



Kanton St. Gallen



Fürstentum Liechtenstein

Gemeinde Schaan
Gemeinde Buchs
Gemeinde Eschen

Aufweitung Alpenrhein

Schaan, Buchs & Eschen

km 51.0 bis 52.7

Technischer Bericht

| | | Projekt Nr. | | Plan Nr. | Beilage Nr. |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|----------|-------------|
| | | UE224001 | | | 70 |
| Studie |   Planung Beratung Kommunikation  | Entw. | Gez. | Gepr. | Datum |
| Vorprojekt | | feli, almi | | haus | 08.11.2024 |
| Auflageprojekt | | | | | |
| Ausführungsprojekt | | | | | |
| Abschlussakten | | | | | |
| | | Format | | A4 | |

Änderungsnachweis

| Version | Datum | Bezeichnung der Änderungen | Verteiler |
|---------|------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0.1 | 19.02.2024 | Vorabzug | Bauherrschaft, Fachexperten, Begleitplaner |
| 0.2 | 12.04.2024 | Änderung: Kombination Maschinell/Eigen-dynamisch | Bauherrschaft, Fachexperten, Begleitplaner |
| 1.0 | 03.05.2024 | Bereinigtes Vorprojekt | Bauherrschaft, Fachexperten, Begleitplaner |
| 1.1 | 30.08.2024 | Überarbeitung VP gemäss Rückmeldung BH vom 11.06.2024 | Bauherrschaft |
| 1.2 | 11.09.2024 | Überarbeitung VP gemäss Rückmeldung BH vom 23.07.2024 | Bauherrschaft |
| 2.0 | 17.10.2024 | Überarbeitetes Vorprojekt | Bauherrschaft |
| 2.1 | 31.10.2024 | Ergänzung Kapitel 1.4, Finales Vorprojekt | Bauherrschaft |
| 2.2 | 08.11.2024 | Anpassung Verweise Grundlagen | Bauherrschaft |

Impressum

| | |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auftragsnummer | UE224001 |
| Auftraggeber | Kanton St. Gallen, Fürstentum Liechtenstein |
| Datum | 08.11.2024 |
| Version | V2.2 |
| Vorversionen | Siehe Änderungsnachweis |
| Autor(en) | Linus Feigenwinter (linus.feigenwinter@emchberger.ch); Miriam Altmann (miriam.altmann@emchberger.ch); Simon Haupt (simon.haupt@emchberger.ch) |
| Freigabe | Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch) |
| Verteiler | Bauherrschaft |
| Datei | J:\F_WN\F_Fs22\UE224001_Alpenrhein Schaan\4_plan\42_vorp\Ing\423_bericht\AlpSBE_42_70_Technischer_Bericht_V2.2_241031_öf f_Auflage.docx |
| Seitenanzahl | 94 |
| Copyright | © Emch+Berger AG Bern |

Inhalt

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Zusammenfassung | 4 |
| 1 Einleitung | 5 |
| 1.1 Auftrag..... | 5 |
| 1.2 Anlass..... | 5 |
| 1.3 Projektorganisation..... | 5 |
| 1.4 Partizipation | 5 |
| 1.5 Perimeter | 6 |
| 1.6 Bisherige Projekte und Studien..... | 8 |
| 2 Grundlagen | 9 |
| 2.1 Allgemeine Grundlagen..... | 9 |
| 2.2 Projektspezifische Grundlagen..... | 9 |
| 2.3 Geodaten/Digitale Grundlagen..... | 10 |
| 3 Ausgangslage..... | 12 |
| 3.1 Historische Entwicklung | 12 |
| 3.2 Der heutige Rhein im Bereich der geplanten Aufweitung | 13 |
| 3.2.1 Einzugsgebiet..... | 13 |
| 3.2.2 Hydrologie..... | 14 |
| 3.2.3 Schwall/Sunk..... | 15 |
| 3.2.4 Geschiebe, Schwebstoffe und Schwemmholz..... | 15 |
| 3.2.5 Heutiges Flussbett..... | 16 |
| 3.2.6 Theoretische Abflusskapazität..... | 16 |
| 3.2.7 Dämme, Dammstabilität | 17 |
| 3.2.8 Ufer, Uferschutz | 18 |
| 3.3 Nebengewässer..... | 19 |
| 3.4 Natur und Umwelt..... | 20 |
| 3.4.1 Nationale Inventare und Schutzgebiete | 20 |
| 3.4.2 Inventare und Schutzgebiete Kt. St. Gallen | 20 |
| 3.4.3 Inventare und Schutzgebiete Fürstentum Liechtenstein | 21 |
| 3.4.4 Erläuterungen zu Roten Listen und National Prioritären Arten..... | 22 |
| 3.4.5 Lebensräume..... | 23 |
| 3.4.6 Beobachtungsdaten Flora | 25 |
| 3.4.7 Beobachtungsdaten Brutvögel | 25 |
| 3.4.8 Beobachtungsdaten weitere Artengruppen | 26 |
| 3.5 Nutzungen im Bereich des Perimeters | 27 |
| 3.5.1 Bestehende Bauten und Anlagen | 27 |
| 3.5.2 Deponie Rheinau | 27 |
| 3.5.3 Langsamverkehr..... | 30 |
| 3.5.4 Landwirtschaft | 30 |
| 3.5.5 Werkleitungen | 31 |
| 3.5.6 Wald..... | 32 |
| 3.5.7 Ortsbild und Landschaft | 32 |
| 3.5.8 Grundwassernutzung und Gewässerschutz | 33 |
| 3.5.9 Benachbarte Planungen/Drittprojekte..... | 34 |
| 3.6 Geologie und Hydrogeologie..... | 35 |
| 3.6.1 Grundwasserverhältnisse | 35 |
| 3.6.2 Baugrund | 35 |
| 3.6.3 Belastete Standorte..... | 36 |
| 4 Projektziele, Projektvorgaben und Rahmenbedingungen | 37 |
| 4.1 Ziele | 37 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.1 | Übergeordnete Ziele (Muss-Ziele)..... | 37 |
| 4.1.2 | Wasserbau/Morphologie..... | 37 |
| 4.1.3 | Grundwasser, Nutzungen und Landschaft | 37 |
| 4.2 | Projektvorgaben | 38 |
| 4.2.1 | Schutzziele Hochwasserschutz und Systemsicherheit..... | 38 |
| 4.2.2 | Dammhöhe/n..... | 38 |
| 4.2.3 | Massnahmenplanung und Kostenschätzung | 38 |
| 5 | Defizitanalyse | 38 |
| 6 | Variantenstudium | 39 |
| 6.1 | Variantenfächer | 39 |
| 6.2 | Bewertungskriterien | 40 |
| 6.3 | Variantenbewertung | 40 |
| 6.4 | Variantenentscheid..... | 41 |
| 7 | Massnahmen | 42 |
| 7.1 | Dambbauten | 42 |
| 7.2 | Erosionsschutz..... | 43 |
| 7.3 | Engineered Log Jams..... | 44 |
| 7.4 | Werkleitungen..... | 48 |
| 8 | Anmerkung zur Bauausführung | 49 |
| 8.1 | Bauablauf | 49 |
| 8.2 | Bauzeit..... | 50 |
| 8.3 | Zeitliche Entwicklung Aufweitung..... | 51 |
| 8.4 | Wasserhaltung..... | 54 |
| 9 | Materialbilanz und Materialbewirtschaftungskonzept | 55 |
| 9.1.1 | Seite Fürstentum Liechtenstein..... | 56 |
| 9.1.2 | Seite Schweiz | 57 |
| 10 | Kostenschätzung / Kostenreview | 58 |
| 11 | Projektauswirkungen | 59 |
| 11.1 | Gewässer und Morphologie | 59 |
| 11.2 | Überlastfall..... | 62 |
| 11.3 | Natur, Umwelt und Ökologie | 63 |
| 11.3.1 | Lebensraumbilanzierung | 63 |
| 11.3.2 | Inventare und Schutzgebiete | 66 |
| 11.4 | Grundwasser..... | 67 |
| 11.5 | Wald..... | 67 |
| 11.6 | Naherholung und Besucherlenkung..... | 68 |
| 11.7 | Landerwerb/temporäre Landbeanspruchung..... | 68 |
| 11.8 | Pflege, Unterhalt und Monitoring | 68 |
| 11.9 | Geschiebewirtschaftung..... | 69 |
| 11.10 | Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten | 69 |
| Anhang A | Fotodokumentation zum Ausgangszustand | A-1 |
| Anhang B | Variantenstudium..... | B-1 |
| Anhang C | Baugrunduntersuchungskonzept Vorprojekt..... | C-1 |
| Anhang D | Dimensionierung..... | D-1 |

| | | |
|----------|------------------------------|-----|
| Anhang E | Lebensraumbilanzierung | E-1 |
| Anhang F | Freibordberechnung..... | F-3 |

Zusammenfassung

Das «Entwicklungskonzept Alpenrhein» weist den Abschnitt 26 «Eschener Au» als Strecke mit grossem Aufwertungspotenzial aus. Deshalb soll das Gerinne des Alpenrhein zwischen km 51.0 und 52.7 aufgeweitet und dem Alpenrhein mehr Raum zur eigendynamischen Entwicklung gegeben werden. Im heutigen Zustand weist der Alpenrhein im Bereich des Projektperimeters eine sehr grosse Abflusskapazität auf, jedoch sind die Sicherheitsreserven bezüglich Gesamtstabilität der Hochwasserschutzdämme nicht mehr ausreichend.

In einem Variantenstudium wurden verschiedene Ausdehnungen und Gestaltungsformen der Aufweitung untersucht. Die gewählte Bestvariante sieht auf Schweizer Seite eine Aufweitung bis zur Autobahn vor. Dazu müssen eine Transportgasleitung und eine Elektrofreileitung umgelegt sowie die bestehende Kompostieranlage rückgebaut werden. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein wird der bestehende Deponiekörper Rheinau in einen Hochwasserschutzdamm umgewandelt. Im Süden erstreckt sich die Aufweitung bis zum kürzlich sanierten Rheindamm bei km 51.4. Auf beiden Uferseiten werden neue Hochwasserschutzdämme erstellt. Diese werden mit einer Böschungsneigung von 2:5 gestaltet und weisen gleich wie im heutigen Zustand einen Dammweg, einen wasserseitigen Wuhrweg sowie eine luftseitige Interventionspiste auf. Zur Vermeidung von Seitenerosionen wird die wasserseitige Böschung bis auf die Höhe des Wuhrwegs mittels Blockwurf gesichert. Die Bereiche zwischen Wuhrweg und Dammkrone werden mit Schroppenlagen geschützt. Gemäss Projektvorgaben weisen die neuen Hochwasserschutzdämme die gleiche Höhe wie im heutigen Zustand auf.

Mit der Aufweitung kann dem Alpenrhein eine zusätzliche Sohlenfläche von knapp 144'000 m² zur Verfügung gestellt werden, was eine Zunahme von 86 % im Vergleich zur heutigen Sohlenfläche innerhalb des Projektperimeters bedeutet.

Innerhalb der Aufweitung wird eine Kombination aus maschinellem Aushub und eigendynamischen Abtrag angestrebt. Dabei werden sämtliche Anrissstellen von erosionshemmenden Elementen befreit und die eigendynamischen Aufweitungsprozesse werden mit Engineered-Log-Jams (ELJ-Strukturen) gefördert. Die ELJ-Strukturen helfen zudem die negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Regimes abzufedern, da sie lokale Kolke induzieren, welche insbesondere in der Sunk-Phase als wertvolle Rückzugshabitate für die Fischfauna dienen.

Das Materialmanagement sieht vor, möglichst viel Material des bestehenden Deponiekörpers für den Bau der neuen Hochwasserschutzdämme wiederzuverwenden, der Rest wird in anderen Deponien entsorgt. Das kiesige Material (Rheinschotter, bestehende Hochwasserschutzdämme) soll in die Bauwirtschaft abgegeben werden. Die stellenweise sehr mächtigen feinkörnigen Überschwemmungsablagerungen werden für den Bau der neuen Hochwasserschutzdämme verwendet oder durch den Rhein abtransportiert. Unter dem Strich wird davon ausgegangen, dass rund 536'000 m³ kiesiges Material in die Wiederverwertung gegeben werden und rund 200'000 m³ Deponiedammmaterial entsorgt werden muss. Für den Bau der neuen Hochwasserschutzdämme müssen rund 228'000 m³ Schüttmaterial sowie knapp 210'000 t Blocksteine geliefert werden. Durch den Rhein werden insgesamt etwa 504'000 m³ feinkörniges und kiesiges Material abgetragen.

