 CHF
- Geometer ca. 20'000 CHF
- Baugrunduntersuchungen / Geologie ca. 15'000 CHF
- Hydrogeologisches Gutachten ca. 80'000 CHF
- Geschiebekonzept Mündung ca. 25'000 CHF
- Kommission Grundstückerwerb Kt. FR ca. 10'000 CHF
- Kanal TV ca. 5'000 CHF
- Analytik Altlasten ca. 10'000 CHF
- Gebühren / Bewilligungen ca. 15'000 CHF

Die Kosten betragen insgesamt CHF 210'000 exkl. MwSt. und werden proportional zu den Baukosten verteilt (BE 72 % und FR 28 %).

Gemäss Auskunft vom Amt für Umwelt (Sektion Gewässer), Kanton Freiburg, gehen die Kosten für die Kommission für Grundstückerwerb zu Lasten des TP 3 Wasserbau.

8.1.4 Risikokosten

Die projektbezogenen Risikokosten inkl. MwSt. sind in der nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Risiko	Beschreibung	Kosten [CHF]	Wahrscheinlichkeit	Erw.-Wert Kosten [CHF]
Projektierung	Verhandlungen aufgrund von Einsprachen aus dem Bewilligungsverfahren.	100'000	50.0 %	50'000
Landerwerb	Keine Einigung mit Grundeigentümer möglich -> Enteignung mit Mehrkosten notwendig.	100'000	50.0 %	50'000
Baugrund	Im Untergrund steht Fels an. Der Uferverbau liegt teilweise im Fels. Eine exakte Prognose zum Felsverlauf ist ohne unverhältnismässigen Aufwand nicht möglich. Annahme: 10% des Aushubs im Fels.	800'000	30.0 %	240'000
Alllasten	Alllasten sind im KV berücksichtigt (vgl. Kap. 8.1.2).	-	-	-
Total Risikokosten (exkl. MwSt.)				350'000
MwSt. 7.7%				26'950
Total Risikokosten (inkl. 8% MWST)				376'950

Tabelle 8.3 Mögliche Projektrisiken

Die Risikokosten werden proportional zur Bausumme auf die Kantone BE und FR verteilt (ca. BE 72 % und FR 28 %).

8.2 Landerwerb

Der Landerwerb wird innerhalb der betreffenden Verfahren für das Wasserbauprojekt festgelegt (Wasserbauplan und PGV 2). Die Flächen in Tabelle 8.4 beziehen sich auf die betroffenen Flächen gemäss Plan Nr. W20 im Projektdossier, sowie den Landerwerbsplänen Nr. B11-1, B11-2 und B11-3 im Dossier - PGV2. Mit den betroffenen Eigentümer fanden Gespräche statt.

Landerwerb Private und öffentliche Institutionen	Kanton BE [m ²]	Kanton FR [m ²]
Landerwerb	11'989	38'933
Vorübergehende Beanspruchung	82'071	26'690
Landerwerb*	5'218	38'933
Vorübergehende Beanspruchung*	13'741	17'079

Tabelle 8.4 Landerwerb Kanton BE und FR

* Ohne Parzellen der Gemeinde Laupen und Bösinggen sowie des Kantons Bern und Freiburg

Insgesamt wird eine Fläche von 159'683 m² (temporär und definitiv) beansprucht. Im Landerwerb für den Kostenvoranschlag werden die Parzellen der Gemeinden Laupen und Bösinggen sowie der Kantone Bern und Freiburg nicht berücksichtigt (entspricht insgesamt 84'712 m²).

8.3 Subventionen

Für die Massnahmen im Kanton Bern sind bei einem Kombi-Projekt Subventionen durch Bund und Kanton von bis zu 95 % möglich. Im Kanton Freiburg sind Subventionen bis zu einem Anteil von 80 % möglich. Bei den Angaben handelt es sich um die maximal mögliche Beteiligung.

Das Projekt hat zudem hohe Chance, weitere Gelder zu erhalten – z.B. RenF (Renaturierungsfonds) die Ökofonds der BKW, EWB sowie Mobiliar-Versicherung usw.

Für ein Projekt mit reinen Hochwasserschutzmassnahmen (z.B. Instandsetzung des Uferverbau) ohne ökologische Aufwertung würden die Subventionen wesentlich tiefer ausfallen: Sowohl der Bund wie auch der RenF beteiligen sich in diesem Fall nicht am Projekt.

8.4 Subventionsberechtigte Kosten

Von den in Kap. 8.1.1 ausgewiesenen Projektkosten sind folgende Punkte nicht subventionsberechtigt:

	Total Kosten [CHF] inkl. MwSt.	Seite BE: nicht beitragsberechtigt	Seite FR: nicht beitragsberechtigt
Neubau Verbandskanal ARA-Sensetal	4'415'700.00	1'987'065.00	0.00
Restliche Werkleitungen	958'530.00	479'265.00	0.00
Gebühren	15'000.00	7'500.00	7'500.00
Total CHF nicht subventionsberechtigt, inkl. MwSt.		2'473'830.00	7'500.00

Tabelle 8.5 Nicht subventionsberechtigte Leistungen

Für die Werkleitungen ist nur der Restwert (Zeitwert) beitragsberechtigt. Für die Leitungen werden folgende Annahmen bezüglich der restlichen Lebensdauer angenommen:

- Verbandskanal ARA-Sensetal: Das Bauwerk wurde 1976 realisiert. Unter der Berücksichtigung einer Lebensdauer von 80 Jahre, verbleibt beim voraussichtlichen Baustart 2020 ein Zeitwert von ca. 45% der ursprünglichen Baukosten.
- Restliche Werkleitungen haben im Mittel die Hälfte ihres Zeitwerts erreicht (Restwert 50%).

Die Werkleitungen liegen vollständig auf Berner Seite. Für die Seite Freiburg sind lediglich die Gebühren massgebend. Die subventionsberechtigten Kosten sind in der Tabelle 8.6 zusammengestellt.

Die Deponiekosten sind subventionsberechtigt, da für das Gesamtprojekt ein Materialbewirtschaftungskonzept MBK erstellt wird (Dokument M3-1 im Master - Dossier). Das MBK umfasst die Teilprojekte Strassenbau (TP 1), Neubau Sensebrücke (TP 2) und das vorliegende Wasserbauprojekt (TP 3).

Kostenpunkte	Kosten BE [CHF]	Kosten FR [CHF]
Total Kosten inkl. MwSt. 7.7%	17'118'083.30	5'156'463.70
Nicht subventionsberechtigte Kosten	-2'473'830.00	-7'500.00
Total (inkl. 7.7% MwSt.)	14'644'253.30	5'148'963.70

Tabelle 8.6 Subventionsberechtigte Projektkosten

9. Bauablauf

9.1 Übersicht Gesamtprojekt

Die sechs Teilprojekte des Gesamtprojekts sind räumlich mit einander verknüpft und stehen in terminlicher Abhängigkeit zu einander. Gewisse Teilprojekte müssen aufgrund ihrer Abhängigkeit parallel zu einander realisiert werden. Das hat zur Folge, dass der Bauablauf des Gesamtprojektes vom Fortschritt der einzelnen Teilprojekte beeinflusst wird.

Das Bauprogramm sowie das Schema Bauablauf ist im Anhang K angefügt.

Der Bauablauf ist abhängig vom Gesamtprojekt. Dieser folgt deshalb nicht dem im Wasserbau üblichen Vorgehen von der Mündung her beginnend stromaufwärts, sondern abschnittsweise.

Zur Realisierung der einzelnen Teilprojekte werden gemeinsame Installationsflächen beansprucht. Der Hauptinstallationsplatz rund 7'500 m² befindet sich in der Gillenau. Er ist über die Baumfahring West erschlossen. Es ist vorgesehen auf diesem Platz eine Aufbereitungsanlage zu installieren, damit die grossen anfallenden Materialmengen vor Ort aufbereitet und z.T. wieder verwendet werden können (vgl. Kap. 9.4 und 10.5.4).

Für den Wasserbau wird zudem eine weitere Fläche von rund 8'500 m² in der Noflenmatte beansprucht. Dieser Platz dient u.a. auch als Zwischenlager von Flussbausteinen und aufbereitetem Aushubmaterial.

9.2 Übersicht Bauablauf Wasserbauprojekt

Der Bauvorgang wird aufgrund des Bauablaufs des Gesamtprojekts vom März 2018 in folgende Abschnitte unterteilt:

- Abschnitt 1 Ufer rechts, oberhalb Brücke bis Perimeter Ende (km 0.780 - 2.100)
- Abschnitt 2 Ufer links, oberhalb Brücke (km 0.780 - 2.130) inkl. Camping und Seitenbäche
- Abschnitt 3 Ufer links, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.680)
- Abschnitt 4 Ufer rechts, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.630)
- Abschnitt 5 Ufer beidseitig, im Bereich der Brücke (km 0.650 - 0.750)
- Abschnitt 6 linkes und rechtes Ufer Mündungsbereich (km 0.000 - 0.118)



Abbildung 9.1 Bauabschnitte Wasserbauprojekt

Der erste Abschnitt wird z.T. zusammen mit der ARA-Leitung realisiert. Anschliessend folgt linksufrig der zweite Abschnitt oberhalb der Sensebrücke. Ungefähr ein halbes Jahr später starten parallel zu diesem Abschnitt die Arbeiten für den Abschnitt 3. Um den vorgegebenen Zeitplan einzuhalten, müssen die Arbeiten für die Abschnitte 2 und 3 grösstenteils parallel ausgeführt werden. Infolge der Bauumfahrung Stedtl und den Arbeiten an der neuen Sensebrücke wird der Abschnitt 4 erst später, resp. nach Abschluss der Arbeiten am Abschnitt 2 in Angriff genommen.

Nachdem die neue Strassenbrücke erstellt wurde, können die Arbeiten auf Abschnitt 5 ausgeführt werden. Nach dem Rückbau der Umfahrungsstrasse West werden schlussendlich noch die Arbeiten im Mündungsbereich (Abschnitt 6) abgeschlossen.

Die Arbeiten an der ARA-Leitung am rechten Ufer auf dem Abschnitt 4 werden nach dem Rückbau des Bahnareals durchgeführt. Die Arbeiten erfolgen ungefähr zeitlich zum Abschnitt 1.

9.2.1 Abschnitt 1: Ufer rechts, oberhalb Brücke bis Perimeter Ende (km 0.780 - 2.100)

Die Erschliessung der Baustelle am rechten Ufer erfolgt über den bestehenden Uferweg, der zu diesem Zweck ausgebaut wird. Der einzige Anschluss an das Strassennetz ist im Bereich der Strassenbrücke möglich. Im Vorfeld sind Rodungen notwendig, damit die Arbeiten im Uferbereich möglich sind.

Für die Erschliessung der Baustelle im Bereich der Aufweitung werden zwei parallele Baupisten erstellt. Die Arbeiten im Gerinne und am Ufer liegen mit 20 bis 30 m relativ weit auseinander und können nicht von derselben Baupiste aus realisiert werden. Die äussere Baupiste folgt dem Verlauf des bestehenden Uferweges. Eine zweite (innere, resp. näher am Gerinne gelegene) Piste ist für den Rückbau des Uferverbaus notwendig. Dazu wird im Gerinne resp. im aktiv aufzuweitenden Uferbereich eine Baupiste zwischen Flusskilometer 1.500 bis ca. 2.100 geschüttet.

Nachdem die Baustellenerschliessung erstellt wurde, werden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Verlegung der ARA-Leitung
- Rückbau der bestehenden Leitung parallel mit der Aufweitung

- Erstellen des rückversetzten Uferverbaus inkl. Wall im Bereich des Reptilienwalls, damit die Reptilien aus dem unteren Abschnitt umgesiedelt werden können
- Um den rückversetzten Uferverbau zu erstellen muss der entsprechende Korridor vorgängig gerodet werden
- Rückbau des bestehenden und Neubau des zurückversetzten und überschütteten Uferverbaus
- Mit dem Rückbau des Uferverbaus wird gleichzeitig das Gerinne verbreitert (aktive Aufweitung und Initialaufweitung)
- Schütten der Kiesinseln mit dem Abtragmaterial aus der aktiven Aufweitung
- Verbreiterung der Blockrampe bei km 0.795 (Reduktion des Längsgefälles, damit die Fischgängigkeit gewährleistet wird)
- Anpassen der bestehenden Blockrampen an die neue Gerinnegeometrie sowie Neubau der Blockrampe bei km 1.000
- Rückbau der Blockrampen km 1.070, km 1.800 und 1.931
- Offenlegen der Seitenbäche und Meteorleitung zwischen dem rückversetzten Uferverbau resp. Uferweg und der Sense

Nach der Fertigstellung der Massnahmen wird die Baupiste zum Unterhaltsweg rückgebaut.

9.2.2 Abschnitt 2: Ufer links, oberhalb Brücke (km 0.780 - 2.130) inkl. Camping und Seitenbäche

Am linken Ufer werden, wie bereits im Abschnitt 1, zwei parallele Baupisten erstellt. Die Arbeiten im Gerinne und am Ufer liegen mit 30 m relativ weit auseinander und können nicht von derselben Baupiste aus realisiert werden. Eine Baupiste folgt dem neu zu erstellendem Damm, die zweite wird im Uferbereich im Gerinne erstellt. Im Bereich der aktiven Aufweitung zwischen km 1.750 und 1.950 kann die Baupiste vom Gerinne in die Uferböschung verlegt werden. Zwischen der Sensebrücke und der Aufweitung (km 0.750 – 1.100) ist aufgrund der Platzverhältnisse lediglich eine Erschliessung der Baustelle im Gerinne möglich.

Vom Gerinne aus werden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Rückbau des bestehenden Uferverbaus
- Neubau des Uferverbaus im Siedlungsgebiet inklusive anpassen der Einleitstelle des Schmutzemattbachs
- Bau der Blockrampe bei km 2.065
- Erstellen der aktiven Aufweitung als Initialmassnahme
- Schütten der Kiesinseln mit dem Abtragmaterial aus der Initialaufweitung
- Erstellen der künstlichen Erosionsnischen

Von der Baupiste entlang des neu zu erstellendem Damms werden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Erstellen des rückversetzten und überschütteten Uferverbaus
- Rückbau bestehendes Entlastungsbauwerk zwischen km 1.128 und 1.228 und Realisierung Bresche
- Realisierung Mündungsbereiche der Seitenbäche (Müli- und Noflenbach) sowie Offenlegung Meteorleitung zwischen km 1.228 und 1.328
- Erstellen des neuen Hochwasserschutzdamms inklusive Uferweg (Fuss- und Fahrweg) und Durchlässe der Seitenbäche

- Bau der neuen Entlastungsbauwerke bei km 1.178 und beim Campingplatz Noflen
- Die Baupisten werden nach der Realisierung der Massnahmen teilweise als Feldweg ausgebaut

Die Arbeiten liegen grösstenteils ausserhalb des Waldgürtels auf den landwirtschaftlichen Flächen. Rodungsarbeiten sind deshalb lokal im Bereich der aktiven Aufweitung und für den Uferverbau respektive den Hochwasserschutzdamm im Anschlussbereich an den bestehenden Uferverbau notwendig. Die Anbindung an das Strassennetz ist oberhalb des Siedlungsgebiets (ca. bei Flusskilometer 1.100) und über diverse Feldwege möglich. Vorgesehen ist allerdings, den Abschnitt 2 über die Baupiste im Gerinne vom Installationsplatz in der Gillenau zu erschliessen.

Im Zusammenhang mit den Arbeiten für den Hochwasserschutzdamm und den Uferverbau werden auf dem Abschnitt relativ grosse Bodenvolumen bewegt. Die Massnahmen werden abschnittsweise erstellt, damit das Volumen der Bodendepots möglichst gering gehalten werden kann. Das Bodenmaterial kann vom nächsten Teilabschnitt zum bereits fertiggestellten Teilabschnitt direkt umgelagert werden, ohne dass ein Zwischen-depot notwendig ist.

Für die Massnahmen im Bereich der Seitenbäche sind separate Baupisten notwendig.

Im Abschnitt 2 werden zudem die Objektschutzmassnahmen für den Camping Noflen und die Massnahmen im Zusammenhang mit den Seitenbächen realisiert.

9.2.3 Abschnitt 3: Ufer links, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.680)

Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse im Siedlungsgebiet erfolgen die Arbeiten auf diesem Abschnitt vom Gerinne aus.

Folgende Arbeiten erfolgen zum Teil parallel zu den Bauarbeiten des Abschnitts 2:

- Rückbau und Ersatz des bestehenden Uferverbaus
- Realisieren der drei Bühnen am Prallufer
- Anpassen der Meteorleitungen aus dem Siedlungsgebiet zwischen km 0.419 und 0.519
- Bau des neuen Hochwasserschutzdamms inklusive Uferweg
- Anschliessend werden die Baupisten zurückgebaut

Das Lichtraumprofil für Lastwagen beträgt maximal 4.5 m¹⁶. Die lichte Höhe unter dem Fussgängersteg reicht aus, um die Baupiste im Gerinne unter der Brücke hindurchzuführen.

9.2.4 Abschnitt 4: Ufer rechts, Hilfsbrücke bis zur Strassenbrücke (km 0.118 - 0.630)

Dieser Abschnitt kann erst nach dem Rückbau der Umfahrung „Stedli“ realisiert werden, da die Umfahrung den Bereich der Aufweitung unmittelbar unterhalb der Sensebrücke tangiert.

Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse im Siedlungsgebiet erfolgen die Arbeiten von km 0.118 bis 0.350 vom Gerinne aus. Im Bereich des alten Bahnareals zwischen km 0.350 und 0.680 wird der Rückbau und Abtrag des Ufers landseitig ausgeführt.

Es sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- Rückbau und Neubau der ARA-Leitung zwischen km 0.197 und 0.630 erfolgt bereits vorgängig im Rahmen des Rückbaus der alten Bahnanlagen
- Rückbau und Ersatz des bestehenden Uferverbaus zwischen km 0.118 und 0.580

¹⁶ Norm SN 640 201, Geometrisches Normalprofil

- Mit dem Rückbau des Uferverbaus wird gleichzeitig das Gerinne verbreitert
- Anpassen der Einleitstelle der Meteorleitungen aus dem Siedlungsgebiet im Bereich km 0.319
- Erstellen und gestalten Flachufer unmittelbar unterhalb der Brücke
- Anpassen der bestehenden Blockrampen an die neue Gerinnegeometrie
- Neubau der Blockrampe bei km 0.547

Anschliessend werden die Baupisten zurückgebaut und der Abschnitt wieder instandgesetzt.

9.2.5 Abschnitt 5: Ufer beidseitig, im Bereich der Brücke (km 0.650 - 0.750)

Nach der Fertigstellung der neuen Sensebrücke werden die ausstehenden Arbeiten im Widerlager- und Uferbereich auf dem Abschnitt abgeschlossen. Die Verlegung der ARA-Leitung im Bereich der Sensebrücke erfolgt vorgängig im Rahmen der Bauarbeiten der Brücke.

9.2.6 Abschnitt 6: Mündungsbereich (km 0.000 - 0.118)

Als letzte Etappe im Wasserbauprojekt sind die Anpassungsarbeiten im Mündungsbereich und der provisorischen Umfahrung bis km 0.118 vorgesehen. Diese Arbeiten können erst durchgeführt werden, nachdem die provisorische Brücke zurückgebaut wurde. Die Objektschutzmassnahmen im Mündungsbereich werden vom bestehenden Uferweg erstellt. Dazu wird der ausstehende Uferabschnitt im Mündungsbereich in das bereits realisierte Ufer integriert:

- Erstellen der Blockrampe bei km 0.067 im Mündungsbereich, um den Absturz unterhalb der Schwelle zu entschärfen (Querung ARA-Leitung und Rohrblock BKW)
- Abflachen und gestalten der Ufer zwischen km 0.067 und 0.118

9.3 Randbedingungen

Die Bauarbeiten für das Wasserbauprojekt wurden terminlich auf die Teilprojekte: Strassenbrücke TP 2, Neubau Bahnhof TP 4 abgestimmt (vgl. Kap. 1).

9.3.1 Gefährdung der Baustelle durch Hochwasser

Die Bauarbeiten im unmittelbaren Gerinnebereich werden sinnvollerweise in der Jahreszeit realisiert, in der die Sense Niedrigwasser führt und die Gefahr von Hochwasser gering ist. Eine Auswertung der monatlichen Maximalabflüsse von 1993 bis 2015 (vgl. Abflussstatistik Station 2179 Thörishaus [15]) zeigt, dass Hochwasser über das ganze Jahr möglich sind. Die meisten Ereignisse mit Abflussspitzen über 50 m³/s treten dabei in den Monaten Mai bis September auf. Gleichzeitig werden die grössten Abflussspitzen (über 200 m³/s) ebenfalls in dieser Periode gemessen.

Selbst in den Wintermonaten traten in der untersuchten Periode diverse Hochwasser mit einem Abfluss von 150 bis 200 m³/s auf. Dies entspricht ca. einem Hochwasser mit der Wiederkehrperiode von fünf Jahren (HQ₅). Die Hochwasserereignisse sind jedoch in den Wintermonaten von Oktober bis April deutlich weniger häufig. Dennoch sind auch in dieser Periode kleinere Hochwasser möglich und folglich Abflussspitzen über 50 m³/s wahrscheinlich.

Die Randbedingungen bezüglich der Hochwassersicherheit für die Hilfsbrücke Umfahrung West und das Bauprovisorium für den Langsamverkehr (TP 1) wurden auf Stufe Bauprojekt ebenfalls festgelegt. Die Hilfsbrücke Umfahrung West ist voraussichtlich rund 2 ½ Jahre und das Bauprovisorium für den Langsamverkehr rund 15 Monate in Betrieb. Dementsprechend müssen allfällige Hochwasserereignisse bei der Wahl

der Brückenkonstruktion berücksichtigt werden. Während der Bauphase wird ein reduziertes Freibord von 0.8 m (vgl. Kap. 5.4.3) und eine reduzierte Bemessungswassermenge HQ_{20} (vgl. Kap. 5.3) berücksichtigt.

Aufgrund der jahreszeitlichen Verteilung der Hochwasser ist es sinnvoll, Arbeiten die im Gerinne ausgeführt werden müssen, in den Wintermonaten zu realisieren.

9.3.2 Rodung

Die Rodungsflächen werden im Rodungsplan ausgewiesen (vgl. Rodungsplan Nr. M4-3 im Master - Dossier sowie B35-2 im Dossier - PGV2). Die Rodungsarbeiten werden im Winterhalbjahr ausgeführt.

Die Rodung wird analog der Baumassnahmen über zwei Jahre aufgeteilt. Im ersten Jahr werden die Rodungsarbeiten oberhalb der Strassenbrücke bis zum Perimeter Ende auf der rechten Uferseite ausgeführt und im folgenden Jahr diejenigen auf der linken Uferseite.

9.3.3 Baupisten im Gerinne

Die Baupisten im Gerinne sind im Hochwasserfall dem strömenden Wasser ungeschützt ausgesetzt. Bei grösseren Abflüssen wird das geschüttete Material weggespült. Während der Dauer der Bauarbeiten ist folglich damit zu rechnen, dass die Baupisten im Gerinnebereich mehrmals instandgesetzt werden müssen.

Die Baupisten im Gerinne werden nach Fertigstellung der Bauarbeiten rekultiviert.

9.4 Materialbewirtschaftung

Für die Bauherrschaft von Grossprojekten gelten im Kanton Bern die Ziele und Grundsätze des Sachplans Abbau, Deponie, Transporte (ADT). Grossprojekte sind Vorhaben mit regionalen oder überregionalen Auswirkungen auf Abbau- und Ablagerungsstellen. Dabei handelt es sich um Bauwerke, die mehr als 100'000 m³ Aushub/Ausbruch generieren.

Für das Projekt wird ein Materialbewirtschaftungskonzept (MBK) gemäss den Vorgaben des kantonalen Sachplans ADT erarbeitet. Das Materialbewirtschaftungskonzept ist Bestandteil des Masterdokuments (Dokument Nr. M3-1). Im Wasserbau wird mit folgenden Materialmengen gerechnet:

Materialanfall (m³ fest):

- Aushub: ca. 129'000 m³
- Wald und Kulturerde: ca. 42'000 m³

Materialbedarf (m³ fest):

- Aushub: ca. 50'000 m³
- Wald und Kulturerde: ca. 42'000 m³
- Schroppen: ca. 14'000 m³
- Blöcke für Uferverbau: ca. 104'000 t

Der grösste Teil des Aushubs, der Wald- und Kulturerde wird innerhalb des Wasserbauprojekts wiederverwertet (z.B. Hinterfüllung, Geländemodellierung). Um Kiesressourcen zu schonen und Transporte zu minimieren soll das anfallende Material möglichst vor Ort aufbereitet und z.B. als Hinterfüllungsmaterial wiederverwertet werden. Es ist vorgesehen, aus dem Aushub der Senseablagerungen unterschiedliche Fraktionen zu gewinnen, die innerhalb des Gesamtprojekts (z.B. Strassenbau, Bettung Werkleitungen usw.) verwendet werden können.

Für ein Volumen von ca. 65'000 m³ besteht keine Verwertung im TP Wasserbau. Eine möglichst hohe Verwertung dieser Materialien im Gesamtprojekt wird angestrebt.

Für die Aufbereitung und Zwischenlagerung von abgebautem Material sind auf dem Installationsplatz Gillenau entsprechende Flächen vorgesehen (vgl. Kap. 10.5.4). Der Installationsplatz in der Noflenmatte dient u.a. als Zwischenlagerung für Aushubmaterial. Durch die Bauumfahrung West ist während der gesamten Bauzeit eine uneingeschränkte Anbindung an beide Uferseiten bzw. an das übergeordnete Verkehrsnetz gewährleistet.

10. Auswirkungen Projekt / Massnahmen

10.1 Hochwasserschutz

Die Abflussquerschnitte sind darauf ausgelegt, dass die in Kapitel 5.3 definierten Hochwasserabflussmengen mit den in Kapitel 5.4 definierten Freiborde durchgeleitet werden können.

Die verbleibenden Gefahren und Risiken werden im Kapitel 11 behandelt.

10.2 Geschiebetransport

Der Geschiebetransport für die Projektgeometrie wurde durch die Flussbau AG berechnet [16]. Die Entwicklung der Sohlenlage wurde für eine Zeitspanne von 40 Jahren simuliert und ist in Abbildung 10.1 dargestellt.

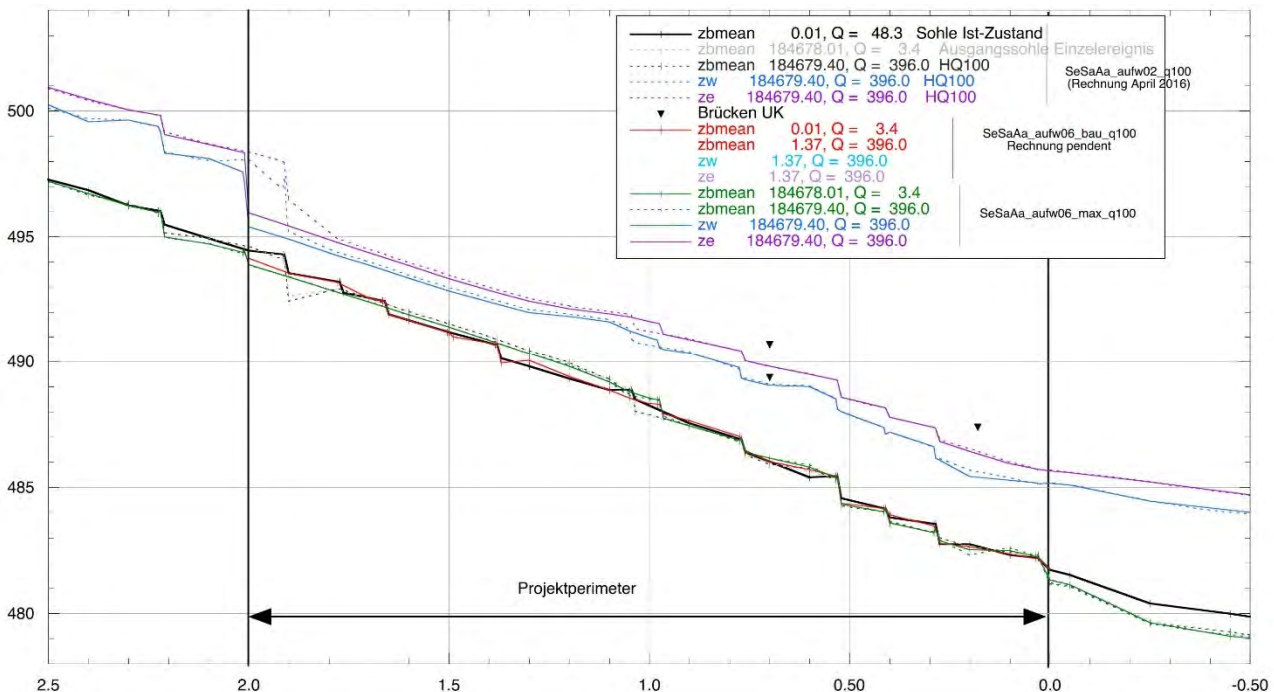


Abbildung 10.1 Entwicklung Sohlenlage [16]

10.2.1 Abschnitt oberhalb des Siedlungsgebietes (Flusskilometer ca. 1.100 bis 2.100)

Durch die Verbreiterung des Gerinnes im Bereich der eigendynamischen Aufweitung sinkt die Transportkapazität, was zu einer Auflandungstendenz auf diesem Abschnitt führt. Dies bestätigen auch die Berechnungen nach [16].

Um die kleinere Transportkapazität zu kompensieren, wird sich längerfristig ein steileres Sohlengefälle einstellen, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand eingestellt hat.

Aufgrund der Auflandungstendenz verlieren die Sohlenfixpunkte ihre Funktion. Auf dem Abschnitt sind die Sohlenfixpunkte somit mittel- bis langfristig nicht mehr notwendig. Obwohl das Sohlengefälle in der Aufweitung zunimmt, bleibt das Gefälle der Aufweitung geringer als das Bruttolängsgefälle des Ausgangszustands (Gefälle unter Berücksichtigung der Schwellen, vgl. Kap. 4.2.2). Folglich vermag die Aufweitung die

zusätzliche Höhendifferenz aufgrund der fehlenden Schwellen nicht vollständig zu kompensieren. In der Folge resultiert zwischen km 1.7 und 2.0 eine leichte Sohlenabsenkung.

Um eine allfällige Sohlenabsenkung oberhalb des Projektperimeters zu vermeiden ist bei km 2.060 ein Fixpunkt am Beginn des Projektperimeters notwendig (vgl. Kap. 13.3).

10.2.2 Abschnitt Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.000 bis ca. 1.100)

Obwohl das Gerinne auch im Siedlungsgebiet leicht verbreitert wird, ist nicht damit zu rechnen, dass die Transportkapazität abnehmen wird. Die Berechnungen zeigen, dass die Sohlenlage auf diesem Abschnitt relativ stabil ist. Die bestehenden Fixpunkte sind jedoch weiterhin notwendig, um Sohlenerosionen zu vermeiden.

10.2.3 Auswirkungen auf die Saane unterhalb der Mündung der Sense

Die Saane wird ca. 4.5 km oberhalb der Sensemündung im Schifensee gestaut. Dadurch hat die Saane tendenziell ein Defizit an Geschiebe, da dieses im See abgelagert wird. Längerfristig ist deshalb mit einer Sohlenabsenkung der Saane unterhalb des Stausees zu rechnen.

Im Gegensatz zur Saane führt die Sense jedoch verhältnismässig viel Geschiebe. Im Falle von Hochwasser der Sense ist es möglich, dass sich in der Folge grössere Mengen an Geschiebe im Mündungsgebiet ablagern. Auflandungen im Bereich des Zusammenflusses sind deshalb zeitweise möglich. Sobald jedoch die Saane Hochwasser führt, wird der Mündungsbereich durch das Hochwasserereignis wieder freigeräumt.

Grobe Vorgaben zur Bewirtschaftung der Geschiebeansammlungen im Mündungsbereich sind im Kapitel 7.7.6 aufgeführt.

10.3 Flussmorphologie

10.3.1 Abschnitt oberhalb des Siedlungsgebietes (Flusskilometer ca. 1.100 bis 2.100)

Auf diesem Abschnitt ist die eigendynamische Verbreiterung der Sense auf eine Breite von 70 bis 80 m vorgesehen. Diese Breite entspricht etwa der natürlichen Gerinnebreite der Sense vor ihrer Korrektur. Die damalige Sense wies gemäss den historischen Karten (Dufour- und Siegfriedkarte, vgl. Kap. 4.5) deutliche Bankstrukturen mit Abschnitten von verzweigten Gerinnen auf. Der historische Gewässerlauf ist in Abbildung 4.5 bis Abbildung 4.8 dargestellt.

Gemäss Kriterien nach Da Silva [25] (und Modifikation von Zarn, 1997) werden sich in der Sense ab einer Breite von 40 m alternierende Bänke und ab einer Gerinnebreite von 60 bis 70 m ein verzweigtes Gerinne bilden. Folglich wird sich im Zuge der eigendynamischen Aufweitung zwischen km 1.100 bis 2.070 ein morphologisch abwechslungsreicher Zustand einstellen. Die Auswirkungen auf die Abschnitte oberhalb des Projektperimeters sind nicht massgebend (vgl. Kap. 7.3.9), da der oberste Abschnitt im Projektperimeter eine Absenkungstendenz aufweist. Damit die Absenkung lokal eingeschränkt wird, befindet sich am Projektperimeterende bei Flusskilometer 2.065 eine Blockrampe.

Im verzweigten Gerinne sind aufgrund von Sekundärströmungen grössere Kolkiefen als in einem vergleichbaren prismatischen Gerinne zu erwarten (vgl. Kap. 13.2.4).

10.3.2 Abschnitt Siedlungsgebiet (Flusskilometer 0.000 bis ca. 1.100)

Die projektierte Breite der Sense variiert im Siedlungsgebiet zwischen 25 m und 40 m. Die Sense hat heute unmittelbar oberhalb von Laupen eine Breite von ca. 30 m. Es zeigt sich, dass sich bei dieser Breite bereits heute ansatzweise alternierende Bänke bilden.

Auf den Abschnitten im Siedlungsgebiet, die breiter als 30 m sind, werden sich voraussichtlich alternierende Bänke bilden.

Durch den Einbau der drei überströmbaren Bühnen unterhalb der neuen Sensebrücke auf der Kurvenaussenseite wird lokal die Variabilität der Morphologie gefördert. Zudem wird im Bereich des Flusskilometers 0.600 ein Flachufer erstellt.

Der Uferverbau wird zudem möglichst abwechslungsreich gestaltet, um die Morphologie im Bereich der Ufer zusätzlich zu erhöhen (vgl. Kap. 7.3.1).

10.4 Ökologie

Die ökologischen Aspekte werden vollumfänglich im Rahmen des Umweltverträglichkeitsberichtes (vgl. Dokument Nr. W41 im Projektdossier) behandelt.

Das Projekt sieht die Wiederherstellung und Verbesserung dynamischer Prozesse durch Aufweitung des Flussbettes vor. Diese Prozesse sind aus Sicht Ökologie sehr erwünscht, da sie bei uns sehr selten zugelassen werden. Dadurch kann meist auch eine Vielzahl selten gewordener und auf solche Prozesse angewiesene Tier- und Pflanzenarten profitieren.

Im bebauten Gebiet bei Laupen überwiegt der Hochwasserschutz. Die Möglichkeiten für Aufweitungen sind begrenzt. Durch die beschränkten Platzverhältnisse und zum Schutz der Siedlung können hier weniger dynamische Prozesse zugelassen werden. Eine Aufwertung im Siedlungsgebiet wird durch eine Aufweitung – soweit dies die Platzverhältnisse zulassen – und durch punktuelle Massnahmen angestrebt (Strukturmassnahmen, Flachufer und Steinbühnen).

10.5 Landwirtschaft

10.5.1 Linke Seite, Aufweitung (Flusskilometer 1.100 und 2.100)

Landwirtschaftlichen Nutzflächen werden hauptsächlich im Bereich der Aufweitung zwischen Flusskilometer 1.100 und 2.100 tangiert. Damit die Subventionen durch den Bund (vgl. Kap. 8.2) gesprochen werden, muss der Sense ausserhalb des Siedlungsgebiets ein Gewässerraum von mind. 100 m zugesprochen werden. Dieser Raum muss dem Fluss zudem für gerinnebildende Prozesse zur Verfügung stehen.

Infrastruktur-Elemente innerhalb des Gewässerraumes werden nicht akzeptiert (vgl. Kap. 5.5). Folglich muss der Gewässerraum so angeordnet werden, dass die Infrastruktur der Bahn ausserhalb des Gewässerraums liegt. Im rechtsgültigen Zonennutzungsplan der Gemeinde Bösinggen ist der Gewässerraum mit einer Breite von 50 m ab Gerinnemitte festgelegt. Im Vergleich dazu resultiert durch das Abstellgleis der Sensetalbahn eine Verschiebung des Gewässerraums in Richtung Süden (Gemeinde Bösinggen) je nach Lage um 3 bis 15 m. Die Bahnbetreiber haben ein Dokument mit dem Nachweis der Standortgebundenheit ausgearbeitet (vgl. Kap. 5.5.3).

Innerhalb des Gewässerraums ist keine intensive Bewirtschaftung erlaubt und der betroffene Bereich gilt nicht mehr als Fruchtfolgefläche (FFF). Insgesamt sind ca. 3 ha landwirtschaftliche Nutzflächen innerhalb des Gewässerraums. Davon liegen ca. 2.3 ha im heutigen nach Zonennutzungsplan geltenden Gewässerraum. Die Differenz beträgt 0.7 ha, die durch das Projekt neu innerhalb des Gewässerraums zu liegen kommen.

10.5.2 Linke Seite, Mündungsbereich (Flusskilometer 0.000 bis ca. 0.200)

Im Bereich der Mündung zwischen Flusskilometer 0.000 bis ca. 0.200 sind weitere landwirtschaftliche Nutzflächen betroffen. Die Massnahmen liegen jedoch innerhalb des gemäss Baureglement gültigen

Bauabstands zur Sense (30 m ab Mittelwasserlinie), resp. innerhalb des ausgeschiedenen Gewässerraums (50 m ab Gewässerachse).

Betroffen sind rund 0.1 ha Kulturland.

10.5.3 Rechte Seite

Auf der rechten Uferseite (Gemeinde Laupen) sind keine landwirtschaftlichen Nutzflächen betroffen.

10.5.4 Installations- / Zwischenlagerflächen

Im Projekt sind zwei Installationsflächen vorgesehen (vgl. Kap. 9.1). Der Hauptinstallationsplatz verfügt über eine Fläche von 7'500 m² und befindet sich in der Gillenau. Für den Wasserbau wird eine weitere Fläche (u.a. als Zwischenlager) von rund 8'500 m² in der Noflenmatte beansprucht.

Die Standorte für die Installations- und Zwischenlagerflächen wurden so gewählt, dass die Zufahrten nicht durch die Siedlung führen. Zudem müssen die Flächen möglichst nahe am Projektperimeter liegen, um die Transportdistanzen kurz zu halten (Minimierung LKW-Fahrten, CO₂-Ausstoss). Aufgrund der Lärmproblematik ist zudem ein minimaler Abstand zum Siedlungsgebiet notwendig.

- Der Installationsplatz in der Gillenau wird über die Umfahrung West erschlossen. Die Linienführung der Umfahrung wurde im TP 1 (Sanierung der Kantonsstrasse) festgelegt und beeinflusst damit massgebend die Lage des Installationsplatzes Gillenau. Gemäss UVB (Dokument W41) sind im Mündungsbereich keine Fruchtfolgeflächen betroffen.
- Die Installations- und Zwischenlagerfläche in der Noflenmatte wird benötigt, da die Fläche in der Gillenau mit einer Distanz von mehr als 1.0 km relativ weit weg liegt und eine zu geringe Lagerkapazität aufweist. Im Bereich Noflenmatte stehen einzig landwirtschaftliche Flächen zur Verfügung im näheren Umfeld zur Verfügung.