Auf der aktuellen Planungsstufe wird von einer zeitlich getrennten Realisierung auf Seite Fürstentum Liechtenstein und Seite Schweiz ausgegangen. Entsprechend wird kein Materialaustausch zwischen den beiden Uferseiten berücksichtigt.

Die Projektkosten werden gemäss Kostenreview der IM Maggia Engineering AG auf rund CHF 100. Mio. geschätzt [42].

Die durchgeführte Lebensraumbilanzierung nach der Bewertungsmethode Eingriffe in schützenswerte Lebensräume (BAFU) (BESB+), hat gezeigt, dass die geplante Aufweitung zu einer Aufwertung der Lebensräume führt. Die Bewertung des Endzustandes liegt punktemässig knapp 17% über derjenigen des Ausgangszustandes. Grund für die auf den ersten Blick eher geringe Verbesserung liegt darin, dass sich die Aufweitung bereits zu einem grossen Teil innerhalb wertvoller Lebensräume bewegt. Die massgebende Verbesserung beinhaltet die Schaffung eines eigendynamischen, vielfältigen Lebensraums, in welchem sich eine autotypische Vegetation ausbilden kann. Gleichzeitig soll die Aufweitung auch als Erholungsraum für die Menschen dienen.

Die Auswirkungen auf die Sohlenlage sowie die Grundwasserstände wurden mittels numerischer Simulationen untersucht. Diese hängen sehr stark von der zukünftigen Geschiebemanagement ab und müssen im Rahmen der weiteren Planung im Detail geprüft werden.

Bei der Planung der vorliegenden Aufweitung wurden bei der Dimensionierung potenzielle Erweiterungen in nördlicher und südlicher Richtung berücksichtigt, so dass die Projektanforderungen auch zukünftig erfüllt werden und Ergänzungen der Aufweitung möglich sind.

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Die Emch+Berger AG wurde im Januar 2022 vom Kanton St. Gallen sowie vom Fürstentum Liechtenstein mit der Ausarbeitung eines Vorprojektes mit Variantenstudium zur Aufweitung des Alpenrheins zwischen km 51.0 und 52.7 gemäss SIA 103 beauftragt.

1.2 Anlass

Das im Jahr 2005 erarbeitete Entwicklungskonzept Alpenrhein [15] sieht in der Eschener Au eine Flussaufweitung vor. Für den südlichen Teil dieser Aufweitung konnte im Rahmen einer ersten Machbarkeitsabklärung [21] die Realisierbarkeit einer Flussaufweitung im Gebiet «Schaan, Buchs & Eschen» bestätigt werden. Im gleichen Zug wurden auch die Auswirkungen auf die Sohlenentwicklung [22] und das Grundwasser [23] beurteilt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll in einem nächsten Planungsschritt für die Flussaufweitung «Schaan, Buchs & Eschen» ein breit abgestütztes, qualitativ hochwertiges und kostengenaues Vorprojekt erarbeitet werden.

1.3 Projektorganisation

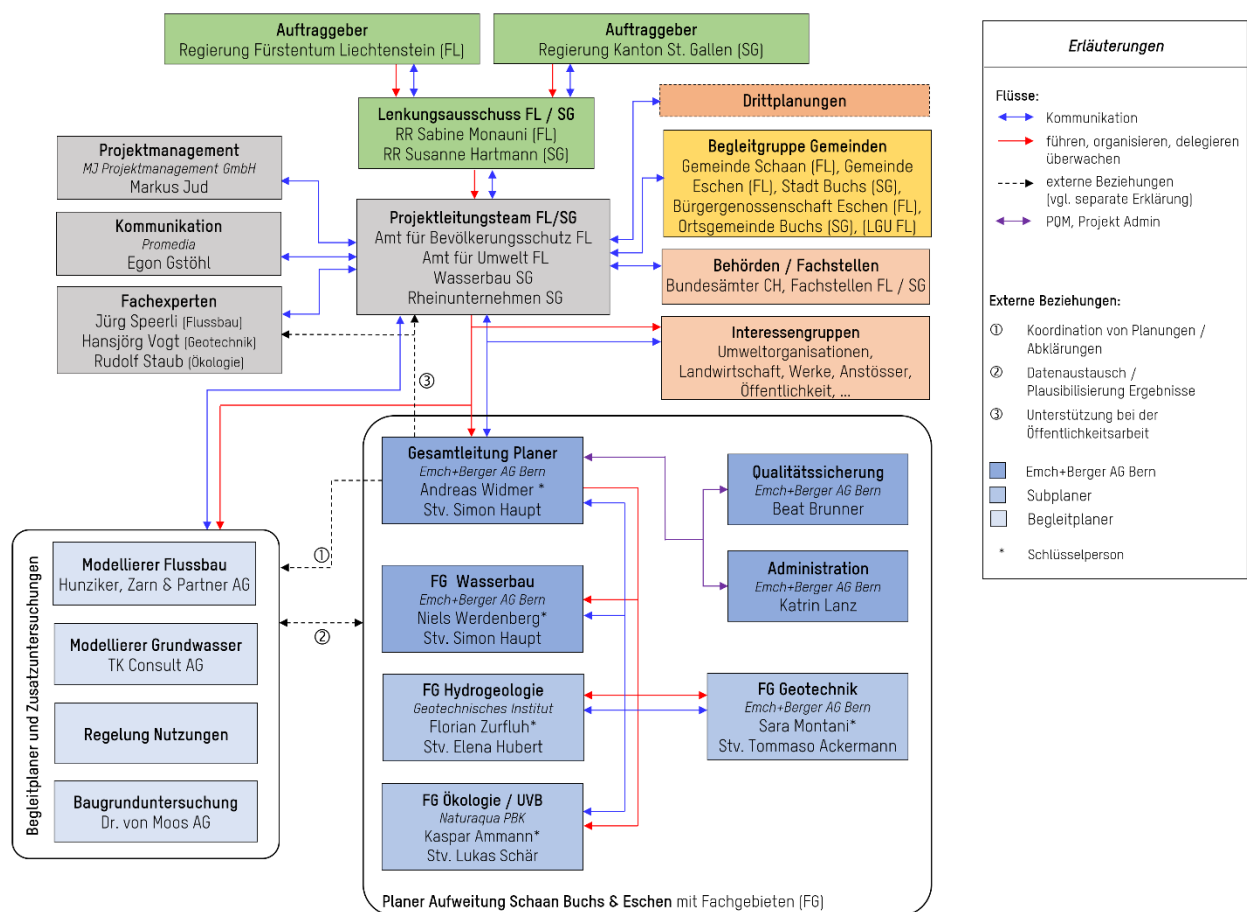


Abbildung 1: Projektorganigramm Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen

1.4 Partizipation

Die Standortgemeinden und Bodeneigentümer wurden bei der Ausarbeitung des Vorprojekts eng in die Planungsarbeiten miteinbezogen. In der «Begleitgruppe Gemeinden», die erstmals im April 2022 zusammenkam, stimmten sich die Gemeinden und Grundeigentümer an insgesamt vier Sitzungen (7. April 2022, 3. März 2023, 14. Dezember 2023 und 14. Juni 2024) mit der Projektleitung über das grundsätzliche Vorgehen und die Rahmenbedingungen des Vorprojekts ab. Durch

dieses partizipative Vorgehen wurde sichergestellt, dass das ausgearbeitete Vorprojekt von den Vertretern der betroffenen Gemeinden und Bodeneigentümern mitbestimmt und mitgetragen wird.

Zudem fand im Rahmen der Erarbeitung des Vorprojekts ein Austausch mit den Umweltorganisationen – insbesondere der Liechtensteinischen Gesellschaft für Umweltschutz LGU statt. So nahm die LGU ab der zweiten Sitzung im März 2023 ebenfalls an den Treffen der «Begleitgruppe Gemeinden» teil. Zusätzlich fand ein bilateraler Austausch zwischen der LGU und der Projektleitung statt (22. September 2021, 21. Dezember 2021, 9. Februar 2022, 26. September 2022, 16. Februar 2023, 28. März 2023). Des Weiteren wurde das Projekt am 4. Juli 2022 und am 14. Juni 2023 von der Projektleitung in einer etwas grösseren Runde mit verschiedenen Umweltorganisationen (LGU, WWF St. Gallen, pro natura St. Gallen-Apenzell, Werkstatt Faire Zukunft) diskutiert.

1.5 Perimeter

Im Rahmen des «Entwicklungskonzept Alpenrhein» [15] wurde die Rheinstrecke zwischen Reichenau und der Mündung in den Bodensee nach Aufwertungspotential in drei Klassen (A-C) eingeteilt. Der Abschnitt 26 «Eschner Au» wurde als Klasse A (grösstes Potential) eingestuft. 2015 wurde dieser Abschnitt von Hunziker, Zarn & Partner genauer untersucht und dafür in einzelne Teilperimeter A-F unterteilt [22]. Der in der darauffolgenden Machbarkeitsabklärung «Rheinaufweitung – Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen» [21] betrachtete Perimeter ist eine Erweiterung des Teilperimeters E aus [22]. Dabei wurden die Perimetergrenzen von der Wasser- auf die Luftseite der Hochwasserschutzdämme verschoben und die Perimeterfläche so vergrössert. Für die Projektausschreibung wurde dieser Perimeter nochmals geringfügig angepasst.

Detaillierte Ausführungen zur Festlegung des Perimeters und zur Definition der Perimetergrenzen für die Flussaufweitung «Schaan, Buchs & Eschen» können dem Kapitel 1.1 «Ausgangslage» des Berichts zum Variantenstudium entnommen werden (vgl. Anhang B).

Damit es in der weiteren Planung nicht zu Missverständnissen kommt, werden folgende Begrifflichkeiten und Definitionen verwendet:

1. Perimeter EKA

Der Perimeter gemäss Entwicklungskonzept Alpenrhein befindet sich zwischen den km 51.0 und 54.2 und sieht unterhalb der Blockrampe Buchs-Schaan km 49.5 zuerst linksufrig (km 51.0 bis km 52.5) und anschliessend rechtsufrig (km 51.3 bis km 54.1) eine Verbreiterung des Rheins vor. Zudem besteht gemäss Massnahmen EKA die Möglichkeit, die Aufweitung in einer späteren Phase auf der liechtensteinischen Seite bis zur Blockrampe Buchs-Schaan zu verlängern.

2. Projektperimeter

Der maximal räumliche Massnahmenperimeter der Flussaufweitung «Schaan, Buchs & Eschen» verläuft auf der CH-Seite entlang der Autobahn und auf der Seite FL in der Regel entlang dem luftseitigen Fuss des Deponiedamms. Es handelt sich dabei um den südlichen Teilbereich des Perimeters EKA. Der Projektperimeter reicht von km 51.0 bis km 52.7 und entspricht weitgehend den Ausschreibungsunterlagen [14]. Während der Erarbeitung des Variantenstudiums wurde der Perimeter geringfügig angepasst.

3. Betrachtungsperimeter

Der Betrachtungsperimeter berücksichtigt die Flie遥strecken vor und nach der Aufweitung, in welchen entscheidende Auswirkungen durch das Projekt zu erwarten sind. Im vorgängig erarbeiteten Variantenstudium (vgl. Anhang B) erstreckte sich der Betrachtungsperimeter oberstrom bis über die bestehende Blockrampe Buchs-Schaan bei km 49.5. Unterstrom beinhaltete der Betrachtungsperimeter denjenigen Abschnitt, in welchem morphologische Prozesse (wie Verengungskolk, Sohleneintiefung, etc.) durch die Aufweitung erwartet werden (bis ca. km 55.0). Im Zuge des Vorprojekts wurde für die Bestvariante eine numerische Modellierung durchgeführt (vgl. Beilage 72), welche die grossräumigen Auswirkungen der Aufweitung vom Ellhorn (km 34) bis zur Illmündung (km 65) untersucht. Der Betrachtungsperimeter wurde demgemäss erweitert.

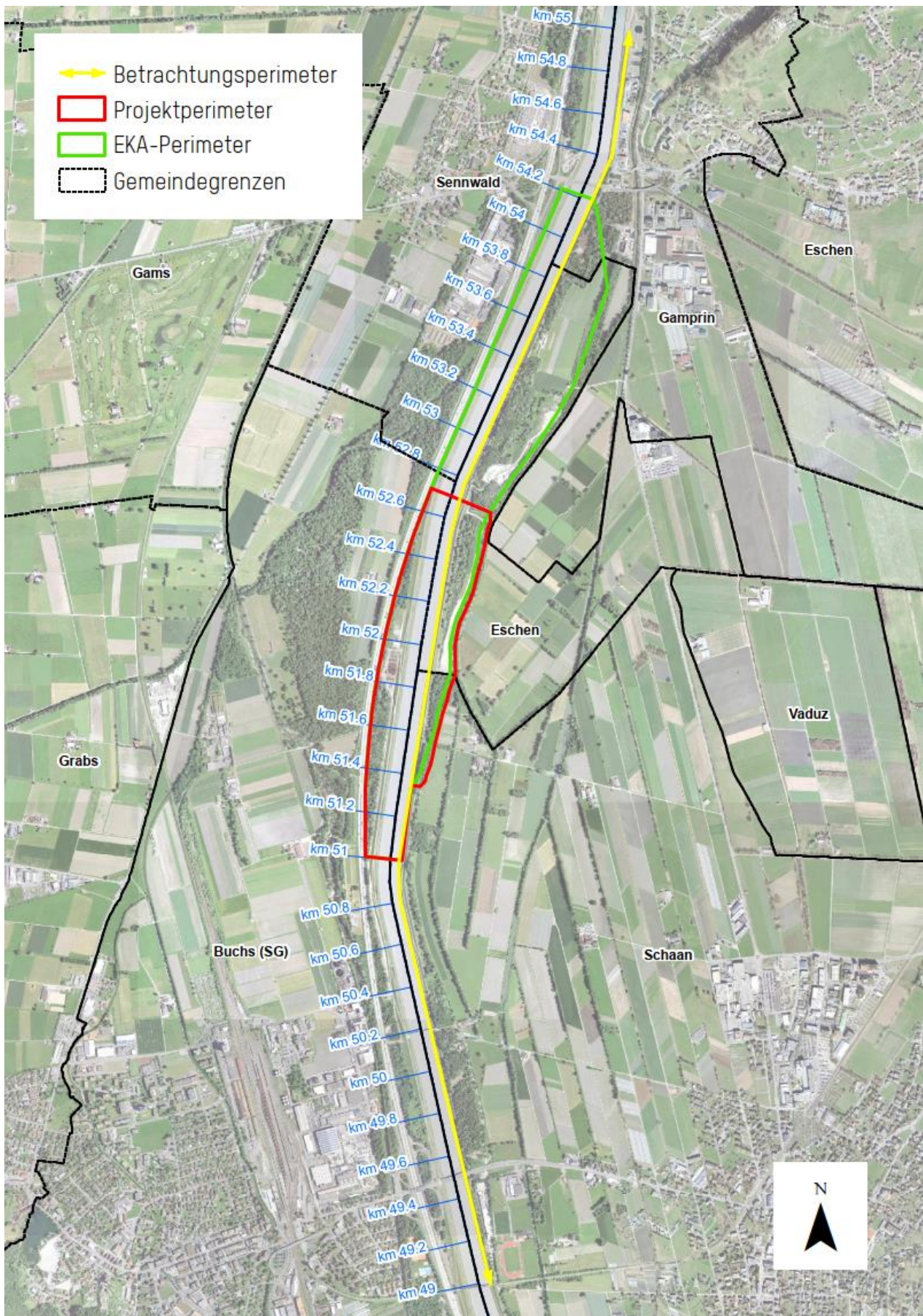


Abbildung 2: Darstellung der verschiedenen im Projekt verwendeten Perimeter, der Betrachtungsperimeter [gelb] erstreckt sich stromaufwärts noch weiter bis zum Ellhorn bei km 34 und stromabwärts bis zur Illmündung bei km 65.

1.6 Bisherige Projekte und Studien

Tabelle 1 beinhaltet eine chronologische Auflistung der neueren Projekte und Studien, welche den Projektperimeter tangieren.

Tabelle 1: Übersicht der bisherigen Studien und Projekte.

| Jahr | Studie | Autor |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2000 | Hydrologie Alpenrhein, Hauptstudie | Heierli AG, Tergeso AG, Hunziker, Zarn & Partner AG |
| 2005 | Entwicklungskonzept Alpenrhein | Internationale Rheinregulierung, Internationale Regierungskommission Alpenrhein |
| 2007 | Stabilität Rheindamm – Gesamtbeurteilung km 34.0 – 61.5 | Tiefbauamt des Fürstentums Liechtenstein & Rheinunternehmen St. Gallen |
| 2011 | Stabilität Rheindamm FL. Einfluss Extrem-Hochwasser, Stabilitätsbeurteilung km 34.4 bis 61.5 | Dr. von Moos AG, Vogt Ingenieure |
| 2015 | Aufweitung Eschner Aue – Alpenrhein km 51.9 – 54.2 – Grundwassermodellierung – Voruntersuchung der Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt | TK Consult AG |
| 2015 | Aufweitung Eschener Au, Auswirkungen auf die Gewässer-morphologie | Hunziker, Zarn & Partner AG |
| 2019 | Projektstudie zur Systemsicherheit Hochwasserschutz des Alpenrheins. Synthesebericht zuhanden IRKA | Niederer + Pozzi Umwelt AG |
| Februar 2020 | Rheinaufweitung Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen. Machbarkeitsabklärung Bericht | RENAT GmbH |
| April 2020 | Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen. Konzeptstudie | Hunziker, Zarn & Partner AG |
| Mai 2020 | Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen. Konzeptstudie Grundwassermodellierung | TK Consult AG |
| Juni 2020 | Sanierungsbaukasten Dämme, Rhein km 34.4 – 60.8, Projektdossier | IUB Engineering AG |
| November 2020 | Ertüchtigung Rheindämme. Rhein km 34.4 – 60.8. Gesamtkoordination Planungen, Strategie 2020 | P. Meier & Partner AG |
| September 2021 | Ertüchtigung Rheinbauwerk, FL: Rhein km 34.4 – 60.8, SG: Rhein km 27.0 – 65.0. Vereinbarung der Projektziele (Nutzungsvereinbarung nach SIA 260). Basisdokument | IUB Engineering |

2 Grundlagen

2.1 Allgemeine Grundlagen

- (1) Kinzelbach W. (2011). Skript zur Vorlesung Hydraulik I.
- (2) Bezzola G.R. (2015). Vorlesungsmanuskript Flussbau. ETHZ
- (3) KOHS (2013). Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen – Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS). WEL, 105, 43–53. Baden
- (4) Emch+Berger AG (2022). Engineered Log Jam (ELJ) – Planungshilfe. Version 2 vom 22.02.2022
- (5) DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2011). Merkblatt DWA-M 507-1, Deiche an Fließgewässern, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb
- (6) Forum Umwelt AG (2012). Vorgaben Dammbestockung Beispiel Aufweitung Baltschieder, Begleitnotiz zum Plan Entwicklung Wurzeltiefe- und Bestockungshöhen
- (7) Delarze R., Gonseth Y., Eggenberg S., Vust M. (2015). Lebensräume der Schweiz. 3. Auflage, 456 S., hep Verlag AG, Bern.
- (8) Hintermann & Weber AG (2017). Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU und der Konferenz der Beauftragten für Natur- und Landschaftsschutz KBNL.
- (9) Rachelly C. (2021). Sediment supply control on Widening, Morphodynamics and refugia availability, DISS. ETH NO. 28056
- (10) Haupt Ingenieure GmbH (2022). Flussaufweitungen an der Sense in Oberflamatt – Hydraulische Modellierung Sense Oberflamatt.
- (11) Zarn (1997). Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilung 154. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). ETH Zürich.
- (12) International Union for Conservation of Nature IUCN (2001). IUCN Red List – Categories and Criteria. V 3.1
- (13) Bundesamt für Naturschutz der Bundesrepublik Deutschland BfN. Ludwig et al. (2009). Methodik der Gefährdungsanalyse für Rote Listen. NaBiV Heft 70/1

2.2 Projektspezifische Grundlagen

- (14) Rheinunternehmen Kt. St. Gallen, Amt für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein (2021). Ausschreibungsunterlagen Projekt «Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen»
- (15) Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Internationale Rheinregulierung (IRR (2005). Entwicklungskonzept Alpenrhein.
- (16) Hunziker, Zarn & Partner (2015). Aufweitung Eschner Aue. Auswirkungen auf die Gewässermorphologie
- (17) Hunziker, Zarn & Partner (2016). Feststofftransportmodell Alpenrhein, Erfolgskontrolle bestehendes Zweikornmodell sowie Entwicklung eines Mehrkornmodells.
- (18) Niederer+Pozzi Umwelt AG (2019). Projekt D12, Projektstudie zur Systemsicherheit am Hochwasserschutz des Alpenrheins – Gesamtbericht (Januar 2019). Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA).
- (19) Niederer+Pozzi Umwelt AG (2019). Projekt D12, Projektstudie zur Systemsicherheit am Hochwasserschutz des Alpenrheins – Synthesebericht (März 2019). Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA).
- (20) Niederer+Pozzi Umwelt AG (2023). Projekt D16, Vertiefte Untersuchungen zur Systemsicherheit am Hochwasserschutz des Alpenrheins – Phasen I und II (März 2023). Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA).
- (21) RENAT GmbH (2020). Rheinaufweitung Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen – Machbarkeitsabklärung Bericht (26.02.2020). Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (22) Hunziker, Zarn & Partner (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Konzeptstudie. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (23) TK Consult AG (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Konzeptstudie – Grundwassermodellierung. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (24) P. Meier & Partner AG (2020). Ertüchtigung Rheindämme Rhein km 34.4 – 60.8 – Gesamtkoordination Planungen – Strategie 2020. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (25) IUB Engineering AG (2021). Ertüchtigung Rheindämme, Vereinbarung der Projektziele. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.

- (26) IUB Engineering AG (2020). Ertüchtigung Rheindämme, Rhein km 34.4 -60.8 – Technischer Bericht Sanierungsbaukasten, Schlussfassung, 26.06.2020. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (27) IUB Engineering AG (2021). Ertüchtigung Rheindämme, Rhein km 27.0 (34.4) – 65.0 (60.8) – Technischer Bericht Sanierungsbaukasten Dämme Fachvertiefung Gefährdung und Stabilität Flusssseite, Schlussfassung, 03.09.2021. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- (28) Vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2007). Stabilität Rheindamm, Detailunterlagen km 34.0 – 40, km 50 – 61.5, Gesamtbeurteilung km 34.0 – 61.5 – Stabilitätsbeurteilung (22.05.2007). Im Auftrag des Fürstentum Liechtensteins und des Rheinunternehmens.
- (29) Vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2011). Stabilität Rheindamm FL, Einfluss Extrem-Hochwasser, Stabilitätsbeurteilung km 34.4 – 61.5 (29.04.2011). Im Auftrag des Fürstentum Liechtensteins
- (30) Tragweite vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2013). Stabilität Rheindamm FL unter Extrem-Hochwasser, Massnahmenkatalog km 34.4 – 61.5 (05.03.2013). Im Auftrag des Fürstentum Liechtensteins
- (31) Dr. von Moos AG (2018). Stabilität linker Rheindamm km 23.5 – 65.0 Bad Ragaz bis Rüthi (SG). Zusammenfassende Stabilitätsbeurteilung (10.07.2018). Im Auftrag des Rheinunternehmens.
- (32) Dr. von Moos AG (2018). Stabilität linker Rheindamm km 23.5 – 65.0 Bad Ragaz bis Rüthi (SG). Massnahmenkatalog (31.08.2018). Im Auftrag des Rheinunternehmens.
- (33) Tiefbau- und Strassenverwaltung des Kantons St. Gallen (1972). Schweizer Nationalstrassen N13, Abschnitt St. Margarethen – Bad Ragaz. Ausführungsprojekt
- (34) Bundesamt für Strassen ASTRA (2022). N13/28 Wildtierquerung Vaduz (Stand: Februar 2022).
- (35) Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus Österreich, Abteilung Wasserhaushalt (2021). Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2018.
- (36) Amt für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein (2022). Ausführungsprojekt: Rheindammsanierung Underau km 50'800 bis 51'400 Schaan (Stand: Februar 2022).
- (37) Hunziker, Zarn & Partner (2013). Aufweitung Alpenrhein Maienfeld/Bad Ragaz – Vorprojekt.
- (38) Internationale Regierungskommission Alpenrhein IRKA (2012). Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Kurzbericht und Detailberichte AP1-AP5.
- (39) ARGE NiPo/Herzog/Tuffli (2020). Aufweitung Alpenrhein Maienfeld /Bad Ragaz. Entwurfsdossier Auflageprojekt
- (40) Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GMBH (2014). Auswertung der Schwebstoff- und Sedimentdaten für den Alpenrhein, die Bregenzerach und den Bodensee im Jahr 2014. Im Auftrag des Zentralbüros der Internationalen Rheinregulierung.
- (41) Emch+Berger AG Bern (2024). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Kostenschätzung zum Vorprojekt
- (42) IM Maggia Engineering AG (2024). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Review Technisches Projekt und Kostenschätzung Vorprojekt
- (43) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (2005). Gutachten über die Langzeit-Scherfestigkeit der Bentonitmatte Bentofix B 4000, Fachgruppe IV3 "Abfallbehandlung und Altlastensanierung". IV.32/1312/03-2