10.5.5 Bewässerung

Die Bewirtschafter der landwirtschaftlichen Flächen nutzen heute Wasser aus der Sense für die Bewässerung der Felder. Die Wasserentnahme erfolgt heute direkt aus dem Gerinne mithilfe einer fest installierten Rohrleitung, die zwischen den Betonquader (Uferverbau) verlegt ist.

Im Projekt ist die Wasserentnahme im Uferbereich nicht mehr sichergestellt. Die Sense verfügt im Endzustand voraussichtlich über ein verzweigtes Gerinne, das nicht zwingend dem Uferverbau folgen wird. Um die Bewässerung der Felder sicherzustellen, ist vorgesehen, für die betroffenen Parzellen eine Grundwasserfassung ausserhalb des Gewässerraums zu erstellen. Die technischen Details der Grundwasserfassungen werden im Rahmen des Ausführungsprojekts ausgearbeitet.

10.6 Naherholung und Freizeitnutzung

Die Besucherlenkung und die Abstimmung der Interessen Naturschutz, Wald und Erholung erfolgt in der nächsten Projektphase (vgl. Dokument Nr. 41 im Projektdossier). Im Projekt sind im Zusammenhang mit der Naherholung und der Freizeitnutzung folgende Punkte vorgesehen:

- Als Besucherlenkungsmassnahme werden auf der rechten Uferseite im Bereich der eigendynamischen Aufweitung ausgewählte Abschnitte eingezäunt (vgl. Situationsplan W2-3 im Projektdossier).
- Im Mündungsbereich der Sense befindet sich ein beliebter Badeplatz mit Feuerstelle. Die Zugänglichkeit im Mündungsbereich bleibt uneingeschränkt möglich.

- Durch die Schaffung von Flachufern im Bereich des heutigen Bahnhofareals wird der Zugang zum Gewässer im Siedlungskern erleichtert (vgl. Abbildung 7.2). Im Vergleich zu heute wird hier ein neuer potentieller Erholungsort geschaffen.
- Die bestehenden Velo- und Wanderwege, die durch das Projekt betroffen sind, werden nach den Bauarbeiten instand gestellt oder, wo erforderlich, verschoben und ersetzt. Der Uferweg entlang der Sense am rechten Ufer dient zudem als Unterhaltsweg.

Im Bereich der eigendynamischen Aufweitung überwiegen hingegen die ökologischen Anliegen. Der Zugang wird auf diesem Abschnitt nicht speziell gefördert, so werden beispielsweise keine direkten Zugänge zum Gewässer erstellt. Durch die Ausführungsart des Uferverbau mit einer geschwungenen Form und variablen Böschungen entstehen Bereiche, die etwas weniger gut zugänglich sind (steilere Böschungen) als andere.

10.7 Archäologie

Im Bereich Gillenau (linkes Ufer der Sensemündung) liegen archäologische Fundstätten. Vertiefte Abklärungen mit dem Archäologischen Dienst finden Parallel zur Vernehmlassung, resp. zum Bewilligungsverfahren statt.

Gemäss Auskunft des AAFR (Amt für Archäologie des Kantons Freiburg) wurden bisher keine archäologischen Funde gemacht. Entdeckung von unbekanntem archäologischem Fundgut ist jedoch nicht ausgeschlossen. Das AAFR will die Aushubarbeiten begleiten und ist mind. 3 Werkzeuge vor Beginn der Arbeiten zu benachrichtigen. Im Falle einer Entdeckung behält sich das AAFR vor, eine eventuelle Rettungsgrabung zu unternehmen.

10.8 Wald

Das Thema Wald wird im UVB (Dokument Nr. 41 im Projektdossier) behandelt, die Rodung im Rodungsdossier (Dokument M-4 im Master – Dossier sowie B35 im Dossier – PGV 2). Im Verfahren „Wasserbauplan“ ist kein Rodungsdossier enthalten, da sich im Perimeter des Wasserbauplans keine Rodungsflächen befinden (vgl. Abbildung 1.3 in Kap. 1.3).

Für die Rodungsbilanz wird die theoretische Gerinnebreite bei Mittelwasser benötigt. Diese Breite wird in der Rodungsbilanz als nicht bestockbar betrachtet. Die restliche Breite des Gewässerraums wird als bestockbar betrachtet. Zur Bestimmung der theoretischen Breite (resp. benetzte Breite) wurden folgende Kennzahlen für das Mittelwasser betrachtet:

- Die Ersatzgerinnebreite beträgt zwischen 40 bis 45 m (vgl. Kap. 13.2.7).
- Die Gerinnebreite im HEC-RAS Modell beträgt zwischen 25 bis 35 m
- Die benetzte Breite in Bereichen ohne seitliche Begrenzung beträgt ca. 30 m (Sense oberhalb Thörishaus, Luftbild)

Aufgrund der oben genannten Erwägungen wird die benetzte Breite für das Mittelwasser auf 35 m festgelegt.

11. Verbleibende Gefahren und Risiken

11.1 Überlastfall

Im Überlastfall muss durch eine geeignete Konzipierung der Bauwerke gewährleistet werden, dass es gegenüber dem heutigen Zustand zu keiner Vergrößerung des Schadenpotentials kommt, kein vollständiges Versagen stattfindet und das System insgesamt „gutmütig“ reagiert.

11.1.1 Geprüfte Variante

Eine Entlastung im Überlastfall ist lediglich am linken Ufer möglich. Am rechten Ufer befindet sich die Sensetalbahn, deren Gleise im Überlastfall nicht beschädigt werden sollen. Zudem liegt der Siedlungskern von Laupen am rechten Ufer. Das Schadenausmass am rechten Ufer ist somit deutlich höher als am linken Ufer.

Oberhalb des Siedlungsgebiets wurden verschiedene Abschnitte geprüft, um im Überlastfall eine kontrollierte Entlastungssektion in den Damm zu integrieren. Die mit vernünftigen Mitteln realisierbare Entlastungssektion ist im Kapitel 11.1.2 beschrieben.

Folgende Möglichkeiten erwiesen sich als nicht umsetzbar, da eine Entlastung aufgrund der Sohlenlage und der Topographie nicht machbar ist:

Abschnitt oberhalb Mülibach (ca. km 1.500 bis 2.100):

Mit dem Fortschritt der eigendynamischen Aufweitung stellt sich im oberen Abschnitt eine leichte Sohlenabsenkung ein (vgl. Kap. 10.2.1). Der erwartete Wasserspiegel im Endzustand mit vollständiger Aufweitung liegt verhältnismässig tief im Gerinne. Eine Überlastsektion ist aufgrund der Topographie auf diesem Abschnitt nicht möglich.

Abschnitt Siedlung bis Mülibach (ca. km 1.100 bis 1.500):

Eine Überlastsektion auf dem Abschnitt zwischen Mülibach und dem Siedlungsgebiet ist aufgrund der Dammhöhen möglich. Als Überfallsektion bietet sich der Abschnitt zwischen dem Siedlungsgebiet und dem Mülibach an (ca. km 1.100 bis 1.500).

Das umliegende Gelände ist jedoch nicht geeignet, um das Wasser weiter nach Westen abzuleiten. Vom Hof auf Parzelle Nr. 1258 führt eine natürliche Geländeerhebung nach Nordwesten zur Sense hin. Die Erhebung weist eine Höhe von 492.50 bis 493.00 m ü. M. auf und liegt somit grösstenteils höher als der geplante Sensedamm.

Die Erhebung führt dazu, dass das über die Ufer tretenden Wasser bei einem Extremereignis nicht abfliessen kann und beim Abklingen der Überlastsituation wieder zurück ins Gerinne fliesst (vgl. Abbildung 11.1).

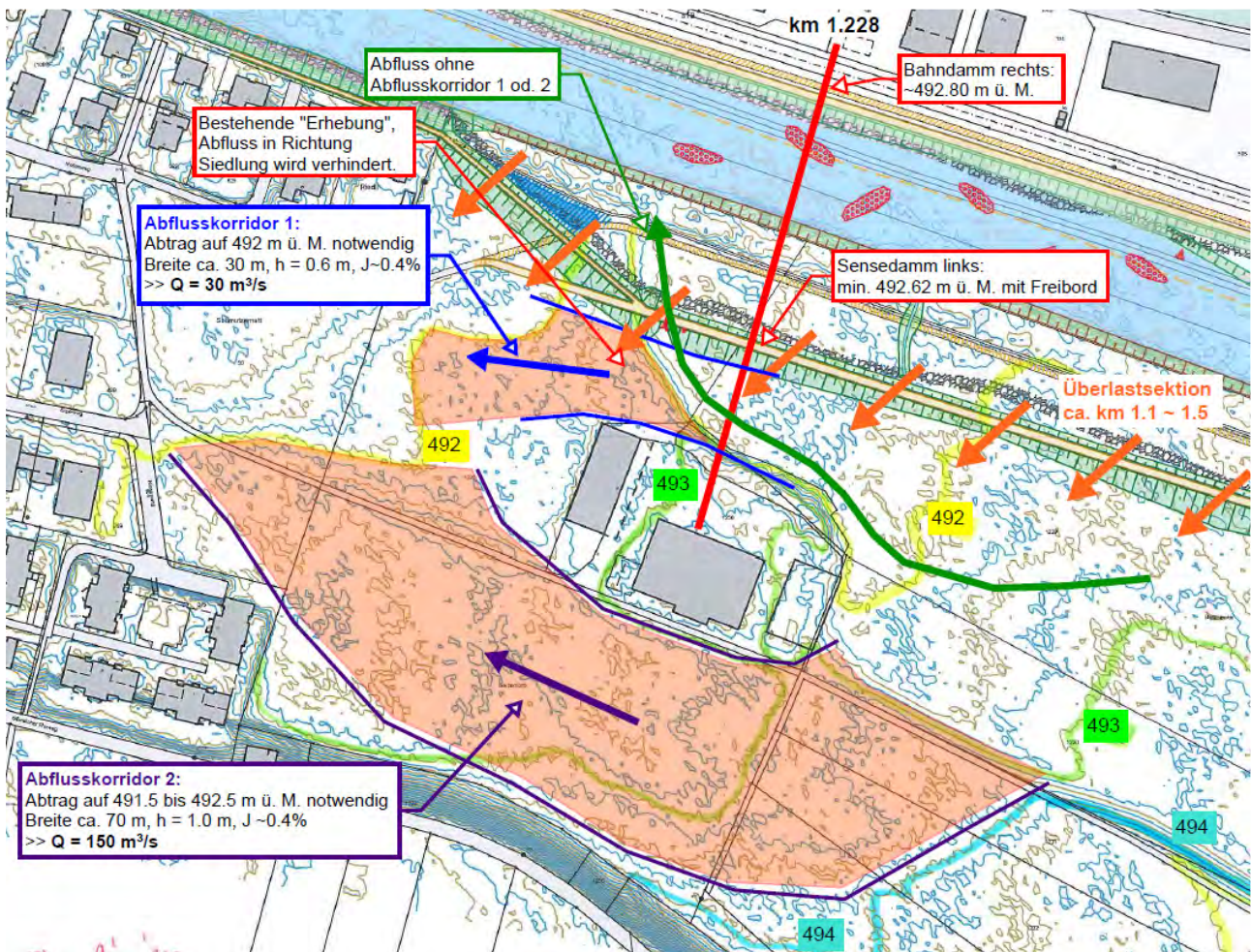


Abbildung 11.1 Überprüfte Variante mit Überlastsektion zwischen km 1.100 bis ca. 1.500.

Damit das Wasser weiter geführt werden kann, sind künstliche Abflusskorridore notwendig. Das natürliche Gelände muss auf den ausgewiesenen Flächen um ca. 1.0 m abgesenkt werden, damit eine ausreichende Abflusskapazität zur Verfügung steht.

Eine solch umfassende Geländemodellierung ist jedoch äusserst negativ für die Projektakzeptanz, insbesondere weil die landwirtschaftlich genutzten Flächen bereits stark beansprucht werden. In Absprache mit dem OIK II wurde deshalb der Überlastfall gemäss Kap. 11.1.2 entwickelt:

- Überlastsektion bei km 1.100 bis ca. 1.200 (Verengungsbereich am Ende der Aufweitung ab Entlastungsbauwerk bis zur Gemeindegrenze Laupen – Bösinggen auf einer Länge von ca. 100 m).
- Der Abschnitt ist mit knapp 100 m für eine Überlastsektion eher kurz. Folglich kann der Damm im Überlastfall wegerodiert werden, um die austretende Wassermenge zusätzlich zu erhöhen.

11.1.2 Überlastfall

Ein Versagen der Dämme – primär infolge einer Überströmung – ist erst bei Abflüssen grösser als HQ_{300} zu erwarten. Dazu wird zwischen km 1.100 bis ca. 1.200 auf einer Länge von ca. 90 m eine Überlastsektion erstellt (Verengungsbereich am Ende der Aufweitung ab Entlastungsbauwerk bis zur Gemeindegrenze Laupen – Bösinggen).

Für den Überlastfall werden folgende Massnahmen berücksichtigt:

- Der Uferweg auf der gegenüberliegenden Seite d.h. am rechten Ufer (QP km 1.128) wird erhöht. Die Überlastsektion am linken Ufer liegt dadurch 30 cm tiefer als das rechte Ufer.
- Der linke Damm wird oberhalb der Überlastsektion (ca. oberhalb von km 1.200) 20 cm höher als die minimale Freibordhöhe erstellt (Freibord von 1.0 m anstelle von 0.8 m). Dadurch wird gewährleistet, dass im Überlastfall das Wasser zuerst im Bereich der Überlastsektion ausströmt.
- Oberhalb der Entlastungssektion liegt das rechte Ufer mit dem Bahndamm mind. 0.3 m (QP km 1.128 und 1.228) bis mehr als 0.5 m (ab QP km 1.426) höher als das linke Ufer.

Für die Überlastsektion ist kein Erosionsschutz vorgesehen. Im Überlastfall kann der definierte Dammabschnitt erodiert werden. Die Abflusskapazität für den Überlastfall wird somit entsprechend erhöht. Es ist mit folgenden Abflussmengen zu rechnen (vgl. Berechnungen im Kap. 13.2.6):

- Beginn Überlastfall mit intaktem Damm:
Der Damm funktioniert als Überfallsektion. Die Aufstauhöhe über der Dammkrone beträgt bis zu 30 cm. Über die Dammkrone mit einer Breite von ca. 90 m können somit bis zu 35 m³/s entlastet werden.
- Nach Erosion Damm:
Durch die Erosion entsteht eine 80 bis 90 m breite Bresche im Damm. Die Abflusshöhe wird durch die Erosion auf 0.6 bis 0.8 m erhöht. Dadurch steigt die Wassermenge, die entlastet werden kann, auf 110 bis 180 m³/s an.

Um die Ausbreitung der Erosion einzuschränken, wird der Uferverbau so ausgelegt, dass ein unkontrolliertes Öffnen der Bresche verhindert wird. Durch den Blockverbau wird die maximale Ausdehnung der Bresche konstruktiv eingeschränkt.

Der Abfluss aus dem Überlastfall folgt dem Gelände nach Westen in Richtung Saane. Dabei wird auch das Siedlungsgebiet von Laupen südlich der Sense durchflossen. Der Abflusskorridor im Überlastfall ist im Anhang J dargestellt.

Die Detailplanung für den Überlastfall erfolgt auf Stufe Ausführungsprojekt. Dies betrifft insbesondere die konstruktiven Details der Überlastsektion, die Notfallplanung (vgl. Kap. 11.3) sowie allfällige Objektschutzmassnahmen an betroffenen Gebäuden.

11.1.3 Weitere Elemente

Gerinne

Das Projekt ist auf dem gesamten Projektperimeter für einen Abfluss HQ₁₀₀ ausgelegt. Zudem ist im Gerinne ein Freibord von mind. 0.8 m vorgesehen. Dies führt dazu, dass selbst bei seltenen Extremereignissen bis HQ₃₀₀ die Abflusskapazität des Gerinnes ausreichend gross ist, jedoch mit reduziertem Freibord.

Der Überlastfall mit dem EHQ ist im Längenprofil und in den Querprofilen abgebildet (vgl. Pläne Nr. W4 und W3-2). Das EHQ mit 610 m³/s kann grösstenteils innerhalb des projektierten Gerinnes abgeleitet werden, jedoch mit reduziertem resp. ohne Freibord. Eine ungenügende Kapazität für den EHQ-Abfluss weist das rechte Ufer abschnittsweise zwischen km 0.200 bis ca. 0.500 auf. Der Wasserspiegel liegt dabei bei km 0.419 maximal 35 cm über dem Ufer.

Schäden im Überlastfall sind deshalb nach der Realisierung der Massnahmen im Vergleich zu heute kleiner. Einerseits führt die Erhöhung des Gerinnequerschnittes mit Freibord dazu, dass im Überlastfall weniger Wasser aus dem Gerinne tritt. Andererseits führt der grössere Abflussquerschnitt der neuen Strassenbrücke dazu, dass das Risiko von Verklausungen durch Schwemmholz deutlich sinkt.

Die Überflutungen nach Massnahmen sind in den Intensitätskarten dargestellt (vgl. Dokument Nr. W50 im Projektdossier).

Bauwerke:

Der Uferverbau und die Blockrampen wurden für die Bemessungswassermenge HQ₁₀₀ ausgelegt. Ein Versagen der Bauwerke im Überlastfall kann nicht ausgeschlossen werden. Das Verhalten des Uferverbaus kann als gutmütig bezeichnet werden. Das Bauwerk kann lokal versagen, durch die nachrutschenden Blöcke stellt sich ein neues Gleichgewicht ein. Ein schlagartiges Versagen des gesamten Bauwerks ist unwahrscheinlich.

Hingegen zeigen klassische, geschlossene Blockrampen im Überlastfall unter gewissen Umständen ein schlagartiges Versagen des gesamten Bauwerks. Im Rahmen des Ausführungsprojekts wird geprüft, ob allenfalls eine Bemessung für den Überlastfall (Abfluss EHQ) sinnvoll und mit verhältnismässig kleinem Aufwand machbar ist. Aus diesem Grund ist im Projekt vorgesehen, die Rampen mit 3 % Gefälle auszubilden (max. Gefälle gem. Bemessung: 5 %, vgl. Kap. 13.2.2)

11.2 Verbleibende Gefahren

Die verbleibenden Überflutungsflächen nach Massnahmen sind in den Intensitätskarten dargestellt (vgl. Dokument Nr. W50 im Projektdossier). Bis zum Abfluss HQ₃₀₀ sind keine Austrittsstellen im Projektperimeter zu erwarten.

11.2.1 Siedlungsgebiet

Die Massnahmen im Siedlungsgebiet (Verbreiterung Gerinne, Flachufer und Anheben Brücke) führen zu einer deutlichen Verbesserung der Hochwassersicherheit für Laupen. Dem Gerinne steht im Hochwasserfall eine ausreichend grosse Abflusskapazität zur Verfügung. Die im Kapitel 7.1.2 beschriebenen Massnahmen können die betroffenen Infrastrukturanlagen und Liegenschaften vor dem Bemessungshochwasser schützen.

11.2.2 Eigendynamische Aufweitung

Die Prozesse, die sich bei einer eigendynamischen Aufweitung abspielen, sind grundsätzlich bekannt. Etliche Faktoren, die diese Prozesse beeinflussen, können aber sehr stark variieren und sind daher für die Modellierung nur sehr ungenau quantifizierbar. Einige Faktoren sind sogar ganz zufällig und somit nicht voraussehbar.

Das Trasse der Sensetalbahn stellt auf dem Abschnitt ein besonders sensibles Objekt dar. Der Abstand der Sense (Gerinne) zum Bahndamm der Sensetalbahn beträgt heute ca. 30 m. Die Rückgriffweite der Ufererosion kann gemäss Gefahrenkarte ohne Uferverbau bis 20 m pro Ereignis betragen [4]. Bereits nach wenigen Ereignissen ist es möglich, dass das Trasse der Sensetalbahn direkt durch Hochwasser gefährdet wird. Den Risiken der eigendynamischen Aufweitung wird damit begegnet, dass das Trasse mit Hilfe eines durchgehenden Uferverbaus geschützt wird.

Durch den Uferverbau auf der linken Seite soll das Gerinne der Sense auch langfristig auf den Gewässer- raums beschränkt werden, um die landwirtschaftlichen Nutzflächen zu schützen und ein Ausuferen der Sense im Hochwasserfall in Richtung Siedlung zu verhindern.

11.3 Notfallplanung

Durch eine Notfallplanung und Notfallorganisation lässt sich das verbleibende Restrisiko auf ein akzeptables Mass reduzieren. Die Hauptverantwortung für die Notfallplanung liegt bei den Gemeinden. Eine Notfallplanung bietet im Ereignisfall die notwendigen Führungs- und Einsatzgrundlagen zum verhältnismässigen Agieren und Reagieren auf die Geschehnisse. Eine Notfallplanung ist im vorliegenden Projekt insbesondere im Zusammenhang mit dem Überlastfall erforderlich.

Ein Konzept für die Notfallplanung ist zusammen mit den Gemeinden Laupen und Bösinggen auf Stufe Ausführungsprojekt resp. im Rahmen der Realisierung des Projekts in Angriff zu nehmen.

11.4 Ungeklärte Gefahren und Risiken

Die linksseitigen Austrittsstellen der Sense bei Hochwasser in der Riedliau (Höhe Schwellihütte) liegen oberhalb des Projektperimeters. Die Folge dieser Ausuferungen ist in erster Linie die Überflutung des Landwirtschaftslandes in der Riedliau (oberhalb Projektperimeter). Durch Objektschutzmassnahmen wird der Camping Noflenmatte vor diesen Ausuferungen geschützt (vgl. Kap. 7.3.8). Ein neues Entlastungsbauwerk beim Camping dient im Überflutungsfall zur Ableitung des durch den bestehenden Sensedamm zurückgestauten Wassers (vgl. Kap. 7.3.9).

Die Austrittsstellen oberhalb des Projektperimeters werden im Projekt jedoch nicht weiter behandelt, da sich diese ausserhalb des Projektperimeters befinden.

12. Nachweis Kostenwirksamkeit

Damit der Kanton und der Bund ein Hochwasserschutz- resp. Revitalisierungsprojekt subventionieren, muss die Wirtschaftlichkeit des Projektes gegeben sein. Die Messgrösse der Wirtschaftlichkeit ist durch das Verhältnis von Nutzen zu Kosten (Nutzen-Kosten-Verhältnis) gegeben. Ein Projekt ist wirtschaftlich, wenn dieses Verhältnis mindestens 1.0 beträgt. Zur Berechnung der Projektwirtschaftlichkeit wurde das vom BAFU entwickelte Online-Berechnungsprogramm EconoMe (Version 4.0) verwendet.

12.1 Untersuchungsperimeter

Der Untersuchungsperimeter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung umfasst alle Gebäude und Infrastrukturanlagen (Strassen, Schienen und Werkleitungen), die Landwirtschaft sowie Wald und Grünanlagen, die bei einem HQ₃₀ bis HQ₃₀₀ vom Hochwasser betroffen sind. Die Intensitätskarte für das Ereignis HQ₃₀₀ vor Massnahmen für Wassergefahren ist auszugsweise in Abbildung 12.2 dargestellt (aus [4]).

Der Perimeter ist in der Abbildung 12.1 dargestellt.

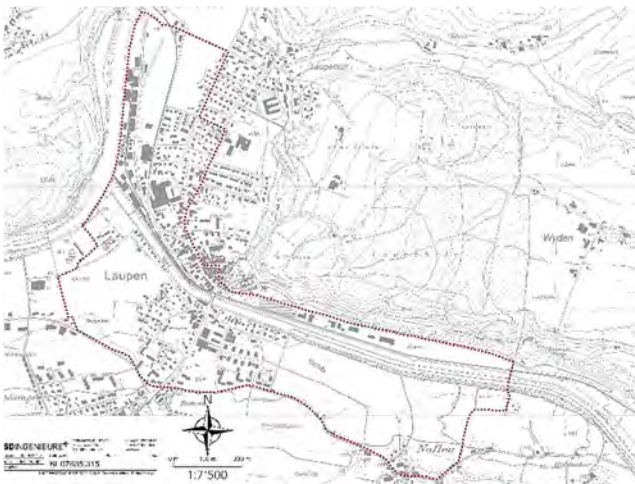


Abbildung 12.1 Untersuchungsperimeter EconoMe

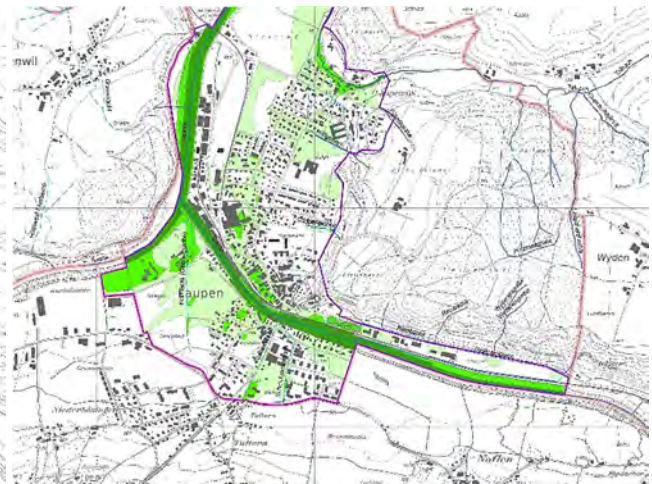


Abbildung 12.2 Intensitätskarte für Wassergefahren vor Massnahmen, Wiederkehrperiode 300 Jahre [4]

12.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung

12.2.1 Schadenspotential und Schadenausmass

Das Schadenspotential wurde in EconoMe ermittelt. Dabei wurden die Hochwasserszenarien für ein 30-, 100-, 300-Jähriges Ereignis sowie das Extremszenario HQ₁₀₀₀ (EHQ) betrachtet. Als Grundlage zur Beurteilung, welche Objekte bei welchem Ereignis wie stark betroffen sind, dienten die Intensitätskarten für die Ereignisse HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ der Gefahrenkarte (vgl. Dokument [4]). Die betroffenen Objekte wurden anlässlich einer Begehung vor Ort aufgenommen und verifiziert.

Das Schadenpotential im betrachteten Projektperimeter beläuft sich für Personen und Sachwerte auf CHF 8.3 Mia. (vgl. Ereignisübersicht „Übersicht Schadenpotential“ aus EconoMe im Anhang C).

Das Schadenausmass hängt vom entsprechenden Szenario ab. Für den Projektperimeter wurden folgende Werte ermittelt:

- Szenario HQ₃₀ 0.11 Mio. CHF

- Szenario HQ₁₀₀ 10.95 Mio. CHF
- Szenario HQ₃₀₀ 29.24 Mio. CHF
- Szenario HQ₁₀₀₀ 29.95 Mio. CHF (entspricht EHQ)

Da für das Szenario HQ₁₀₀₀ vor Massnahmen keine Grundlagen (Intensitätskarten) zur Verfügung stehen, wurde in Absprache mit dem OIK II annähernd identische Ausgangswerte wie für das Szenario HQ₃₀₀ verwendet. Folglich resultiert für beide Szenarien HQ₃₀₀ und HQ₁₀₀₀ ein ähnliches Schadenausmass (vgl. Aufzählung oben). Diese Abschätzung führt zu einer Unterschätzung des Schadenausmasses für das Szenario HQ₁₀₀₀, da die Überflutungsflächen für das HQ₁₀₀₀ vermutlich deutlich grösser als für das HQ₃₀₀ sind.

12.2.2 Ergebnisübersicht

Die jährlichen Investitionskosten setzen sich aus den Baukosten (Investitionskosten), den Unterhalts-, sowie den Betriebskosten unter Berücksichtigung des Zinsfusses zusammen. Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden die Massnahmen im Siedlungsgebiet und die Aufweitung separat berechnet:

- Massnahmen Siedlungsgebiet (Hochwasserschutz), km 0.000 bis km 1.028
- Massnahme Aufweitung (ökologische Aufwertung), km 1.028 bis 2.130

Die Massnahmen im Siedlungsgebiet umfassen hauptsächlich Hochwasserschutzmassnahmen. Die Aufweitung stellt hingegen in erster Linie eine ökologische Aufwertung dar. Die Baukosten für den Neubau der Kanalisation werden in der EconoMe-Berechnung nicht berücksichtigt, der Neubau der ARA-Leitung grösstenteils nicht subventionsberechtigt ist (vgl. Zeitwert in Kapitel 8.4).

Gemäss Anhang I machen die Kosten für den Abschnitt im Siedlungsgebiet 52 % der Baukosten im Projekt aus. Unter der Berücksichtigung der Honorarkosten fallen auf dem Abschnitt somit Investitionskosten von CHF 8.2 Mio. an (51 % der „Total Bau- und Honorarkosten“ gemäss Tabelle 8.1). Die jährlichen Investitionskosten betragen CHF 175'000. Das Kosten-Nutzen Verhältnis ist für diese Massnahmen mit einem Verhältnis von 1.0 knapp genügend.

Das Schadenausmass vor Massnahmen wird für das Extremszenario HQ₁₀₀₀ in der Berechnung jedoch unterschätzt (vgl. Kap. 12.2.1). Vermutlich liegt das effektive Kosten-Nutzen Verhältnis für die eingesetzten Projektkosten höher.

Die Resultate aus der EconoMe Auswertung sind im Anhang C zusammengestellt, die wichtigsten Resultate sind in Tabelle 12.1 abgebildet.

Kosten	Resultate	Einheit
Investitionskosten	8'200'000	CHF
Jährliche Unterhaltskosten	11'000	CHF/a
Massnahmenkosten pro Jahr	175'000	CHF/a
Risiko vor Massnahmen pro Jahr	173'671	CHF/a
Risiko nach Massnahmen pro Jahr	6'557	CHF/a
Kosten Nutzen Verhältnis	1.0	

Tabelle 12.1 Zusammenfassung Resultate EconoMe

13. Technische Nachweise

13.1 Abflussberechnung

Die durchgeführten hydraulischen Abflussberechnungen für die Bemessungswassermenge HQ_{100} sind im Anhang G 1 und 2 zusammengefasst. Die Wasserspiegellage der Sense wurde sowohl für den IST-Zustand als auch für den Endzustand für die Bemessungswassermenge HQ_{100} berechnet:

- Die Berechnung für den Ist-Zustand wurde mit der Software HEC-RAS durchgeführt.
- Die Berechnungen der Flussbau AG zeigen die Wasserspiegel- und Sohlenentwicklung für den Endzustand der Aufweitung für die Bemessungswassermenge HQ_{100} . Die Berechnung berücksichtigt die eigendynamische Aufweitung, die Sohlenentwicklung über eine Zeitdauer von 40 Jahren nach Massnahmen.

Die Berechnungen für den Endzustand zeigen, dass im Bereich der eigendynamischen Aufweitung teilweise eine Auflandungstendenz vorhanden ist (vgl. Kap. 13.3). Obwohl lokal mit einer Auflandung von max. 70 cm zu rechnen ist, liegen die berechneten Wasserspiegel im Vergleich zum Ausgangszustand tiefer. Die Berechnungen zeigen zudem, dass die Massnahmen keinen wesentlichen Einfluss auf die Sohle- und Wasserspiegellagen oberhalb des Projektperimeters haben.

Die Wasserspiegellagen für das EHQ wurden im Siedlungsgebiet mit der Software HEC-RAS und im Bereich der Aufweitung mit der Abflussformel nach Strickler ermittelt.

13.2 Wasserbau-Elemente

13.2.1 Blocksatz

Der Blocksatz wurde mithilfe der Methode von Stevens et al. (1976) bemessen. Die Bemessung erfolgt mit der maximalen Neigung von 2:3 (Verhältnis vertikal zu horizontal), für flachere Böschungsneigungen fällt die Sicherheit höher aus. Die Berechnung für die notwendige Blockgrösse befindet sich im Anhang G 5.

Für den Uferverbau wird ein Sicherheitsfaktor von mindestens $F = 1.20$ angestrebt. Die Berechnung ergibt für die Blöcke einen notwendigen Durchmesser von mind. 1.0 m. Dies entspricht einem Blockgewicht von ca. 1.5 bis 2.0 Tonnen. Um die innere Erosion des Blocksatzes zu vermeiden ist eine Filterschicht notwendig. Die Filterschicht hat eine Mächtigkeit von 30 bis 40 cm, der mittlere Korndurchmesser beträgt $d_m = 0.12$ bis 0.15 m (Filterkriterien nach Terzaghi – Peck). Im Kolkbereich sind grössere Blöcke mit einem Gewicht von mind. 2 bis 4 t zu verwenden.

Der Blocksatz wird 2.0 m unter die mittlere Flusssohle fundiert.

13.2.2 Blockrampen

Geschlossene, klassische Blockrampe

Die Blockrampen werden nach der Methode von Whittaker und Jäggi (1986) bemessen (vgl. Anhang G 6). Gemäss den Berechnungen reichen für eine klassische Blockrampe mit einem maximalen Gefälle von 5.0 % Blöcke mit einem mittleren Durchmesser von 0.8 m (entspricht ca. 900 kg). Diese Resultate werden durch tabellierten Werte gemäss den Blockrampen Normalien gestützt [28]. Für geschlossene, klassische Blockrampen werden Blöcke mit einem Gewicht von mind. 1.0 Tonnen empfohlen (spezifischer Abfluss $q = \text{ca. } 12 \text{ m}^3/(\text{s m})$ und Gefälle $J = 4.0$ bis 5.0 %).

Unter der Blockrampe ist eine Filterschicht notwendig, um das Herauswaschen des feineren Untergrundmaterials zu vermeiden (innere Erosion). Die Filterschicht hat eine Mächtigkeit von 40 cm, der mittlere Korndurchmesser beträgt $d_m = 0.10$ bis 0.15 m (Filterkriterien nach Terzaghi – Peck).

Die erwartete Kolkentiefe unterhalb der Blockrampe beträgt 2.5 m.

Aufgelöste Blockrampe

Unterhalb der Aufweitung bei km 1.000 wurde als Ersatz für die Schwelle bei km 1.070 eine aufgelöste, strukturierte Blockrampe untersucht. Aus ökologischen Gesichtspunkten ist eine aufgelöste Blockrampe der geschlossenen Blockrampe vorzuziehen (Fischdurchgängigkeit, natürlichere Sohle). Das Versagen im Überlastfall ist bei der aufgelösten Blockrampe gutmütiger als bei der geschlossenen Blockrampe.

Für die aufgelöste Blockrampe wurde die Berechnungsmethode nach Tamagni (2013) und nach Whittaker (1986) durchgeführt. Beide Methoden zeigen jedoch, dass die Stabilität einer aufgelösten Blockrampe nur unter bestimmten Bedingungen erfüllt werden kann:

- Gemäss Whittaker sind Blöcke mit einem minimalen Durchmesser von 1.8 m notwendig. Ein Gefälle von 2.0 % darf nicht überschritten werden.
- Gemäss Tamagni sind kleinere Blöcke von 0.8 m möglich, jedoch muss das Gefälle der Rampe auf 1.3 % limitiert werden.

Aufgrund der oben genannten Kenngrössen (Blockgrösse und Rampenneigung) stellen aufgelöste Blockrampen keine ideale Lösung dar. Blöcke mit Durchmesser grösser als 1.5 m (Gewicht ca. 5.0 t) sind unverhältnismässig gross. Blockrampen mit einem Gefälle von weniger als 3.0 % führen zu unverhältnismässig langen Rampen mit Längen von mehr als 20 m.

Das Problem bei der Bemessung von aufgelösten Blockrampen stellt das Sohlenmaterial der Sense dar. Der mittlere Durchmesser d_m beträgt auf dem Projektabschnitt lediglich ca. 5 cm resp. 12 cm für d_{90} . Um das Auswaschen von Untergrundmaterial und das Abgleiten von Blöcken zu vermeiden, muss die Grösse der Blöcke beschränkt werden: Die max. Blockgrösse beträgt ca. 1.2 m.

Weitaus realistischere Kennwerte (Blockgrösse und Rampenneigung) erhält man bei einer Modifikation des Sohlenmaterials. Dazu muss der mittlere Durchmesser d_m des Sohlenmaterials auf 60 cm erhöht werden. Die Berechnungen zeigen, dass Einzelblöcke mit einem mittleren Durchmesser von ca. 1.2 m eine ausreichend grosse Stabilität aufweisen (vgl. Anhang G 6). Das betrachtete Gefälle beträgt 4.0 %. Für die Berechnung wird angenommen, dass das Blockmodell nach Whittaker et al. (1988) ansatzweise gültig ist. Unter dem modifizierten Sohlenmaterial (mit $d_m = 60$ cm) ist eine Filterschicht notwendig (innere Erosion). Die Filterschicht hat eine Mächtigkeit von 40 cm, der mittlere Korndurchmesser beträgt $d_m = 0.12$ bis 0.15 m (Filterkriterien nach Terzaghi – Peck).

Da die Bemessung von aufgelösten Blockrampen mit grossen Unsicherheiten verbunden ist, empfehlen wir die Fixpunkte mit klassischen Blockrampen zu realisieren.

13.2.3 Aufweitung

Die Erkenntnisse für die eigendynamische Aufweitung stützen sich auf eigene Berechnungen (Anhang G 8), welche durch das Modell der Flussbau AG (Anhang H) gestützt werden.

Die Länge des Erweiterungsbereich L_w beträgt nach Hunzinger (1998) gut 100 m. Die Ufer auf dem Erweiterungsbereich sind relativ schwach beansprucht. Der Uferverbau kann in dieser Zone bei Bedarf weniger hart ausfallen.

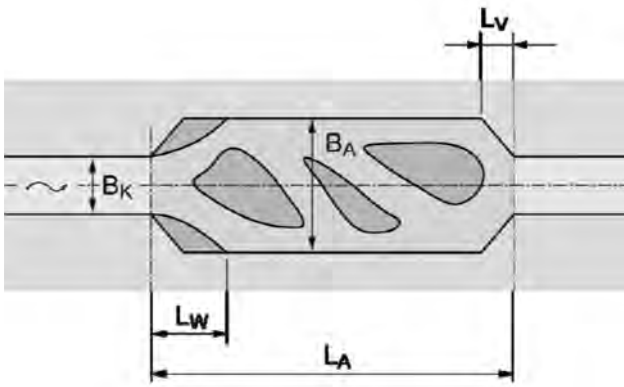


Abbildung 13.1 Prinzipskizze Aufweitung: Situation (Quelle: [26])

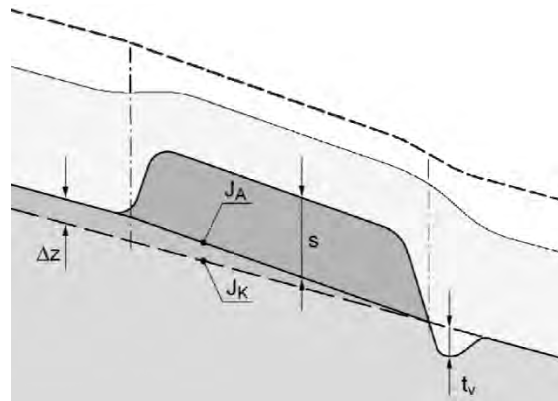


Abbildung 13.2 Prinzipskizze Aufweitung:Längenprofil (Quelle: [26])

Die maximale Kolkentiefe t_v im Bereich der Verengung beträgt nach Hunzinger 3.0 bis 4.0 m. Der Uferverbau muss an dieser Stelle bis unter die berechnete Kolkentiefe verstärkt ausgebaut werden. Die Kolkentiefe hängt u.a. vom Verengungswinkel ab. Im Projekt wird mit 20° ein relativ kleiner Winkel gewählt, um die Verengung möglichst ohne abrupte Änderungen auszugestalten. Der Berechnungsansatz beruht jedoch auf einer symmetrischen Geometrie. Da die Verengung jedoch im Projekt einseitig ist, kann die Kolkentiefe auch grösser sein.

Der vertikale Versatz s wurde im Modell der Flussbau AG berechnet. Der Versatz beträgt bis zu 0.8 m. Im Modell ist ersichtlich, dass sich der Versatz am oberen Ende der Aufweitung an die bestehende Sohle angleicht. Somit ist oberhalb der Aufweitung nicht mit einem Anstieg des Wasserspiegels zu rechnen.