2.3 Geodaten/Digitale Grundlagen

- (44) Bundesamt für Umwelt BAFU (2007). Querprofilvermessungen Alpenrhein
- (45) Markowski Straka ZT GmbH, Vermessungsbüro Bolter + Schösser (2011). Querprofilvermessungen Alpenrhein km 3.0 – km 94.55. Im Auftrag der internationalen Rheinregulierung
- (46) Rheinunternehmen Kt. St. Gallen (2003 – 2018). Sohlenaufnahmen Alpenrhein, verschiedene Jahrgänge
- (47) Bundesamt für Landestopografie Swisstopo (2019). Digitales Höhenmodell swissALTI3D.
- (48) Bundesamt für Umwelt BAFU (2017). Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung.
- (49) Bundesamt für Umwelt BAFU (2021). Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (TWW).
- (50) Bundesamt für Umwelt BAFU (2020). Wildtierkorridore Überregional.
- (51) Amt für Raumentwicklung und Geoinformation des Kt. St. Gallen (2021). Kantonaler Richtplan.
- (52) Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Inventar schützenswerte Lebensräume. (Datenbezug: Januar 2022)
- (53) Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Inventar schützenswerte Landschaften. (Datenbezug: Januar 2022)
- (54) Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Magerstandorte. (Datenbezug: Januar 2022)
- (55) Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Waldreservate/Sonderwaldfläche. (Datenbezug: Januar 2022)

- [56] Kanton St. Gallen (2022). Kataster der belasteten Standorte (Stand Geoportal Kt. St. Gallen: Februar 2022)
- [57] Amt für Raumentwicklung und Geoinformation, Tiefbauamt Kanton St. Gallen (2022). Rad-, MTB- und Skatingwege. (Datenbezug: Januar 2022).
- [58] Amt für Umwelt Fürstentum Liechtenstein (2022). Wanderwege. (Datenbezug: Januar 2022).
- [59] Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Radwege. (Datenbezug: Januar 2022).
- [60] Landwirtschaftsamt Kanton St. Gallen (2022). Perimeter LN- und Sömmerungsflächen KT SG (Stand: 05.01.2022)
- [61] Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Bewirtschaftungsflächen.
- [62] Kantonsforstamt St. Gallen (2018). Basiswaldfläche (BWF) (Datenbezug: Januar 2022).
- [63] Amt für Bau und Infrastruktur Fürstentum Liechtenstein (2022). Waldflächen. (Datenbezug: Januar 2022)
- [64] BAFU (2017). Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) (16.02.2022)
- [65] Bundesamt für Kultur (2021). Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung. (16.02.2022)
- [66] Bundesamt für Strassen (2010). Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS). (16.02.2022)
- [67] Bundesamt für Strassen, Kantone (2015). Inventar der historischen Verkehrswege der Schweiz von regionaler und lokaler Bedeutung. (16.02.2022)
- [68] BAFU (2019). Topographische Einzugsgebiete Schweizer Gewässer: Teileinzugsgebiete 2 km² (18.02.2022)
- [69] InfoSpecies – Schweizer Informationszentrum für Arten. Abfrage Datenbanken InfoFauna, InfoFlora, SwissLichens, SwissFunghi, Vogelwarte, abgefragt: Januar 2022

3 Ausgangslage

3.1 Historische Entwicklung

Anhand der Dufour Karte von 1862 (vgl. Abbildung 3, ganz links), lässt sich erahnen, dass der Alpenrhein deutlich mehr Raum in der Talebene eingenommen hat. Nach mehreren grossen Hochwasserereignissen wurde 1819 erstmals eine Korrektur des Rheins diskutiert. 1837 wurde der Vertrag zwischen Liechtenstein und St. Gallen über «... die Uferbauten am Rhein längs der ganzen beidseitigen Grenze» abgeschlossen. Die Lage der Hochwasserschutzdämme wurde 1861 mit sogenannten Recesslinien festgelegt. Anfang der 1860er Jahre begannen die Bauarbeiten für die Hochwuhre auf der Schweizer Seite, auf Seite Liechtenstein wurde in den 1870er Jahren mit dem Bau begonnen. Der Rhein wurde zuerst mit buhnenartigen Bauwerken eingezwängt und im Anschluss wurden die Längswuhre mit den Dämmen erstellt. In die vom Fluss nicht mehr beanspruchten Flächen (Kolmationsgebiete) wurde schwebstoffhaltiges Wasser geleitet, welches dort sedimentierte (vgl. Siegfriedkarte von 1891 in Abbildung 3).

Die Bauarbeiten waren in den 1880er Jahren grösstenteils abgeschlossen und der Rhein verläuft seit da in seiner heutigen Linienführung. Seit dem Bau der Autobahn A13 in den 1970er Jahren hat sich das heutige Erscheinungsbild und die Geometrie des Flusslaufes nicht mehr massgeblich verändert.

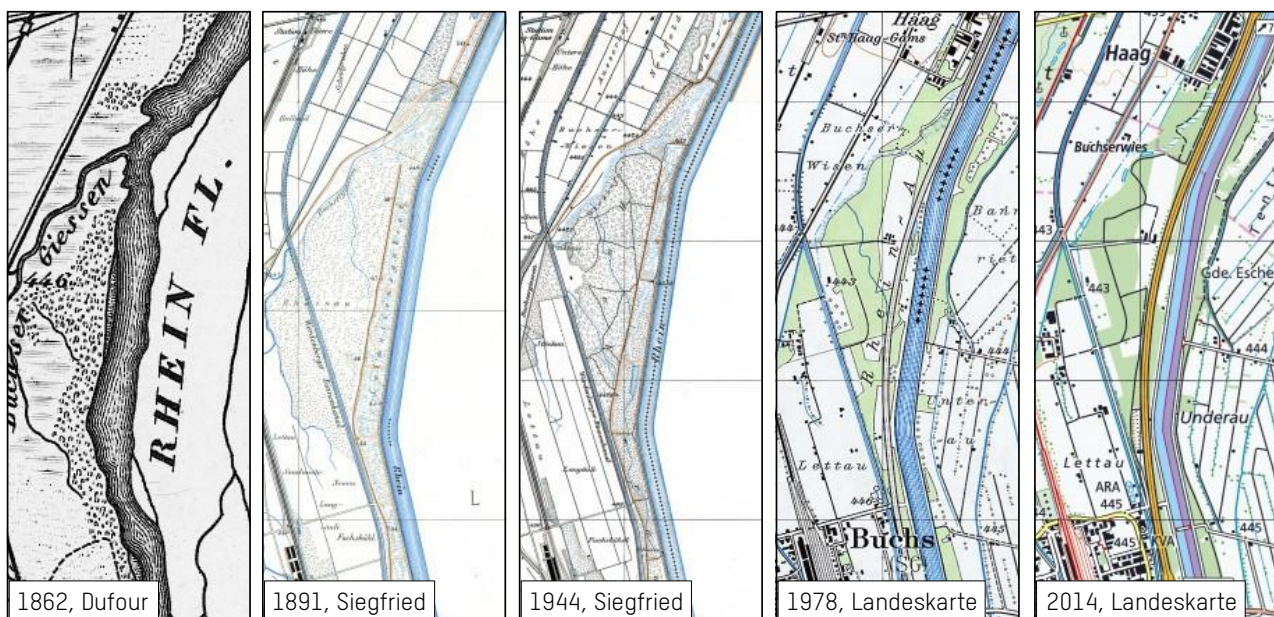


Abbildung 3: Ausschnitte aus historischen Kartenwerken (Quelle: map.geoadmin.ch).

3.2 Der heutige Rhein im Bereich der geplanten Aufweitung

3.2.1 Einzugsgebiet

Bis zum Projektperimeter entwässert der Alpenrhein grosse Teile des Kantons Graubünden sowie untergeordnete Anteile des Kantons St. Gallen sowie von Italien (vgl. Abbildung 4). Bei Reichenau vereinigen sich der Vorderrhein und der Hinterrhein. Die wichtigsten Zuflüsse zwischen der Vereinigung und dem Projektperimeter sind die Plessur, die Landquart und die Tamina. Die Einzugsgebietsfläche bis zum Projektperimeter beträgt rund 4'536 km² und wird durch folgende Kennzahlen charakterisiert [68]:

- Flächenanteil Schweiz: 98.8 %
- Flächenanteil Italien: 1.2 %
- Siedlungsflächen: 2.4 %
- Landwirtschaftsflächen: 34.2 %
- Bestockte Flächen: 27.5 %
- Unproduktive Flächen: 35.8 %
- Maximale Höhe EZG: 3'583 m ü.M.
- Mittlere Höhe EZG: 1'909 m ü.M.
- Minimale Höhe EZG¹: 442.71 m ü.M.

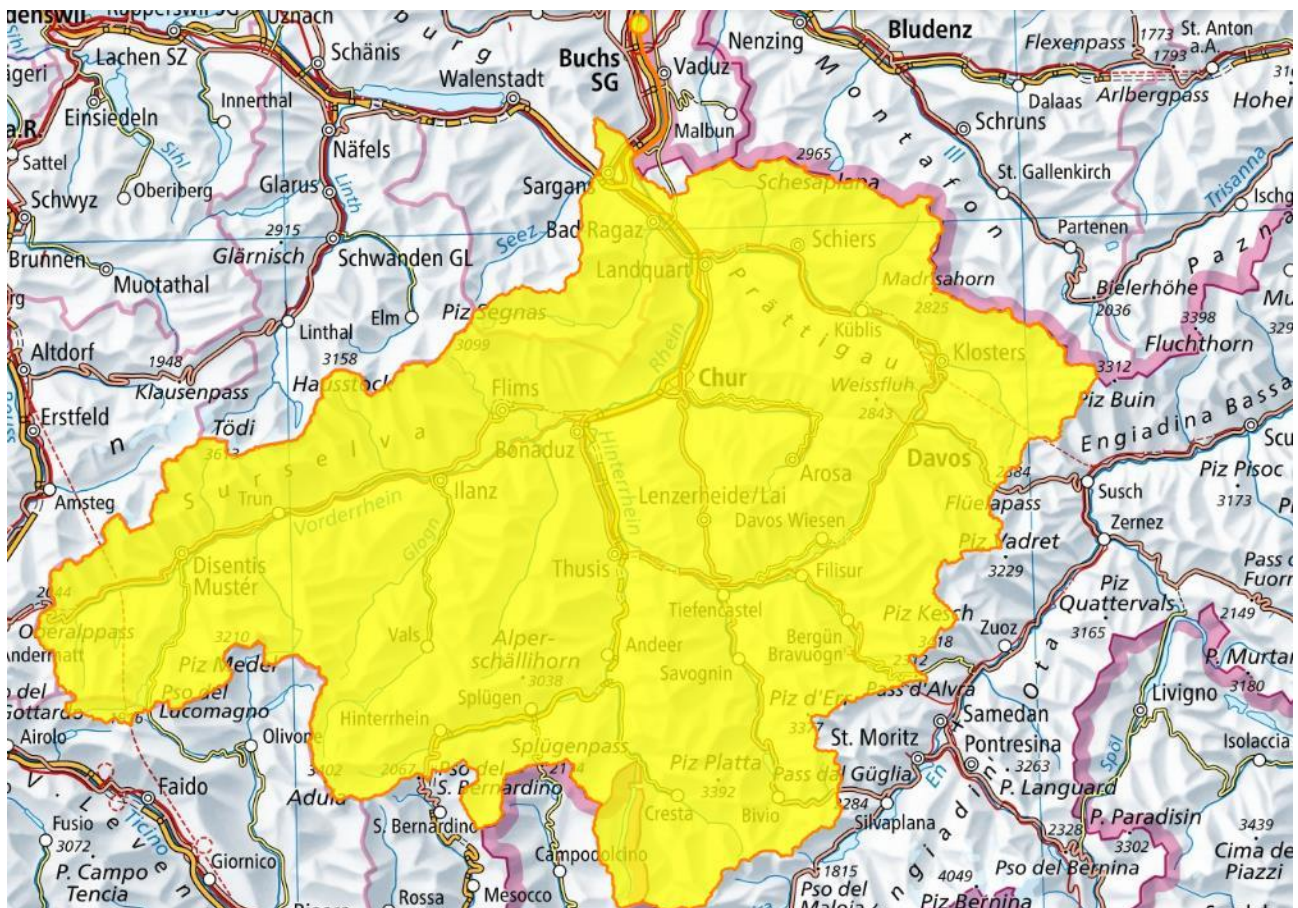


Abbildung 4: Einzugsgebiet des Alpenrheins bis zum Projektperimeter [68].

Das Einzugsgebiet des Alpenrheins weist eine variable Geologie und Tektonik auf. Im Westen grenzt es an das Aare- und Gotthardmassiv sowie an das Tavetscher Zwischenmassiv während nördlich und westlich die Helvetischen Decken dominieren. Im Süden und im Osten liegen die Penninischen Decken, an welche die Ostalpinen Decken anschliessen. Jede dieser tektonischen Einheiten besitzt typische Gesteinsarten mit unterschiedlichen Eigenschaften bezüglich Festigkeit, Verwitterungs- und Erosionsresistenz [37]:

¹Die minimale Höhe des Einzugsgebiets wird als die mittlere Sohlenlage beim Gebietsauslass (obere Grenze des Projektperimeters, km 51) definiert.

- Zentralmassive: Granite, Granodiorite, verschiedene Gneise [hart].
- Helvetische Decken: Sandsteine, Kalke, verschieferte mergelige-tonige Gesteine [weich].
- Penninsche Decken: Granitgneise; Bündnerschiefer zusammengesetzt aus Tonschiefer, Kalkschiefer, Quarzite, Sandsteine und Kalke; sowie Grünschiefer, Gabbros, Diabase [weich].
- Ostalpine Decken: Granite, Diorite und verschiedene Gneise; triasisch-dolomitische Ablagerungen [mittlere Härte].

3.2.2 Hydrologie

Grosse Hochwasserereignisse des Alpenrheins können einerseits durch Südstaulagen entstehen, bei welchen primär die südlichen Teileinzugsgebiete von Starkniederschlägen betroffen sind. Andererseits können auch Nordstaulagen zu Hochwasserereignissen führen, bei denen die Plessur und die Landquart grössere Wassermengen beitragen. Das jahreszeitliche Abflussgeschehen wird stark von der Schneeschmelze beeinflusst. Gemäss hydrologischem Atlas der Schweiz ist der Rheinabschnitt nach der Landquartmündung dem nivalen Abflusstyp zuzuordnen. Der Einfluss der Vergletscherung spielt eine untergeordnete Rolle und nimmt mit der laufenden Klimaerwärmung ab.

Gemäss dem Bericht «Vereinbarung der Projektziele» [25] gelten für den Projektperimeter die in Tabelle 2 aufgelisteten Hochwasserspitzen. Die weiteren in Tabelle 3 aufgelisteten Abflüsse wurden von der Messstelle «200014 Bangs» des Landes Vorarlberg in Österreich übernommen (Messperiode 1996 – 2018) [35]. Die Messstation befindet sich rund 10 km unterstrom des Projektperimeters bei der Brücke Zollstrasse (Gemeinde Altstätten).

Tabelle 2: massgebende Hochwasserspitzen [25].

| Ereignis | Abfluss (m ³ /s) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------|
| HQ ₃₀ | 1'950 |
| HQ ₁₀₀ | 2'550 |
| HQ ₃₀₀ | 3'350 |
| EHQ _A ¹⁾ | 4'400 |
| EHQ _B ²⁾ | 5'250 |
| ¹⁾ Wiederkehrperiode ca. 300 – 1'000 Jahre | |
| ²⁾ Wiederkehrperiode ≥ 1'000 Jahre | |

Tabelle 3: weitere Abflüsse des Rheins beim Projektperimeter [35].

| Ereignis | Abfluss (m ³ /s) |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| NQ Winter ¹⁾ | 26 |
| NQ Sommer ²⁾ | 56 |
| Q ₃₄₇ | 59 |
| MQ Winter ¹⁾ | 95 |
| MQ August (Spätsommer) | 175 |
| MQ Juni (Frühsommer) | 309 |
| Q ₅ | 441 |
| Q ₁ | 625 |
| HQ ₁ | 845 |
| HQ ₂ ³⁾ | 1'010 |
| HQ ₅ | 1'295 |
| HQ ₁₀ | 1'500 |
| ¹⁾ Oktober – März | |
| ²⁾ April – September | |
| ³⁾ mit Exponentialfunktion interpoliert | |

3.2.3 Schwall/Sunk

Die Wasserführung des Rheins ist vor allem im Winter von ausgeprägten tageszeitlichen Schwankungen geprägt. Diese werden durch die Kraftwerke am Vorderrhein und hauptsächlich am Hinterrhein sowie geringfügig durch das Kraftwerk Sarelli verursacht.

Der Schwall/Sunk wurde in einer Studie der IRKA [38] für den IST-Zustand sowie für diverse Anforderungsprofile für eine künftige Sanierung untersucht. Für den heutigen Zustand (Abschnitt ab Landquart inkl. Sarelli, Referenzmorphologie Buchs) kann während der Wintermonate der folgende Schwankungsbereich angenommen werden:

→ Anforderungsprofil AP0 (IST-Zustand): Faktor 2.9/1, Schwall= 190 m³/s, Sunk= 65 m³/s

Aktuell läuft im Kanton Graubünden ein Projekt zur Schwall-/Sunksanierung am Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein. Ende Juni 2023 wurde dazu von den Kraftwerkseigentümern das Dossier zum Variantenstudium für verschiedene Sanierungsmassnahmen eingereicht. Der Kanton Graubünden hat im Winter 2023/2024 eine Vernehmlassung zu diesem Dossier durchgeführt. Der Auswertungsbericht zu den Stellungnahmen liegt vor und wurde im August 2024 dem BAFU zur Stellungnahme übermittelt.

3.2.4 Geschiebe, Schwebstoffe und Schwemmholz

Während den 70er und 80er Jahren befand sich der Alpenrhein im Bereich des Projektperimeters in einem Erosionszustand, welcher auf den Bau der Blockrampe Buchs zurückzuführen ist. Durch die Rampe wurde oberhalb Geschiebe zurückgehalten, was zu einer Sohleneintiefung unterstrom der Rampe führte. Seit Mitte der 90er Jahre treten aufgrund der gestoppten Kiesentnahmen wieder Auflandungsprozesse auf. Seit 1995 landete die Rheinsohle unterhalb der Blockrampe um rund 0.9 m auf (vgl. Abbildung 5).

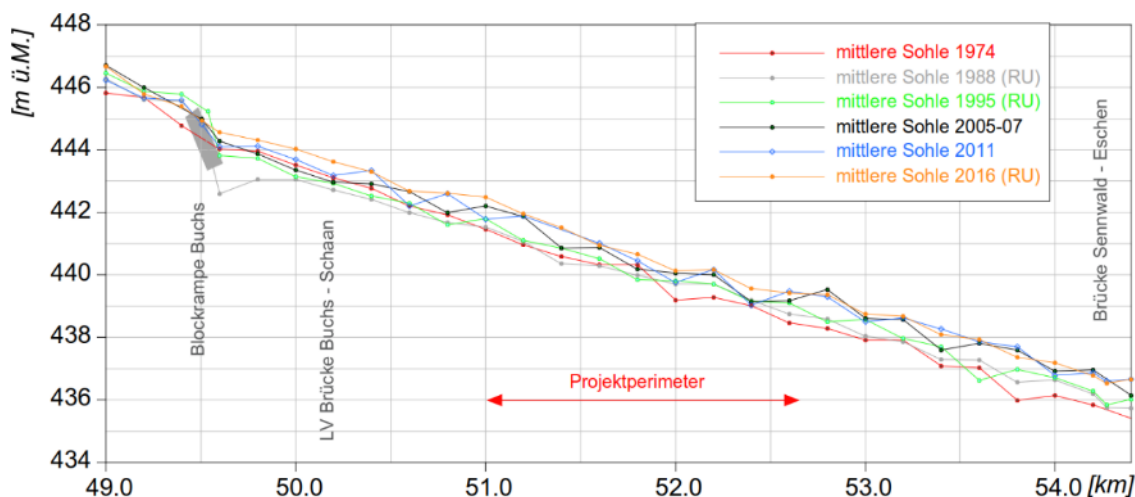


Abbildung 5: Längenprofil Alpenrhein mit verschiedenen Sohlenlagen (entnommen aus [22]).

Namhafte Geschiebemengen werden nur bei Hochwasser transportiert. Neben dem Vorder- und dem Hinterrhein sind die Plessur, die Maschanser Rüfi sowie die Landquart bedeutende Geschiebezubringer. Gleichzeitig wird in den Kieswerken Chur und Tardis Geschiebe entnommen.

Die mittlere jährliche Geschiebefracht beträgt rund 60'000 – 65'000 m³ [17]. Der mittlere Korndurchmesser (d_m) des transportierten Geschiebes beträgt rund 2.5 cm. Die Austauschschicht bzw. Deckschicht wird durch folgende Korndurchmesser charakterisiert:

- Mittlerer Korndurchmesser $d_m = 4 \text{ cm}$
- 90 % Siebdurchgang $d_{90} = 8 \text{ cm}$

Zum Schwemmholzaufkommen stehen keine quantitativen Abschätzungen zur Verfügung. Für das Projekt kann als Randbedingung angenommen werden, dass Schwemmholz nur bei grösseren Hochwassern wie demjenigen vom 12.06.2019 auftritt (Abfluss in Diepoldsau = 1'401 m³/s, entspricht ungefähr einem HQ₅ – HQ₁₀), dann aber in grossen Mengen von bis zu mehreren 10'000 m³ pro Ereignis transportiert wird. Es werden auch grosse Stämme und Wurzelstöcke mobilisiert.

Anhand von Schwebstoffmessungen bei der BAFU Messstelle in Diepoldsau sowie der Messstation Lustenau (Österreich) konnte die Jahresschwebstofffracht des Alpenrheins 2014 auf rund 2 – 2.5 Mio. Tonnen abgeschätzt werden [40]. Umgerechnet ergibt dies etwa ein Schwebstoffvolumen von 1.5 Mio. m³, welches jährlich in den Bodensee transportiert wird.

3.2.5 Heutiges Flussbett

Im heutigen Zustand weist der Alpenrhein innerhalb des Projektperimeters alternierende Kiesbänke auf. Diese führen in den Uferbereichen zu Kolk-tiefen von bis zu 4 m [22]. Die mittlere Sohlenbreite beträgt aktuell rund 95 m (vgl. Abbildung 6). Das mittlere Längsgefälle beträgt rund 1.8 ‰.