13.2.4 Kolkentiefe im verzweigten Gerinne

Die maximale Kolkentiefe t_L des Längsverbaus im Bereich der Aufweitung beträgt nach [30] im verzweigten Gerinne 4.5 m. Die zu berücksichtigende Kolkentiefe ergibt sich aufgrund der möglichen Querströmungen in der Aufweitung.

Eine durchgehende Fundationstiefe von 4.5 m für den Uferverbau führt zu unverhältnismässig hohen Kosten. Die Blocklieferungen stellen bereits mit dem im Projekt vorgesehenen Verbau mit einer Fundationstiefe von 2.0 m eine massgebende Kostenposition dar. Eine Erhöhung der Fundationstiefe führt zu deutlich höheren Projektkosten und ist somit nicht wirtschaftlich.

Aus den Baugrunduntersuchungen kann geschlossen werden, dass die Lage der Felsoberfläche für den Uferverbau vorteilhaft ist. Der Fels wurde in der Regel in einer Tiefe von 2 bis 4 m ab OK Terrain aufgeschlossen. Die Felsoberfläche liegt somit nur wenige Meter unter der mittleren Sohle der Sense (ca. 1 bis 2 m). Ein allfälliger Kolk kann folglich eine Tiefe von 4.5 m aufgrund der Felsoberfläche nicht erreichen.

Nach grösseren Hochwasserereignissen ist der Uferverbau auf Schäden zu prüfen. Bei Bedarf sind allfällige Interventionsmassnahmen in die Wege zu leiten, um den Schaden zu begrenzen.

13.2.5 Erosionsschutz mit Bewuchs

Der Blocksatz wird nur bis ca. 1.0 m unter die Bemessungswasserlinie hochgezogen. Die verbleibende Höhe von 1.0 m bis zum erwarteten Wasserspiegel wird durch Bewuchs gesichert. Gemäss Fachliteratur [27] liegen die zulässigen Grenzwerte für die Schubspannung für Bewuchs (z.B. Weiden, Weidenspreitlagen) bei 100 bis 150 N/m².

Der Nachweis erfolgt nach Formel (13.11) aus [27]:

$$h_{Grenz} \leq \frac{\tau_{Grenz}}{\rho g J} = \frac{100 - 150 \frac{N}{m^2}}{1'000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0062} = 1.6 - 2.4 \text{ m}$$

Das Bruttolängsgefälle der Sense beträgt 0.62 % (vgl. Kap. 4.2.2). Aufgrund von lokal konzentrierten Strömungen (verzweigtes Gerinne) wird h_{Grenz} auf 1.0 bis 1.2 m begrenzt.

13.2.6 Überlastsektion

Die Überlastsektion mit intaktem Dammb funktioniert als Überfallkante. Über die Überlastsektion können ca. 35 m³/s entlastet werden. Die Überfallkante weist folgende Eigenschaften auf:

- Länge der Überfallsektion: 90 m
- Beiwert Überfall: 0.49 (breite Kante)
- Wasserhöhe über Dammkrone: 0.30 m
- Strömungsgeschwindigkeit: 1.5 m/s (die Überfallkante wird leicht schräg angeströmt)

Sobald die Überfallsektion vollständig überströmt wird, bildet sich aufgrund der Erosionen eine Bresche. Zur Berechnung der ausströmenden Wassermenge wird ein fiktiver Kanal mit einer Breite von 90 m angenommen. Durch die Bresche, resp. den Kanal kann eine Wassermenge von 110 bis 180 m³/s abgeleitet werden. Für den Kanal werden folgende Eigenschaften angenommen:

- Annahme: gleichförmiger, stationärer Abfluss (Abfluss nach Strickler)
- Mittleres Gefälle Terrain: 1.0 %
- Kanalbreite: 90 m
- Strickler-Beiwert: 30 m^{1/3}/s
- Abflusshöhe: 0.6 – 0.8 m (Erosion begrenzt durch Blöcke)

Die entsprechenden Berechnungen für den Überlastfall sind im Anhang G 10 zusammengestellt.

13.2.7 Ersatzgerinnebreite

Der Querschnitt eines verzweigten Gerinnes mit mehreren Teilgerinnen kann in einem Ersatzgerinne mit gleicher Wasserspiegelbreite b_w und ebener Sohle zusammengefasst werden. Dazu kann beispielsweise das Ersatzverfahren nach Zarn angewendet werden. Nachfolgende wird das Ersatzgerinne für den Mittelwasserabfluss bestimmt.

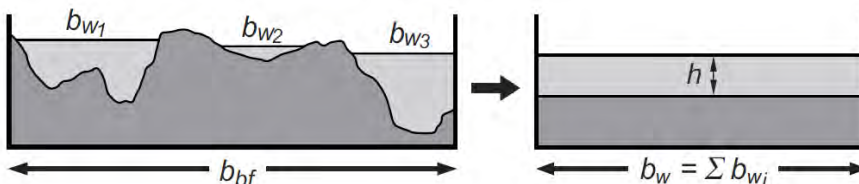


Abbildung 13.3 Konzept Ersatzgerinneverfahren nach Zarn

Zum Abschätzen der Ersatzgerinnebreite wurde der dimensionslose morphologische Parameter M_{bw} verwendet (vgl. VAW Mitteilung Nr. 199, Seite 143 [24]). Der Parameters beträgt für die Sense im Projektabschnitt ca. $M_{bw} = 1.05$.

$$M_{bw} = \frac{b_{bf}^{0.65} d_m^{0.25} J^{0.3} g^{0.18}}{Q^{0.36}} = \frac{75^{0.65} 0.05^{0.25} 0.006^{0.3} 9.81^{0.18}}{10.5^{0.36}} = 1.05$$

- Angenommene Breite b_{bf} 70 m
- Mittlerer Korndurchmesser d_m 0.05 m
- Gefälle Sohle J 0.6 %
- Mittelwasserabfluss 10.5 m³/s

Gemäss Abb. 6.13 in [24] weist der Faktor b_w/b_{bf} für den Parameter $M_{bw} = 1.05$ einen Wert von ca. 0.6 auf. Die berechnete Ersatzbreite beträgt folglich $0.6 \cdot 70 \text{ m} = 42 \text{ m}$. Die effektive Ersatzbreite ist vermutlich etwas kürzer, da bei Mittelwasser nicht eine Breite von 70 m durch den Abfluss genutzt wird (verzweigtes Gerinne).

Die Ersatzbreite dient als Grundlage für die Erarbeitung der Rodungsbilanz (vgl. Kap. 10.8).

13.2.8 Stabilität Böschung

Die Böschungstabilität wurde für das Profil bei km 0.621 berechnet (vgl. Anhang G11). Die Stabilität ist mit einem Wert von 1.05 gewährleistet (notwendig ist ≥ 1.0 nach Norm SIA 267). Um die erforderliche Stand-sicherheit zu gewährleisten, muss der Blockverbau für steilere Böschungen mit einer Neigung gleich resp. grösser als 3:2 (Verhältnis vertikal zu horizontal) in Hinterbeton erstellt werden.

13.3 Geschiebe

Die Berechnungen zum Geschiebehaushalt auf dem Projektabschnitt wurden durch die Flussbau AG durchgeführt. Die Resultate für die Geschiebeberechnung sind im Anhang H zusammengestellt. In der Berechnung wurde eine vollständige Aufweitung mit einer Breite von bis zu 80 m berücksichtigt.

Die wichtigsten Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Geschiebeberechnung sind:

- Die Sohlenbewegungen im Siedlungsgebiet (ca. km 0 bis 1.000) sind verhältnismässig gering (kleiner als +/- 30 cm).
- Im Bereich der Aufweitung findet eine Angleichung des Sohlengefälles statt. Zwischen km 1.000 bis 1.600 zeigen die Berechnungen tendenziell eine Auflandung von 0 bis 70 cm. Auf dem obersten Abschnitt zwischen km 1.600 und 2.000 wird sich die Sohle voraussichtlich absenken (ca. 0 bis 70 cm).
- Die Blockrampe unterhalb der Schwelle bei km 0.067 (Rohrblock BKW) ist notwendig, um einen Absturz zu vermeiden. Das Geschiebedefizit der Saane führt dazu, dass sich der Mündungsbereich im Falle eines Saane-Hochwassers mittel- bis langfristig absenkt.
- Die Sohlenfixpunkte zwischen km 1.100 und der Mündung in die Saane sind notwendig, um die Höhendifferenz zu überwinden. Die bestehenden Fixpunkte sollten in einer vergleichbaren Grössen-ordnung beibehalten und entsprechend der geplanten Gerinnebreite ausgebaut werden.
- Die Fixpunkte zwischen km 1.100 und 1.900 können durch das grössere sich einstellende Gefälle grösstenteils kompensiert werden. Die Fixpunkte sind somit im Bereich der Aufweitung langfristig nicht zwingend notwendig, da die Sohle eine Auflandungstendenz aufweist.

- Bei Beginn des Projektperimeters (ca. km 2.000) ist ein Sohlenfixpunkt notwendig, damit die eigendynamische Aufweitung nicht zu einer Sohlenabsenkung oberhalb des Projektperimeters führt.
- Oberhalb des Projektperimeters ist keine Auflandung, resp. Absenkung der Sohle zu erwarten. Der Wasserspiegel wird oberhalb der Aufweitung nicht massgebend verändert.

13.4 Temporärer Zustand Aufweitung

Für die Bemessung der Dammkote und die Ansatzhöhe des Uferverbau ist im Bereich der Aufweitung nicht nur der Endzustand massgebend. Folgendes Szenario muss berücksichtigt werden:

- Der Uferverbau ist rückgebaut. Durch die fortschreitende Seitenerosion hat sich das Flussbett – zumindest stellenweise – bis zum bestehenden Damm ausgebreitet. Stellenweise wurde der bestehende Hochwasserschutzdamm durch Hochwasserereignisse wegerodiert.

Der Zustand ist im Anhang B abgebildet. Das Gerinne ist mit der neuen Erosionsfläche bis zu 20 m breiter als im Ausgangszustand. Der Wasserspiegel des temporären Zustands ($HQ_{100(\text{Erosion})}$) ist noch deutlich höher als derjenige im Endzustand. Insbesondere auf dem Abschnitt oberhalb von ca. km 1.426 ist der temporäre Zustand entscheidend, da erst im Endzustand ein deutlich tieferer Wasserspiegel ($HQ_{100(\text{End})}$) für das Ereignis HQ_{100} erreicht wird.

Der temporäre Zustand mit der entsprechenden Abflusshöhe $HQ_{100(\text{Erosion})}$ ist für die Festlegung der Dammhöhen und für die Ansatzhöhe des Uferverbau massgebend.

13.5 Wege

Die Abmessung der Wege stützt sich auf die Vorgaben der VSS-Norm SN 640'201. Für die Güterwege wurden zudem die Vorgaben aus der Empfehlung „Güterwege in der Landwirtschaft“¹⁷ berücksichtigt:

- Güter- und Unterhaltswege: 3.0 m
- Fusswege: min. 1.2 m

Die Wege sind unbefestigt und verfügen über einen Belag aus Kiesmergel. Die Fundationsschicht weist eine Mächtigkeit von ca. 45 cm auf.

¹⁷ BLW; Güterwege in der Landwirtschaft, Grundsätze für Subventionierungsvorhaben, 20. November 2007

14. Termine und weiteres Vorgehen

Wie bereits unter Kapitel 1 erwähnt ist das Wasserbauprojekt ein Teilprojekt (TP 3) des Gesamtprojekts LaUpen! „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“.

Für die Genehmigung des Gesamtprojekts ist es zentral, dass alle Teilprojekte zusammen im Herbst 2018 publiziert und aufgelegt werden können. Folgende Termine sind im weiteren Projektablauf vorgesehen:

- | | |
|--|----------------------------|
| ■ Planauflageverfahren (Einholen Fach-/ Amtsberichte) Kantone BE/FR und BAFU | Bis Ende August 2018 |
| ■ Publikation und öffentliche Auflage | September bis Oktober 2018 |
| ■ Einspracheverhandlungen | Oktober 2018 bis März 2019 |
| ■ Urnenabstimmung Gemeinde Laupen | Sonntag 10.02.2019 |
| ■ Finanzbeschluss Gemeinde Laupen / Projektbeschluss WBP | Oktober 2018 bis März 2019 |
| ■ Projekt-/Finanzbeschluss durch Leitbehörde | April bis Juni 2019 |
| ■ Bekanntgabe der Plangenehmigung (Einsprachefrist 30 Tage) | Bis Ende Juli 2019 |
| ■ Einreichen Vorlage beim Grossen Rat | Juli 2019 bis Januar 2020 |
| ■ Nächst möglicher GR-Termin | Session März 2020 |
| ■ Projekt- und Finanzbeschluss GR | April bis Juli 2020 |
| ■ Beitragsverfügung BAFU | August 2020 |

Auf Stufe Ausführungsprojekt sind zudem folgende Arbeiten auszuführen:

- Erarbeiten Detailprojekt für Umlegung der BKW-Leitungsquerung und Trinkwasserleitung bei km 1.100, Koordination mit Werkeigentümer.
- Koordination der Ausführung mit dem Archäologischen Dienst (vgl. Kap. 4.16 und Kap. 10.7). Bei positiven archäologischen Befunden folgt eine archäologische Grabung. Abschätzen der Kostenfolgen allfälliger Grabungen.
- Ausführung von Baugrunduntersuchungen sowie Feldversuche an möglichen Wasserfassungsstandorten zur Ermittlung der Ergiebigkeit für die Bewässerung der Felder.
- Ausführung von Baugrunduntersuchungen im Bereich der Widerlager der provisorischen Brücke der Bauumfahrung West.
- Projektierung der Grundwasserfassungen für die Bewässerung (Ersatz für die bestehenden Fassungen im Gerinne).
- Detailplanung Überlastfall zwischen km 1.100 bis ca. 1.200.
- Notfallplanung zusammen mit der Gemeinde Laupen und Bösinggen.

- Erarbeitung Detailkonzept für den Geschiebehalt im Mündungsbereich. Das Konzept ist mit der Sanierung des Geschiebehalt für das Kraftwerk Schiffenen abzustimmen und allfällige Synergien sollen genutzt werden.
- Prüfung Bemessung der Blockrampen für den Überlastfall (Abfluss EHQ)

CSD INGENIEURE AG



Michael Gallmann
Projektleiter



Manuel Schmocker
Stv. Projektleiter

Liebefeld, den 10.08.2018

ANDERE BETEILIGTE MITARBEITENDE

Sandro Marolf, Dipl. Bauingenieur FH

Raffael Tschupp, Dipl. Bauingenieur ETH

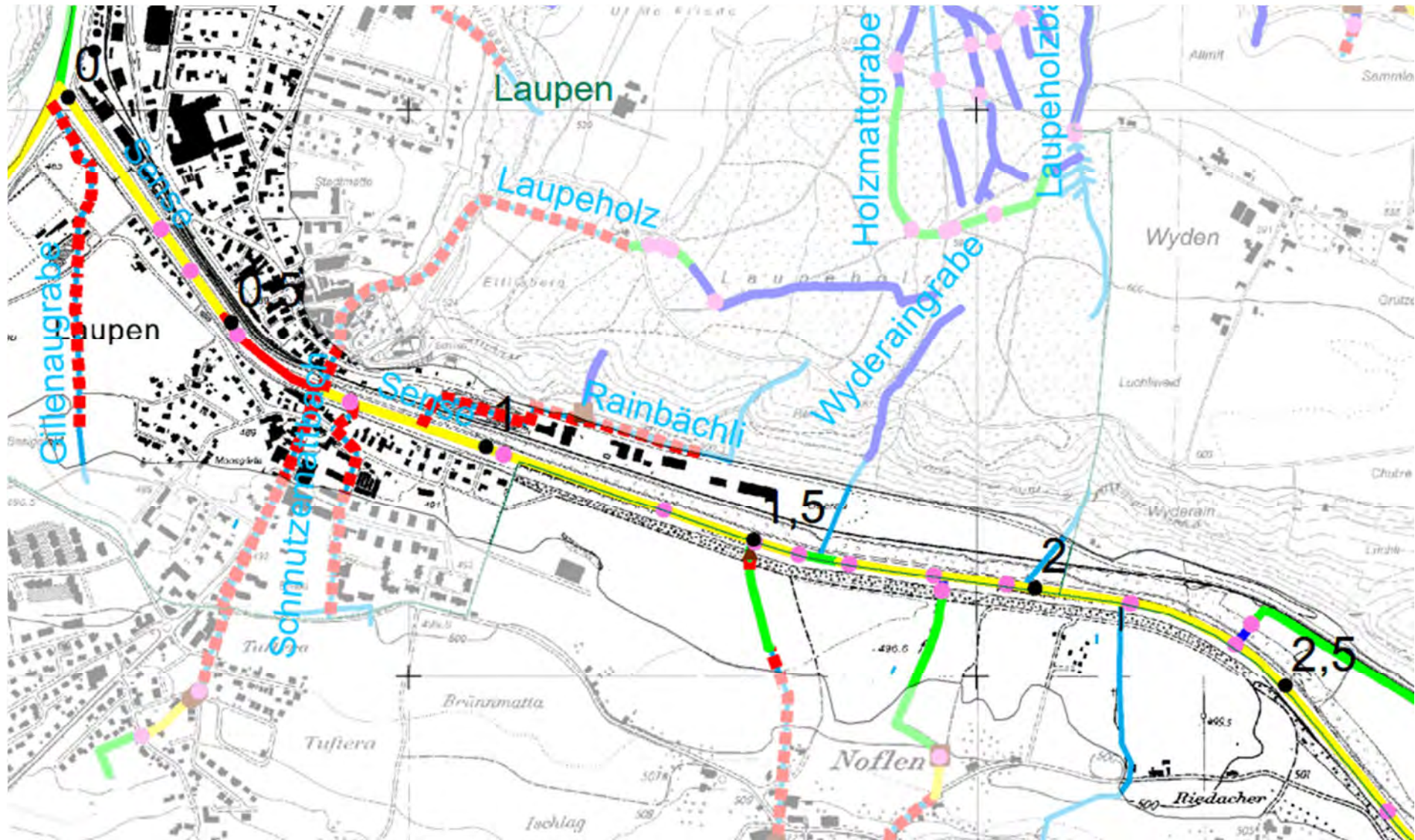
Rafael Wernli, Dipl. Umweltingenieur ETH

W:\AUFTRAG\BE07600\BE07630\BE07635\01_Wasserbau\3_Projektierung\32_Bauprojekt\326_Dokumentation\Bericht\20180810_Bauprojekt_HWS_Laup
en_v7.docx

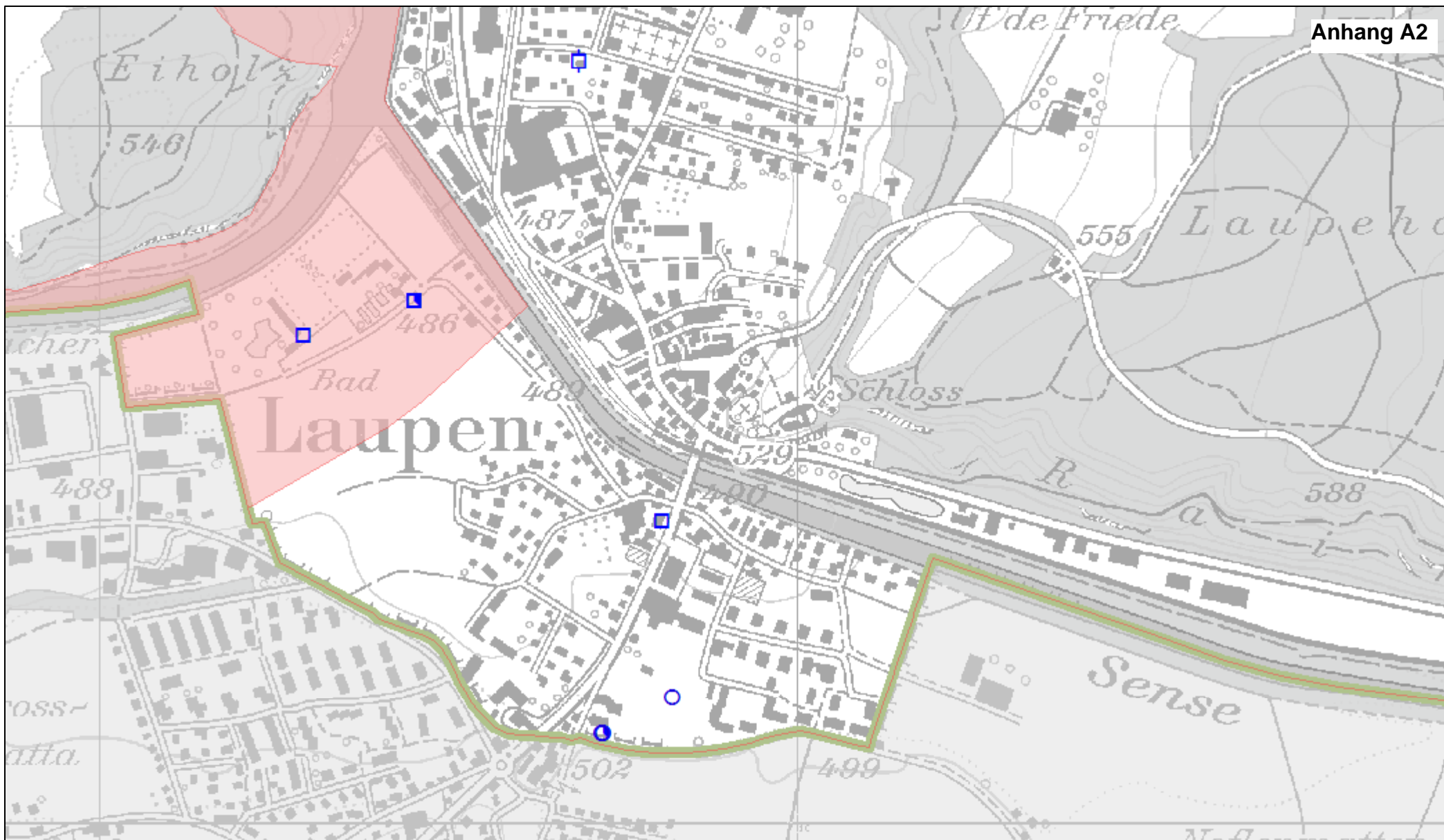
Aus Umweltschutzgründen druckt CSD seine Dokumente auf 100 % Recyclingpapier (ISO 14001).

ANHANG A GRUNDLAGEN

- Anhang A1: Ökomorphologie
- Anhang A2: Gewässerschutzkarte
- Anhang A3: Kataster belastete Standorte



Quelle: Pronat; Gewässerentwicklungskonzept Sense21, Grundlagenbericht Ökologie; 10.03.2014 (Ökomorphologie 1:15'000)



Gewässerschutzkarte des Kantons Bern

Bemerkungen: Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen

Kartenherr: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern

Copyright: © Kanton Bern / © swisstopo / © TomTom, swisstopo

Detaillierte Angaben zu Copyright und Legende sind dem verlinkten Dokument zu entnehmen:

https://www.map.apps.be.ch/pub/pub/doku/gsk25_de.pdf

Für Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten wird keine Haftung übernommen. Rechtlich verbindliche Auskünfte sind beim Kartenherrn einzuholen.

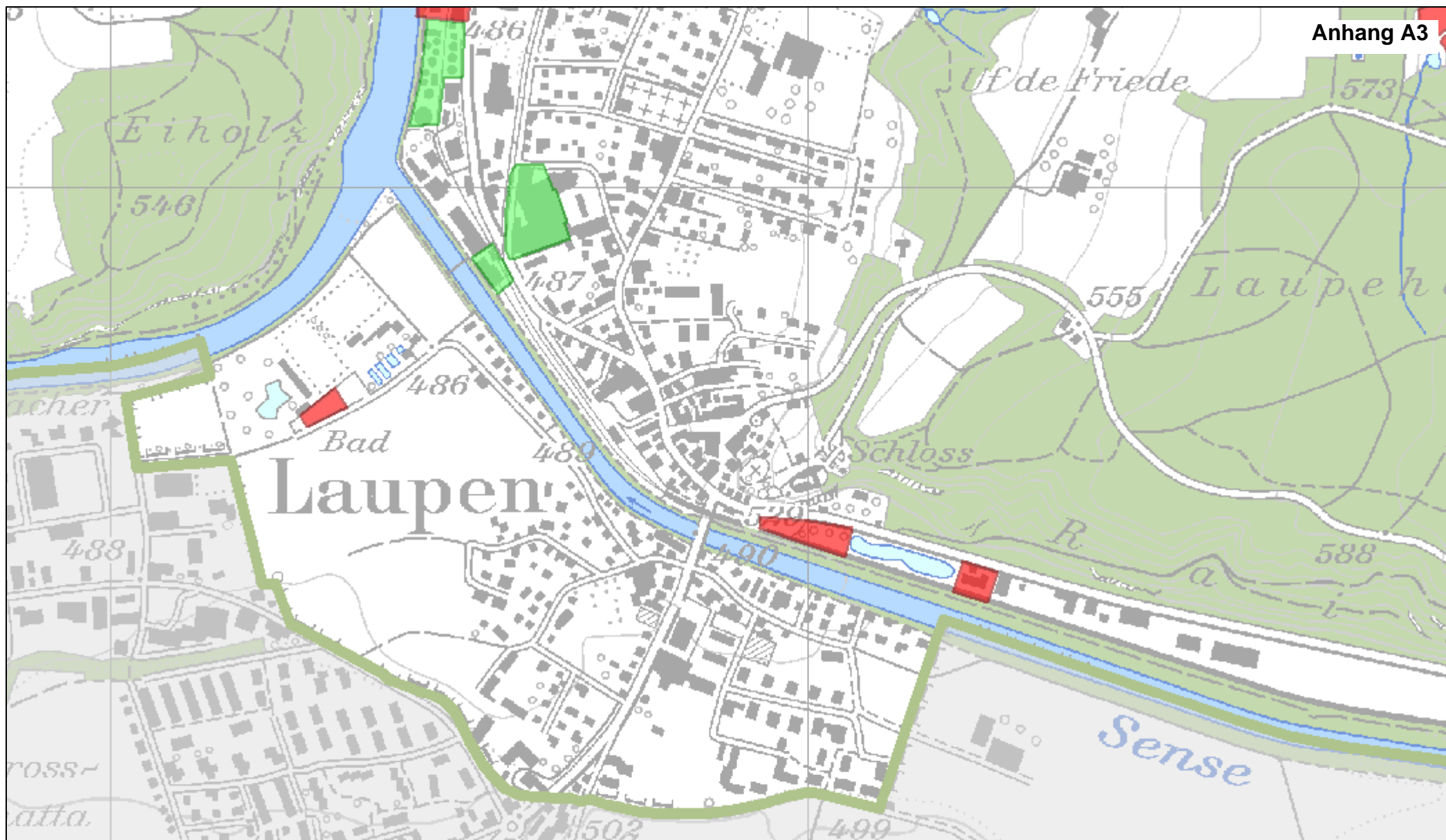


Geoportal des Kantons Bern
Géoportail du canton de Berne



Erstellt für Massstab 1:7.500

Erstellungsdatum 07.07.2017



Kataster der belasteten Standorte des Kantons Bern

Bemerkungen: Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen

Kartenherr: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern

Copyright: © Kanton Bern / © swisstopo / © TomTom, swisstopo

Detaillierte Angaben zu Copyright und Legende sind dem verlinkten Dokument zu entnehmen:

https://www.w.m.ap.ps.be.ch/pub/pub/doku/kbs_de.pdf

Für Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten wird keine Haftung übernommen. Rechtlich verbindliche Auskünfte sind beim Kartenherrn einzuholen.



Geoportal des Kantons Bern
Géoportail du canton de Berne

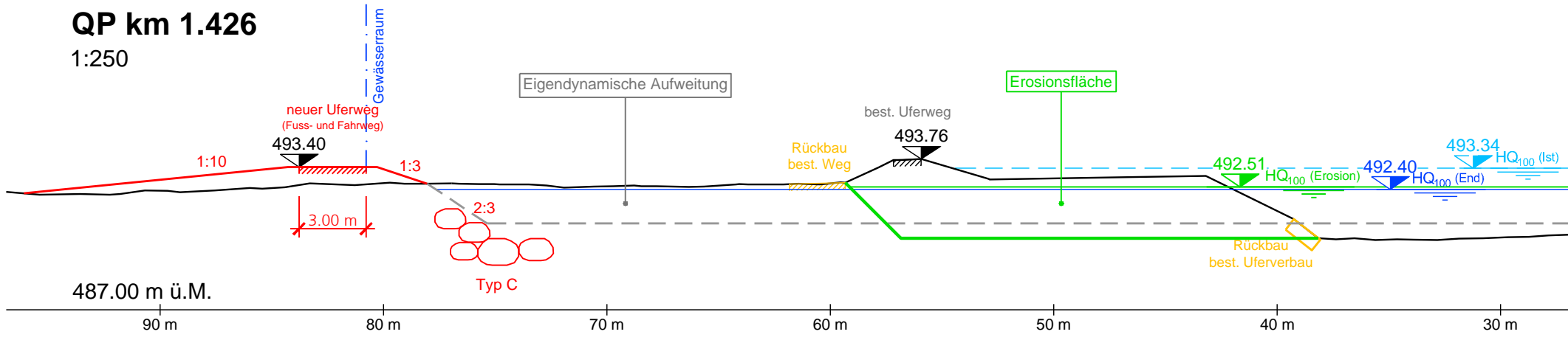


Erstellt für Massstab 1:7.500

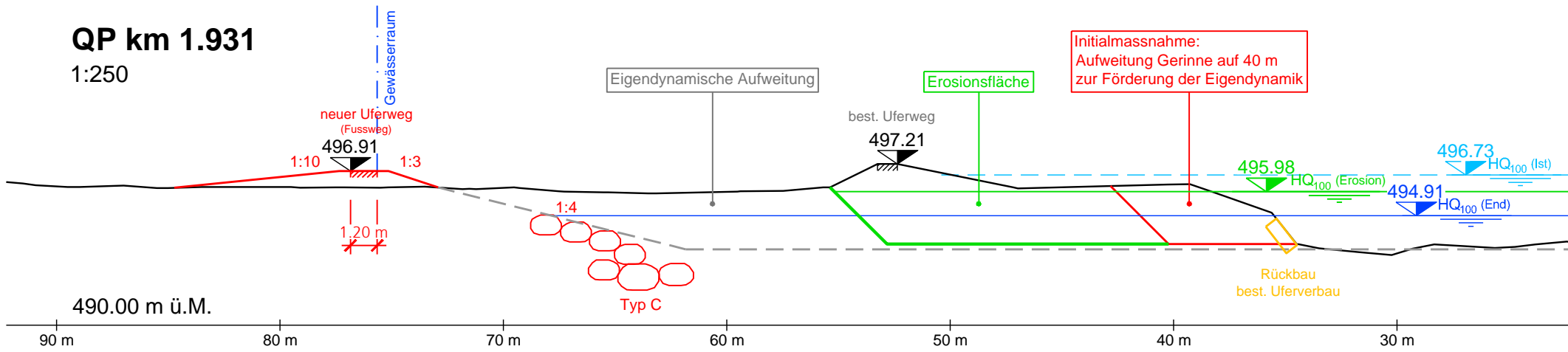
Erstellungsdatum 07.07.2017

ANHANG B TEMPORÄRER ZUSTAND (HQ_{EROSION})

QP km 1.426
1:250



QP km 1.931
1:250



ANHANG C NACHWEIS ECONOME



[Import] - HWS Laupen - mit EHQ

Laufzeit	28.03.2018 -
Organisation	
Gemeinde:	Laupen
Gebiet:	Laupen

Beteiligte Personen

csd, csd - Projektleiter

Anprechpartner Kanton Schweiz

Bern

Anprechpartner Gemeinde

Laupen

Projektfortschritt

28.03.18, 08:51	Systemdefinition	csd csd
28.03.18, 08:51	Systembeschreibung	csd csd
28.03.18, 08:51	Massnahme definieren	csd csd
28.03.18, 08:51	Gefahrenanalyse	csd csd
28.03.18, 08:51	Konsequenzenanalyse	csd csd

Gefahrenprozesse

Überschwemmung statisch Überschwemmung durch Sense

Szenario 30, 30 Jahre

Datei http://127.0.0.1:9000/doc/CH/27-3-6/maps/ik30_wasser_laupen.pdf

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

Szenario 100, 100 Jahre

Datei http://127.0.0.1:9000/doc/CH/27-3-6/maps/ik100_wasser_laupen.pdf

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

Szenario 300, 300 Jahre

Datei http://127.0.0.1:9000/doc/CH/27-3-6/maps/ik300_wasser_laupen.pdf

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

Szenario extrem, 1000 Jahre

Datei http://127.0.0.1:9000/doc/CH/27-3-6/maps/IK_EHQ_Laupen_Sense.pdf

Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1

Massnahmendefinition

Massnahme: HWS Projekt

- Massnahmen rechtes Ufer und anpassen der Blockrampe
- Brücke
- ökologische Massnahmen

Investitionskosten

8 200 000 CHF

Jährliche Unterhaltskosten	11 000 CHF/a
Jährliche Betriebskosten	0 CHF/a
Lebensdauer Massnahme	100 Jahre
Jährliche Kosten	175 000 CHF/a

Ergebnisübersicht

Übersicht Schadenpotenzial

Schadenpotenzial Anzahl Personen	1603.24
Schadenpotenzial Personen (monetarisiert)	8 016 188 833
Schadenpotenzial Sachwerte	282 167 000
Schadenpotenzial Gesamt	8 298 355 833

Überschwemmung statisch Überschwemmung durch Sense

Risiko vor Massnahmen	173 671 CHF/a
Risiko vor Massnahmen (Berechnung mit Basiswerten)	174 561 CHF/a
Nach Massnahme HWS Projekt	6 557 CHF/a
Nach Massnahme HWS Projekt (Berechnung mit Basiswerten)	6 606 CHF/a

Risikoreduktion (Nutzen) CHF/a

HWS Projekt	167 115 CHF/a
HWS Projekt (Berechnung mit Basiswerten)	167 955 CHF/a

Massnahmekosten CHF/a

HWS Projekt	175 000 CHF/a
-------------	---------------

Verteilung nach Nutznießern

Ohne Nutznießer - Zuweisung

HWS Projekt	175 000 CHF/a (100%)
-------------	----------------------

Nutzen/Kosten - Verhältnis

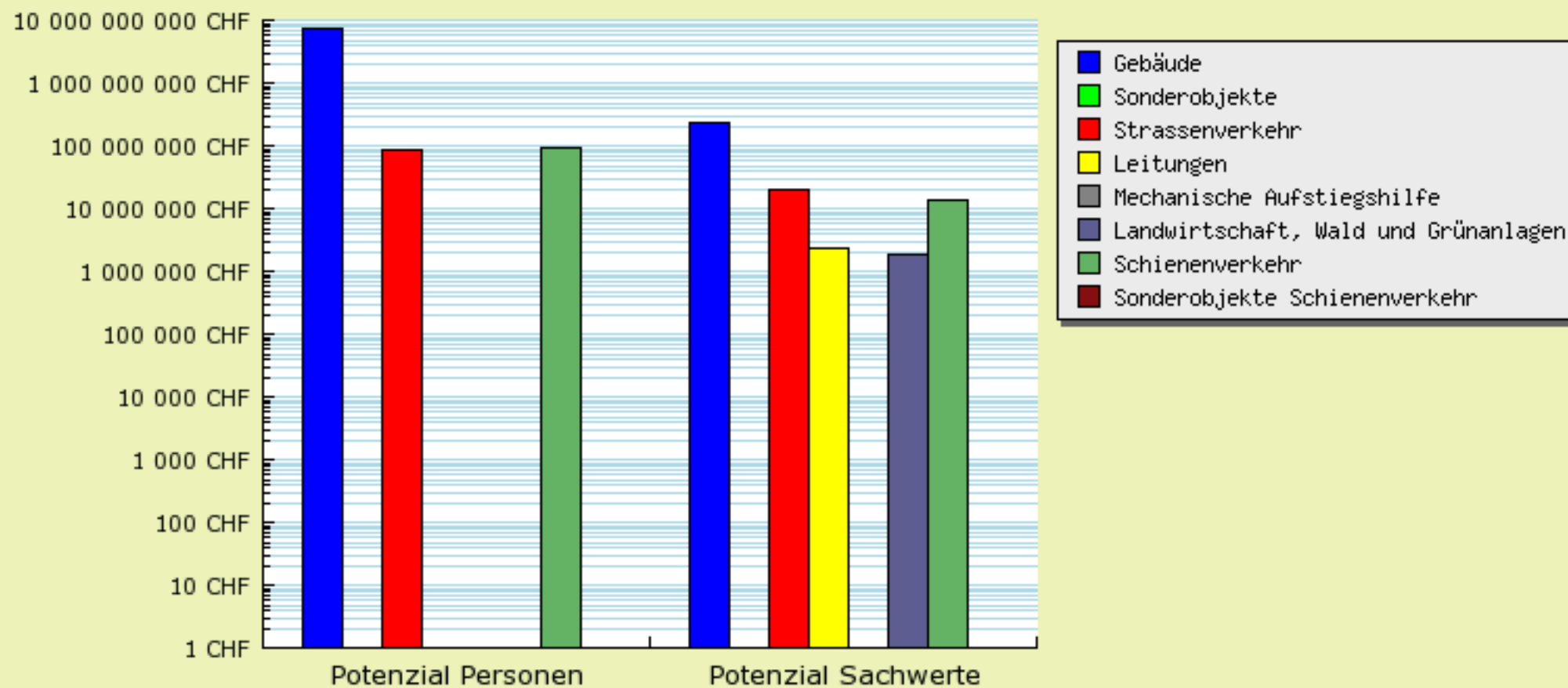
HWS Projekt	1
HWS Projekt (Berechnung mit Basiswerten)	1

Individuelles Risiko (Anzahl betroffener Objekte)

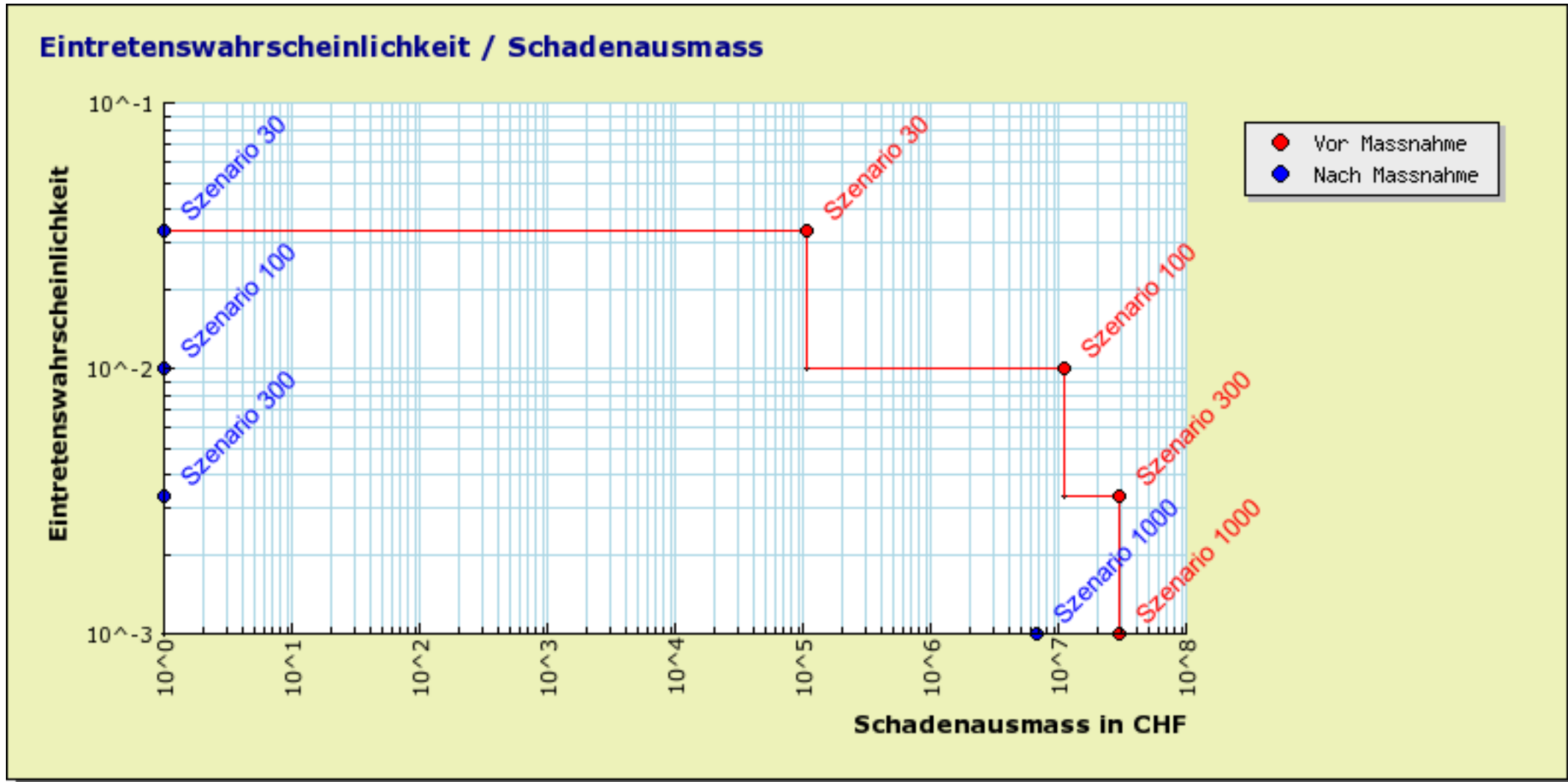
Vor Massnahme	0	10	200
Nach Massnahme HWS Projekt	0	0	76