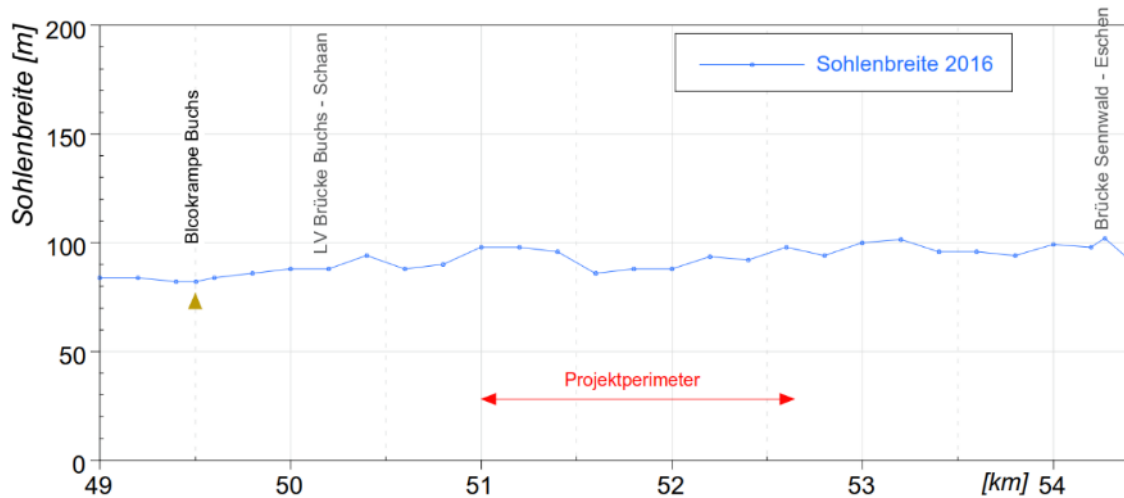


Abbildung 6: Sohlenbreiten Alpenrhein [entnommen aus [22]].

3.2.6 Theoretische Abflusskapazität

Innerhalb des Projektperimeters weist der Rhein im heutigen Zustand eine sehr grosse Abflusskapazität auf. Bei einem HQ_{300} beträgt das heutige Freibord innerhalb des Projektperimeters 4 - 5 m und selbst bei einem EHQ_6 betragen die Freibordhöhen noch rund 2 - 3 m.

3.2.7 Dämme, Dammstabilität

Innerhalb des Projektperimeters verlaufen beidseitig Hochwasserschutzdämme mit folgenden luftseitigen Höhen:

- Linkes Ufer (Schweiz): 6.5 – 8.5 m
- Rechtes Ufer (Fürstentum Liechtenstein): 7.5 – 9.5 m

Die Dammkronenbreiten betragen beidseitig rund 4 – 5 m. Die wasserseitige Dammböschung weist eine 2:3 – Neigung auf, die luftseitigen Böschungen sind mehrheitlich etwas flacher (1:2 – 1:4). Zwischen km 51.55 und 51.3 weist der rechte Damm (Gemeinde Schaan) eine rund 40 m breite Dammvorschüttung auf.



Abbildung 7: Hochwasserschutzdämme im Projektperimeter mit Blick in Fliessrichtung (Foto: A. Widmer 2022)

Hinsichtlich der Dammzustände wurden diverse Stabilitätsbeurteilungen durchgeführt [28][29][30][31][32][26][27]. In der strategischen Planung zur Ertüchtigung der Rheindämme [24] wurde eine Priorisierung nach Dringlichkeit erarbeitet.

Priorität 1: Abschnitte, die für die Abführung eines HQ_{100} ungenügende Sicherheitsreserven bezüglich hydraulischem Grundbruch und ungenügende bzw. bedingt genügende Sicherheitsreserven bezüglich Gesamtstabilität aufweisen

Priorität 2: Abschnitte, die für die Abführung eines HQ_{100} ungenügende Sicherheitsreserven bezüglich hydraulischem Grundbruch, aber genügende Sicherheitsreserven bezüglich Gesamtstabilität aufweisen. Bei einem HQ_{300} sind in diesen Abschnitten in der Regel die Sicherheitsreserven bezüglich Gesamtstabilität nur noch bedingt genügend.

Priorität 3: Abschnitte, die für die Abführung eines HQ_{100} genügende Sicherheitsreserven aufweisen, aber in denen die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch bei einem HQ_{300} ungenügend wird.

Priorität 4: Alle Dammabschnitte, die bis und mit HQ_{300} eine genügende Sicherheit aufweisen. Die Sanierung dieser Abschnitte ist nicht dringlich.

Dem linksseitigen Rheindamm (Schweiz) wurde innerhalb des Projektperimeters des vorliegenden Vorprojektes die 2. Priorität zugeordnet. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein wurde dem obersten Abschnitt (51.0 bis ca. km 51.3) die 1. Priorität zugewiesen. Dieser Abschnitt wurde bereits saniert (vgl. Kapitel 3.5.9). Weiter wurde dem rechtsseitigen Hochwasserschutzdamm innerhalb des Projektperimeters des vorliegenden Vorprojektes die 2. Priorität (ca. km 51.3 – 52.1) sowie die 3. Priorität (ca. km 52.1 – 52.7) zugewiesen.

3.2.8 Ufer, Uferschutz

Unterhalb des wasserseitigen Wuhrweges sind die Ufer beidseitig mittels Blockwurf hart verbaut (vgl. Abbildung 8). Zwischen Wuhrweg und Dammkrone ist eine mit Magerwiese überwachsene Pflästerung vorhanden. Der Zustand der Pflästerung ist aufgrund von Sondagen, welche im Rahmen von (27) durchgeführt wurden, bekannt und wird als gut beurteilt. Durch die Bestockung bzw. die Durchwurzelung treten stellenweise Schäden auf.



Abbildung 8: Blocksteinverbauung unterhalb des wasserseitigen Wuhrweges.

3.3 Nebengewässer

Innerhalb des Projektperimeters münden keine Seitengewässer in den Alpenrhein (vgl. Abbildung 9). Westlich der Autobahn A13 fliesst der Werdenberger Binnenkanal, östlich grenzt der «Augraba West», respektive der «Tentschagraba» an den Projektperimeter.

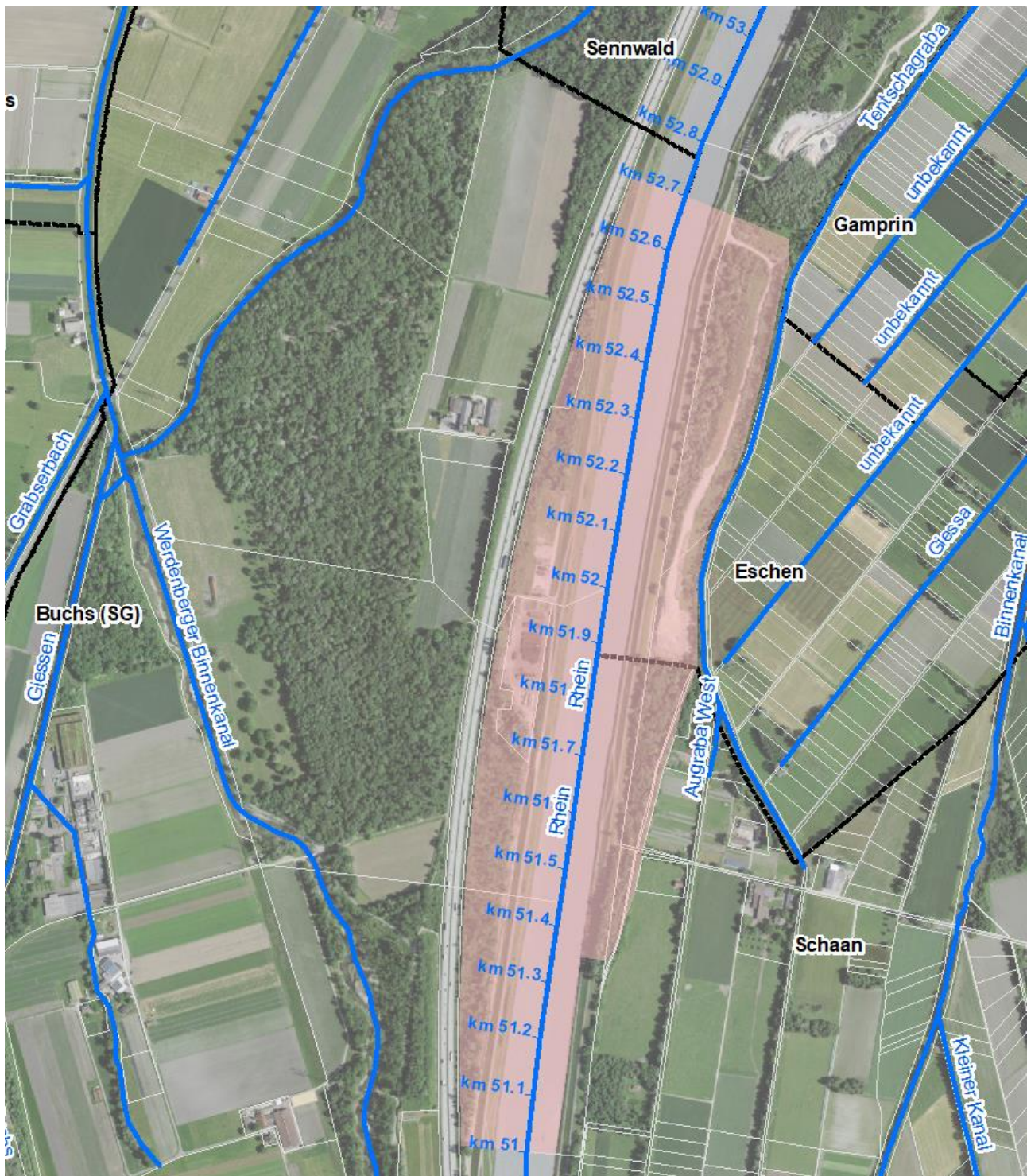


Abbildung 9: Seitengewässer im Bereich des Projektperimeters.

3.4 Natur und Umwelt

Die nachfolgend aufgeführten Inventare und Schutzgebiete sind in der Planbeilage 02 dargestellt.

3.4.1 Nationale Inventare und Schutzgebiete

Folgende nationalen Naturinventare und Naturschutzgebiete befinden sich im Projektperimeter:

- Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (Objekt SG205 – Retentionsbecken Ceres Rhein-Au)
Amphibienbestände:
 - Kammolch (*Triturus cristatus*) mittlere Population
 - Teichmolch² (*Lissotriton vulgaris*) kleine oder nicht bekannte Population
 - Gelbbauchunke² (*Bombina variegata*) mittlere bis kleine Population
 - Erdkröte (*Bufo bufo*) kleine oder nicht bekannte Population
 - Wasserfrosch (*Pelophylax* sp.) mittlere Population
 - Seefrosch (*Pelophylax ridibundus*) kleine oder nicht bekannte Population
 - Grasfrosch (*Rana temporaria*) kleine oder nicht bekannte Population
 - Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (Objekt 429 – Rheindamm Rheinau)
Vegetation:
 - Echter Halbtrockenrasen 59 %
 - Artenarmer Trockenrasen der tieferen Lagen 4 %
 - Nährstoffreicher Halbrockenrasen 1 %Funde besonderer Gefässpflanzen:
 - Helm Knabenkraut (*Orchis militaris*)
 - Futterwicke (*Vicia sativa* s.l.)Strukturelemente :
 - Offener Boden (Sand, Kies, Erde oder Fels) / Hecke
 - Feldgehölz
 - Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung (Objekt SG 08)
Zustand:
 - weitgehend unterbrochenKurzbeschreibung:
 - Praktisch unterbrochener Korridor zwischen Werdenberger Raum, Liechtenstein und Vorarlberg über das Grabser Riet und Buchser Rheinau. Die beim Hof Ceres liegende Wildunterführung der A13 wird von einzelnen Füchsen, Rehen und Hasen benutzt; von wechselnden Rothirschen ist nichts bekannt.Massnahmen:
 - Konzept des Kantons (2003) sieht verschiedene Massnahmen vor: u. a. Wildtierpassage (wird im Rahmen Sanierungsprogramm ASTRA/BAFU erstellt) und Umgestaltung des Rheinwuhres. Wildtierschutzzäune um Kulturen nur in Absprache zwischen Landwirte und Wildhüter erstellen.
- #### 3.4.2 Inventare und Schutzgebiete Kt. St. Gallen
- Durch den Projektperimeter wird das kantonale Schongebiet für Lebensräume bedrohter Arten in den Werdenberger Rheinauen tangiert.
 - sGS 671.1 - Verordnung über den Schutz wildwachsender Pflanzen und freilebender Tiere (Naturschutzverordnung) (NSV)
 - Amt für Natur, Jagd und Fischerei St.Gallen 2019, Monitoring und Schutz prioritärer Pflanzenvorkommen im Kanton St. Gallen, Alfred Brülisauer
 - IRKA Internationale Regierungskommission Alpenrhein Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie 2022, Alpenrhein – Basismonitoring Benthosbesiedlung, Makrozoobenthos und Phytobenthos, Benjamin Bernatz, Laura Bernatz, Anita Biester, Philipp Oberisser, Karl Panek

² Zwischenzeitlich gelten die Vorkommen von Teichmolch und Gelbbauchunke als erloschen (Quelle: Amphibienvorkommen Kanton St. Gallen, Fundmeldungen von Amphibien aus dem Amphibieninventar des Naturmuseums St.Gallen)

3.4.3 Inventare und Schutzgebiete Fürstentum Liechtenstein

Durch den Projektperimeter werden folgende Schutzinventare des Fürstentum Liechtensteins tangiert:

- Biotopinventar B1.13
- Besonders schützenswerte Lebensräume - Magerstandorte (Trockenstandorte)
- Lokale Sonderwaldfläche Unterau
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2011, Amphibienmonitoring Band 27, Jürgen Kühnis
 - Objekt ÜR3 Banriet-Rheinau- Forstpflanzgarten Gamprin, Eschen, Schaan. 6 Arten, davon 2 stark gefährdete Arten Gelbbauchunke und Kammmolch so wie Teichfrosch als gefährdete Art. Grosse Populationen von Bergmolch und Grasfrosch
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2006, Rote Liste gefährdeter Gefässpflanzen Band 24, Mario F. Broggi/Edith Waldburger/Rudolf Staub
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2019, Brutvogelatlas des Fürstentums Liechtenstein, Band 31, Georg Willi
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2006, Die Reptilien des Fürstentums Liechtenstein Band 23, Jürgen Kühnis
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2011, Die Säugetiere des Fürstentums Liechtenstein (Mammalia), Band 28, Mario F. Broggi et al.
- Naturkundliche Forschung im Fürstentum Liechtenstein 2014, Die Fische und Krebse des Fürstentums Liechtenstein, Band 30, Bohl et al.

3.4.4 Erläuterungen zu Roten Listen und National Prioritären Arten

Rote Liste:

Um das Ausmass der Gefährdung zu beschreiben, werden die bedrohten Arten (Rote Liste) in fünf Gefährdungs-Kategorien nach IUCN [12] unterteilt (vgl. Tabelle 4). Im Fürstentum Liechtenstein wird zudem die Kategorie «R», analog der Rote-Liste-Einstufung des BfN [13] für die Kategorisierung verwendet.

Tabelle 4: Tabelle mit den gefährdeten Rote Liste Kategorien gem. IUCN [12] und der zusätzlichen Kategorie R des BfN [13].

| Kategorie | Beschreibung |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EX | Extinct, weltweit ausgestorben. |
| RE | Regionally Extinct, in der Schweiz/dem Fürstentum Liechtenstein ausgestorben |
| CR | Critically Endangered, vom Aussterben bedroht: Ein Überleben der Art ist unwahrscheinlich, wenn die gefährdenden Faktoren weiter bestehen. |
| EN | Endangered, stark gefährdet: Die Population ist in der ganzen Schweiz deutlich zurückgegangen und regional ganz verschwunden. |
| VU | Vulnerable, verletzlich: Die Population ist noch weit verbreitet, aber regional zurückgegangen. |
| R | Rare, extrem selten: Es gibt nur wenige bekannte Fundorte, der Bestand ist jedoch nicht gefährdet |

Für Arten, welche nicht oder kaum bedroht sind, gelten die in Tabelle 5 aufgelisteten Kategorien nach IUCN [12].

Tabelle 5: Tabelle mit den nicht gefährdeten Kategorien

| Kategorie | Beschreibung |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NT | Near Threatened, potenziell gefährdet: Solche Arten liegen nahe beim Limit für eine Einstufung in die Gefährdungskategorien der Roten Listen. |
| LC | Least Concern, nicht gefährdet: Für diese Arten besteht zurzeit keinerlei Bedrohung. |

Im vorliegenden Vorprojekt werden die Fundmeldungen der Arten ab der Gefährdungseinteilung «NT» beachtet.

National prioritäre Arten:

Die nationale Priorität (NP) der Arten und Lebensraumtypen wird durch eine Kombination von nationalem Gefährdungsgrad und internationaler Verantwortung der Schweiz und Liechtenstein bestimmt. Sie sind in folgende Prioritätskategorien eingeteilt.

Tabelle 6: Nationale Priorität der Arten

| Kategorie | Beschreibung |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1: sehr hoch | wenige, abnehmende, unverbundene Populationen |
| 2: hoch | Habitat mehr oder weniger total abhängig von menschlicher Aktivität, Eingriff entscheidend; Habitat vielleicht wenig bedroht, aber Population sehr isoliert, wenig mobil oder: Population sehr zerstückelt |
| 3: mittel | Habitat von menschlichen Aktivitäten beeinflusst; wenig grosse Hauptpopulationen (Reservoir der Population), Vernetzung funktioniert nur teilweise |
| 4: mässig | wenige Probleme, die auf menschliche Aktivitäten zurückgeführt werden können |
| SG | Vollständiger Schutz im Kanton St. Gallen |
| K: regionale Priorität | Nur Regionale Herausforderungen |

3.4.5 Lebensräume

Beim Ist-Zustand konnten innerhalb des Projektperimeters die in Tabelle 7 aufgelisteten und in Abbildung 10 gezeigten Lebensräume anhand der Lebensraumklassifizierung von Delarze et al. [2015] identifiziert werden [7].

Tabelle 7: Lebensräume innerhalb des Projektperimeters gemäss Lebensraumklassifizierung [7].

| Code | Lebensraum | Typo CH | Beschrieb | Rote Liste |
|------|------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 111 | Rhein | 1.2.2 | Äschenregion | NT |
| 114a | Blocksatz/ Blockbuhne mit Veg | 2.0.0 | mit Wiesenvegetation | |
| 114b | Blocksatz/ Blockbuhne | 2.0.1 | ohne Vegetation | |
| 115 | Sand-/Kiesufer | | Inseln ohne Bewuchs | |
| 121a | Forstpflanzungen artenarm | 6.0.2 | >50% Fichtenpflanzung oder Baumschulen | |
| 122a | Hartholz-Auenwald jung | 6.1.4 | Fraxinion. Laubholz mehrheitlich Stangenholz und schwaches Baumholz (12-40 cm) | LC |
| 122b | Hartholz-Auenwald artenreich jung | 6.1.4 | Fraxinion, kaum/keine Fichten, aber mit artenreichem Unterholz | LC |
| 122d | Hartholz-Auenwald artenreich alt | 6.1.4 | Fraxinion, kaum/keine Fichten, aber mit artenreichem Unterholz, Laubholz mehrheitlich mittleres bis starkes Baumholz (40->50 cm) | LC |
| 123 | Lindenmischwald | 6.3.2 | Mit vielen Linden und Eichen | NT |
| 124a | Weichholz-Auenwald | 6.1.2 | Salicion albae | EN |
| 124b | Weichholz-Auenwald artenreich | 6.1.3 | Salicion albae, mit grossen Exemplaren | EN |
| 125 | Grauerlen-Auenwald | 6.1.3 | Alnion incanae | VU |
| 128 | Eichen-Hainbuchenwald | 6.3.3 | Carpinion | LC |
| 131 | Stillwasser-Röhricht | 2.1.2 | Phragmition | VU |
| 152b | Knautgraswiese | 4.5.1.1 | Dactilis-Wiese | LC |
| 152a | Kunstwiese | 4.0.1 | | |
| 153b | Mitteuropäischer Halbtrockenrasen | 4.2.4 | Mesobromion | VU |
| 153c | Arrhenateretum | 4.5.2.2 | | VU |
| 153d | Arrhenateretum mit Rhinanthus | 4.5.2.0 | | VU |
| 154 | Dauco melilotion | 4.6.1 | | VU |
| 157 | Mesophiles Gebüsch | 5.3 | Gebüsch | NT |
| 158 | Wiese mit Brombeer | 4.5.1.2 | Starke Verunkrautung | |
| 161 | Asphalt-, Betonstrasse oder Platz | 9.3.2 | | |
| 163a | Weg/Platz aus Mergel, Kies | 9.3.3.1 | | |
| 163b | Weg/Platz aus Mergel, Kies mit Veg | 7.1.2 | Polygonion avicularis | NT |
| 164 | Weitere Bauten/ Privatareale | 9.2 | | |



3.4.6 Beobachtungsdaten Flora

Bei den Floradaten gibt es 14 geschützte Arten, welche im Projektperimeter vorkommen³. Die Angaben stammen aus der Datenbank «InfoFlora» von InfoSpecies (69). Es wurden keine projektspezifischen Erhebungen durchgeführt. Es wurden ausschliesslich Daten ab dem Jahr 2000 berücksichtigt (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Floradaten

| Name | Latein | Rote Liste CH | NP | Rote Liste FL |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|------|---------------|
| Schmalblättrige Spornblume | Centranthus angustifolius (Mill.) DC. | EN | 3 | - |
| Schwarzbraunes Zypergras | Cyperus fuscus L. | VU | 4 | VU |
| Einspelzige Sumpfbirse | Eleocharis uniglumis (Link) Schult. | VU | 4 | R |
| Sibirische Schwertlilie ³ | Iris sibirica L. | VU | 4 | |
| Kleine Traubenhyazinthe | Muscari botryoides (L.) Mill. | VU | 4 | EN |
| Deutsche Tamariske | Myricaria germanica (L.) Desv. | VU | 4 | CR |
| Gemeine Natterzunge | Ophioglossum vulgatum L. | VU | 4 | CR |
| Hummel-Ragwurz | Ophrys holosericea (Burm. f.) Greuter | VU | 4 | VU |
| Gewöhnliche Hummel-Ragwurz | Ophrys holosericea (Burm. f.) Greuter subsp. holosericea | VU | 4 | VU |
| Flockenblumen-Würger | Orobancha elatior Sutton | EN | 3 | VU |
| Labkraut-Wiesenraute | Thalictrum simplex subsp. galioides (DC.) Korsh. | CR | 1 | VU |
| Zwerg-Rohrkolben ³ | Typha minima Hoppe | CR | 2/SG | |
| Silber-Rohrkolben | Typha shuttleworthii W. D. J. Koch & Sond. | EN | 3/SG | LC |
| Teichfaden | Zannichellia palustris L. | VU | 4 | CR |

3.4.7 Beobachtungsdaten Brutvögel

Auch für die Brutvogelmeldungen sind in Tabelle 9 nur die gefährdeten Arten gemäss der Roten Liste aufgeführt. Die Angaben stammen aus den Jahren 2004-2021 und wurden von der Datenbank «Vogelwarte» von InfoSpecies (69) bezogen. Es wurden keine projektspezifischen Erhebungen durchgeführt.

Tabelle 9: Brutvogelmeldungen

| Name | Latein | Rote Liste CH | NP | Rote Liste FL |
|-------------------|------------------------|---------------|----|---------------|
| Flussregenpfeifer | Charadrius dubius | EN | 1 | VU |
| Grauspecht | Picus canus | EN | 1 | CR |
| Gelbspötter | Hippolais icterina | EN | 2 | CR |
| Wanderfalke | Falco peregrinus | VU | 2 | - |
| Eisvogel | Alcedo atthis | VU | 1 | EN |
| Gartengraszmücke | Sylvia borin | VU | 2 | LC |
| Fitis | Phylloscopus trochilus | VU | 1 | NT |
| Schafstelze | Motacilla flava | VU | 2 | - |

³ Die Meldeorte der sibirischen Schwertlilie und des Zwerg-Rohrkolben liegen ausserhalb des Projektperimeters, im Retentionsbecken Ceres auf Schweizer Seite wird ihr Vorkommen jedoch vermutet bzw. sind sie dort als potenzielle Art vermerkt.

3.4.8 Beobachtungsdaten weitere Artengruppen

Bei den restlichen Artengruppen konnten 25 geschützte Arten festgestellt werden (vgl. Tabelle 10). Die Angaben stammen aus den Jahren 2002-2021 und wurden von der Datenbank «InfoFauna» von InfoSpecies (69) bezogen.