Schadenpotenzial nach Objektkategorien

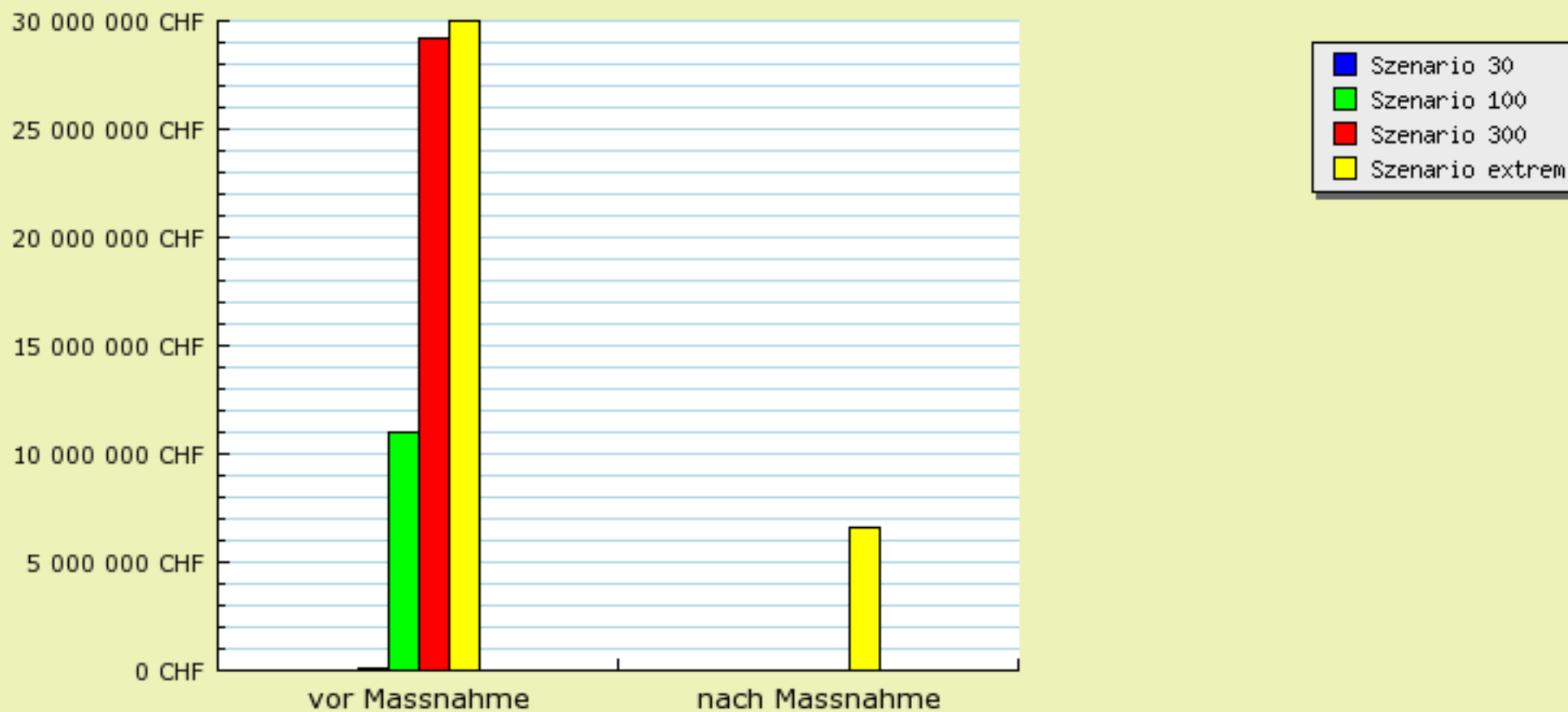
Schadenpotenzial nach Objektkategorien



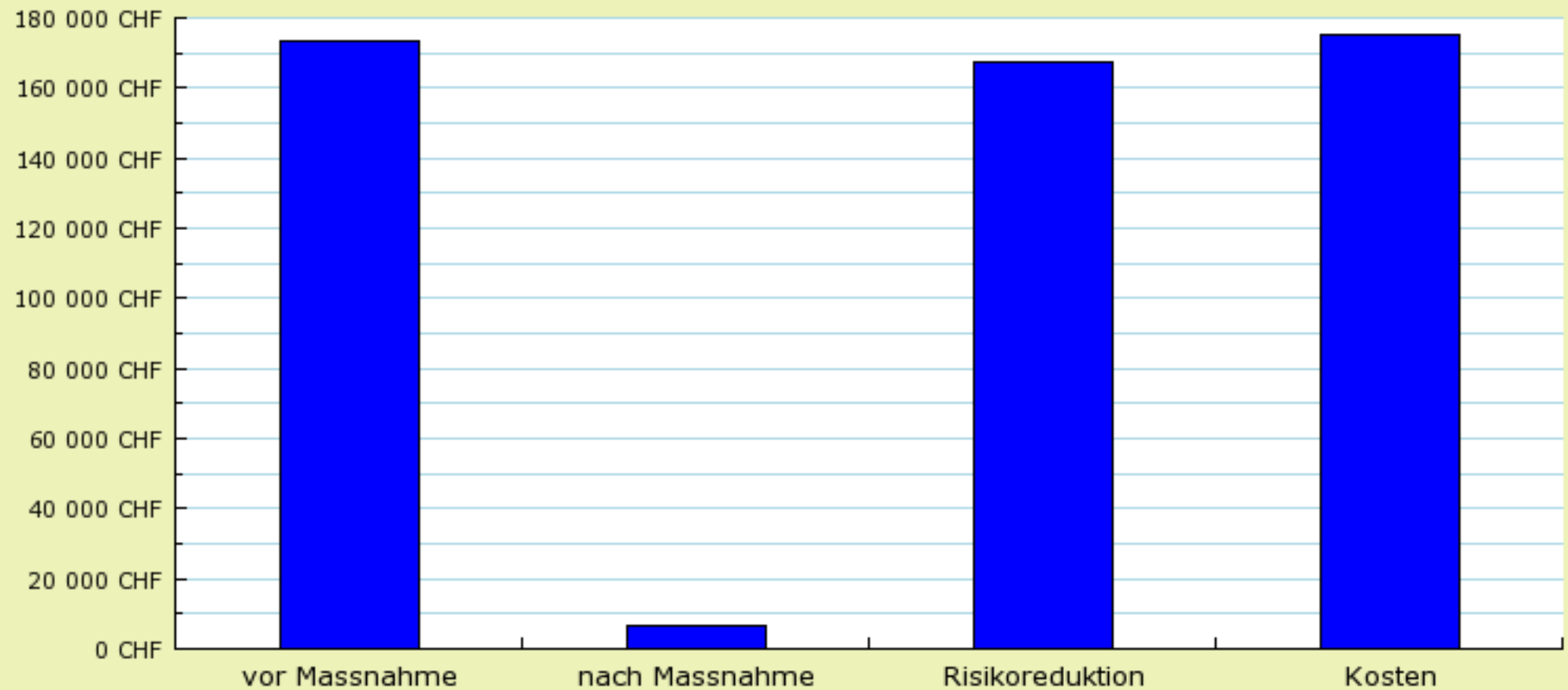
Überschwemmung statisch, Überschwemmung durch Sense, HWS Projekt - Eintretenswahrscheinlichkeit / Schadenausmass



Überschwemmung statisch, Überschwemmung durch Sense, HWS Projekt - Schadenausmass nach Szenarien

Schadenausmass nach Szenarien (vor und nach Massnahme)

Überschwemmung statisch, Überschwemmung durch Sense, HWS Projekt - Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr

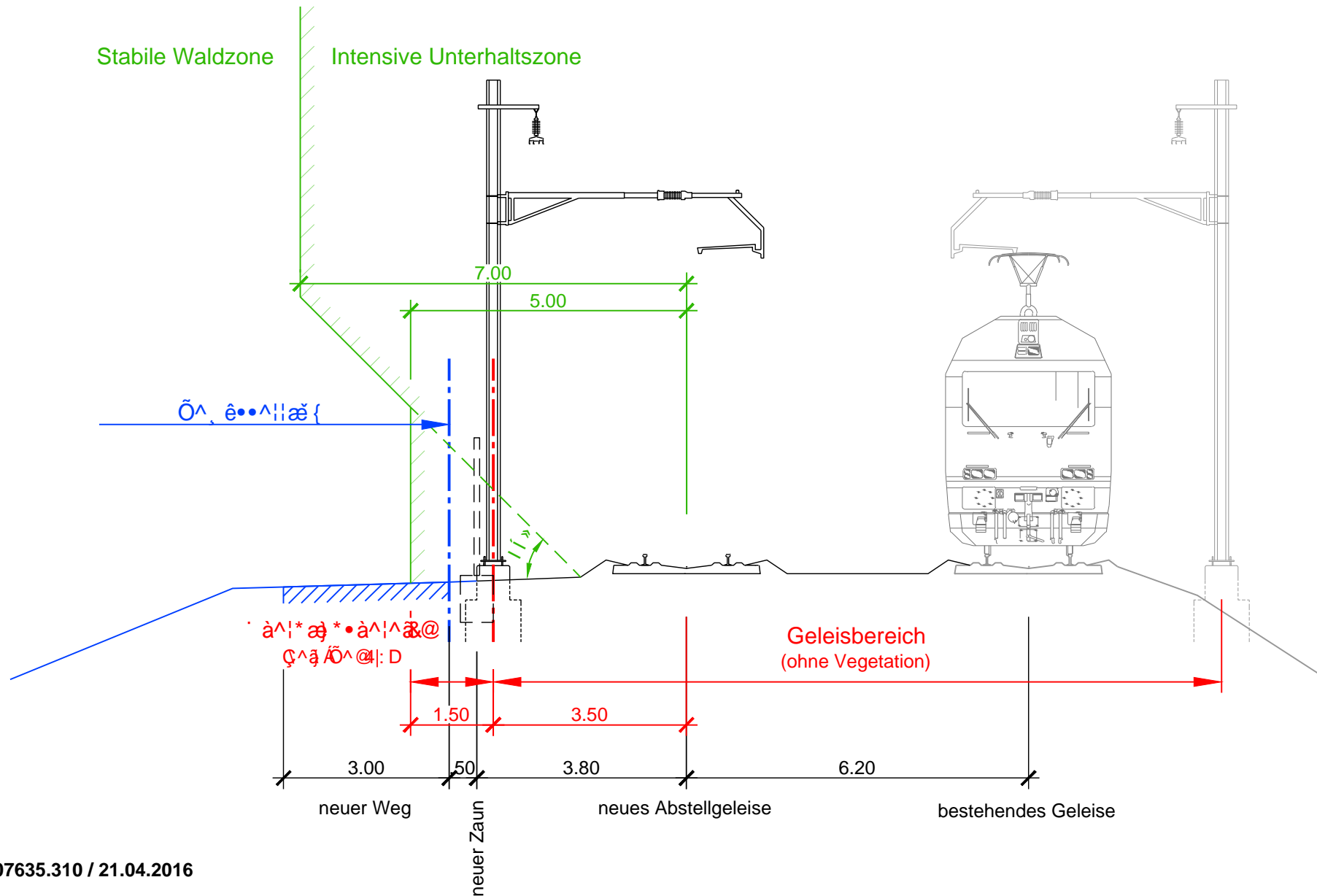
Risiken, Risikoreduktion und Kosten in CHF/Jahr

**ANHANG D NORMALPROFIL GEWÄSSERRAUM ENTLANG
ABSTELLGELEISE**

Normalprofil neues Geleise

1:100

Beilage D



ANHANG E FREIBORD (NACH KOHS)

1. Ausgangslage

Im Studienauftrag „Verkehrssanierung und städtebaulichen Entwicklung Laupen 2010“ waren die folgenden Schwachstellen in Bezug auf den Hochwasserschutz im Projektperimeter beschrieben:

- Geringe Abflusskapazität oberhalb der Strassenbrücke beim zukünftigen Bahnhofareal
- Zu kleiner Abflussquerschnitt bei der Strassenbrücke
- Geringe Abflusskapazität unterhalb der Strassenbrücke

Zur Verbesserung des Hochwasserschutzes von Laupen und dessen Umgebung definierte der Studienauftrag die folgenden Vorgaben und Randbedingungen:

- Min. Freibord bei der Brücke von 1.0 m auf den Wasserspiegel bei einem HQ_{100} (Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren)
- Min. Freibord auf dem restlichen Perimeter (ohne Dammsituation) von 0.8 m auf den Wasserspiegel bei einem HQ_{100}
- Schadloses Abführen eines HQ_{100} von $395 \text{ m}^3/\text{s}$
- Berücksichtigung Geschiebetransport, Schwemmholtzanfall im Brückenbereich

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen und Vorgaben entwickelte das Projektteam SENSEORIUM im Studienauftrag einen Abflussquerschnitt bei der Brücke, welcher die Vorgaben zu 100 % erfüllte (vgl. Abbildung 1.1).

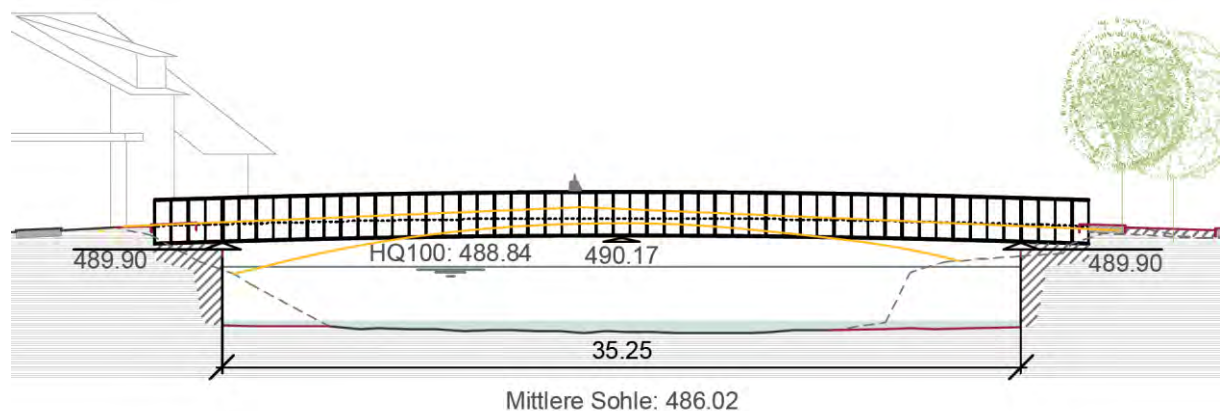


Abbildung 1.1 Planausschnitt (QP 700) Querschnitt bei der Sensebrücke Studienauftrag „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen 2010“

2. Auftrag

Auf Stufe Vorprojekt soll nun das im Studienauftrag vorgegebene Freibord von 1.0 m anhand der Empfehlung der Kommission Hochwasserschutz (KOHS) „Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilung“ überprüft werden.

3. Grundlagen

- [1] Kommission Hochwasserschutz KOHS (2013): Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilung Wasser Energie Luft. In: Wasser Energie Luft – 105 Heft 1. S. 43 - 53
- [2] Gefahrenkarte Sense und Saane, Technischer Bericht, ARGE Schälchli, Abegg + Hunzinger – Geo 7 AG, Dezember 2007
- [3] Sense und Saane, Studie über den Geschiebehaushalt. Schälchli, Abegg + Hunzinger, Februar 2007
- [4] Gewässerentwicklungskonzept Sense21, Systembeschreibung, Fachbericht Flussmorphologie und Wasserbau, Flussbau AG, 2014
- [5] <http://www.youtube.com/watch?v=64IOe6MHW0>, 08.08.2007 - Hochwasser Laupen, 2014

4. Methode Vorgehen und Berechnung

Das nach [1] erforderliche Freibord in Fliessgewässern setzt sich aus mehreren Teil-Freiborden zusammen. Diese berücksichtigen einerseits Unschärfen, die bei der Berechnung einer Wasserspiegellage auftreten und andererseits hydraulische Prozesse wie die Wellenbildung, den Rückstau an Hindernissen oder den Platz, welcher unter Brücken für das Abführen von Treibgut benötigt wird.¹

Zur Definition des erforderlichen Freibords, sind die aus dem im Studienauftrag erstellten hydraulischen Modells resultierenden Abflusswerte erforderlich sowie die Definition diverser Parameter zur Berechnung des minimalen Freibords nach [1].

4.1 Definition Freibord

Das Freibord bezeichnet den senkrechten Abstand zwischen dem Wasserspiegel und der Oberkante des Ufers oder eines Wasserbauwerks (z.B. Damm, Sperre) oder der Unterkante einer Brücke.²

Gemäss [1] bezieht sich das erforderliche Freibord bei Brücken auf eine Mittlere Kote der Unterkante. Die Berechnungsmethode der mittleren Kote bei Bogenbrücken ist in [1] nicht definiert. Der Vorschlag, das mittlere Freibord über ein Flächengleichgewicht (durchströmter / nicht durchströmter Flächen) zu ermitteln, wurde nach Rücksprache mit den Autoren der Arbeitsgruppe der KOHS als sinnvoll erachtet.

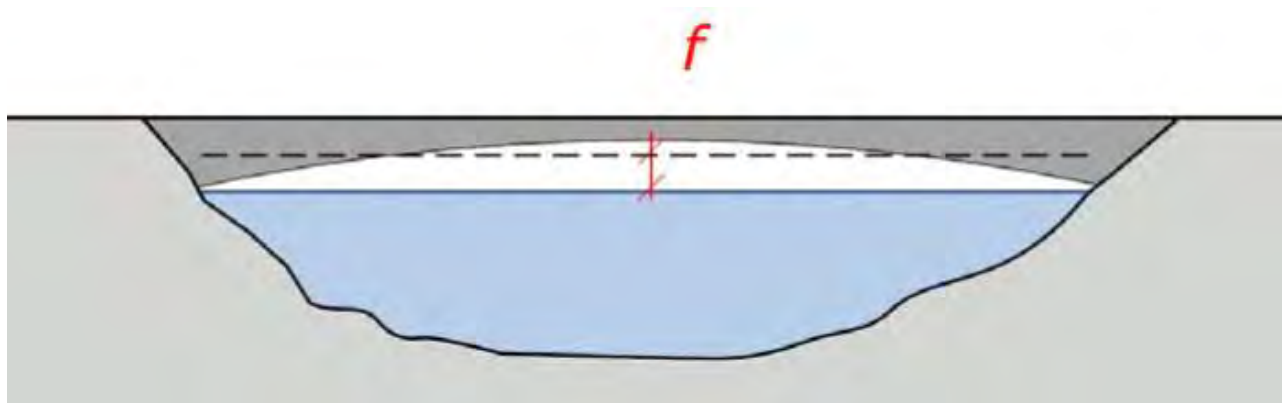


Abbildung 4.1 Freibord unter Brücke nach [1]

¹ Kommission Hochwasserschutz KOHS (2013)

² Kommission Hochwasserschutz KOHS (2013)

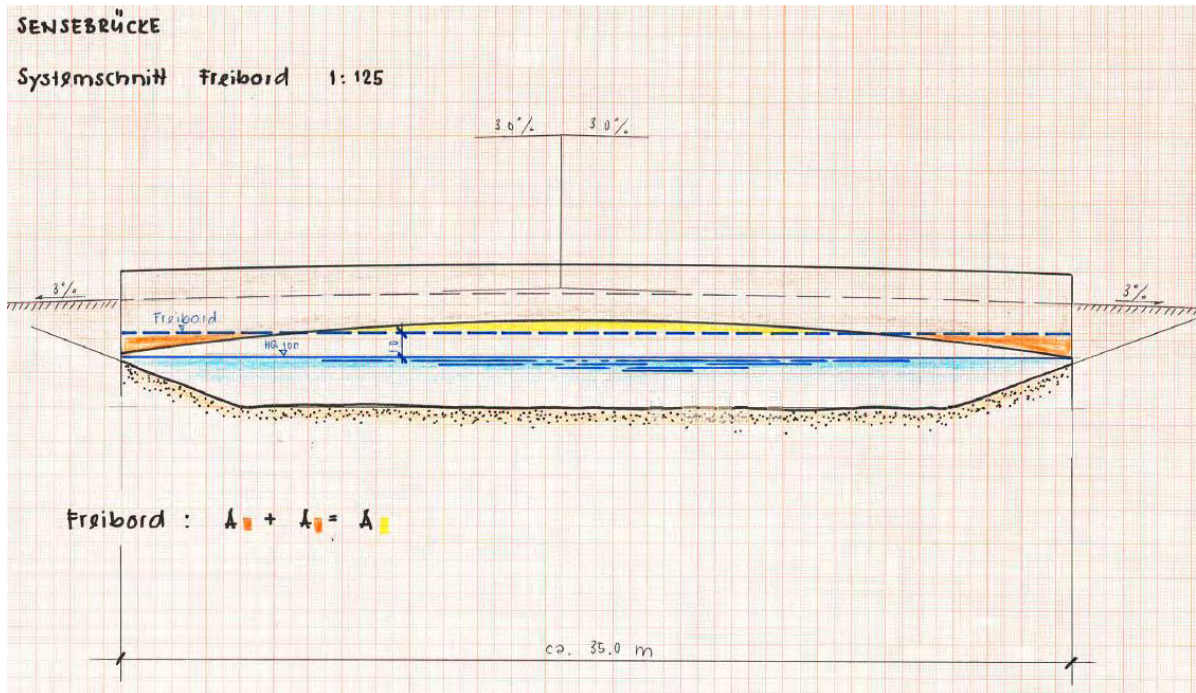


Abbildung 4.2 Darstellung Flächengleichgewicht

4.2 Hydraulik

Im Studienauftrag wurde mit Hilfe des Abflusssimulationsprogramm (HEC-RAS) die Gerinnehydraulik der Sense im Projektperimeter berechnet. Zur Ermittlung des Freibordes sind Werte aus dem Modell sowie das HQ100 und die projektierte Gerinnebreite massgebend:

- Hochwasserabfluss $HQ_{100} = 395 \text{ m}^3/\text{s}$ (nach [2])
- Gerinnebreite $b = 35.25 \text{ m}$
- Abflusstiefe $h = 2.82 \text{ m}$
- Fließgeschwindigkeit bei HQ_{100} $v = 4.0 \text{ m/s}$

4.3 Erforderliches Freibord

Das erforderliche Freibord (f_e) setzt sich aus verschiedenen Teil-Freiborden zusammen. Jedes der Teil-Freiborde berücksichtigt Einwirkungen resp. Randbedingungen, welche unter Kap. 4.4 ermittelt werden.

$$f_e = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2}$$

f_e = erforderliches Freibord

f_w = Teil-Freibord aufgrund von Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage

f_v = Teil-Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau

f_t = Teil-Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt von Treibgut

f_{max} = maximal erforderliches Freibord

4.4 Definition der Parameter resp. der Teil-Freiborde

4.4.1 Teil-Freibord aufgrund von Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage f_w

f_w setzt sich wiederum aus zwei Teilwerten zusammen $f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$

- σ_{wz} = Unschärfe der prognostizierten Sohlenlage
 - Für die Bestimmung von σ_{wz} gibt es bislang nur wenige Erfahrungswerte. Für σ_{wz} dürften Werte zwischen 0.1 m (grösserer Talfluss) und 1.0 m (Wildbach) als plausibel eingestuft werden.
 - Wird die Sohlenlage mit numerischen Simulationen bestimmt, kann der Nachweis mit einer Sensitivitätsanalyse, z.B. durch eine Variation von massgeblichen Korngrössen oder durch die Anwendung unterschiedlicher Transportgesetze geführt werden.
 - Aus [3] resultiert eine Unschärfe von $\sigma_{wz} = \mathbf{0.25\ m}$

- σ_{wh} = Unschärfe an der berechneten Abflusstiefe = $0.06 + 0.06 \cdot h$
 - Mit der Abflusstiefe $h = 2.82\ \text{m}$ (vgl. 4.2) ergibt dies einen Wert von $\sigma_{wh} = \mathbf{0.23\ m}$

- $f_w = \sqrt{0.25^2 + 0.23^2} = \mathbf{0.34\ m}$

4.4.2 Teil-Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau f_v

- $f_v = \frac{v^2}{2 \cdot g}$
 - Das Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen wird mit $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ bestimmt.
 - Mit der Fliessgeschwindigkeit bei einem HQ_{100} von $v = 4.0\ \text{m/s}$ (vgl. 4.2) ergibt dies einen Wert von $f_v = \mathbf{0.82\ m}$

4.4.3 Teil-Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt von Treibgut f_t

- $f_t =$ Tabellenwert
 - Für die Festlegung des Teil-Freibordes f_t für Schwemmholz wird ein Klassensystem vorgeschlagen. f_t ist eine feste Grösse zwischen 0.3 m und 1.0 m. Der Wert von f_t wird in Funktion der Beschaffenheit der Brücke und in Funktion von Art und Menge des erwarteten Schwemmholzes definiert (vgl. Tabelle 1).
 - Nach [2] liegt ein grosses Schwemmholzpotenzial im Einzugsgebiet vor.
 - Nach [4] S. 18, 5.2.3 geht hervor:
Der Anfall von Schwemmholz ist für die Gefahrenszenarien nicht massgebend. Die Brückendurchlässe über die Sense im Projektperimeter stellen auch bei Schwemmholzanfall keine Schwachstellen dar. In der Gefahrenkarte sind deshalb keine Schwemmholzbetrachtungen in die Versagensszenarien eingeflossen.³
 - Im Amateurvideo [5] ist zu sehen, wie beim Hochwasser vom 08.08.2007 Schwemmholz in Form einzelner Stämme auftritt.
 - Jedoch sind, gemäss Erfahrungen des Obergeringenieurkreis II des Kantons Bern, Schwemmholzteppiche nicht auszuschliessen. Aus diesem Grund wurde an der Sitzung vom 23.07.2014 das Teil-Freibord f_t auf 1 m festgelegt.

- $f_t = 1.0$ m
(gewählt)

	Brücke mit glatter Untersicht	Brücke mit rauher Untersicht
Schwemmholz mit geringen Abmessungen (nur Äste)	0.3 m	0.5 m
Einzel angeschwemmte Baumstämme	0.5 m	1.0 m
Wurzelstöcke	1.0 m	1.0 m
Schwemmholz als Teppich angeschwemmt	1.0 m	1.0 m

Tabelle 1: Teil-Freiborde f_t für Schwemmholz in Abhängigkeit der Beschaffenheit der Brücke und Art und Menge des Schwemmholzes nach [1].
Als Brücke mit rauher Untersicht gilt z.B. eine Brücke mit Fachwerk, vorspringenden Trägern oder angehängten Leitungen.

5. Ergebnis und weiteres Vorgehen

$$f_e = \sqrt{(0.34 \text{ m})^2 + (0.82 \text{ m})^2 + (1.0 \text{ m})^2} = 1.34 \text{ m}$$

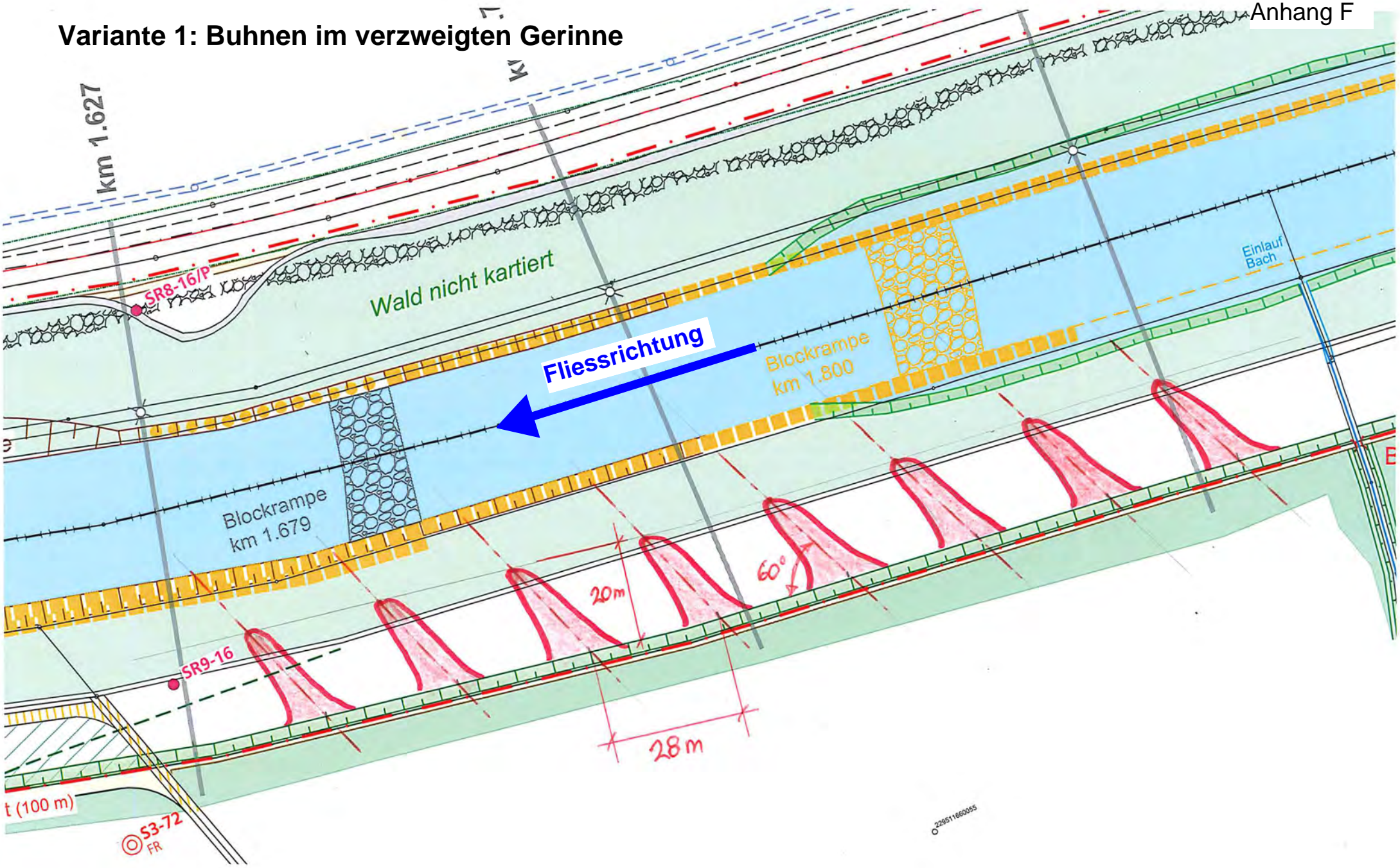
Das erforderliche Freibord wird auf Dezimeter gerundet und beträgt somit **1.3 m**.

Das Lichtraumprofil des neuen Brückenquerschnittes ist so auszubilden, dass die mittlere Kote des Flächengleichgewichtes (durchströmter- /nicht durchströmter Fläche) (vgl. Abbildung 4.2) mindestens 1.3 m über der Wasserspiegellage des HQ₁₀₀ liegt.

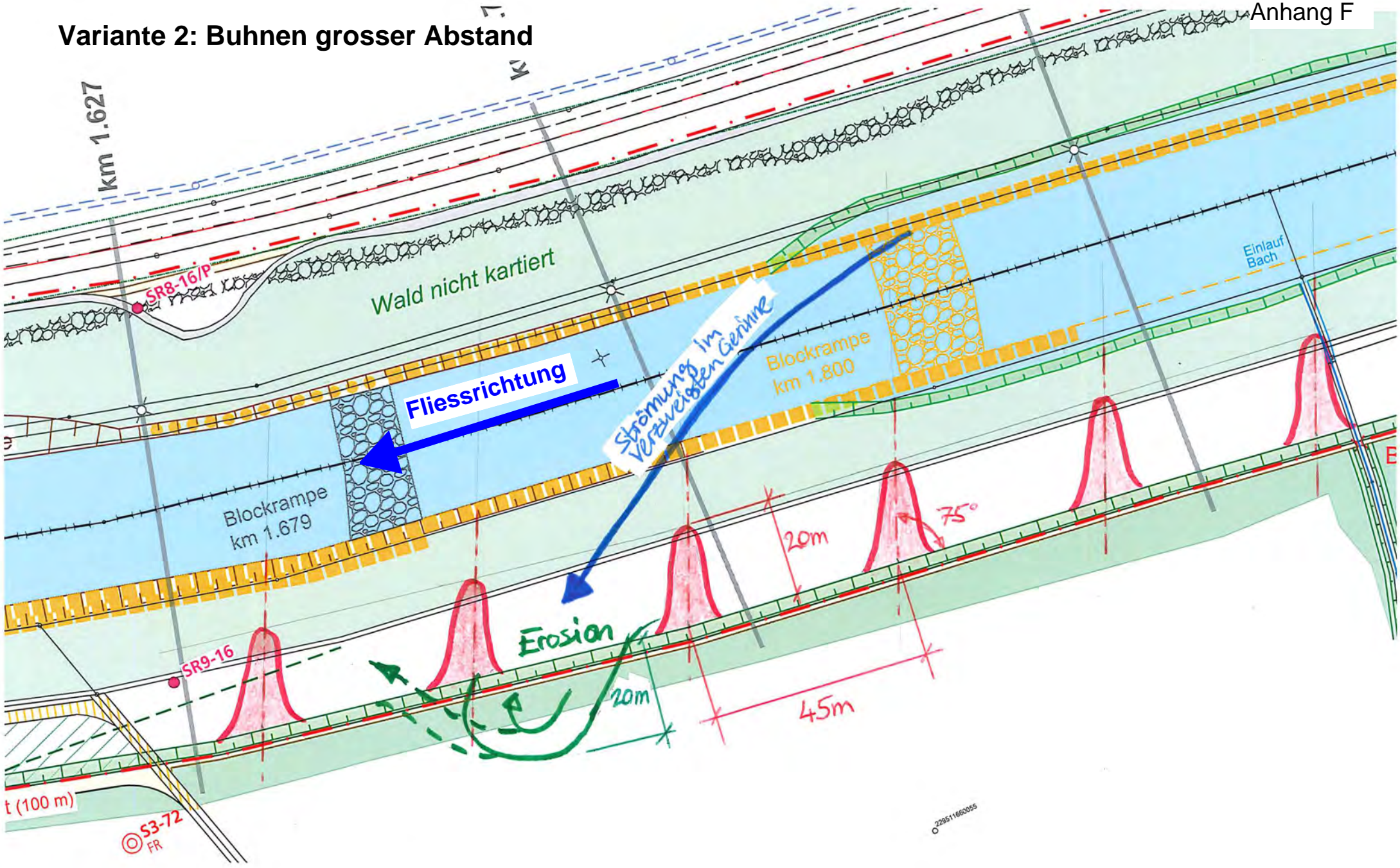
³ Gewässerentwicklungskonzept Sense21 [4]

ANHANG F VARIANTENVERGLEICH

Variante 1: Buhnen im verzweigten Gerinne



Variante 2: Bühnen grosser Abstand



© 239511660055

Variante 3: Geschwungener Blocksatz

Oberau

km 1.627

km

SR8-16/P

Wald nicht kartiert

Fließrichtung

Blockrampe km 1.800

Einlauf Bach

Sporen

Blockrampe km 1.679

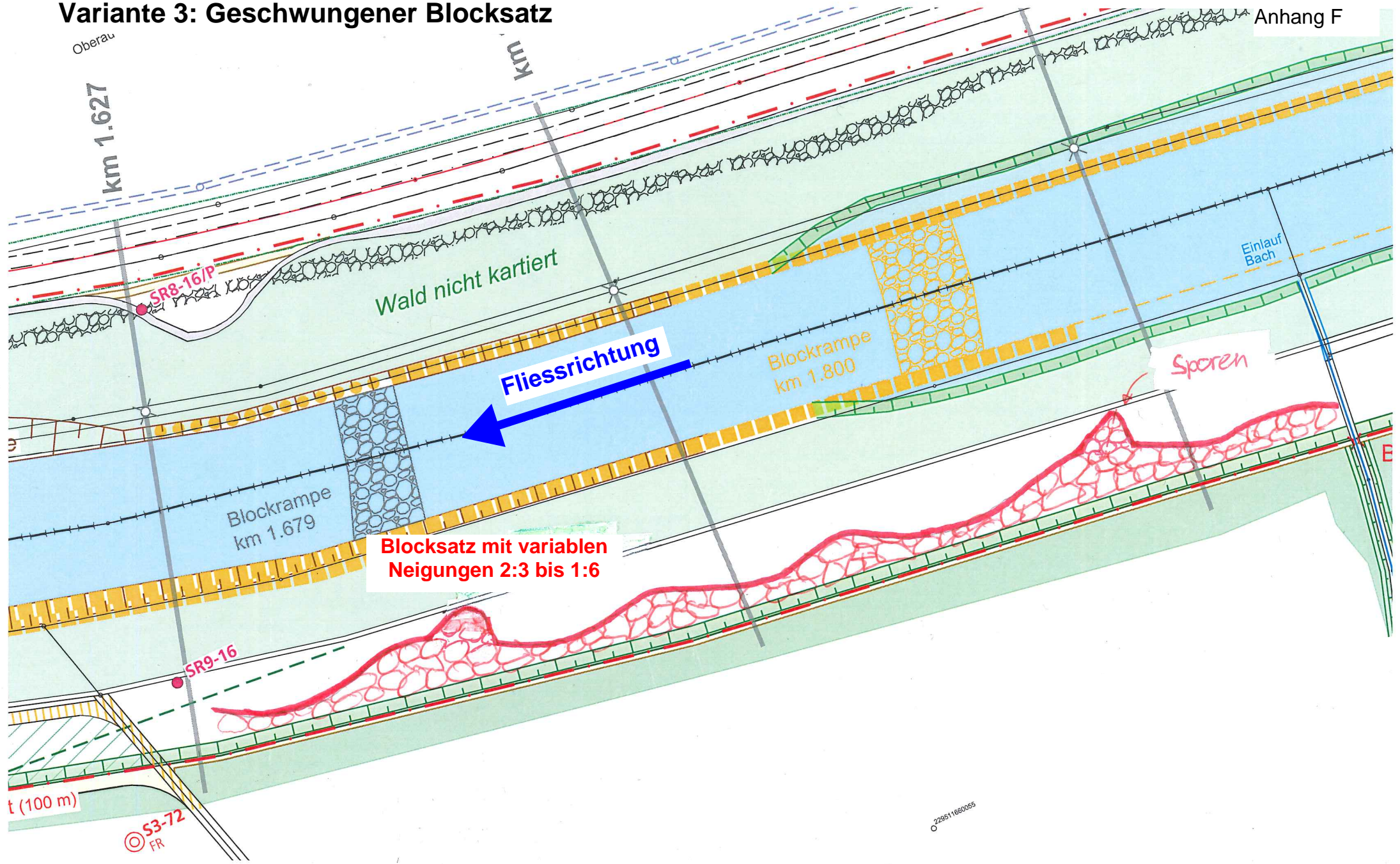
Blocksatz mit variablen Neigungen 2:3 bis 1:6

SR9-16

t (100 m)

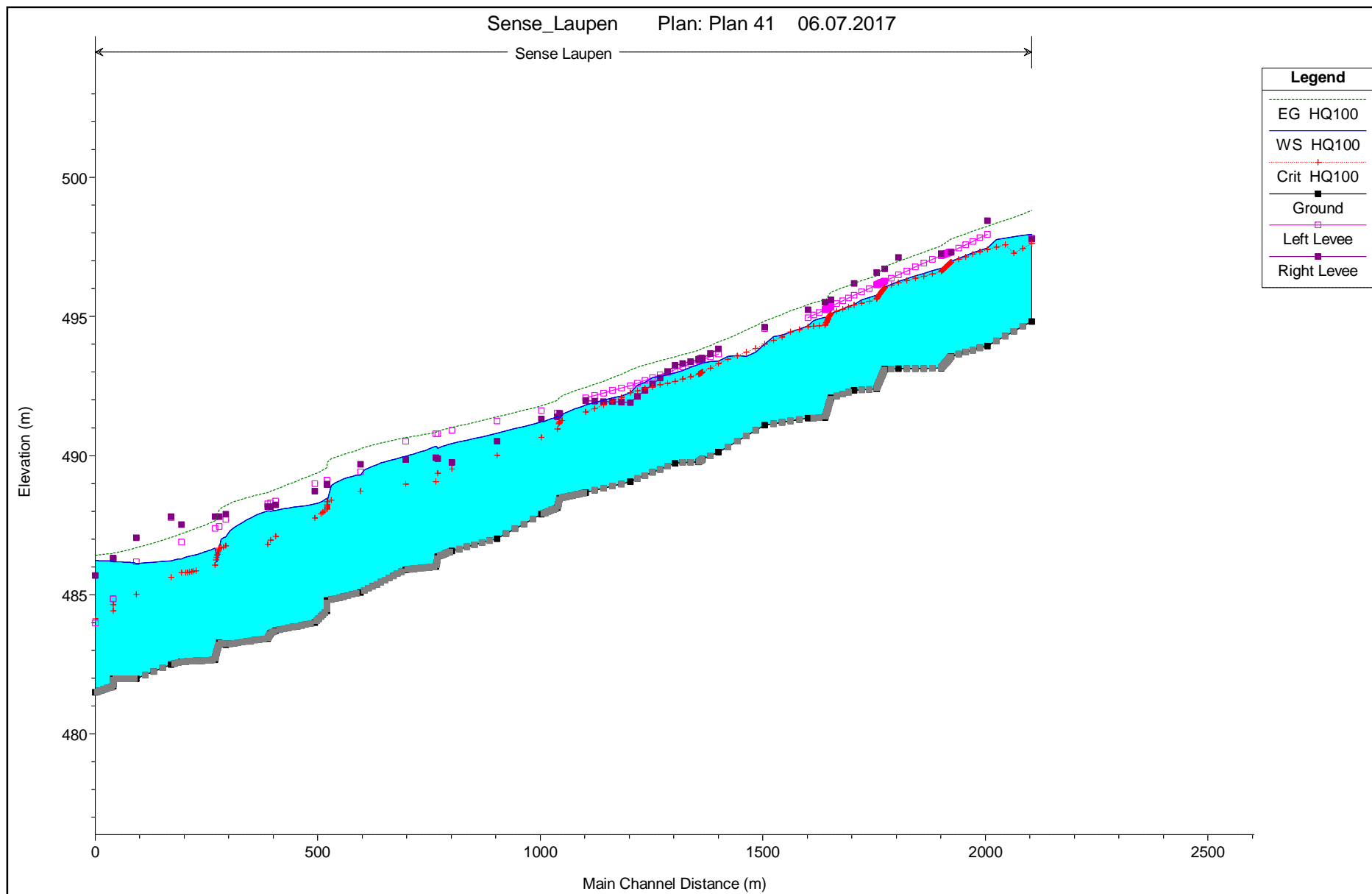
S3-72 FR

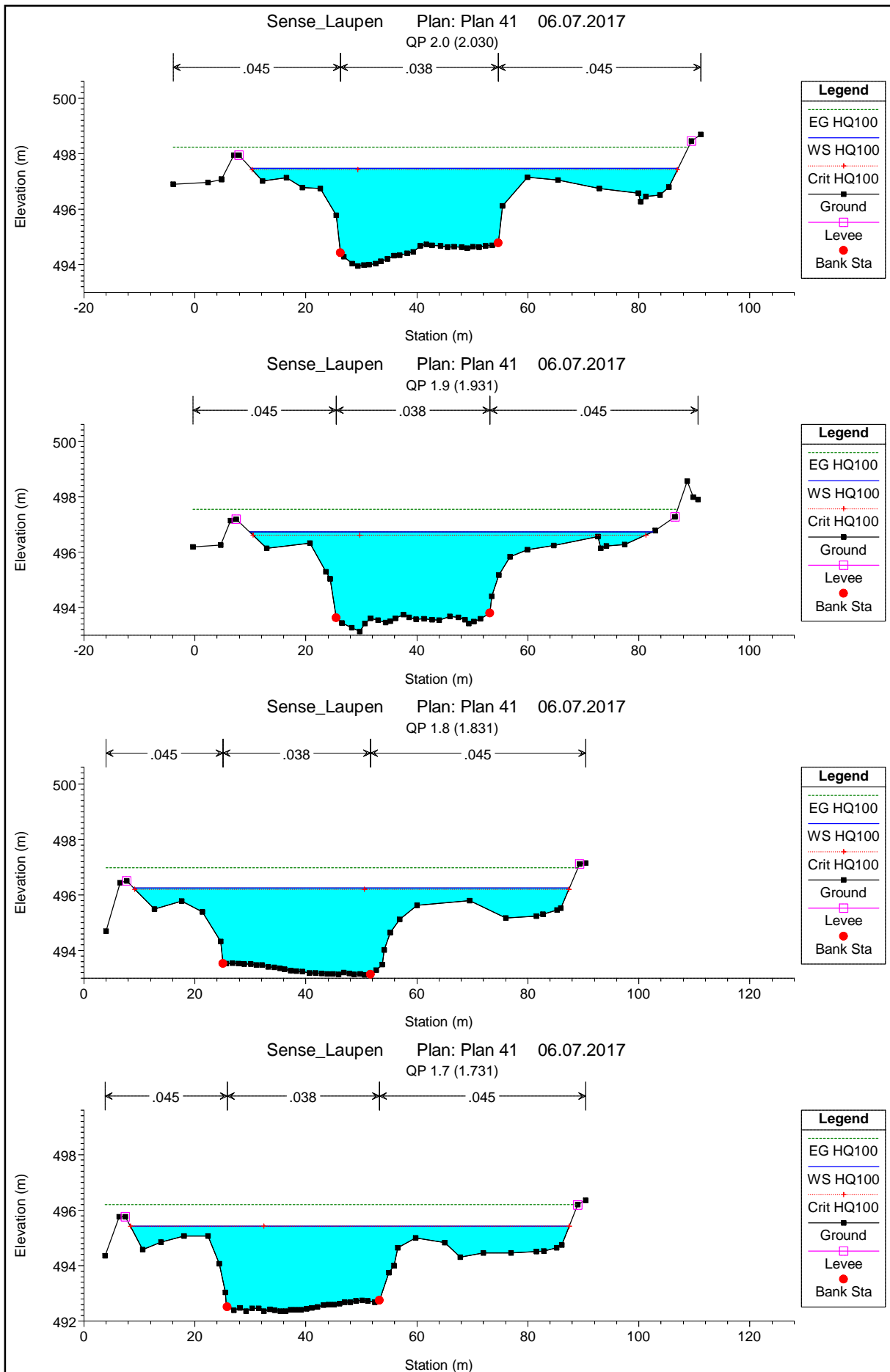
229511660055



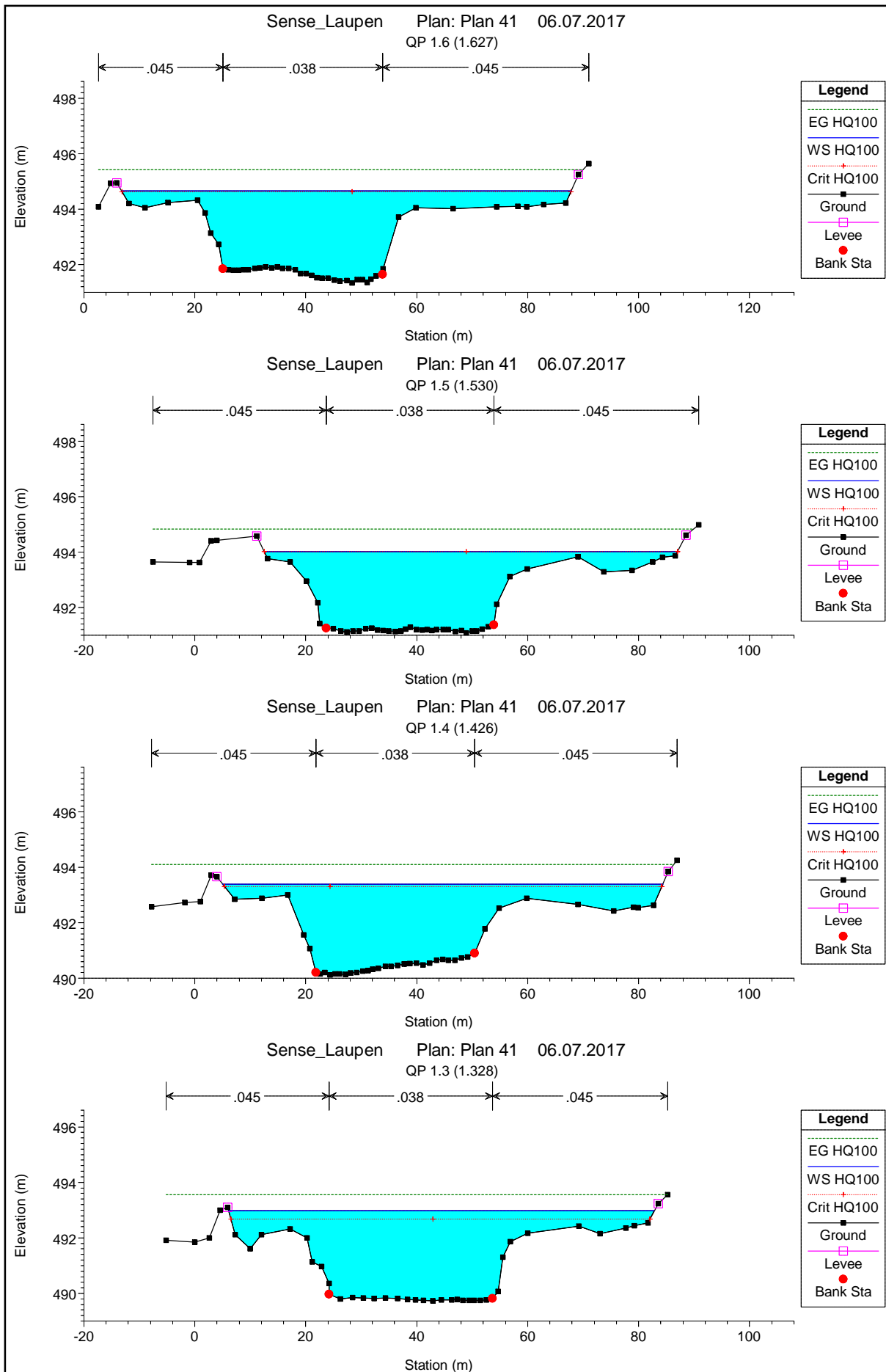
ANHANG G TECHNISCHE NACHWEISE

- Anhang G1: Abflussberechnung HQ₁₀₀ IST-Zustand (HEC-RAS)
- Anhang G2: Abflussberechnung HQ₁₀₀ Endzustand (Flussbau AG)
- Anhang G3: Abflussberechnung HQ₃₀₀ Endzustand (HEC-RAS)
- Anhang G4: Abflussberechnung EHQ Endzustand (HEC-RAS)
- Anhang G5: Blocksatz
- Anhang G6: Blockrampe
- Anhang G7: Aufgelöste Blockrampe
- Anhang G8: Berechnungen Aufweitung
- Anhang G9: Bemessung Längsverbau
- Anhang G10: Überlastsektion
- Anhang G11: Stabilität Blocksatz

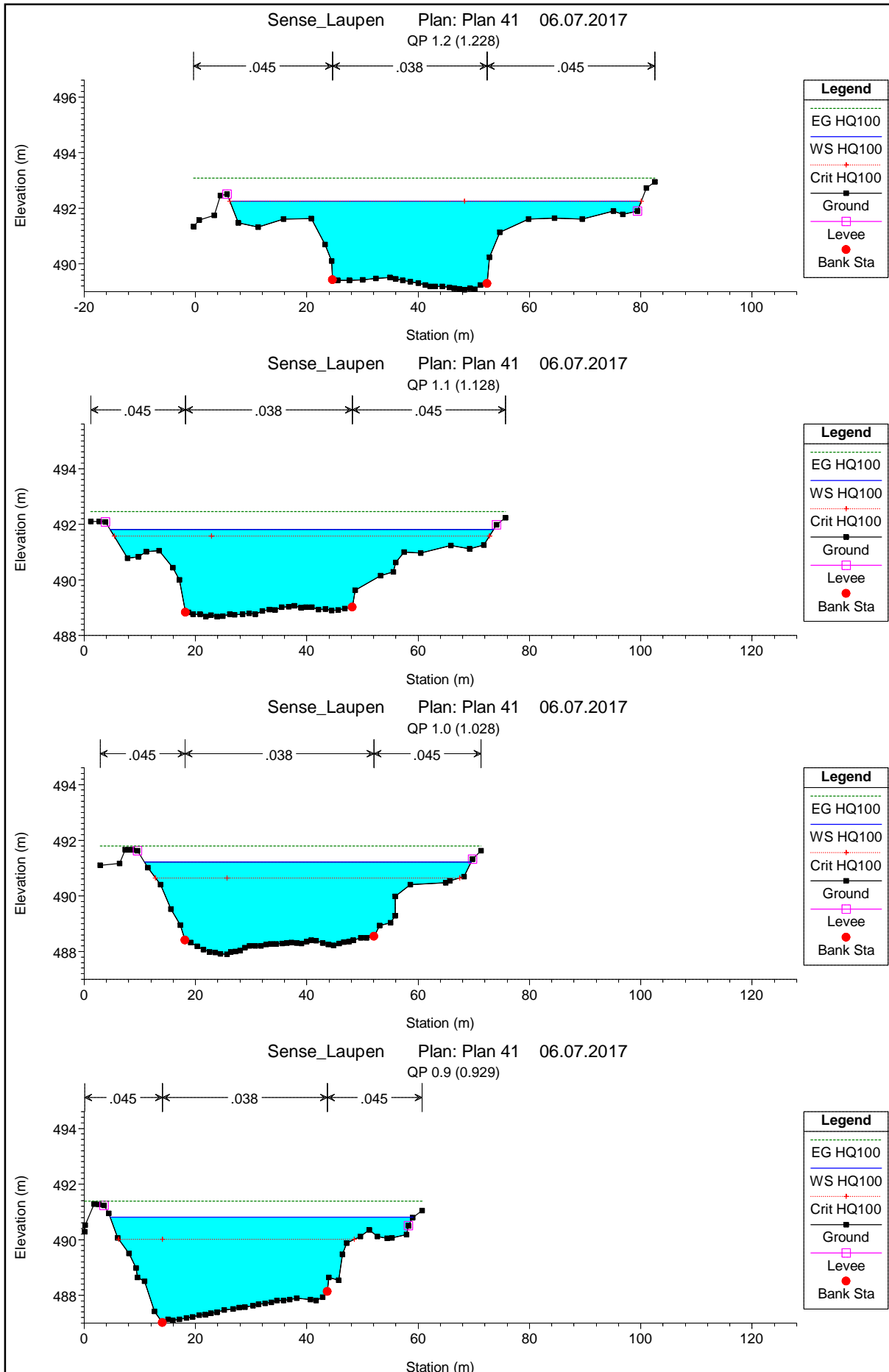


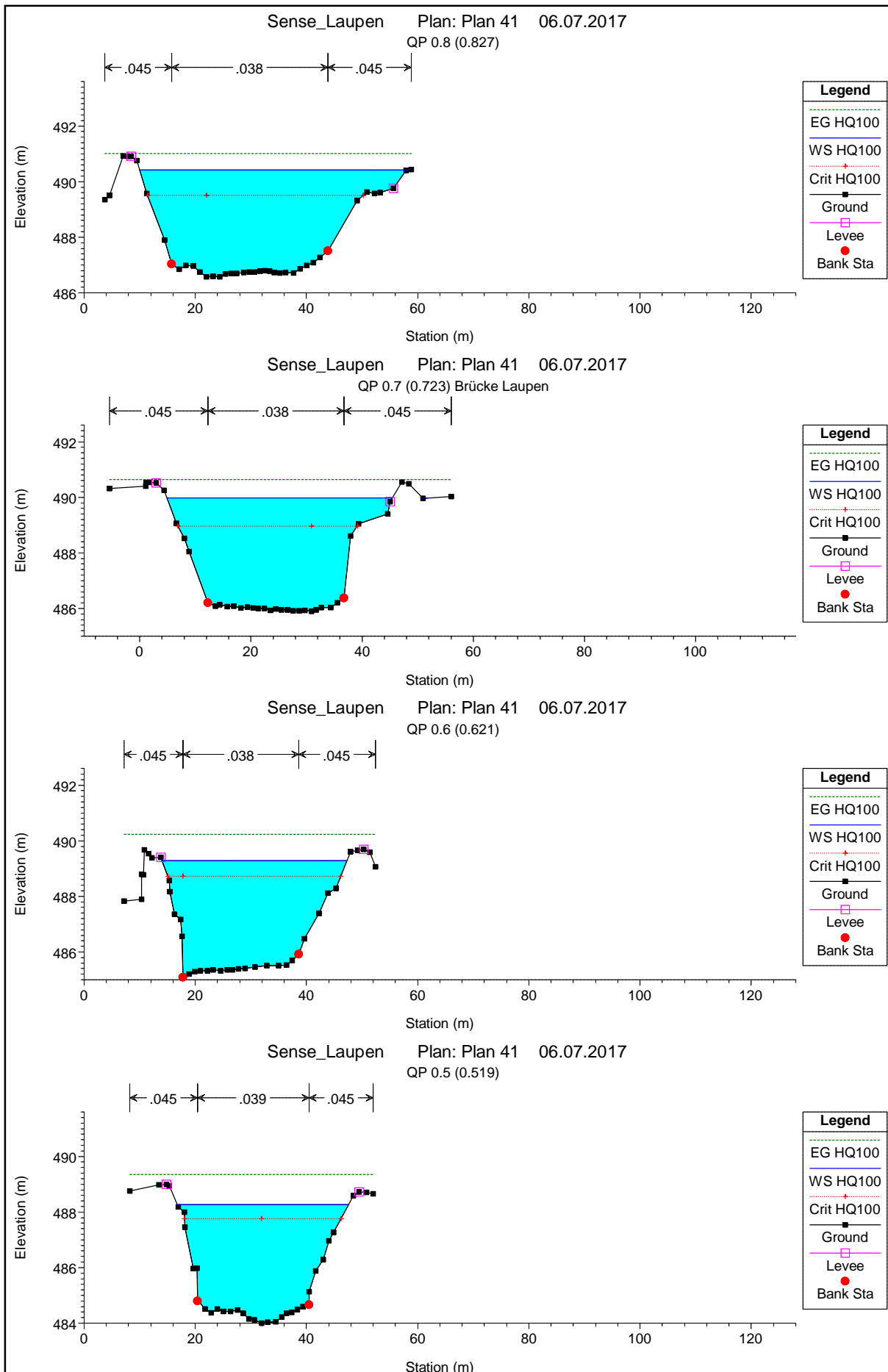


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m

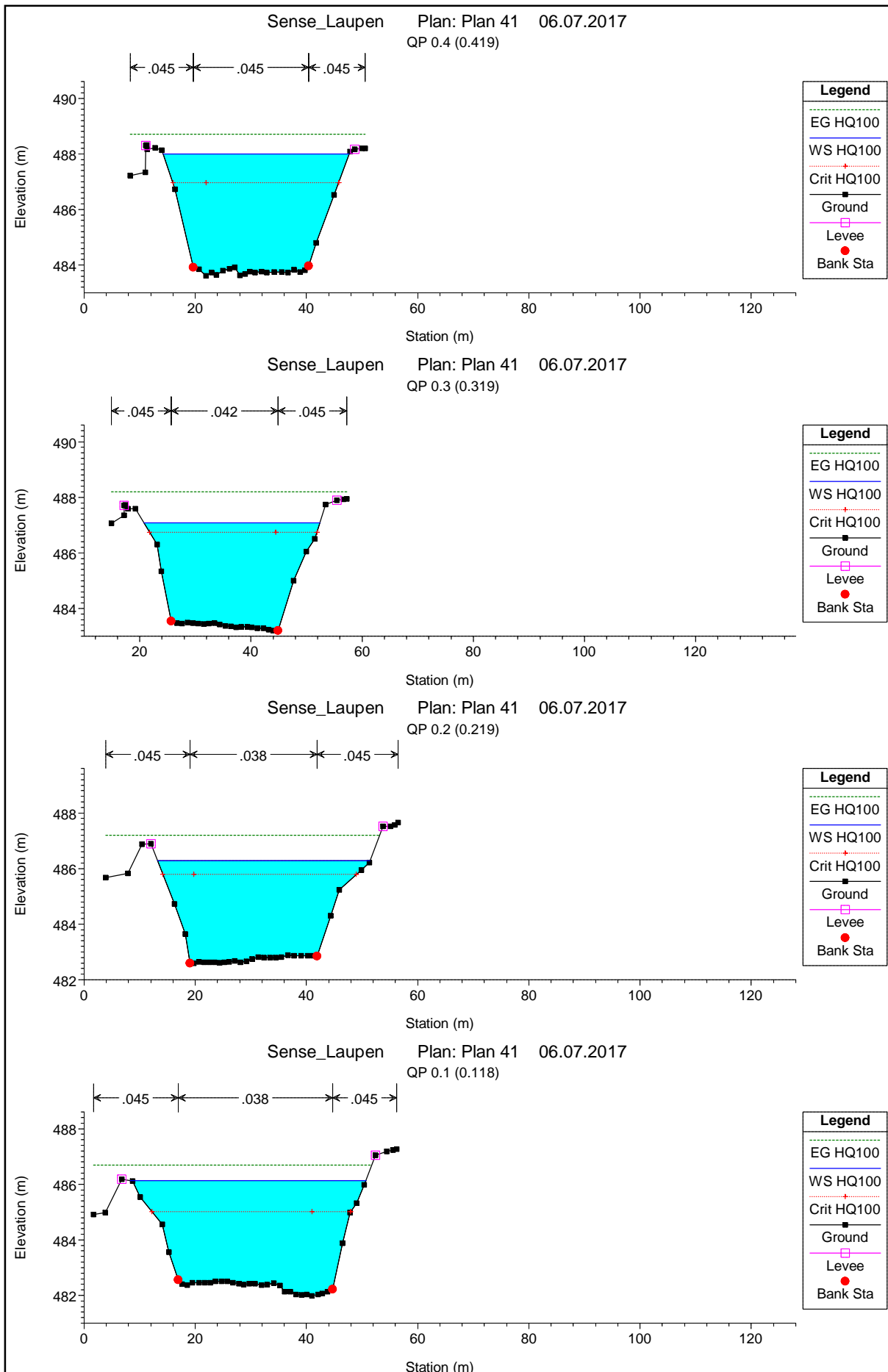


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m



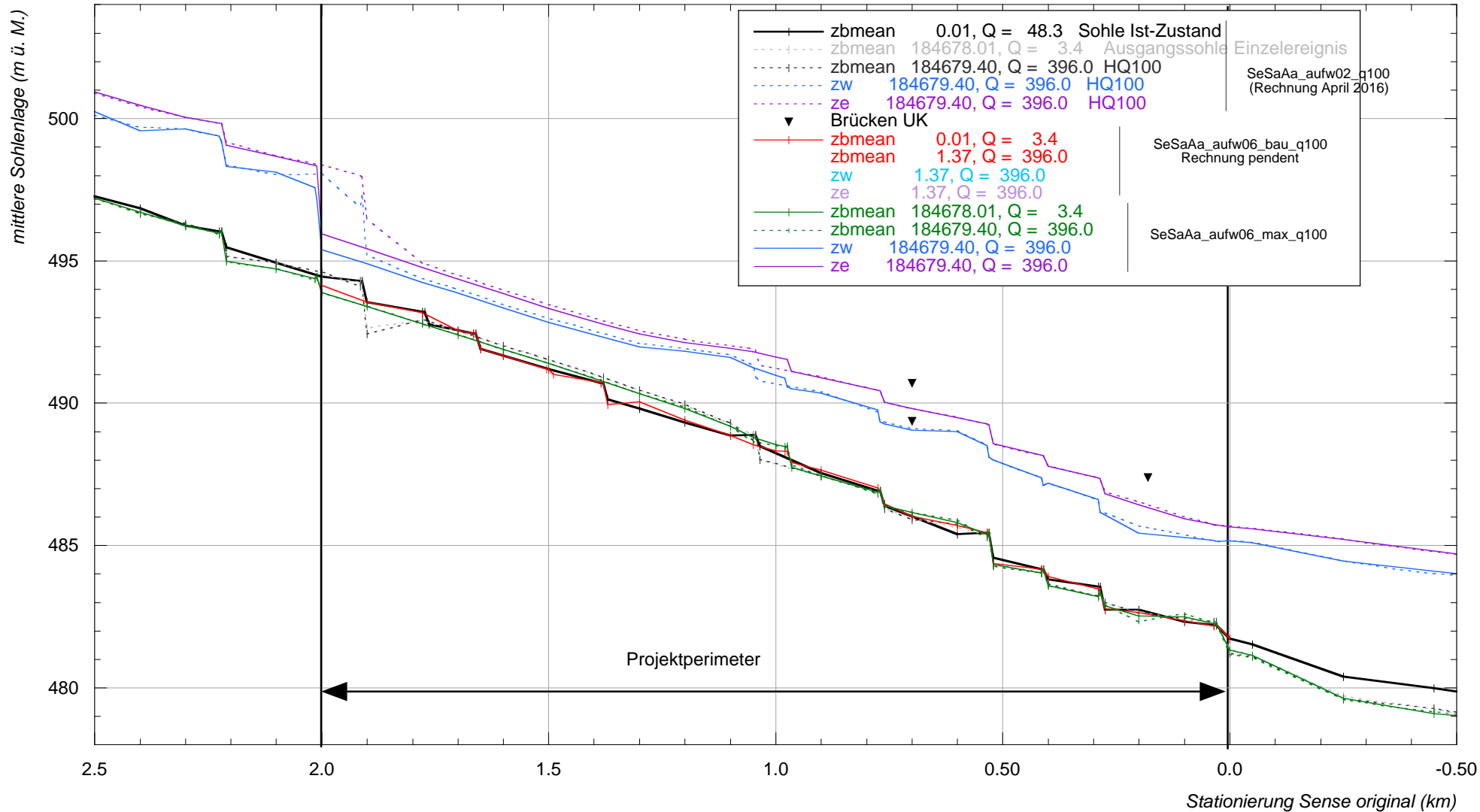


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m



Längenprofil Zustand mit maximaler Breite

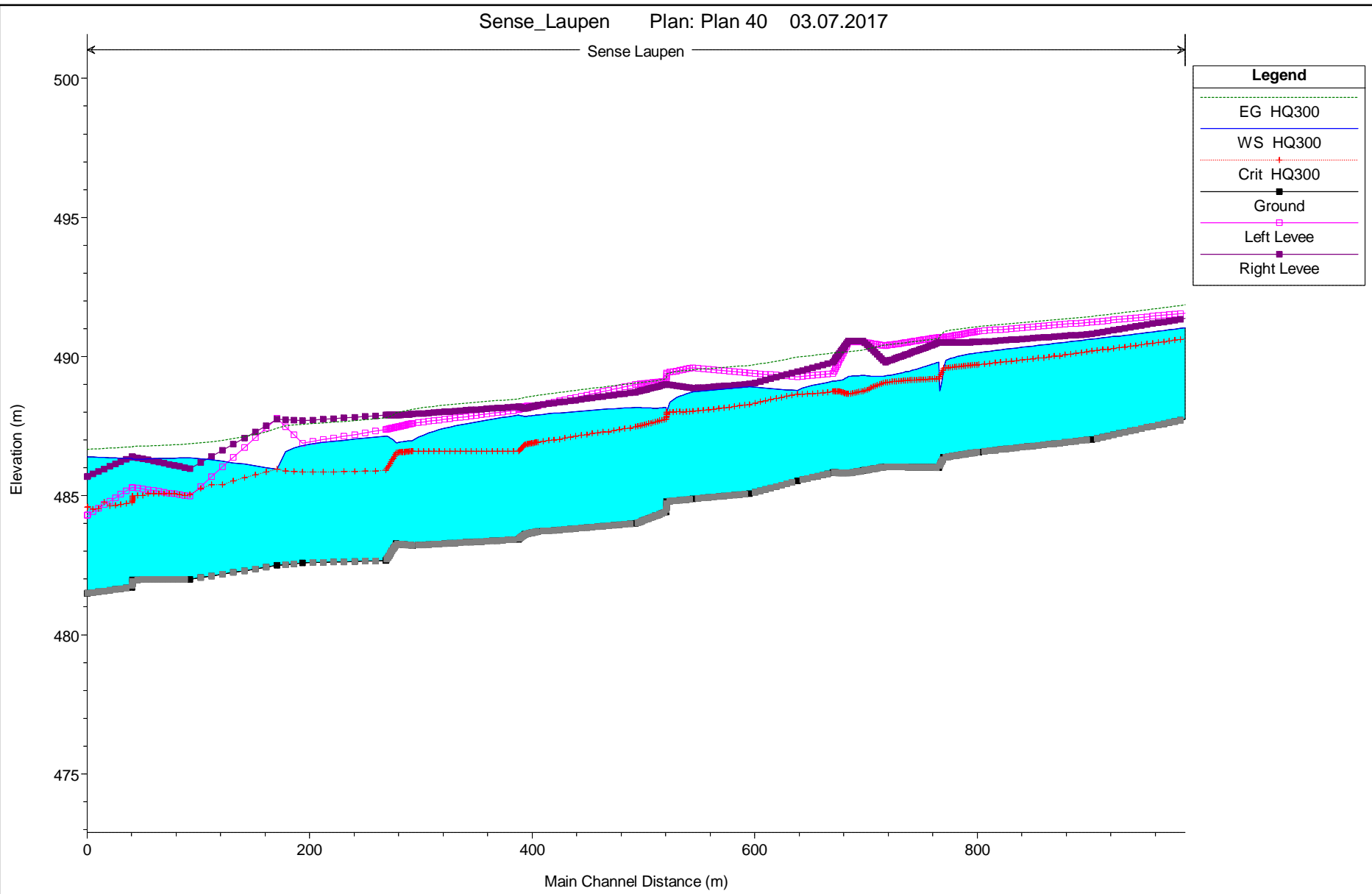
----- SeSaAa_aufw02_q100 (Rechnung April 2016)
 ——— SeSaAa_aufw06_max_q100 und SeSaAa_aufw06_bau_q100 (Rechnung April 2017)
 4.5.17/sg



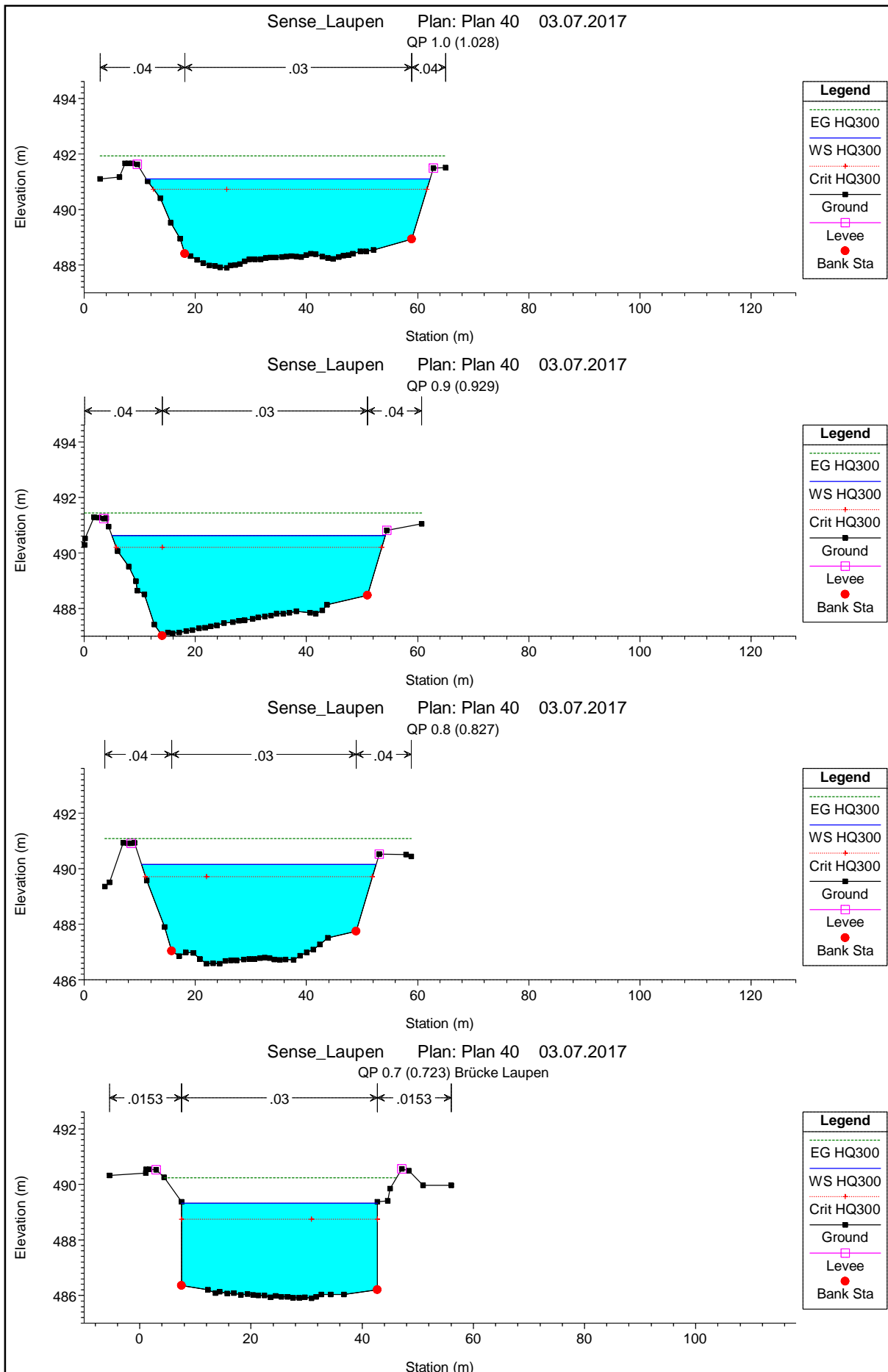
Sense_Laupen Plan: Plan 40 03.07.2017

Sense Laupen

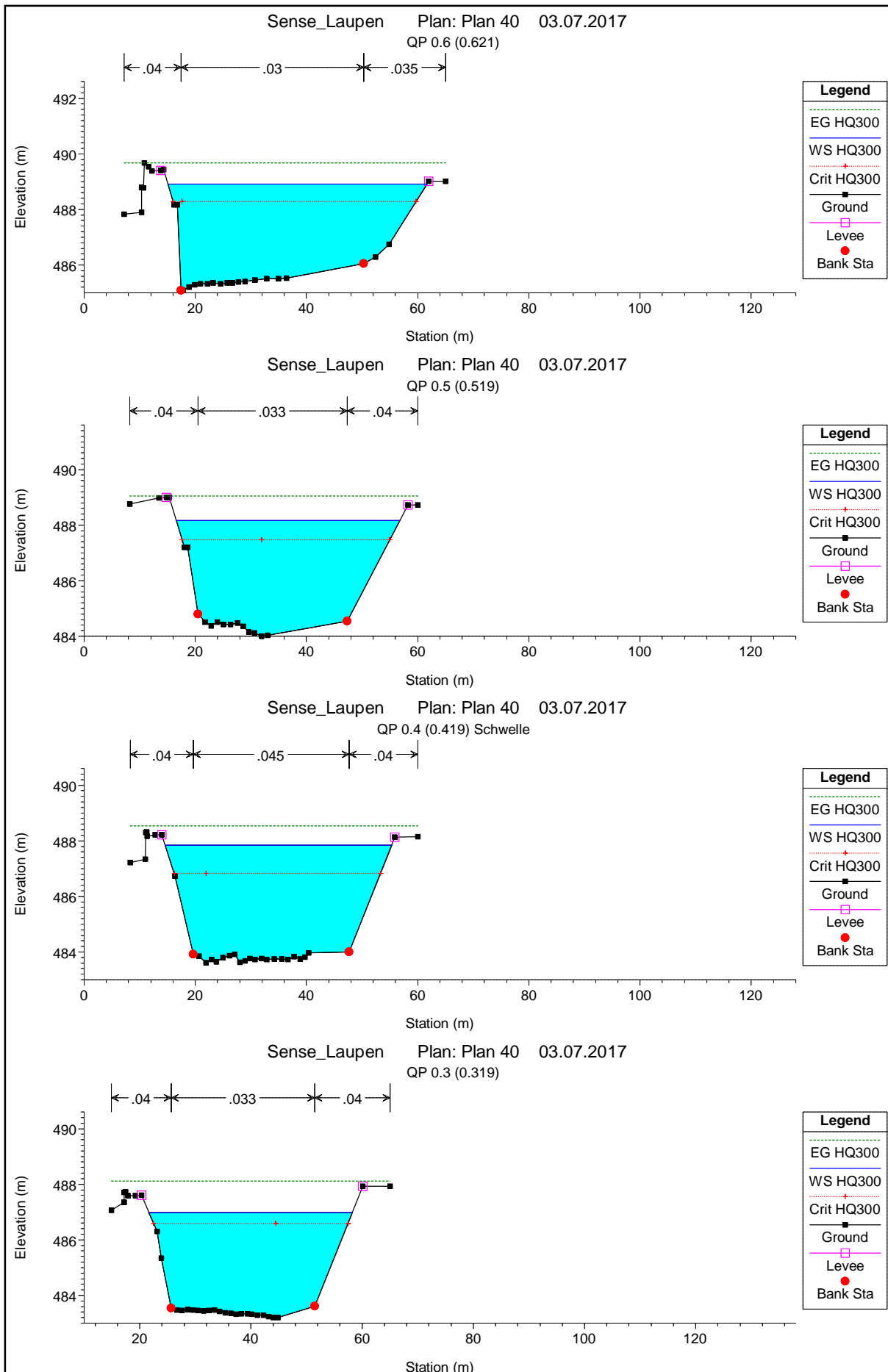
Legend	
EG HQ300	
WS HQ300	
Crit HQ300	
Ground	
Left Levee	
Right Levee	



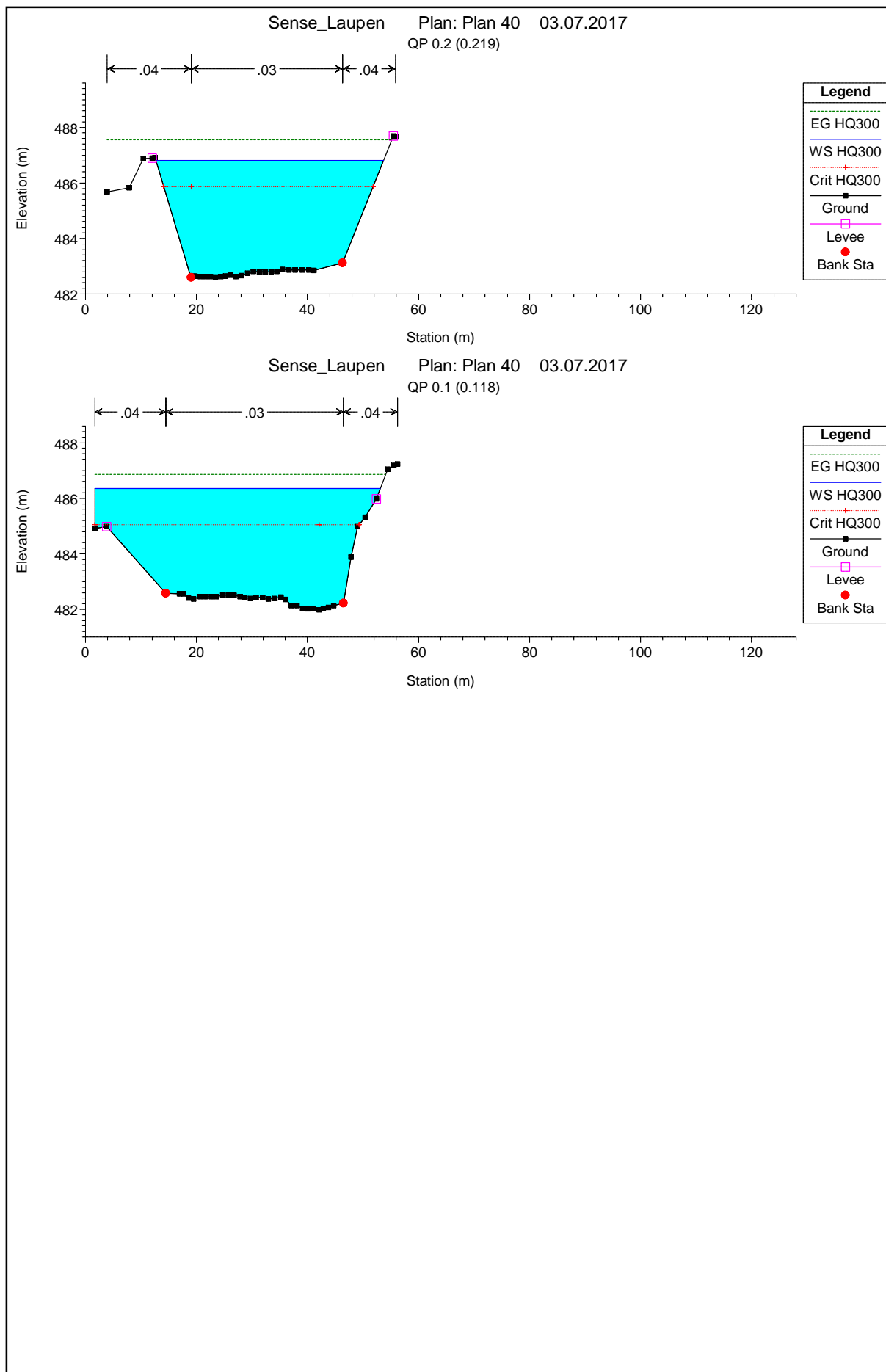
1 cm Horiz. = 50 m 1 cm Vert. = 2 m



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m



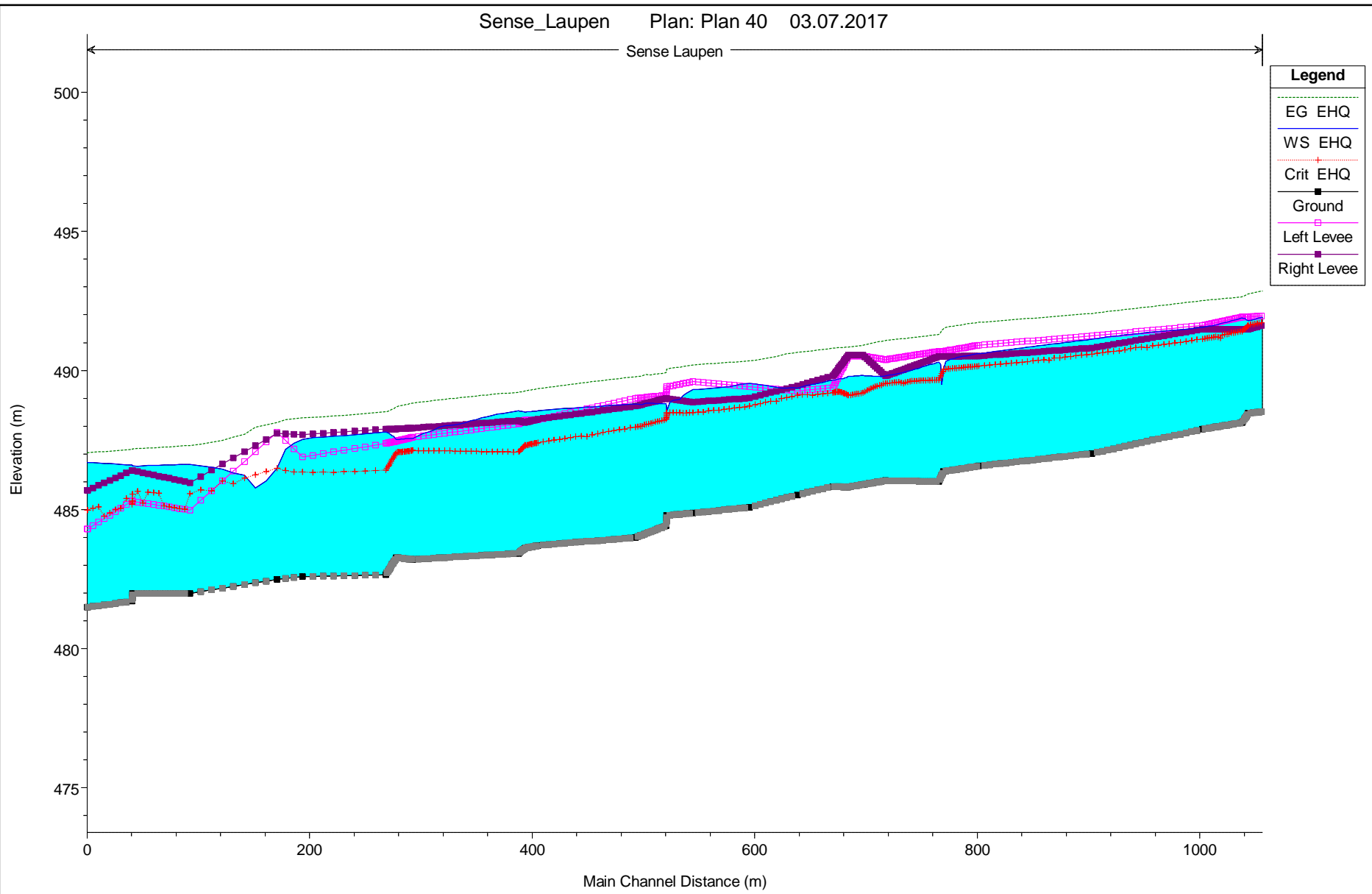
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m

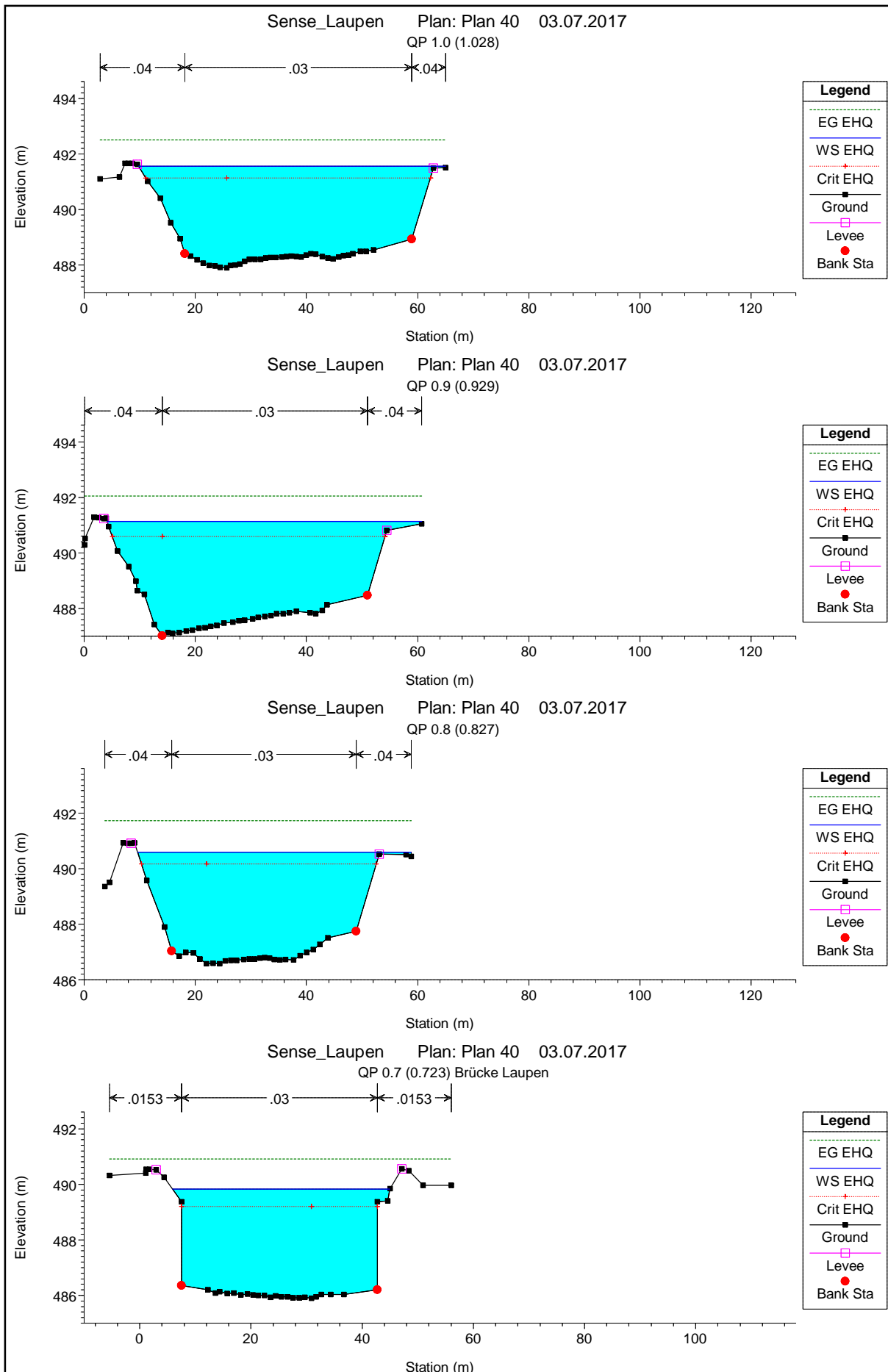
Sense_Laupen Plan: Plan 40 03.07.2017

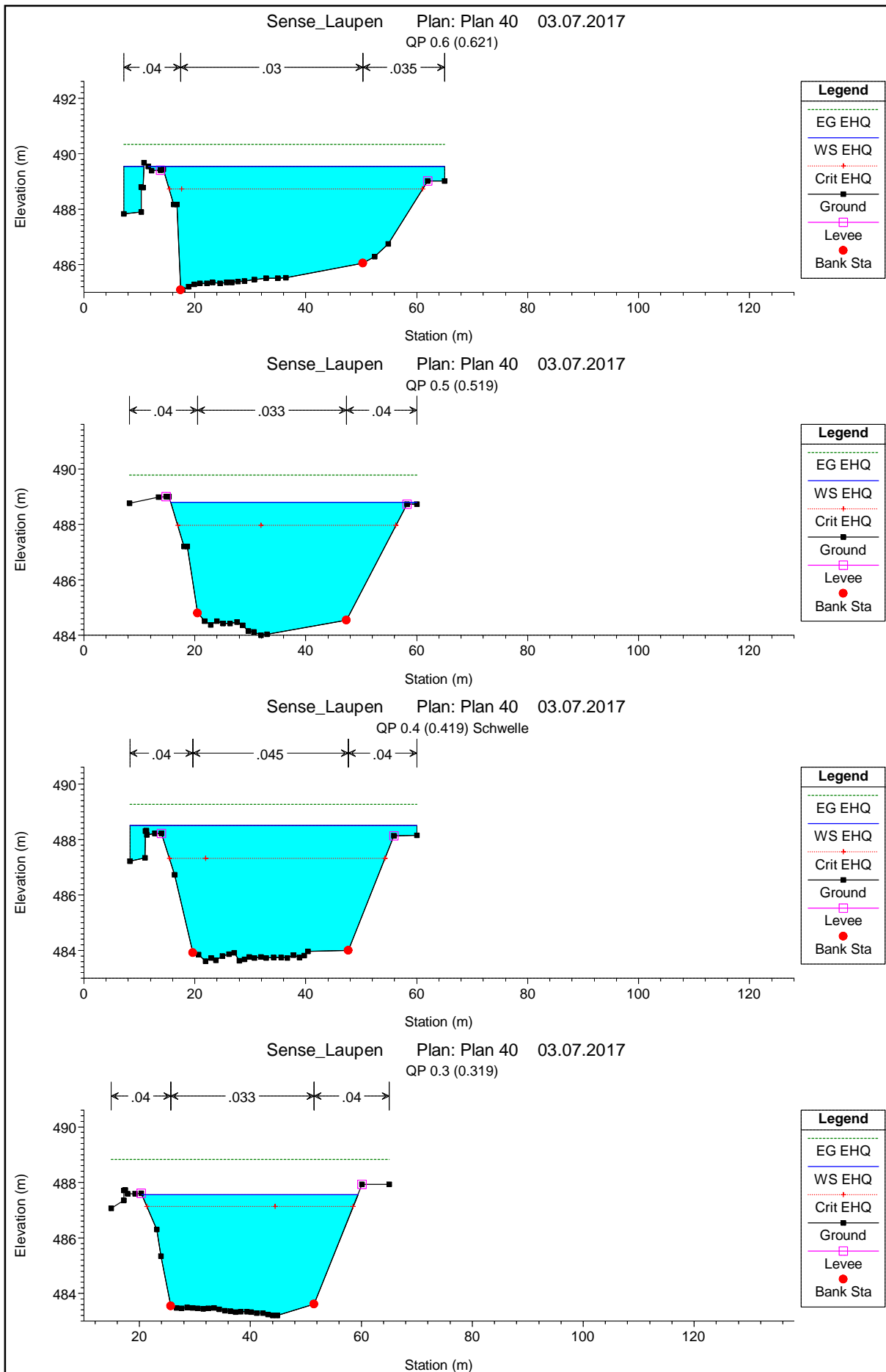
Sense Laupen



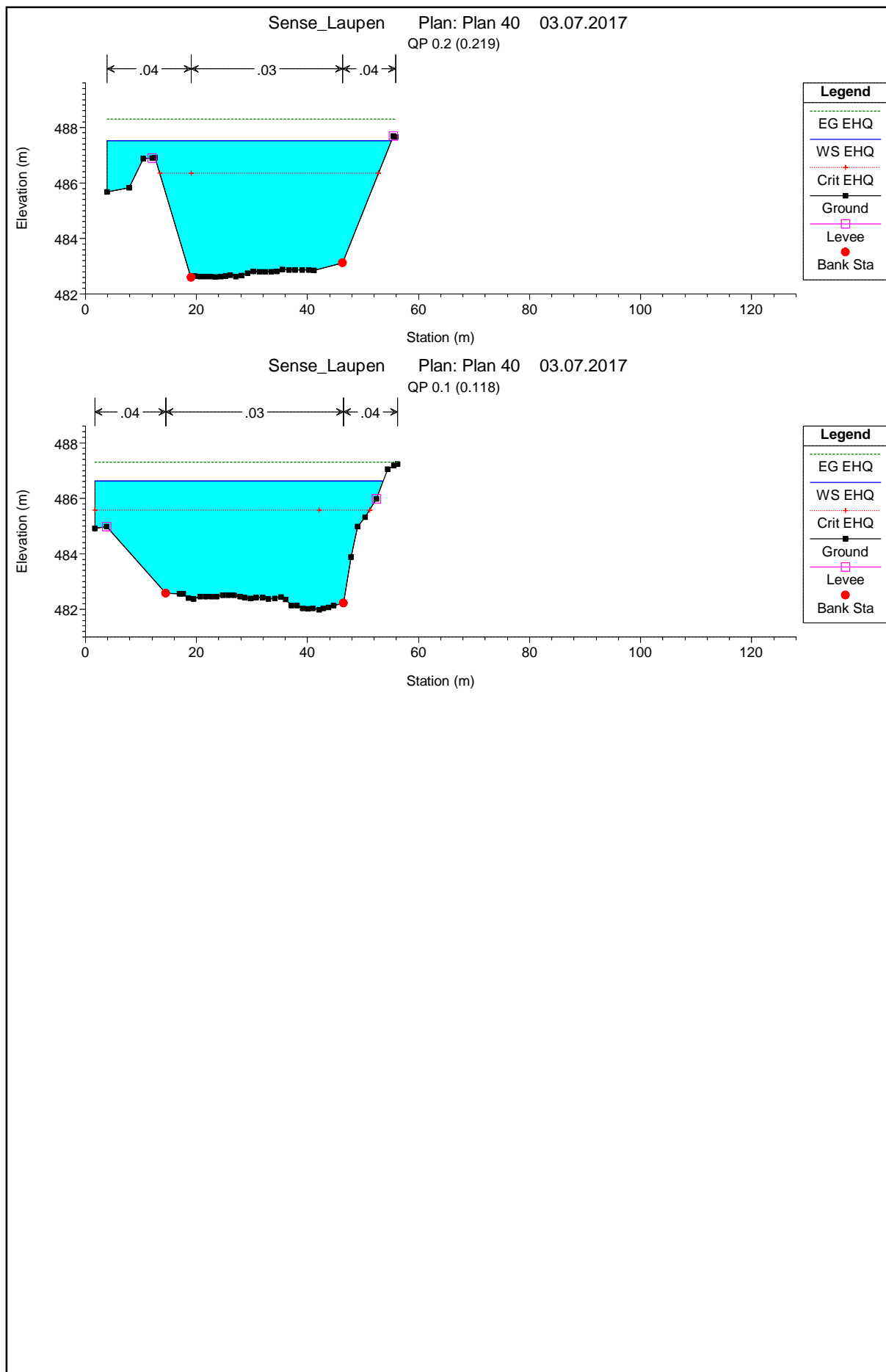
Legend	
EG EHQ	Green dashed line
WS EHQ	Blue solid line
Crit EHQ	Red dotted line with '+' markers
Ground	Black solid line with square markers
Left Levee	Pink solid line with square markers
Right Levee	Purple solid line with square markers

1 cm Horiz. = 50 m 1 cm Vert. = 2 m





1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 2 m

Blocksatz Sense

Anhang G5

Berechnung nach:

Anton Schleiss, Aménagements de cours d'eau (Édition Novembre 2006), Lausanne
Methode von Stevens et al. (1976), Formel 6.2 bis 6.6

Blocksatz	
Abflusstiefe h	3.5 m
Längsgefälle J	0.007 -
Blockdurchmesser d_m	1.00 m
Grenzscherbspannung Θ_{cr}	0.047 -
Relative Dichte s	2.65 -
Blockgewicht t	1.39
Krit. Scherbspannung Θ_c	0.078 -
Ist-Scherbspannung Θ	0.019 -
Faktor η	0.24
Reibungswinkel Blöcke φ	45.0 °
Böschungeneigung α	33.0 °
Faktor S_m	1.540 -
Faktor ξ	0.447
Sicherheit S	1.234 -

Neigung 1 zu 1.5

Blockrampe Sense

Anhang G6

Berechnung nach:

Gian Reto Bezzola, Flussbau (Fassung FS 2009), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Anton Schleiss, Aménagements de cours d'eau (Édition Novembre 2006), Lausanne

Direkte Erosion		
Abfluss Q	395.0	m ³ /s
Breite Gerinne	36.0	m
Rampengefälle J _R	0.050	-
Relative Dichte s	2.65	-
Blockdurchmesser D ₆₅	0.8	m
Dichte Blockmaterial ρ _s	2'650	kg/m ³
Spez. Abfluss q _{lst}	11.0	m ² /s
Resultate		
Spez. Abfluss q	24.4	m ² /s
Masse Block M	171	kg

Formel 13.29a

Formel 13.29b

Indirekte Erosion		
Belegungsdichte Blöcke β	0.56	t/m ²
Äqui. Blockdurchm. D	0.848	m
Gewicht Block	846	kg
Filterschicht d ₆₅ min	0.050	m
Filterschicht d ₆₅ max	0.141	m
Filterschicht d ₆₅	0.12	m
Min. Belegungsdichte β	1.36	t/m ²
Resultat		
max. Spez. Abfluss q	26	m ² /s

Abgleiten Blöcke

Einsinken Blöcke

Formel 13.30

Die Formel 13.30 dient zum Bestimmen der Belegungsdichte β

Kolk am Rampenfuss		
Spez. Abfluss q _{lst}	11.0	m ² /s
d ₉₀ Sohle	0.12	m
Strömungsgeschw. V	5.15	m/s
Resultat		
Kolktiefe s	5.5	m

Formel 13.32

Formel 13.31

Die Kolktiefe ist inkl. Wsp. h_w

Wasserspiegelhöhe h _w	3.0	m
Kolktiefe exkl. Wsp.	2.5	m

aufgelöste Blockrampe

Projekt	HWS Laupen
Ort	-
Station	1.000 km

Allgemeine Parameter

d ₉₀	0.12 m
d _{mD}	0.12 m
d _m	0.05 m
g	9.81 m/s ²
ρ _{Stein}	2650 kg/m ³
s	2.65

Ansatz nach Whittaker

Bedingungen

Gefälle	$0.001 < J_R < 0.05$	Nachweis	0.02
relative Überdeckung	$0.5 < h/D < 4$		1.8
Blockkonzentration	$n * D^2 < 0.15$		0.15

Parameter

B	36 m	Breite Fluss
h	3.22	
R_s	2.73	
J_R	0.02 m/m	
D	1.8 m	
D_65	1.70 m	
M	8085 kg / Stück	
n_max	0.046	
n	0.045 Stück /m2	
k_S Faktor	1.5 -	zwischen 1.5 und 3.0; für c_B
D/d_90	15	$6 < D / d_{90} < 17$

Rauigkeitsberechnung

k_B	4.451
k_S	0.18
c_B	4.990
c_S	13.010
c	4.659
U_M	3.4 m/s

Sohlstabilität

J'	0.003 m/m
Θ	0.085
Θ_c	0.05
Θ_cD	0.090
Nachweis	1.06 (OK wenn grösser als 1.0)

OK

Nachweis kann für eine Neigung von max. 2.0% erbracht werden.

Ansatz nach Tamagni

Bedingungen

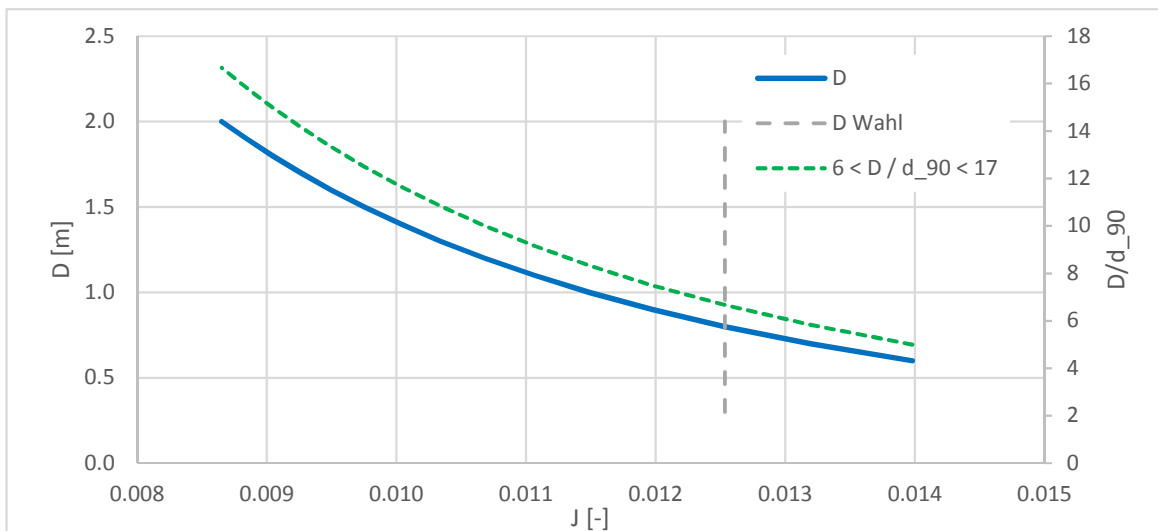
Gefälle	< 5%	Nachweis	0.013
Belegungsdichte	$0.15 < \lambda < 0.25$		0.25
Dim. Loser Abfluss	$q_{d^*} < 1700$		678

Parameter

B	36 m	Breite Fluss
q	11.0 m ³ /s	
D	0.8 m	
D ₆₅	0.75 m	
M	710 kg/Stück	
λ	0.25 -	Belegungsdichte
D/d ₉₀	6.7	$6 < D / d_{90} < 17$

Berechnung

q _{d*}	677.6	< 1700
J _e	0.013 m/m	S _e
N	0.50 Blöcke/m ²	



Nachweis kann für eine Neigung von max. 1.3% erbracht werden.

Flussaufweitung Sense (km 1.100 bis 2.000)

Anhang G8

Berechnung nach:

Gian Reto Bezzola, Flussbau (Fassung FS 2009), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

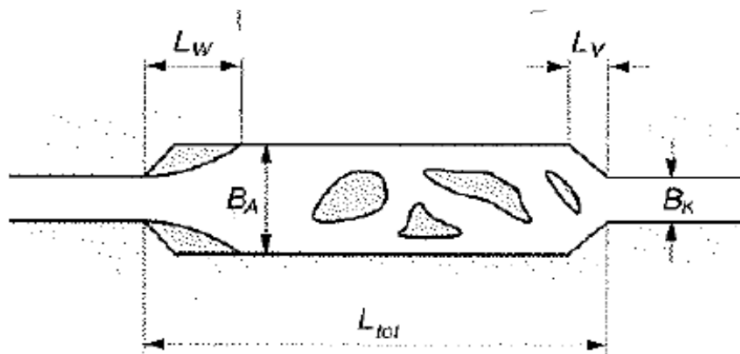
Länge Erweiterungsbereich L_W

Breite Aufweitung B_A	80.0 m
Breite Kanal B_K	30.0 m

β (Formel 12.4c)	2.67 -
F (Formel 12.4b)	0.66 -

Erweiterungsbereich L_W	101.4 m
---------------------------	---------

Formel 12.4a



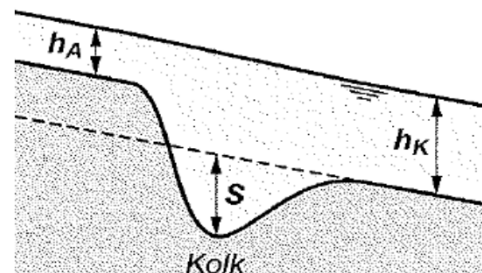
Max. Kolktiefe s

Abflusstiefe h_A	1.6 m
Abflusstiefe h_K	3.1 m
Koeff. Öffnungswinkel K_δ	0.7 m

ω (Formel 12.7b)	4.56 -
-------------------------	--------

Max. Kolktiefe s	-3.1 m
------------------	--------

Formel 12.7a



Projekt **HWS Laupen**
Fluss Sense

Anhang G9

Querströmungskolk

Ansatz nach Zarn 1997

(1) Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen von Lukas Hunziker in WasserEnergieLuft 2004 Heft 9/10

(2) Kolkproblematik in aufgeweiteten Flussabschnitten, Symposium Lebensraum Fluss, 2004

h	0.59 m	bei Q_0 (Transportbeginn)	
h	m	bei HQ_2	
h_wahl	1.5 m	Abflusstiefe	HQ100 werte 2.5 - 3.0 ohne Aufweitung HQ100 werte 1.5 - 2.0 bei voller Aufweitung
B	80 m	Breite	
d	0.05 m	Korndurchmesser	
W	19.22		
t_max	-3.64 m	tiefe ab mittlerer sohlenlage	(1)
t_5%	-3.06 m		(1)
t_mittel	-1.46 m		(2)
t_dim	-4.53 m	Dimensionierungstiefe	(2)

Transportbeginn - Einkornmaterial

aus flussbauskript Kap 5.4 und 5.5 abgeleitet

Θ_c	0.05
ρ_Stein	2650 kg/m ³
ρ_H2O	1000 kg/m ³
d	0.05 m
J	0.007 m/m
h	0.59 m

CSD Ingenieure AG

Anhang G10

Datum : 22.02.2018
 Objekt : Überlastsektion

HWS Sense**VOLLKOMMENER ÜBERFALL**

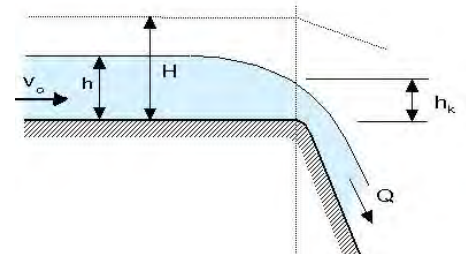
Überlastsektion ohne Erosion - intakter Damm

Eingaben :

Überfallbreite	$b =$	90.00	m
Beiwert	$\mu =$	0.490	
Anlaufgeschwindigkeit	$v_o =$	1.50	m/s
Abflussmenge	$Q =$	35.000	m ³ /s

Resultate :

Überfallhöhe	$h_o =$	0.30	m
Energiehöhe	$H =$	0.42	m
Kritische Höhe	$h_k =$	0.25	m



CSD Ingenieure AG

Anhang G10

Datum : 22.02.2018
 Objekt : Überlastsektion

HWS Sense

ABFLUSSMENGE (offener Kanal)

Überlastsektion Bresche - Damm erodiert

Rechteck - Profil**Eingaben :**

Gefälle	J =	10.00	‰
Widerstandsbeiwert	ks =	30.00	
Sohlenbreite	b =	90.00	m
Abflusstiefe	hN =	0.60	m

Resultate :

(Berechnung nach Strickler)

Abflussmenge	Q =	114.230	m ³ /s
Energiehöhe	H =	0.83	m
Geschwindigkeit	vN =	2.12	m/s
Krit. Höhe	hk =	0.55	m
Krit. Energiehöhe	Hk =	0.82	m
Krit. Geschwindigkeit	vk =	2.32	m/s
Wasserspiegelbreite	B =	90.00	m
Benetzte Fläche	F =	54.00	m ²
Benetzter Umfang	P =	91.20	m
Schwerpunkt ab Wsp	zs =	0.30	m
Wasserdruck	W =	158.92	kN
Froude - Zahl	Fr =	0.87	
Schleppspannung	=	58.09	N/m ²

Strömender Abfluss

CSD Ingenieure AG

Anhang G10

Datum : 22.02.2018
 Objekt : Überlastsektion

HWS Sense

ABFLUSSMENGE (offener Kanal)

Überlastsektion Bresche - Damm erodiert

Rechteck - Profil**Eingaben :**

Gefälle	J =	10.00	‰
Widerstandsbeiwert	ks =	30.00	
Sohlenbreite	b =	90.00	m
Abflusstiefe	hN =	0.80	m

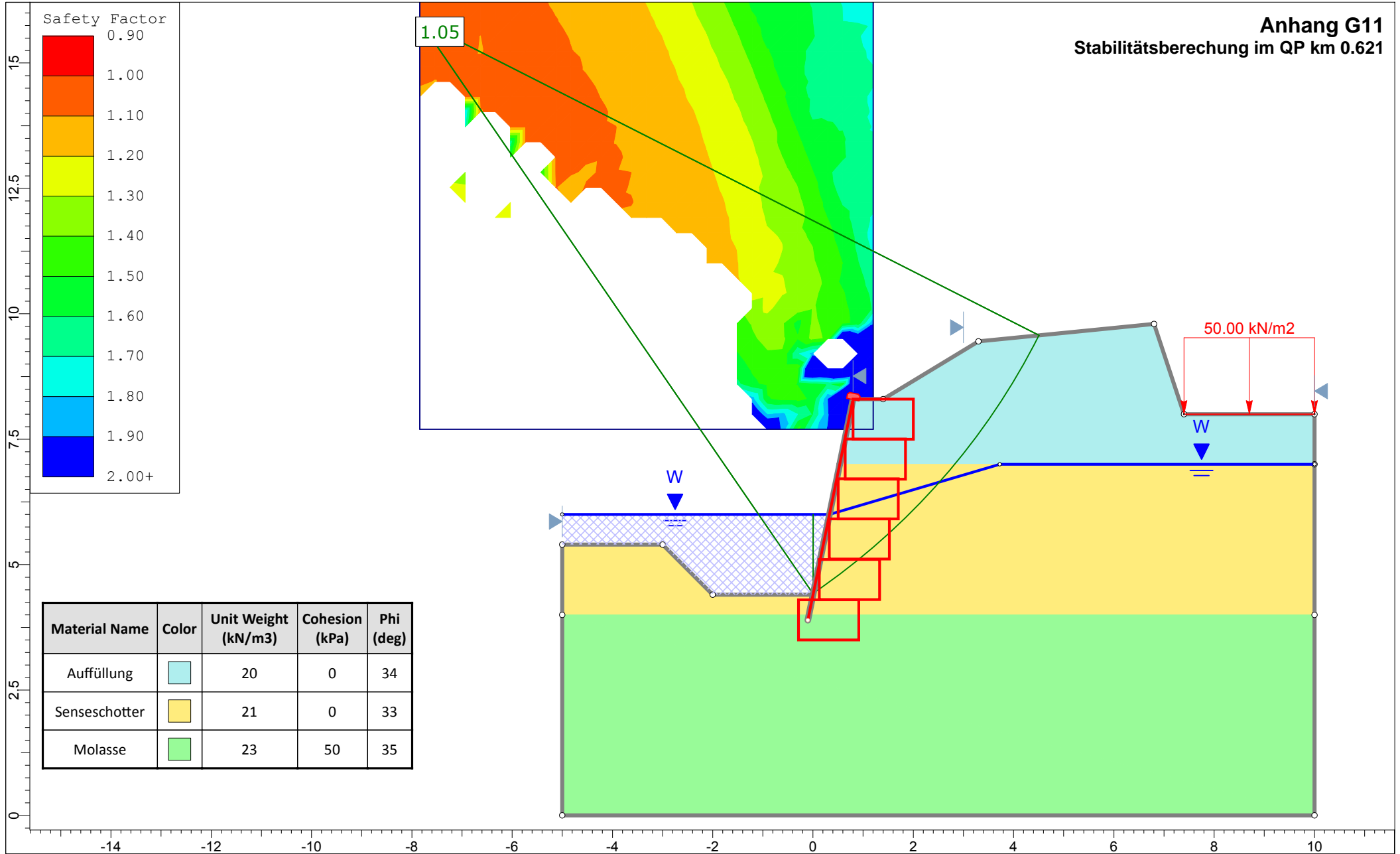
Resultate :

(Berechnung nach Strickler)

Abflussmenge	Q =	183.969	m ³ /s
Energiehoehe	H =	1.13	m
Geschwindigkeit	vN =	2.56	m/s
Krit. Höhe	hk =	0.75	m
Krit. Energiehöhe	Hk =	1.13	m
Krit. Geschwindigkeit	vk =	2.72	m/s
Wasserspiegelbreite	B =	90.00	m
Benetzte Fläche	F =	72.00	m ²
Benetzter Umfang	P =	91.60	m
Schwerpunkt ab Wsp	zs =	0.40	m
Wasserdruck	W =	282.53	kN
Froude - Zahl	Fr =	0.91	
Schleppspannung	=	77.11	N/m ²

Strömender Abfluss

Anhang G11
Stabilitätsberechnung im QP km 0.621



ANHANG H BERECHNUNG GESCHIEBE

- Berechnung Flussbau AG (2016)



Wasserbauplan Sense Laupen

Kurzdokumentation

Projektannahmen / Modellaufbau

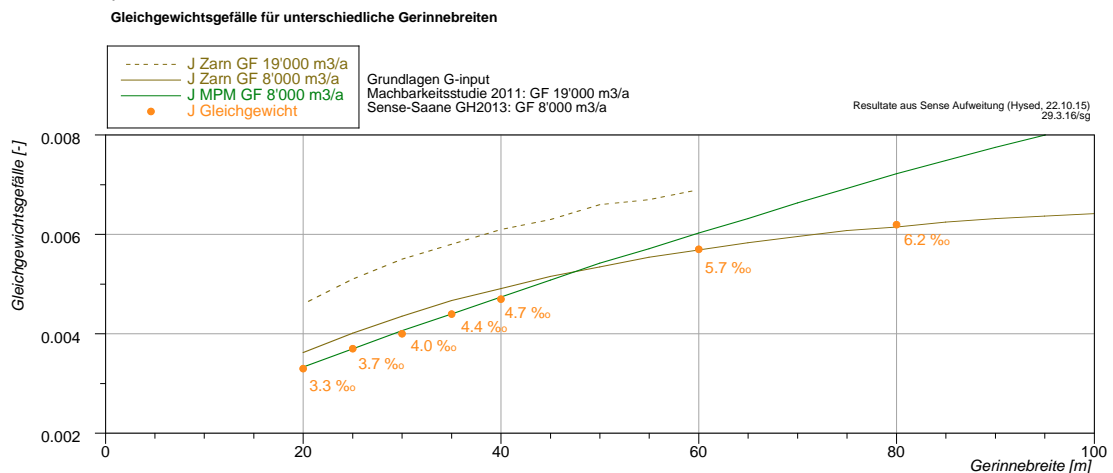
- Grundlage: Projektpläne CSD 25.11.2015, resp. 14.01.2016
- Oberhalb km 1.900 (inkl. Schwelle) wurde der Ist-Zustand beibehalten
- Ab km 1.900 bis zur Mündung in die Saane wurde die Querprofilgeometrie gemäss Projekt angepasst, maximale Erosionsbreite bis zum geplanten Uferschutz (max 80 m)
- Sohlenfixpunkte bei km 1.9 sowie von 1.1 bis 0.0 im Modell abgebildet (hydraulisch relevante Kote)
- Keine Sohlenfixpunkte im Modell auf Abschnitt km 1.9 bis 1.1 (Aufweitung bis 80 m)

Szenarien und Modellrechnungen

- Km im Modell entsprechen alten Sense km, Differenz zu GEWISS ca. 20 m
- Abfluss- und Transportrechnungen mit mobiler Sohlenlage
- Extrapolationsrechnung über 40 Jahre -> Prognose Sohlenlage
- Einzelereignis HQ_{100} Sense + HQ_{20} Saane auf prognostizierter Sohlenlage
-> Hochwasserspiegel, Schutzkoten

Randbedingungen

- Rechnerisch ermitteltes Gleichgewichtsgefälle (zwischen Sohlenfixpunkten) in Abhängigkeit der Gerinnebreite bei gleich bleibendem Geschiebeeintrag in die Sense bei Thörishaus von $8'000 \text{ m}^3/\text{a}$



- Rechnerisch ermittelte Gleichgewichtsgefälle sind tendenziell flacher als effektiv gemessene Nettogefälle. Allenfalls führt eine Abpflasterung der Sohle zu einem steileren Gefälle.
- Aufgrund der Gerinneverbreiterung bildet sich ein Sohlenversatz in aufgeweiteten Abschnitten. Bei einer Ausgangsbreite von 25 m beträgt der Versatz bei unverändertem Geschiebeeintrag rund

Gerinnebreite	Versatz
30 m	0.3 m
40 m	0.7 m
60 m	1.1 m
80 m	1.3 m

- Minimale Initiierungsflächen zur Verbreiterung des Gerinnes auf 40 m auf einer Länge von 150 m werden empfohlen, um die eigendynamische Verbreiterung der Sense zu begünstigen. Längere oder Breitere Initiierungen führen zu einer zusätzlichen Verstärkung der Dynamik. Kürzere oder schmalere Initiierungen können zu einer Eintiefung der Sohle führen. Dies ist insbesondere auf dem Abschnitt km 1.9 bis 1.1. der Fall.

Resultate und Empfehlungen zum System

- Prognostizierte Sohlenlagen (Extrapolation über 40 Jahre) können dem Längenprofil in der Beilage entnommen werden (Darstellung im Vergleich zum Ist-Zustand).
Trotz Aufweitung und tendenziell steileren Gefällen sind weiterhin Fixpunkte notwendig.
- Schwellen zwischen km 1.1 und Mündung in die Saane sind notwendig, um die Höhendifferenz zu überwinden und sollten in einer vergleichbaren Grössenordnung beibehalten und entsprechend der geplanten Gerinnebreite ausgebaut werden.
- Schwellen zwischen km 1.9 und 1.1 können durch das grössere sich einstellende Gefälle grösstenteils kompensiert und aufgehoben werden. Dies bedingt den Ausbau der Schwelle bei km 1.930 und/oder eine Verlängerung der Gerinneverbreiterung Gerinneaufwärts (restliche zu Überwindende Höhendifferenz beträgt rund 1.5 m)
- Sohlenfixpunkte (Blockrampen/Schwellen) werden sinnvollerweise nicht den hohen Belastungen unterhalb der Verengungsbereiche ausgesetzt (Strömungskonzentration und Kolkbildung).
- In stark aufgeweiteten und dynamischen Gerinneabschnitten sind Sohlenfixpunkte wenig sinnvoll und verursachen hohe Kosten.

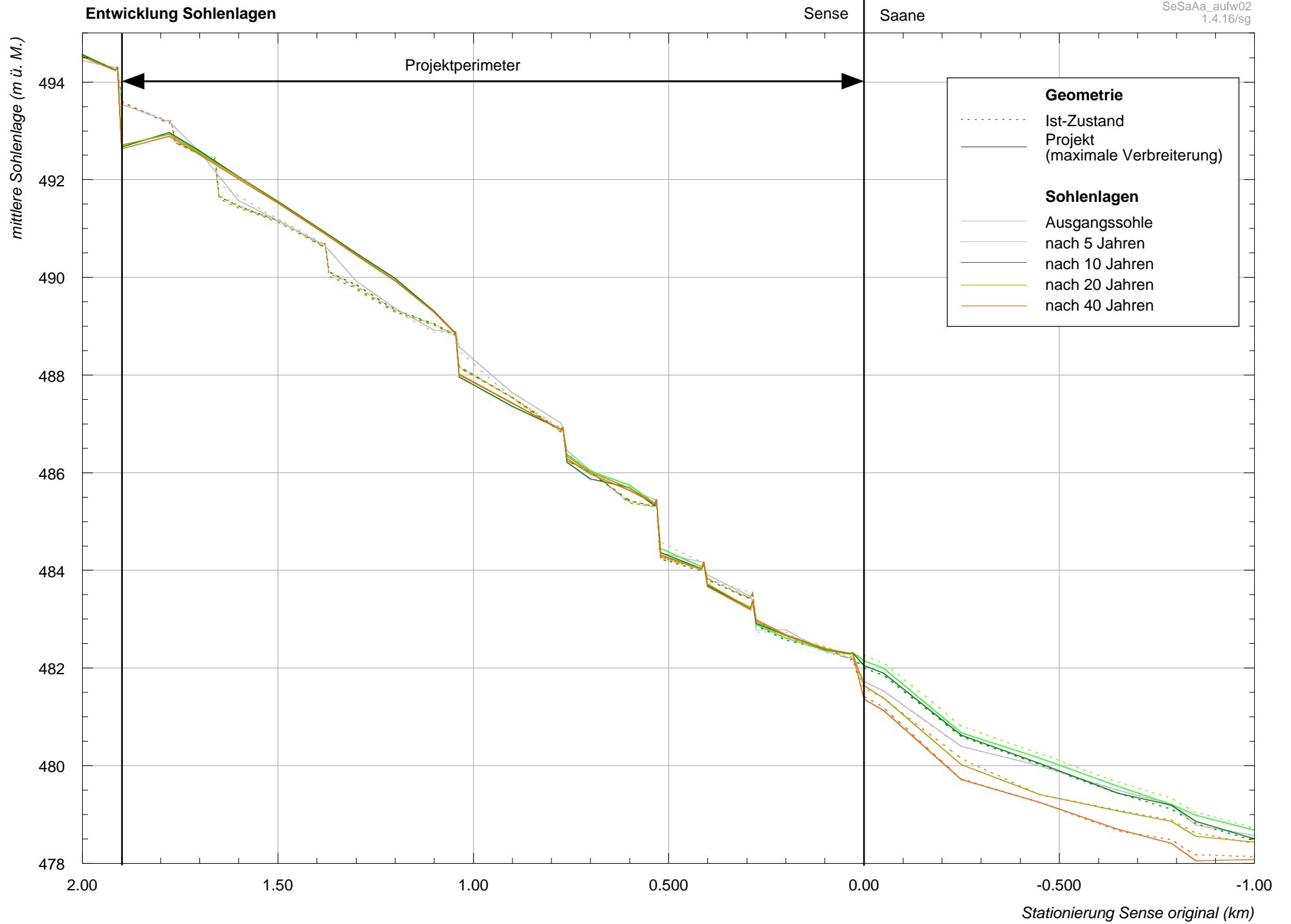
Resultate und Hochwasserereignis HQ100

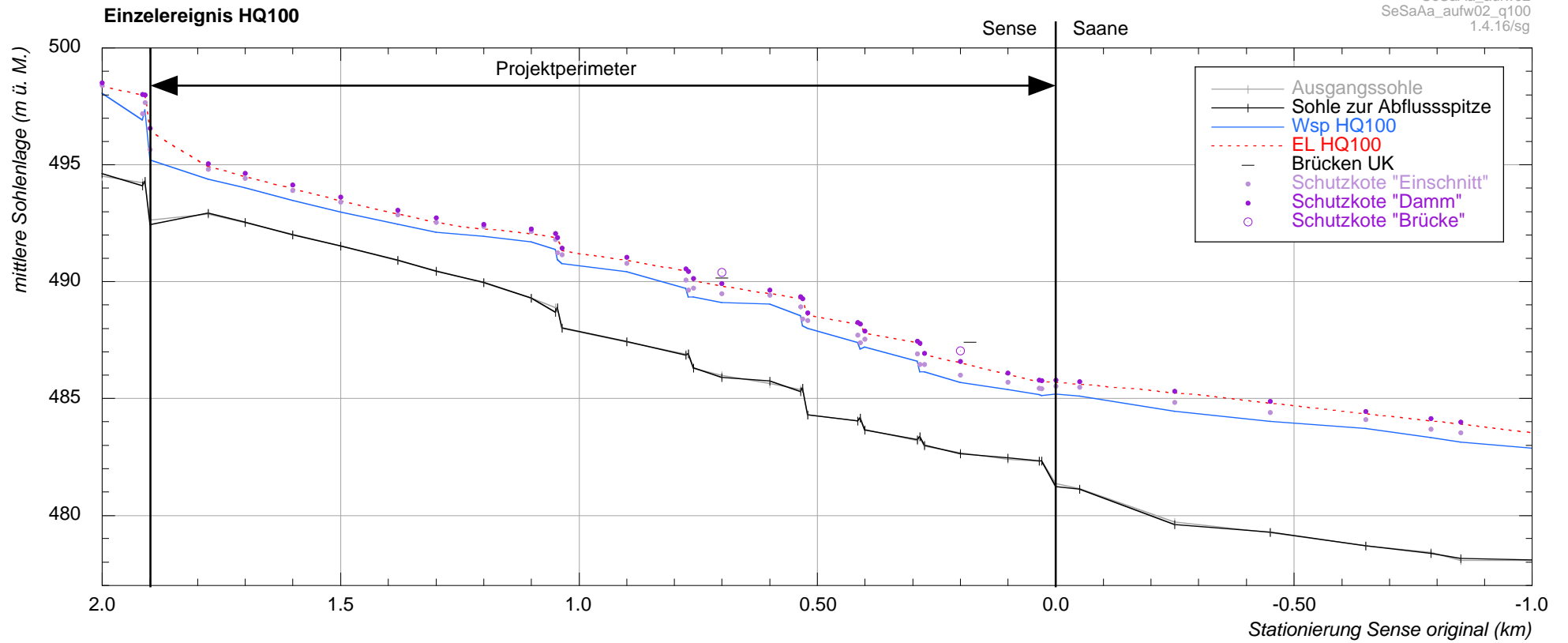
- Die Hochwasserspiegellagen und Energielinie HQ100 können dem Längenprofil in der Beilage entnommen werden.
- Die Sohlenlagen auf dem Projektperimeter verhalten sich relativ stabil während eines Hochwassers. In aufgeweiteten Abschnitten wird während des Hochwasserereignisses temporär Geschiebe abgelagert und während des abklingenden Asts wieder in das Unterwasser ausgetragen. Im Unterwasser der aufgeweiteten Abschnitte entsteht dadurch ein Geschiebedefizit, welches temporär Erosionen verursacht. Die Sohlenveränderungen während des Hochwassers liegen im Bereich von +/- 15 cm. Nur einzelne Profile (km 1.05, 1.9) weisen grössere Sohlenerosionen auf.
- Berechnung Freibord nach KOHS (jeweils zur Abflussspitze, Sohlenunschärfe in Funktion der Gerinnebreite ($B < 30$ m: σ_{wz} 0.2 m; $30 \text{ m} < B < 40$ m: σ_{wz} 0.3 m; $B > 40$ m: σ_{wz} 0.4 m; Schwellen: σ_{wz} 0.2 m), ft: 1m (Schwemmholzteppich)).
- Die für das in den Projektannahmen beschriebene System ermittelten Schutzkoten sind im Längenprofil in der Beilage dargestellt.
- Die Unterkante des Fussgängerstegs liegt über der erforderlichen Schutzkote. Die Freibordkriterien sind somit eingehalten.
- Die mittlere Brückenunterkante der Strassenbrücke (km 0.70) liegt 13 cm unter der erforderlichen Schutzkote. Die Freibordkriterien sind nicht eingehalten. Es muss davon ausgegangen werden, dass Schwemmholz, wenn es in Form eines Teppichs herangeführt wird, an der Brückenunterkante anschlägt. Schwemmholz und anderes Treibgut kann sich insbesondere am Rand der Brücke ansammeln und den Fliessquerschnitt verengen. Dies hat einen Aufstau im Oberwasser der Brücke zur Folge: Wir schlagen folgende Verbesserungsmöglichkeiten vor:
 - Anheben der Brücke um 13 cm, wenn Aufgrund der Anschlüsse möglich.
 - Absenken des Sohlenfixpunkts im Unterwasser der Brücke.

Zu prüfende resp. weiter auszuführende Aspekte (nicht abschliessende Liste)

- Anschluss neuer Uferschutz resp. zukünftige Ufersicherung („Initialmassnahme“) an bestehende Uferverbauung am oberen Projektrand
- Lage der Fixpunkte optimieren und festlegen. Definieren, welche Schwellen maschinell entfernt werden und welche so belassen und eingekiest werden sollen.
- Lokalisieren der Initiierungsflächen zur Aufweitung und festlegen von Länge und Breite.
- Verhalten der Sohlenlage nach Ausführung der Massnahmen im Initiierungszustand.
- Lage der Hochwasserspiegel im Initiierungszustand.
- Lage der Einleitungen Meteorwasser etc. , Zuflüsse hinsichtlich zukünftiger Sohlenlage prüfen.
- Einfluss des Geschiebeeintrages aus eigendynamischer Aufweitung auf das Gesamtsystem.
- Morphologische Strukturen, Kolkbildung, Foundationstiefen. Ufersicherungen sind den variablen Sohlenlagen anzupassen.
- Aktualisierung der Abfluss- und Transportrechnungen für das gewählte System (mit definierten Fixpunkten und maximalen Gerinnebreiten).
- Auswirkungen G-Eintrag aus eigendynamischer Aufweitung auf Gesamtsystem (Materialbilanz, aktive Aufweitung) für das gewählte System mit definierten Fixpunkten.

5.4.16 – sg





Szenario HQ100

run_aufw02_hq100/4.4.16/sg

Distanz	Ausgangssohle	Sohle Abflussspitze	Wsp Abflussspitze	EL Abflussspitze
km	m ü. M.	m ü. M.	m ü. M.	m ü. M.
2.300	496.21	496.30	499.64	500.04
2.225	495.96	495.92	499.39	499.84
2.220	496.03	496.03	499.20	499.82
2.210	495.19	495.15	498.36	499.17
2.100	494.93	494.93	498.01	498.68
2.000	494.51	494.60	498.06	498.36
1.915	494.23	494.10	496.90	497.98
1.910	494.29	494.29	497.36	497.95
1.900	492.63	492.43	495.21	496.47
1.778	492.88	492.94	494.37	494.92
1.700	492.51	492.54	494.00	494.49
1.600	492.01	492.01	493.47	493.97
1.500	491.52	491.52	492.97	493.45
1.380	490.89	490.90	492.44	492.88
1.300	490.45	490.45	492.10	492.55
1.200	489.93	489.97	491.93	492.23
1.100	489.29	489.30	491.70	492.03
1.050	488.88	488.68	491.36	491.89
1.045	488.88	488.88	490.93	491.87
1.035	488.00	488.01	490.77	491.32
0.900	487.42	487.44	490.41	490.91
0.775	486.88	486.84	489.69	490.45
0.770	486.92	486.92	489.34	490.43
0.760	486.29	486.29	489.33	490.03
0.700	485.97	485.90	489.10	489.82
0.600	485.63	485.75	489.04	489.50
0.535	485.36	485.30	488.53	489.26
0.530	485.45	485.45	488.10	489.24
0.520	484.29	484.29	488.00	488.56
0.415	484.03	484.03	487.38	488.17
0.410	484.17	484.17	487.09	488.15
0.400	483.67	483.65	487.19	487.80
0.290	483.19	483.23	486.59	487.38
0.285	483.36	483.36	486.15	487.35
0.275	482.95	482.99	486.14	486.88
0.200	482.66	482.63	485.68	486.53
0.100	482.39	482.44	485.38	486.01
0.035	482.30	482.32	485.15	485.72
0.030	482.32	482.32	485.12	485.70
0.000	481.35	481.22	485.17	485.68

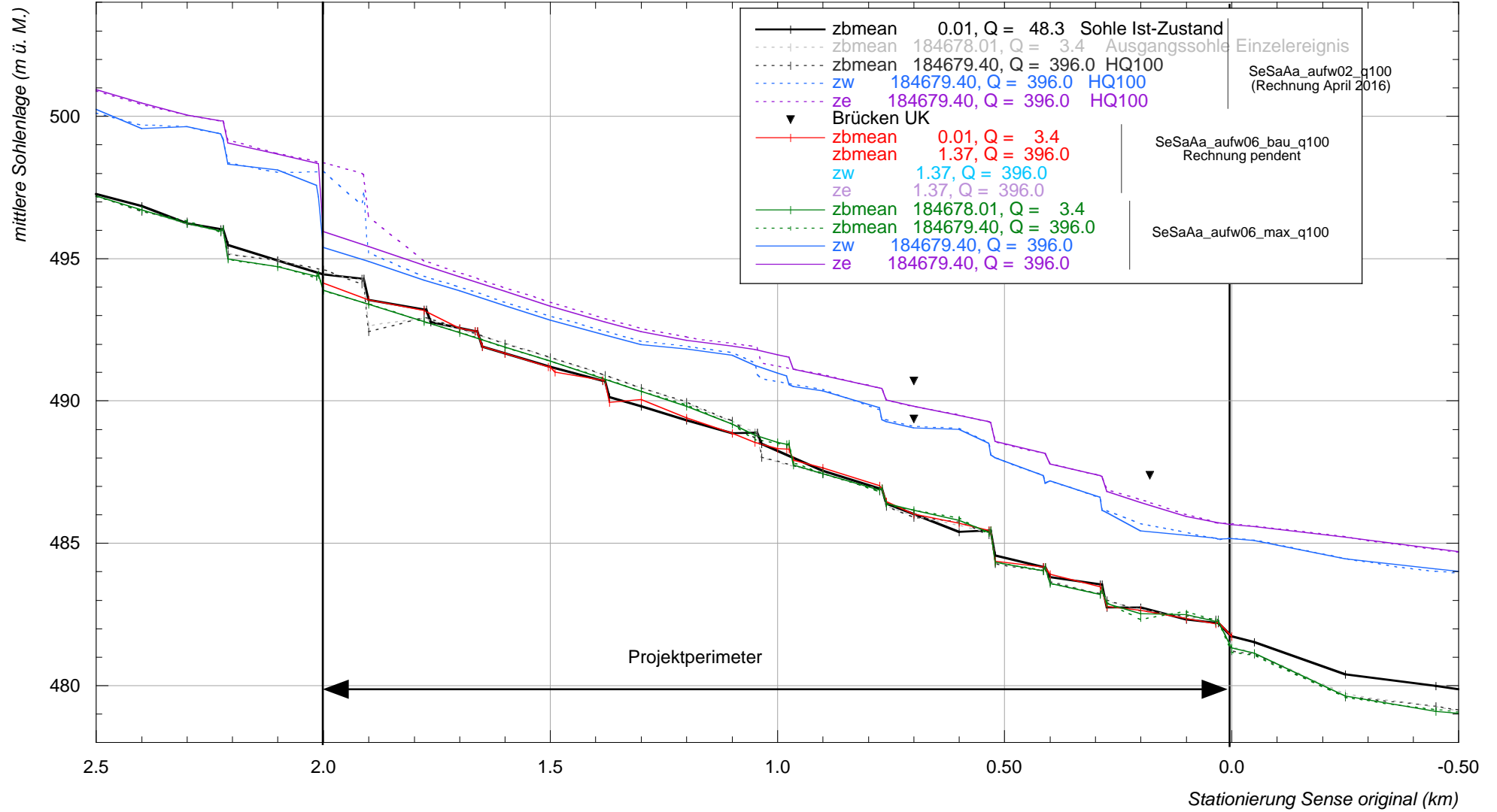
Freibord roh Einschnitt	Freibord Roh Damm	Freibord roh Brücke
m	m	m
0.33	0.52	
0.33	0.56	
0.32	0.70	
0.32	0.87	
0.32	0.74	
0.33	0.45	
0.30	1.13	
0.26	0.64	
0.46	1.34	
0.43	0.69	
0.43	0.65	
0.43	0.66	
0.43	0.64	
0.43	0.62	
0.43	0.62	
0.44	0.53	
0.45	0.56	
0.46	0.71	
0.21	0.96	
0.38	0.67	
0.38	0.64	
0.38	0.85	
0.23	1.12	
0.39	0.80	
0.39	0.82	1.29
0.40	0.61	
0.39	0.83	
0.24	1.17	
0.35	0.66	
0.33	0.85	
0.26	1.09	
0.34	0.70	
0.33	0.85	
0.25	1.22	
0.32	0.80	
0.32	0.89	1.34
0.31	0.70	
0.30	0.65	
0.25	0.64	
0.36	0.63	

Schutzkote Einschnitt	Schutzkote Damm	Schutzkote Brücke
m ü. M.	m ü. M.	m ü. M.
499.96	500.16	500.76
499.72	499.95	500.53
499.52	499.90	500.42
498.68	499.23	499.69
498.33	498.75	499.26
498.40	498.51	499.16
497.20	498.02	498.40
497.66	498.00	498.55
495.67	496.55	496.71
494.80	495.06	495.59
494.43	494.65	495.19
493.90	494.13	494.67
493.40	493.61	494.16
492.87	493.06	493.61
492.53	492.72	493.28
492.37	492.46	493.06
492.15	492.25	492.84
491.81	492.06	492.58
491.23	491.89	492.32
491.14	491.44	491.97
490.79	491.04	491.59
490.07	490.54	491.01
489.64	490.45	490.83
489.72	490.13	490.61
489.49	489.92	490.39
489.43	489.64	490.21
488.92	489.36	489.83
488.40	489.26	489.60
488.34	488.66	489.20
487.71	488.24	488.70
487.39	488.18	488.57
487.53	487.88	488.41
486.92	487.44	487.90
486.45	487.37	487.65
486.45	486.93	487.41
486.00	486.58	487.03
485.69	486.08	486.60
485.44	485.79	486.33
485.41	485.75	486.30
485.52	485.79	486.35

Distanz: km Sense Original

Längenprofil Zustand mit maximaler Breite

----- SeSaAa_aufw02_q100 (Rechnung April 2016)
 ——— SeSaAa_aufw06_max_q100 und SeSaAa_aufw06_bau_q100 (Rechnung April 2017)
 4.5.17/sg



ANHANG I KOSTENVORANSCHLAG

Kostenvoranschlag auf Stufe Bauprojekt (Teilphase 32)

Anhang I

Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen: Wasserbau

NPK	Positionsbeschreibung	LE	EP	Wasserbauplan		PGV 2	
				Km 0.000 bis 0.720		Km 0.720 bis 2.100	
				Menge	CHF	Menge	CHF
111	Regiearbeiten						
.200	Gesamte Regiearbeiten (ca. 5.0%)	gl	1.00	140'000	140'000.00	260'000	260'000.00
	Total Regiearbeiten				140'000.00		260'000.00
112	Prüfungen						
.100	Prüfungen (Baugrund, Dammmaterial, Beton, Blockgewicht)	gl	1.00	8'400	8'400.00	41'600	41'600.00
	Total Prüfungen				8'400.00		41'600.00
113	Baustelleneinrichtung						
.101	Baustelleneinrichtung für die Dauer der Leistungen des Unternehmers	gl	1.00	336'200	336'200.00	593'800	593'800.00
.102	Erschliessung Baustelle (Breite 4 bis 5m)	m'	120.00	600	72'000.00	2'600	312'000.00
.103	Erschliessung Baustelle im Gerinne (Breite 4 bis 5m)	m'	30.00	800	24'000.00	1'600	48'000.00
.104	Unterhaltskonzept: Erschliessung Rückbau Blockschwellen	m'	120.00	0	0.00	450	54'000.00
	Total Baustelleneinrichtung				432'200.00		953'800.00
117	Abbrüche und Demontagen						
.100	Abbruch bestehender Uferverbau (Betonquader) inkl. Auflad	m ³	15.00	900	13'500.00	1'900	28'500.00
.101	Abbruch bestehender Uferverbau Blocksatz inkl. Auflad	m ³	10.00	600	6'000.00	1'500	15'000.00
.102	Unterhaltskonzept: Rückbau Blockschwellen km 1.390, 1.530 und 1.679	m ³	20.00	0	0.00	1'300	26'000.00
.103	Rückbau Kanalisation (Betonrohr)	m ³	60.00	290	17'400.00	670	40'200.00
.104	Rückbau best. Ufermauer und Durchlässe (Beton)	m ³	90.00	140	12'600.00	160	14'400.00
.105	Abgabe Inertstoffe für Recycling inkl. Transport (Betonquader)	m ³	15.00	1'100	16'500.00	2'000	30'000.00
.106	Abgabe Inertstoffe in Deponie inkl. Transport (Kanalisation u. Ufermauer)	m ³	60.00	290	17'400.00	670	40'200.00
.107	Abschrankung entlang Gleis / Begleitung mit Sicherheitswärter (2 x 20 Tag)	gl	1.00	0	0.00	48'000	48'000.00
	Total Abbrüche und Demontagen				83'400.00		194'300.00
151	Bauarbeiten für Werkleitungen Medien und Elektro						
.100	Verlegen Trinkwasserleitungen	m	450.00	0	0.00	250	112'500.00
.101	Verlegen elektrische Leitungen	m	250.00	0	0.00	100	25'000.00
.102	Spülbohrung unter Sense für Medienrohr (1x Trinkwasser und 1x Elektro)	m	1'100.00	0	0.00	240	264'000.00
.103	Verlegen Telefonleitung	m	250.00	270	67'500.00	720	180'000.00
.104	Verlegen Meteorwasser Ø400 mm	m	500.00	0	0.00	220	110'000.00
.105	Verlegen Glasfaser	m	400.00	270	108'000.00	0	0.00
.107	Anpassen Werkleitungen (Meteorwasser)	Stk.	2'500.00	4	10'000.00	4	10'000.00
.108	Anpassen Werkleitungen (Regenüberlauf)	Stk.	3'000.00	1	3'000.00	0	0.00
	Total Bauarbeiten für Werkleitungen Medien und Elektro				188'500.00		701'500.00
162	Baugrubenabschlüsse						
.100	Baugrubenabschluss mit Spundwand (Blockrampen)	m ²	150.00	200	30'000.00	400	60'000.00
	Total Baugrubenabschlüsse				30'000.00		60'000.00
211	Baugruben und Erdbau						
	<i>Aushubarbeiten</i>						
.300	Abtrag Walderde / Kulturerde inkl. Lagerung im Schwenkbereich	m ³	2.50	11'200	28'000.00	30'800	77'000.00
.301	Aushub: normal Baggerbar inkl. Auflad oder Lagerung im Schwenkbereich	m ³	3.00	42'000	126'000.00	81'000	243'000.00
.302	Aushub: Fels inkl. Auflad oder Lagerung im Schwenkbereich	m ³	60.00	2'100	126'000.00	3'900	234'000.00
.303	Planie / Planum erstellen für Aufstandsfläche Damm	m ²	2.50	2'800	7'000.00	17'200	43'000.00
.304	Ober- und Unterboden anlegen (30cm + 60cm) für Dämme	m ³	3.00	6'300	18'900.00	19'700	59'100.00
.305	Einbau Schüttmaterial für Dämme in Lagen inkl. Verdichten	m ³	5.00	3'200	16'000.00	8'800	44'000.00
.306	Einbau Aufschüttmaterial inkl. Verdichten	m ³	4.00	18'200	72'800.00	47'300	189'200.00
	<i>Transporte und Lagerung</i>						
.700	Transport Wald- / Kulturerde zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	6'300	15'750.00	19'700	49'250.00
.701	Erstellen Materiallager	m ³	5.00	6'300	31'500.00	19'700	98'500.00
.702	Transport Aushub zum Aufbereitungsplatz inkl. Ablad	m ³	2.50	31'500	78'750.00	48'000	120'000.00
.703	Transport Aushub zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	18'200	45'500.00	47'300	118'250.00
.704	Transport Dammmaterial zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	3'200	8'000.00	8'800	22'000.00
.705	Transport Schrotten zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	3.00	2'100	6'300.00	3'900	11'700.00
.706	Transport aus Materialaufbereitung in anderes TP (Sand, Kies)	m ³	3.00	15'400	46'200.00	28'600	85'800.00
.707	Transport Aushub in Lager Unternehmer inkl. Deponiegebühren	m ³	25.00	7'700	192'500.00	15'300	382'500.00
.708	Zwischentransport Blöcke zur Einbaustelle inkl. Auflad	t	6.00	1'500	9'000.00	3'400	20'400.00
.709	Entsorgung Altlasten (altes Bahnareal)	m ³	50.00	1'400	70'000.00	0	0.00
.710	Unterhaltskonzept: Transport Blöcke in Lager Unternehmer (aus Rückbau)	m ³	5.00	0	0.00	1'300	6'500.00
	Total Baugruben und Erdbau				828'200.00		1'797'700.00

Kostenvoranschlag auf Stufe Bauprojekt (Teilphase 32)

Anhang I

Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen: Wasserbau

NPK	Positionsbeschreibung	LE	EP	Wasserbauplan Km 0.000 bis 0.720		PGV 2 Km 0.720 bis 2.100	
				Menge	CHF	Menge	CHF
213	Wasserbau						
	<i>Vorbereitungsarbeiten</i>						
	.100 Schlagräumung (500 m ³ / ha) inkl. Häckseln Äste und Wurzelstöcke	m ²	4.00	2'100	8'400.00	33'900	135'600.00
	.101 Transport Bäume auf Verwertung oder Deponie inkl. Gebühren	m ³	20.00	100	2'000.00	1'470	29'400.00
	<i>Wasserhaltung</i>						
	.200 Wasserhaltung für die Dauer der Leistungen des Unternehmers	gl	1.00	70'000	70'000.00	130'000	130'000.00
	<i>Wege</i>						
	.300 Liefern Fundationsschicht (ungebundenes Gem. 0/22) Uferweg, Spielplatz	m ³	45.00	700	31'500.00	6'300	283'500.00
	.301 Einbau Fundationsschicht inkl. Verdichten	m ³	10.00	700	7'000.00	6'300	63'000.00
	.302 Liefern Kiesmergel (ungebundenes Gem. 0/22) Uferweg, Spielplatz	m ³	50.00	100	5'000.00	600	30'000.00
	.303 Einbau Kiesmergel inkl. Verdichten	m ³	10.00	100	1'000.00	600	6'000.00
	<i>Hartverbau</i>						
	.500 Materiallieferung: Blöcke für Sohlen- u. Uferverbau	t	45.00	40'400	1'818'000.00	63'350	2'850'750.00
	.501 Sohlen- u. Uferverbau erstellen	t	12.00	42'000	504'000.00	67'000	804'000.00
	.502 Materiallieferung: Filtermaterial für Sohlenschwellen / Uferverbau	m ³	35.00	5'300	185'500.00	7'800	273'000.00
	.503 Einbau Filtermaterial Sohlenschwellen / Uferverbau	m ³	7.00	5'300	37'100.00	7'800	54'600.00
	<i>Ingenieurbio-logische Bauweisen</i>						
	.600 Gestaltung Gerinne Seitenbäche	m	500.00	0	0.00	450	225'000.00
	.601 Wurzelstöcke einbringen inkl. Lieferung	Stk.	90.00	40	3'600.00	110	9'900.00
	.602 Biotope erstellen	m ²	35.00	0	0.00	1'700	59'500.00
	.603 Verankerung für Totholzstrukturen erstellen	Stk.	10'000.00	0	0.00	1	10'000.00
	<i>Rekultivierungsarbeiten</i>						
	.604 Pflanzenlieferung nach Pflanzenliste	Stk.	12.00	300	3'600.00	600	7'200.00
	.605 Pflanzarbeiten	Stk.	14.00	300	4'200.00	600	8'400.00
	.606 Lieferung Saatmischung (Mädesüss und UFA Wildblumenwiese CH)	m ²	0.30	2'800	840.00	17'200	5'160.00
	.607 Ansaatarbeiten	m ²	3.00	2'800	8'400.00	17'200	51'600.00
	Total Wasserbau				2'690'140.00		5'036'610.00
223	Belagsarbeiten						
	.100 Belagsarbeiten (Belag 18 cm, Koffer 50 cm) inkl. Abbruch und Entsorgung	m ²	260.00	100	26'000.00	50	13'000.00
	Total Belagsarbeiten				26'000.00		13'000.00
241	Ortbetonbau						
	.900 Entlastungsbauwerk (oberhalb Camping und km 1.200)	gl	20'000.00	0	0.00	2	40'000.00
	.901 Ufermauer Mündungsbereich	m	1'400.00	100	140'000.00	0	0.00
	.902 Fassungen Grundwasser für Bewässerung Landwirtschaft	gl	10'000.00	0	0.00	3	30'000.00
	.903 Brücke Mülibach, km 1.53	gl	25'000.00	0	0.00	1	25'000.00
	.904 Brücke Noflenbach, km 1.86	gl	20'000.00	0	0.00	1	20'000.00
	Total Ortbetonbau				140'000.00		115'000.00
	Total exkl. MwSt. (ohne Unvorhergesehenes)				4'566'840.00		9'173'510.00

Die Kostenschätzung wurde auf Stufe Bauprojekt erarbeitet und weist eine Genauigkeit von +/-10% auf.
Sämtlich Volumenangaben sind als fest-Kubaturen ausgewiesen.

Kostenvoranschlag auf Stufe Bauprojekt (Teilphase 32): Anteil Kt. FR

Anhang I

Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen: Wasserbau

NPK	Positionsbeschreibung	LE	EP	Km 1.028 bis 2.100 Ufer links (FR)	
				Menge	CHF
111	Regiearbeiten				
	.200 Gesamte Regiearbeiten (ca. 5.0%)	gl	1.00	110'000	110'000.00
	Total Regiearbeiten				110'000.00
112	Prüfungen				
	.100 Prüfungen (Baugrund, Dammmaterial, Beton, Blockgewicht)	gl	1.00	26'000	26'000.00
	Total Prüfungen				26'000.00
113	Baustelleneinrichtung				
	.101 Baustelleneinrichtung für die Dauer der Leistungen des Unternehmers	gl	1.00	260'000	260'000.00
	.102 Erschliessung Baustelle (Breite 4 bis 5m)	m'	120.00	1'400	168'000.00
	.103 Erschliessung Baustelle im Gerinne (Breite 4 bis 5m)	m'	30.00	800	24'000.00
	.104 Unterhaltskonzept: Erschliessung Rückbau Blockschwellen	m'	120.00	450	54'000.00
	Total Baustelleneinrichtung				506'000.00
117	Abbrüche und Demontagen				
	.100 Abbruch bestehender Uferverbau (Betonquader) inkl. Auflad	m ³	15.00	1'100	16'500.00
	.101 Abbruch bestehender Uferverbau Blocksatz inkl. Auflad	m ³	10.00	500	5'000.00
	.102 Unterhaltskonzept: Rückbau Blockschwellen km 1.390, 1.530 und 1.679	m ³	20.00	650	13'000.00
	.103 Rückbau Kanalisation (Betonrohr)	m ³	60.00	0	0.00
	.104 Rückbau best. Ufermauer und Durchlässe (Beton)	m ³	90.00	100	9'000.00
	.105 Abgabe Inertstoffe für Recycling inkl. Transport (Betonquader)	m ³	15.00	1'200	18'000.00
	.106 Abgabe Inertstoffe in Deponie inkl. Transport (Kanalisation u. Ufermauer)	m ³	60.00	0	0.00
	Total Abbrüche und Demontagen				61'500.00
151	Bauarbeiten für Werkleitungen Medien und Elektro				
	.100 Verlegen Trinkwasserleitungen	m	500.00	0	0.00
	.101 Verlegen elektrische Leitungen	m	250.00	0	0.00
	.102 Verlegen Telefonleitung	m	250.00	0	0.00
	.103 Verlegen Meteorwasser Ø450	m	600.00	0	0.00
	.104 Verlegen Glasfaser	m	400.00	0	0.00
	.105 Anpassen Werkleitungen (Meteorwasser)	Stk.	2'500.00	1	2'500.00
	.106 Anpassen Werkleitungen (Regenüberlauf)	Stk.	3'000.00	0	0.00
	Total Bauarbeiten für Werkleitungen Medien und Elektro				2'500.00
162	Baugrubenabschlüsse				
	.100 Baugrubenabschluss mit Spundwand (Blockrampen)	m ²	150.00	150	22'500.00
	Total Baugrubenabschlüsse				22'500.00
211	Baugruben und Erdbau				
	<i>Aushubarbeiten</i>				
	.300 Abtrag Walderde / Kulturerde inkl. Lagerung im Schwenkbereich	m ³	2.50	20'000	50'000.00
	.301 Aushub: normal Baggerbar inkl. Auflad oder Lagerung im Schwenkbereich	m ³	3.00	30'500	91'500.00
	.302 Aushub: Fels inkl. Auflad oder Lagerung im Schwenkbereich	m ³	60.00	1'500	90'000.00
	.303 Planie / Planum erstellen für Aufstandsfläche Damm	m ²	2.50	16'000	40'000.00
	.304 Ober- und Unterboden anlegen (30cm + 60cm) für Dämme	m ³	3.00	17'000	51'000.00
	.305 Einbau Schüttmaterial für Dämme in Lagen inkl. Verdichten	m ³	5.00	7'500	37'500.00
	.306 Einbau Aufschüttmaterial inkl. Verdichten	m ³	4.00	19'500	78'000.00
	<i>Transporte und Lagerung</i>				
	.700 Transport Wald- / Kulturerde zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	17'000	42'500.00
	.701 Erstellen Materiallager	m ³	5.00	17'000	85'000.00
	.702 Transport Aushub zum Aufbereitungsplatz inkl. Ablad	m ³	2.50	15'000	37'500.00
	.703 Transport Aushub zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	19'500	48'750.00
	.704 Transport Dammmaterial zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	2.50	7'500	18'750.00
	.705 Transport Schrotten zur Einbaustelle inkl. Ablad	m ³	3.00	1'500	4'500.00
	.706 Transport aus Materialaufbereitung in anderes TP (Sand, Kies)	m ³	3.00	11'000	33'000.00
	.707 Transport Aushub in Lager Unternehmer inkl. Deponiegebühren	m ³	25.00	6'000	150'000.00
	.708 Zwischentransport Blöcke zur Einbaustelle inkl. Auflad	t	6.00	1'100	6'600.00
	.709 Unterhaltskonzept: Transport Blöcke in Lager Unternehmer (aus Rückbau)	m ³	5.00	650	3'250.00
	Total Baugruben und Erdbau				867'850.00

Kostenvoranschlag auf Stufe Bauprojekt (Teilphase 32): Anteil Kt. FR

Anhang I

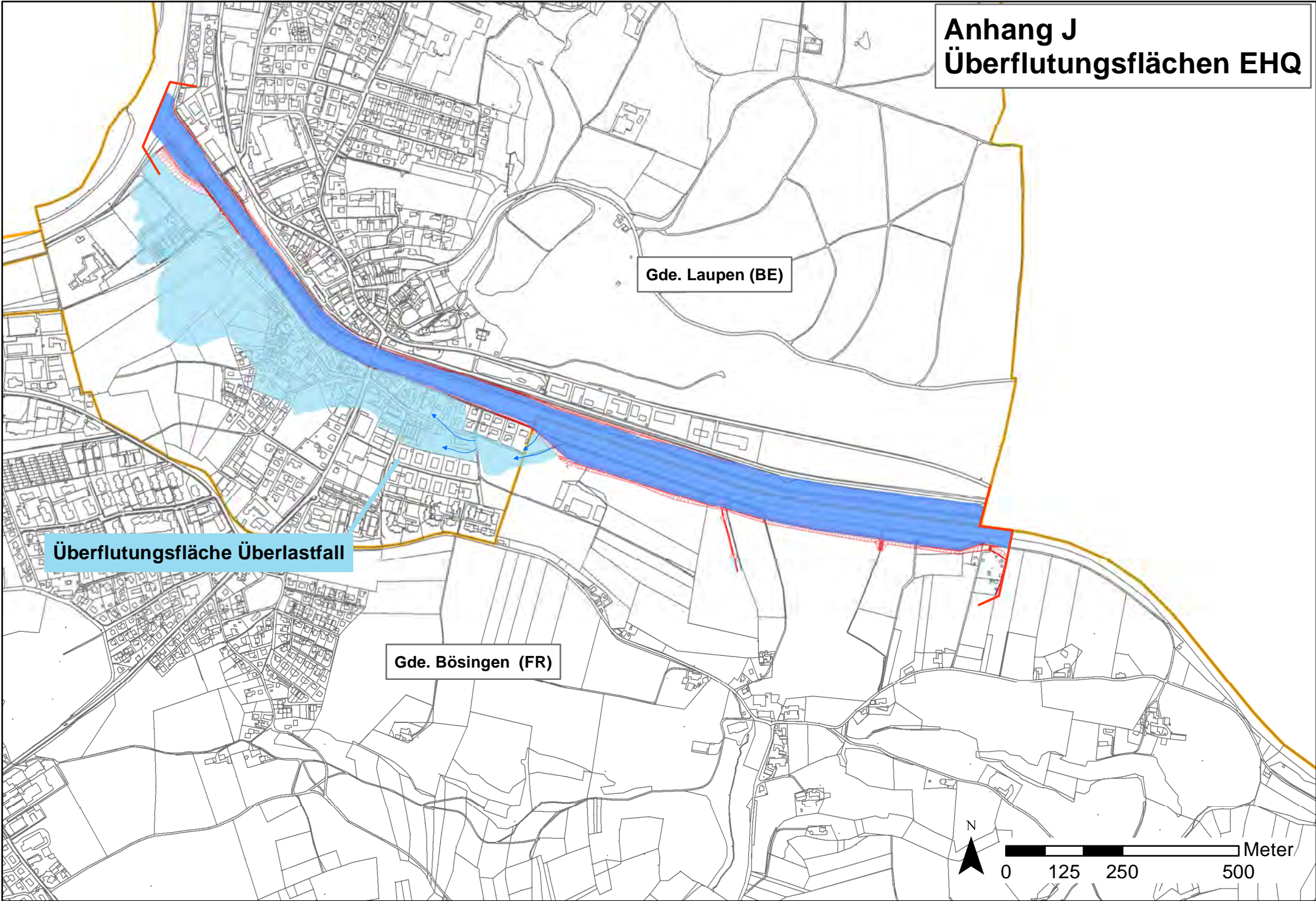
Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen: Wasserbau

NPK	Positionsbeschreibung	LE	EP	Km 1.028 bis 2.100 Ufer links (FR)	
				Menge	CHF
213	Wasserbau				
	<i>Vorbereitungsarbeiten</i>				
.100	Schlagräumung (500 m ³ / ha) inkl. Häckseln Äste und Wurzelstöcke	m ²	4.00	6'000	24'000.00
.101	Transport Bäume auf Verwertung oder Deponie inkl. Gebühren	m ³	20.00	250	5'000.00
	<i>Wasserhaltung</i>				
.200	Wasserhaltung für die Dauer der Leistungen des Unternehmers	gl	1.00	50'000	50'000.00
	<i>Wege</i>				
.300	Liefen Fundationsschicht (ungebundenes Gem. 0/22) Uferweg, Spielplatz	m ³	45.00	3'000	135'000.00
.301	Einbau Fundationsschicht inkl. Verdichten	m ³	10.00	3'000	30'000.00
.302	Liefen Kiesmergel (ungebundenes Gem. 0/22) Uferweg, Spielplatz	m ³	50.00	300	15'000.00
.303	Einbau Kiesmergel inkl. Verdichten	m ³	10.00	300	3'000.00
	<i>Hartverbau</i>				
.500	Materiallieferung: Blöcke für Sohlen- u. Uferverbau	t	45.00	24'750	1'113'750.00
.501	Sohlen- u. Uferverbau erstellen	t	12.00	26'000	312'000.00
.502	Materiallieferung: Filtermaterial für Sohlenschwellen / Uferverbau	m ³	35.00	3'000	105'000.00
.503	Einbau Filtermaterial Sohlenschwellen / Uferverbau	m ³	7.00	3'000	21'000.00
	<i>Ingenieurbioologische Bauweisen</i>				
.600	Gestaltung Gerinne Seitenbäche	m	500.00	450	225'000.00
.601	Wurzelstöcke einbringen inkl. Lieferung	Stk.	90.00	50	4'500.00
.602	Biotope erstellen	m ²	35.00	1'500	52'500.00
.603	Verankerung für Totholzstrukturen erstellen	Stk.	10'000.00	1	5'000.00
	<i>Rekultivierungsarbeiten</i>				
.604	Pflanzenlieferung nach Pflanzenliste	Stk.	12.00	200	2'400.00
.605	Pflanzarbeiten	Stk.	14.00	200	2'800.00
.606	Lieferung Saatmischung (Mädesüss und UFA Wildblumenwiese CH)	m ²	0.30	16'000	4'800.00
.607	Ansaatarbeiten	m ²	3.00	16'000	48'000.00
	Total Wasserbau				2'158'750.00
223	Belagsarbeiten				
.100	Belagsarbeiten (Belag 18 cm, Koffer 50 cm) inkl. Abbruch und Entsorgung	m ²	260.00	50	13'000.00
	Total Belagsarbeiten				13'000.00
241	Ortbetonbau				
.900	Entlastungsbauwerk (oberhalb Camping und km 1.200)	gl	20'000.00	2	40'000.00
.901	Ufermauer Mündungsbereich	m	1'400.00	0	0.00
.902	Fassungen Grundwasser für Bewässerung Landwirtschaft	gl	10'000.00	3	30'000.00
.903	Brücke Mülibach, km 1.53	gl	20'000.00	1	20'000.00
.904	Brücke Noflenbach, km 1.86	gl	10'000.00	1	10'000.00
	Total Ortbetonbau				100'000.00
	Total exkl. MwSt. (ohne Unvorhergesehenes)				3'868'100.00

Die Kostenschätzung wurde auf Stufe Bauprojekt erarbeitet und weist eine Genauigkeit von +/-10% auf.

ANHANG J ABFLUSSKORRIDOR IM ÜBERLASTFALL

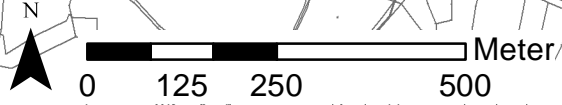
Anhang J Überflutungsflächen EHQ



Gde. Laupen (BE)

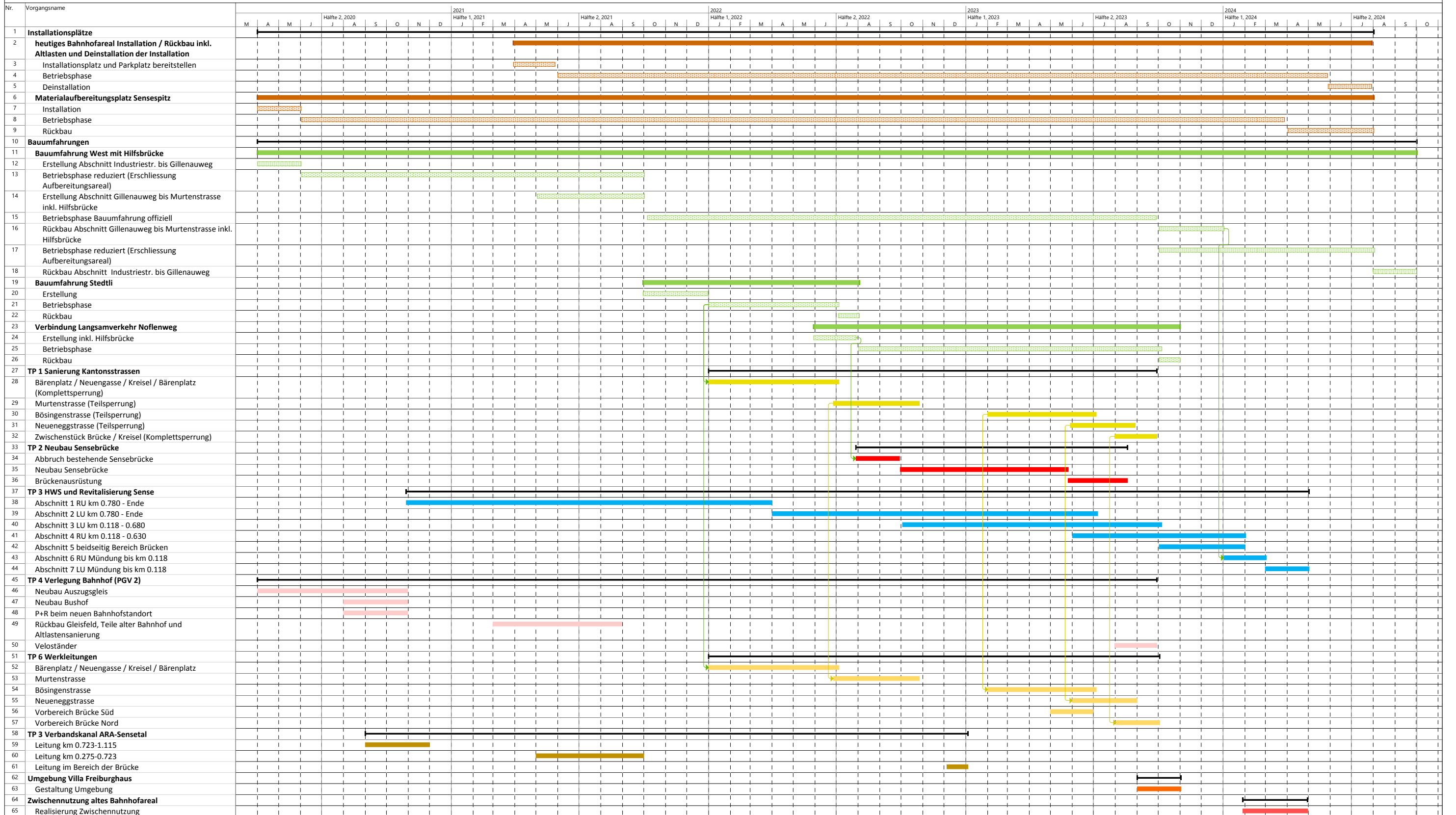
Gde. Bösinggen (FR)

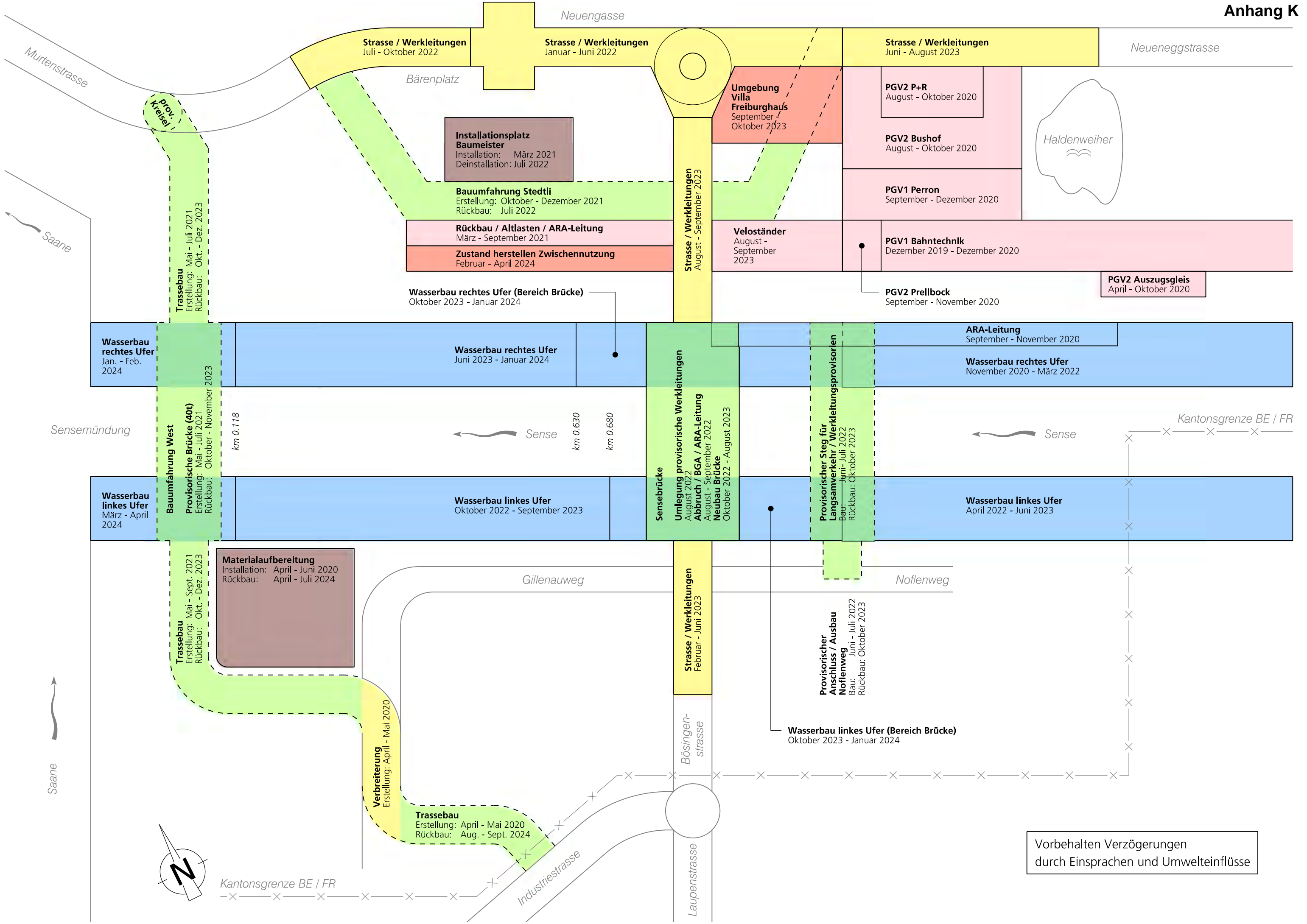
Überflutungsfläche Überlastfall



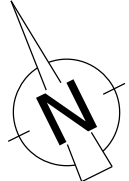
ANHANG K BAUPROGRAMM

Stand: 10.08.2018





Vorbehalten Verzögerungen durch Einsprachen und Umwelteinflüsse



Kantonsgrenze BE / FR

Kantonsgrenze BE / FR

ANHANG L STANDORTGEBUNDENHEIT ABSTELLGLEIS

STB AG, Flamatt – Laupen Anlagenanpassung Angebot 2020 Laupen, Standortgebundenheit Anschlussgleis

Autor(en)	Müller Michael (I-PJ-RME-PJM-PF2), Andreas Rügger (I-FN-NRM-BN)
Status	Version zur Freigabe Leitungsausschuss
Version	Version 3
Letzte Änderung	22. September 2016
Letzte Änderung durch	Müller Michael (I-PJ-RME-PJM-PF2)
Basierend auf	Version 1
Urheberrecht	Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche kommerzielle Nutzung bedarf einer vorgängigen, ausdrücklichen Genehmigung.
Ablage	Z:\1 Project\257\000.04 FLM\STB Perronmassnahmen.B3711\08 Berichte, Dossier, Fotos\222 Vorprojekt\081_01 GPL\LPN_Standortgebundenheit Abstellgleis-v3-Freigabe-LA.docx

Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen	3
2.	Ausgangslage	3
2.1.	S-Bahn Bern, Angebot 2020, Bedarf Abstellgleis Laupen	3
2.2.	«Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen»	3
2.2.1.	Hochwasserschutz, Wasserbau	4
2.2.2.	Gewässerraum Sense gemäss kantonaler Richt- und Nutzungsplanung - Geplantes Abstellgleis Laupen	4
3.	Laupen Abstellgleis, Herleitung Standortgebundenheit	5
3.1.	Betriebliche Notwendigkeit in Laupen (Übergeordnete Einflussfaktoren)	5
3.2.	Laupen, Lage entlang der Linie (Makrosicht)	7
3.3.	Laupen «neuer Bahnhof», Position an festgelegter Lage entlang der Linie (Mikrosicht). Herleitung des öffentlichen Interesses	8
3.3.1.	Positionen am neuen Bahnhof Laupen	8
4.	Gesamtbetrachtung	10
5.	Stellungnahmen	11
5.1.	Amt für öffentlichen Verkehr	11

1. Grundlagen

Folgende Unterlagen bilden die Grundlage für diesen Bericht:

- «Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen», Vorprojekt
- «STB, Angebotsanpassung 2020», Vorprojekt

2. Ausgangslage

Die Bahnhöfe Flamatt Station, Flamatt Dorf, Neueneegg und Laupen der Sensetalbahn AG sind bis 2023 behindertengerecht umzubauen. Durch den Einsatz von neuem Rollmaterial werden zudem längere Perrons benötigt.

Der Netzzustandsbericht 2014 der Sensetalbahn weist aus Substanzerhaltungsgründen Bedarf für eine Fahrbahn- und Fahrleitungserneuerung auf der gesamten Strecke bis zum Jahr 2020 aus.

2.1. S-Bahn Bern, Angebot 2020, Bedarf Abstellgleis Laupen

Gemäss dem Planungsbericht «S-Bahn Bern; 2. TE, vom 23.12.2013» wird bis Ende 2019 auf der Linie S2, Laupen – Bern – Langnau, unverändert 129 m langes Rollmaterial eingesetzt. Ab Angebot 2020 ist der Einsatz des «Neuen S-Bahn Fahrzeuges» mit einer maximalen Zuglänge von 210 m geplant.

Ab 2025, wenn die S-Bahn von Laupen nach Thun durchgebunden wird (S12), ist der Einsatz der Doppelstockkompositionen mit einer Zuglänge von 206 m vorgesehen.

Aufgrund des Produktionskonzepts der BLS besteht in **Laupen der Bedarf zur Abstellung von drei S-Bahn Kompositionen à je 103 m Länge.**

2.2. «Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen»

Das Projekt «Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen» wurde wegen der heute unbefriedigenden Ortsdurchfahrt durch das Städtli Laupen ausgelöst. Um den Verkehrsfluss zu optimieren, wird der Bahnhof Laupen um ca. 250 m in Richtung Neueneegg verschoben. Der Bahnübergang Sensebrücke kann dadurch aufgehoben werden. Das frei werdende Bahnhofareal wird somit für eine andere Nutzung frei.

Zudem weist die Sense im Gebiet von Laupen Defizite betreffend Hochwasserschutz auf. Das Städtli wurde in den vergangenen Jahren wiederholt durch die südwestlich des Ortskerns verlaufende Sense bedroht und überflutet. Dabei weist die sanierungsbedürftige Sensebrücke eine ungenügende Abflusskapazität auf.

Das Projekt „Verkehrssanierung und städtebauliche Entwicklung Laupen“ umfasst neben Verkehr und Zentrumsentwicklung den Hochwasserschutz der Sense, die Erneuerung der Sensebrücke sowie die Sanierung oder den Ersatz der sanierungsbedürftigen Werkleitungen im Städtli.

2.2.1. Hochwasserschutz, Wasserbau

Projektbestandteile Wasserbau

Damit ein Hochwasser HQ_{100} schadlos abfliessen kann, muss im Bereich des Siedlungsgebietes der Abflussquerschnitt maschinell erweitert werden. Das Ufer wird mit einem Verbau geschützt. Die bestehende Strassenbrücke, die heute ein Abflussengpass darstellt, wird durch eine neue, den Hochwasseranforderungen entsprechende Brücke ersetzt. Weitere punktuelle Eingriffe verbessern die Hochwassersicherheit zusätzliche (z.B. Anpassungsarbeiten im Bereiche der Blockschwellen, Flachufer, Uferverbau).

Auf dem Abschnitt zwischen Flusskilometer 1.128 bis 2.070 wird die Sense beidseitig durch eine eigendynamische Aufweitung ökologisch aufgewertet.

Die Breite des geplanten Gewässerraums beträgt im Bereich der Aufweitung 100 m. Die bestehenden Uferverbauungen werden rückgebaut. Die neuen Verbauungen werden soweit wie möglich nach aussen verschoben, um den Gewässerraum möglichst effizient durch das Gewässer zu nutzen. Unter der Berücksichtigung des Uferverbaus und des Unterhaltsweges beträgt die maximale Gerinnebreite auf dem betreffenden Abschnitt zwischen 70 bis 80 m.

2.2.2. Gewässerraum Sense gemäss kantonaler Richt- und Nutzungsplanung - Geplantes Abstellgleis Laupen

Zur Sicherung des Raumbedarfs der Sense wurde vom Tiefbauamt des Kantons Bern und des Kantons Fribourg in Absprache mit dem BAFU im Rahmen des Projektes Sense21 im Abschnitt Laupen ein minimaler Raumbedarf von insgesamt 100 m Breite ermittelt (je 50 m ab Flussmitte).

Einzig im dicht überbauten Siedlungsgebiet (Mündung bis ca. Flusskilometer 1.100) sind Abweichungen vom oben genannten Wert möglich.

Das von der STB geplante Abstellgleis erstreckt sich vom neuen Bahnhof in Richtung Neuenegg, ca. zwischen Flusskilometer 1.028 und 1.328. Es liegt somit grösstenteils ausserhalb des Siedlungsgebiets, wo ein Raumbedarf von je 50 m ab Flussmitte gilt. Unter der Berücksichtigung dieser Definition würden die Gleise innerhalb des Gewässerraums der Sense zu liegen kommen. Für Bauten im Gewässerraum ist die **Standortgebundenheit** und ein **öffentliches Interesse** nachzuweisen (Art. 41c, GSchV).

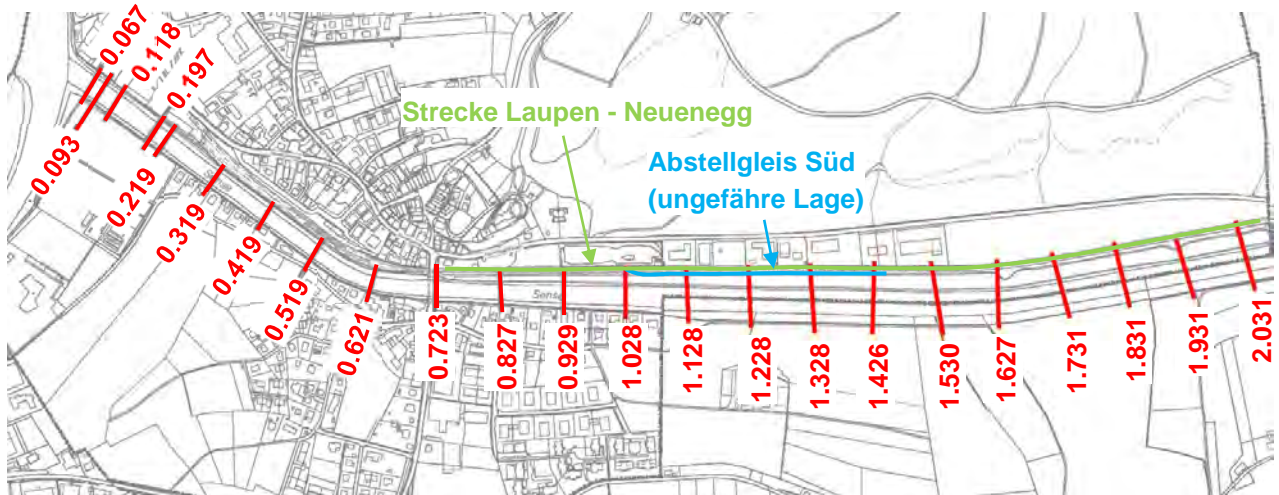


Abbildung 1 Projektperimeter mit Flusskilometrierung

Anpassung Gewässerraum aufgrund des Abstellgleis

Das Wasserbauprojekt ist jedoch nur durch das BAFU subventionsberechtigt, wenn der Gewässerraum von 100 m ausgeschieden werden kann. Dies bedeutet, dass keine Infrastrukturelemente (u.a. Gleise) innerhalb des Gewässerraums liegen dürfen. Als einziges Infrastrukturelement wird der Unterhaltsweg am rechten Ufer im Gewässerraum akzeptiert.

Das Projekt sieht vor, das Abstellgleis entlang der Sense südlich des Betriebsgleises zu erstellen. Diese Position nimmt Rücksicht auf die Arbeitszone nördlich der Bahnlinie der STB. Der dadurch tangierte Gewässerraum soll auf der gegenüberliegenden Uferseite (Kanton Freiburg) kompensiert werden. In Absprache mit dem BAFU kann auf diese Weise gewährleistet werden, dass eine Subventionierung des Projekts trotzdem möglich ist. Der Gewässerraum wird unter der Berücksichtigung der geforderten minimalen Breite von 100 m nach Süden verschoben, so dass die Gleise (inkl. Abstellgleis) und der Bahndamm ausserhalb des Gewässerraums zu liegen kommen. Als Begrenzung für den Gewässerraum auf der rechten Seite wurde der Wegrand vom Fussgängerweg definiert.

3. Laupen Abstellgleis, Herleitung Standortgebundenheit

Zur Umsetzung des S-Bahn Angebots ab 2023 wurde durch die BLS AG (S-Bahn Betreiber) aus betrieblichen Überlegungen in Laupen ein Abstellgleis von 330 m Nutzlänge bestellt. Die folgenden Einflussfaktoren beeinflussen die Festlegung des Standorts.

3.1. Betriebliche Notwendigkeit in Laupen (Übergeordnete Einflussfaktoren)

Ab 2025 wird die S-Bahn von Laupen nach Thun durchgebunden. Für die Abstellung der Verstärkungsmodule der Hauptverkehrszeiten kommen somit in erster Linie die beiden Endbahnhöfe Laupen und Thun in Frage. Um Überführungen (Trassegebühren, km-Kosten, Personal) zu reduzieren, ist es sinnvoll die Abstellungen an beiden Endbahnhöfen vorzunehmen.

Zur Vervollständigung der Betrachtung wurden neben den beiden Endbahnhöfen weitere, mögliche Abstellorte geprüft.












Abstellort	Betrieb	Personal	Zusätzliche, jährlich wiederkehrende Kosten (Fahrzeuge, Trasse, Lokpersonal)
Laupen «neuer Bahnhof»	 <ul style="list-style-type: none"> Keine Überführungen Reinigung und Fahrzeugschutz effizient: Alle Fahrzeuge an einem Ort 	 <ul style="list-style-type: none"> Stärken/Schwächen ohne zusätzliches Personal 	-
Laupen «Oberau»	 <ul style="list-style-type: none"> Keine Überführungen Reinigung und Fahrzeugschutz effizient: Alle Fahrzeuge an einem Ort 	 <ul style="list-style-type: none"> Stärken/Schwächen mit zusätzlichem Personal 	CHF 0.3 Mio.
Thun	 <ul style="list-style-type: none"> Überführungen notwendig Reinigung und Fahrzeugschutz effizient: Alle Fahrzeuge an einem Ort 	 <ul style="list-style-type: none"> Zusätzliches Personal für Überführungen und Stärken/Schwächen in Thun (Wendezeit zu knapp) 	CHF 1.15 Mio. für Überführungen
Bern	 <ul style="list-style-type: none"> Keine Abstellkapazitäten vorhanden 		CHF 0.5 Mio.
Burgdorf	 <ul style="list-style-type: none"> Überführungen lösen Leerfahrten durch den Knoten Bern aus. Aus Fahrplangründen nicht möglich. 	 <ul style="list-style-type: none"> Überführungen lösen mehrere grossen Personalmehraufwand aus, da Burgdorf nicht an der S-Bahnlinie liegt. 	CHF 1.2 Mio.
Wangental	 <ul style="list-style-type: none"> Aufteilung der Fahrzeuge auf mehrere Abstellorte (Flamatt, Thörishaus Dorf) Überführungen notwendig Reinigung und Fahrzeugschutz ineffizient. 	 <ul style="list-style-type: none"> Zusätzliches Personal für Überführungen und Stärken/Schwächen Zusatzaufwendungen für Reinigung und Fahrzeugschutz 	CHF 0.5 Mio.

Tabelle 1 Gegenüberstellung der Abstellorte

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass der Standort Laupen für die Abstellung eines Teils der Verstärkungsmodule grosse Vorteile aus betrieblichen und Kostengründen bietet. Nachstehend werden die beiden Standorte in Laupen «neuer Bahnhof» und «Oberau» dargestellt.

3.2. Laupen, Lage entlang der Linie (Makrosicht)

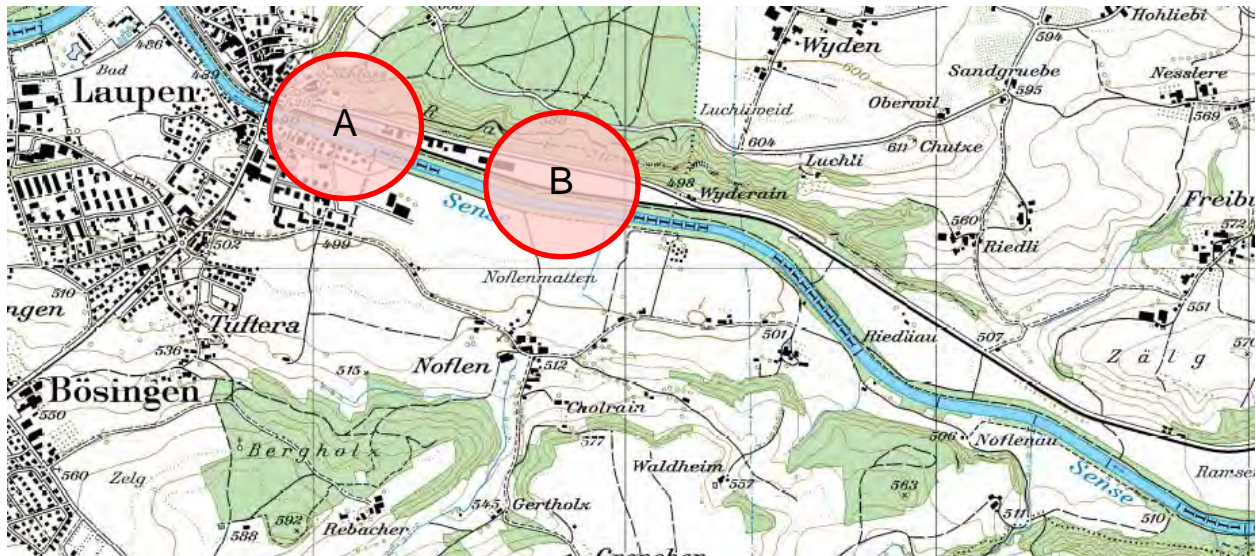


Abbildung 2 Übersicht Lage A und B am Endbahnhof Laupen

Lage A, anschliessend an neuen Bahnhof Laupen (geplante Lage gemäss Vorprojekt)

Die Lage in unmittelbarer Nähe zum Bahnhof Laupen ermöglicht das Weg- und Zustellen der Verstärkungskompositionen während den fahrplanmässigen Wartezeiten in Laupen. Es ist kein zusätzliches Personal notwendig.

Lage B, «Oberau»

Die Lage «Oberau» ist rund 600 m vom Bahnhof Laupen entfernt. Für das Weg- und Zustellen der Verstärkungskompositionen sind zusätzliche Lokführer notwendig. Die Fusswegzeiten vom und zum Bahnhof sind zu lang. (vgl. Tabelle 1, Betriebskosten: plus CHF 300'000 / Jahr)

Fazit Standortgebundenheit:

Die Sensetalbahn AG (Infrastruktureigentümer) und die BLS AG (Betreiber S-Bahn) erachten aufgrund der betrieblichen und finanziellen Beurteilung, die Standortgebundenheit am **neuen Bahnhof Laupen** als erwiesen.

3.3. Laupen «neuer Bahnhof», Position an festgelegter Lage entlang der Linie (Mikrosicht). Herleitung des öffentlichen Interesses

Ob das Abstellgleis am neuen Bahnhof Laupen nördlich (entlang Gewerbezone) oder südlich (entlang Sense) des Betriebsgleises zu liegen kommt, ist aus bahnbetrieblichen Gründen von untergeordneter Bedeutung.

Die Standortgemeinde Laupen hat in der Projektierung des Abstellgleises früh signalisiert, dass der notwendige Landbedarf nicht zu Lasten der angrenzende Arbeitszone (Arbeitszone 2 gem. Zonenplan Laupen) abgedeckt werden darf.

3.3.1. Positionen am neuen Bahnhof Laupen

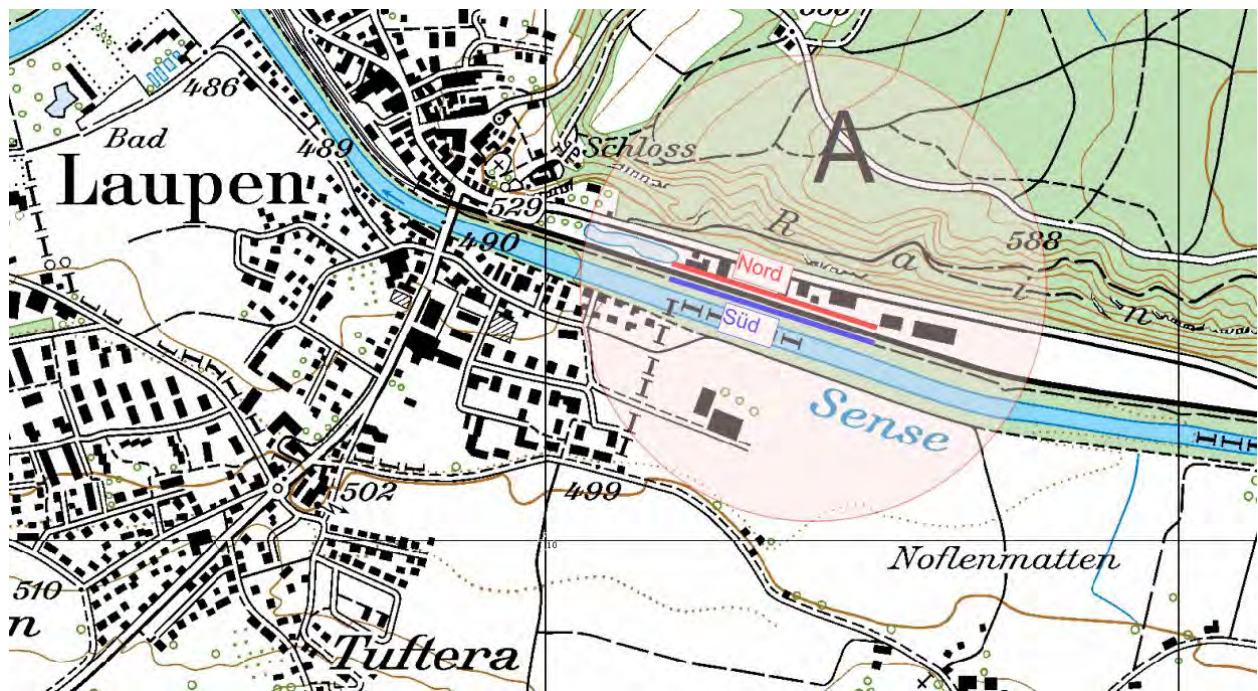


Abbildung 3 Darstellung der Positionen Nord und Süd am neuen Bahnhof Laupen

Lage A, Position Nord

Im Norden der Bahnlinie verläuft der Bereich für das Abstellgleis und den Dienstweg der Lokführer auf den Parzellengrenzen zu der anschliessenden Arbeitszone. Vom Landbedarf von rund 1'300 m² (auf fremden Grundstücken) sind 7 Parzellen betroffen.

Den betroffenen Grundeigentümern wird durch die Linienführung die Gewerbefläche reduziert. Die Gemeinde Laupen ist dezidiert gegen die Flächenreduktion der Arbeitszone. Einzelnen Betrieben wird der bestehende Gewerbebetrieb stark eingeschränkt, wenn nicht gar verunmöglicht. (BSP: Wegfall von Gebäudeumfahrungen für Transportbetriebe).

Aus Sicht der Gemeinde ist diese Variante aus Gründen der Verhältnismässigkeit unbedingt fallen zu lassen.

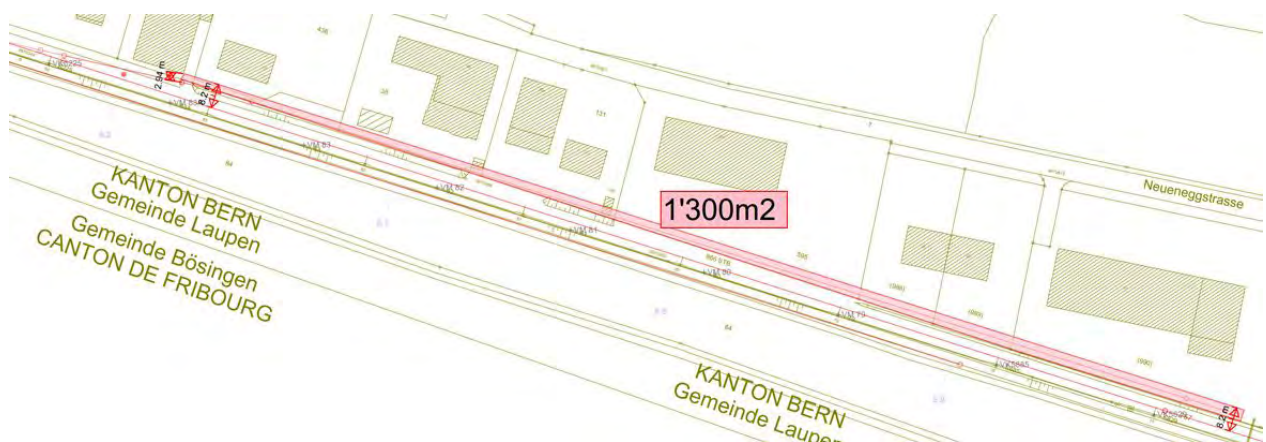


Abbildung 4 Landbedarf des Abstellgleises in Poition Nord

Lage A, Position Süd

Südlich der Bahnlinie kommt das Abstellgleis in den heute gültigen Gewässerraum der Sense zu liegen. Mit dem Hochwasser- und Aufwertungsprojekt der Sense ist die Möglichkeit gegeben, den Gewässerraum Richtung Süden (Gemeinde Böisingen) zu verschieben (vgl. Kapitel 2.2.1).

Zusätzlich zum Landbedarf des Hochwasserschutzes muss ein Landstrich von maximal 16 m erworben werden, damit die nördliche Gewässerraumgrenze an den Böschungsfuss des Abstellgleises verschoben werden kann. Durch die Verschiebung werden in der Gemeinde Böisingen zusätzliche Flächen von ca. 4'660 m² beansprucht.

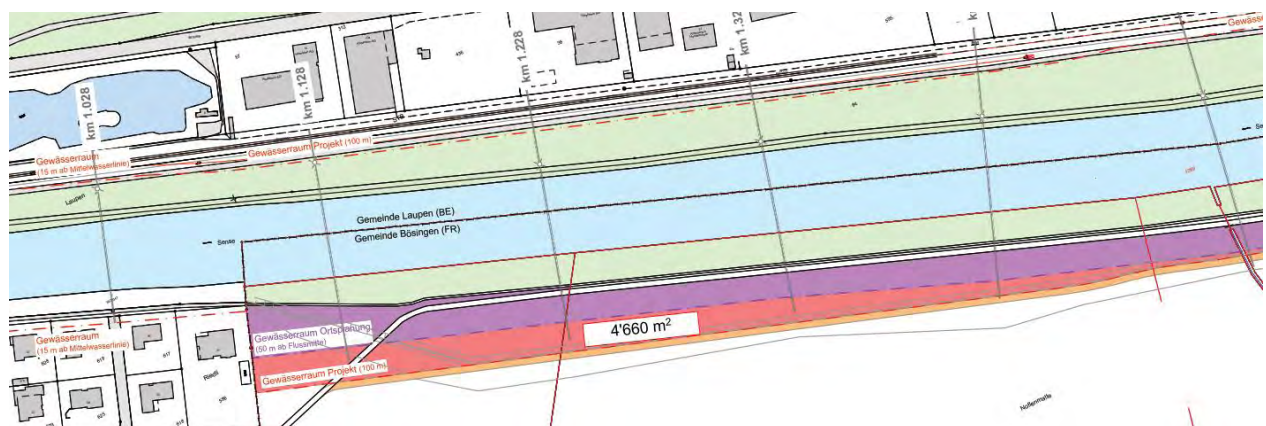


Abbildung 5 Landbedarf des Abstellgleises in Position Süd

Fazit öffentliches Interesse:

Die Gemeinde Laupen erachtet die Auswirkungen der Abstellgleisposition Nord auf die angrenzende Arbeitszone und auf deren Entwicklungsmöglichkeiten als zu einschneidend. Die Gemeinde sieht das öffentliche Interesse an der Position Süd erfüllt.

4. Gesamtbetrachtung

Die vorangehenden Ausführungen zeigen, dass das Abstellgleis am neuen Bahnhof Laupen standortgebunden ist. Das öffentliche Interesse der Gemeinde Laupen, den Fortbestand und die Entwicklung der Arbeitszone entlang der Neueneggstrasse nicht durch das Abstellgleis einzuschränken, wird durch die Bauherrengemeinschaft Laupen und das Projektteam unterstützt.

Mit der Unterzeichnung der Planungsvereinbarung über den Hochwasserschutz und Wasserbau, bietet die Gemeinde Bösinggen Hand für die Umsetzung der Vorprojektvariante des Abstellgleises am neuen Bahnhof Laupen (Lage A, Position Süd) und die Verschiebung des Gewässerraums in Richtung Süden.

5. Stellungnahmen

5.1. Amt für öffentlichen Verkehr

Das Amt für öffentlichen Verkehr des Kantons Bern nimmt wie folgt Stellung zu der Standortuntersuchung für das Abstellgleis Laupen (E-Mail vom 30. August 2016):

- Wir teilen die von der BLS gemachten Einschätzungen und beurteilen die vorgenommenen Kostenabschätzungen als plausibel
- Die [ausgewiesenen] jährlich wiederkehrenden Kosten haben einen direkten Einfluss auf die Abgeltungen, die durch Bund und Kantone jährlich zu leisten sind
- Die Minimierung dieser Abgeltungen liegt daher im öffentlichen Interesse
- Im Rahmen der Gesamtabwägungen beider Vorhaben (Hochwasserschutz und Bahninfrastruktur) ist dieser finanzielle Aspekt daher im Rahmen des öffentlichen Interesse entsprechend zu beachten und zu berücksichtigen