Tabelle 10: Fundmeldungen der restlichen Artengruppen

| Gruppe | Name | Latein | Rote Liste | NP |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------|----|
| Actinopterygii | Nase | Chondrostoma nasus | CR | 1 |
| Insecta | | Brachyptera trifasciata | CR | 2 |
| Actinopterygii | Äsche | Thymallus thymallus | EN | 2 |
| Amphibia | Gelbbauchunke | Bombina variegata | VU | 3 |
| Amphibia | Teichmolch | Lissotriton vulgaris | EN | 3 |
| Amphibia | Nördlicher Kammolch | Triturus cristatus | EN | 3 |
| Insecta ⁴ | Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling | Phengaris nausithous | EN | 2 |
| Insecta | Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling | Phengaris teleius | EN | 2 |
| Insecta | Gebänderte Heidelibelle | Sympetrum pedemontanum | EN | 3 |
| Insecta | | Isoperla obscura | EN | 3 |
| Mammalia | Mopsfledermaus | Barbastella barbastellus | EN | 3 |
| Amphibia | Erdkröte | Bufo bufo | VU | 4 |
| Insecta | Sumpf-Heidelibelle | Sympetrum depressiusculum | VU | 3 |
| Insecta | Sumpfgrashüpfer | Chorthippus montanus | VU | 4 |
| Insecta | Blauflügelige Sandschrecke | Sphingonotus caeruleus | VU | 4 |
| Insecta | Sumpfschrecke | Stethophyma grossum | VU | 4 |
| Insecta | Sumpfgrille | Pteronemobius heydenii | VU | 4 |
| Insecta | Langflügelige Schwertschrecke | Conocephalus fuscus | VU | 4 |
| Insecta | Gemeine Sichelschrecke | Phaneroptera falcata | VU | 4 |
| Mammalia | Breitflügel-Fledermaus | Eptesicus serotinus | VU | 1 |
| Mammalia | Bechsteinfledermaus | Myotis bechsteinii | VU | 4 |
| Mammalia | Zweifarb-Fledermaus | Vespertilio murinus | VU | 1 |
| Reptilia | Schlingnatter | Coronella austriaca | EN | 4 |
| Reptilia | Barrenringelnatter | Natrix helvetica | EN | 3 |
| Reptilia | Zauneidechse | Lacerta agilis | VU | 4 |

⁴ Die Meldeorte der des dunklen und des hellen Wiesenknopf Ameisenbläuling, der gebänderten Heidelibelle, des Sumpfgrashüpfers, der Sumpfschrecke und der Sumpfgrille liegen ausserhalb des Projektperimeters bzw. sind ungenau verortet. Sie kommen jedoch ausserhalb des Perimeters vor und sind daher auch im Projektperimeter als potenzielle Arten insb. im Bezug auf die Lebensraumvernetzung zu berücksichtigen.

3.5 Nutzungen im Bereich des Perimeters

3.5.1 Bestehende Bauten und Anlagen

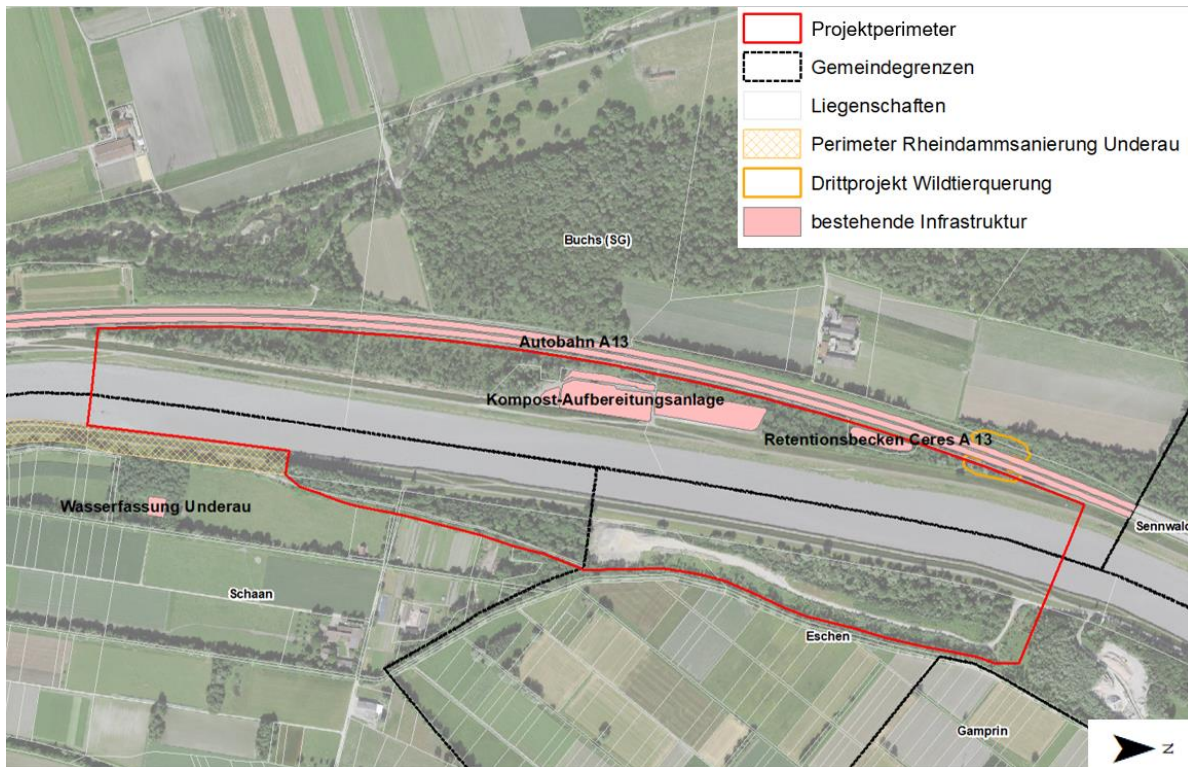


Abbildung 11: bestehende Infrastrukturanlagen.

3.5.2 Deponie Rheinau

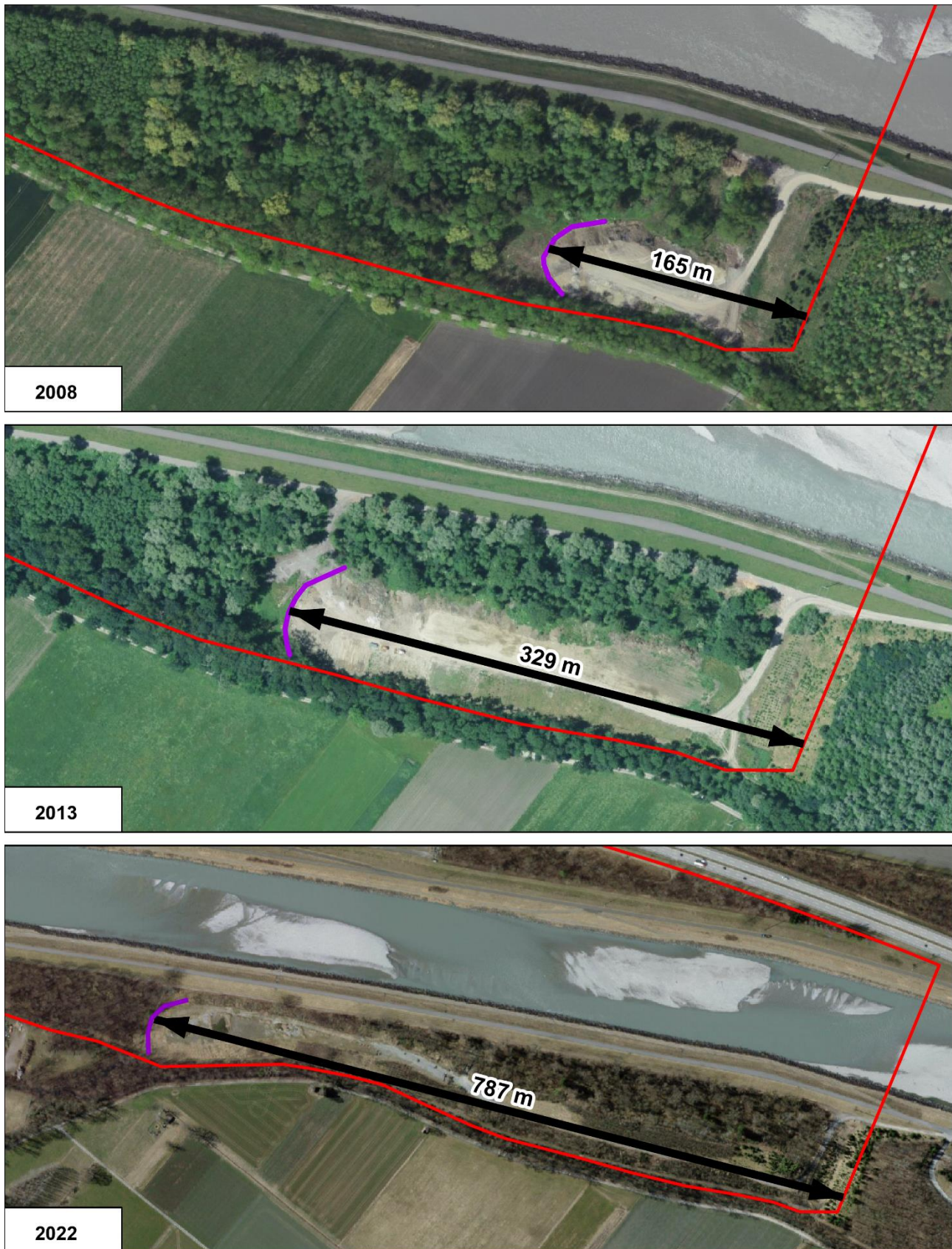
Von km 51.9 bis 52.6 im Bereich der Deponie Rheinau (Gemeinde Eschen) wurde in den letzten Jahren ein Deponiedamm geschüttet (Schüttetappe 1B liegt innerhalb des vorliegenden Projektperimeters). Die Schüttung erfolgte über Kopf von der Dammkrone aus, es wurde keine schichtweise Einbindung und keine mechanische Verdichtung vorgenommen (vgl. Abbildung 12). Die Schüttungen in der Etappe 1B (vgl. Abbildung 14) erfolgten zwischen Mitte 2004 und Juli 2020. Bis 2012 wurden Gemischtablagerungen aus sauberem Aushubmaterial (Typ A, ca. 90 %) und Bauabfällen (Typ B, ca. 10 %) deponiert. Ab 2012 wurde nur noch sauberes Aushubmaterial (Typ A) geschüttet⁵ (vgl. Abbildung 13). Beim Einbringen des Schüttmaterials wird die Böschungslinie jeweils verschoben, was zu Vermischungen des Aushubmaterials führte. Die genaue Lage der Trennlinie zwischen sauberem Aushub (Typ A) und gemischtem Aushub (Typ A und B) ist daher nicht bekannt, wird aber aufgrund der Schüttpläne der Hanno Konrad Anstalt zwischen den Schüttlinien von 2013 und 2014 vermutet.

Im Rahmen der Endgestaltung der Deponie Rheinau wurden auf der Dammkrone verschiedene Naturwerte in Form von Feuchtmulden, Halbtrockenrasen und Glatthaferwiesen geschaffen, im Wissen, dass diese teilweise einen temporären Charakter aufweisen und einer späteren Revitalisierung weichen bzw. an einen anderen Ort verschoben werden müssen. Zudem wurde die luftseitige Deponiedamböschung bestockt (vgl. Abbildung 15).



Abbildung 12: Geschütteter Erddamm bei der Deponie Rheinau (Fotos: H. Vogt, 2016).

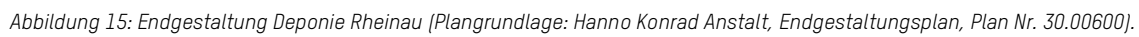
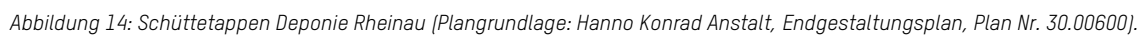
⁵ Angaben S. Bürzle, AfU FL, vom 10.05.2022



— Schüttstände Projektperimeter



Abbildung 13: Schüttstände in verschiedenen Jahren bei der Deponie Rheinau.



3.5.3 Langsamverkehr

Der Dammweg auf schweizerischer Seite ist als kantonaler Rad- sowie Skatingweg [57] ausgeschieden. Der rechtsufrige Dammweg auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist als Wanderweg [58] sowie als Radweg [59] erfasst.

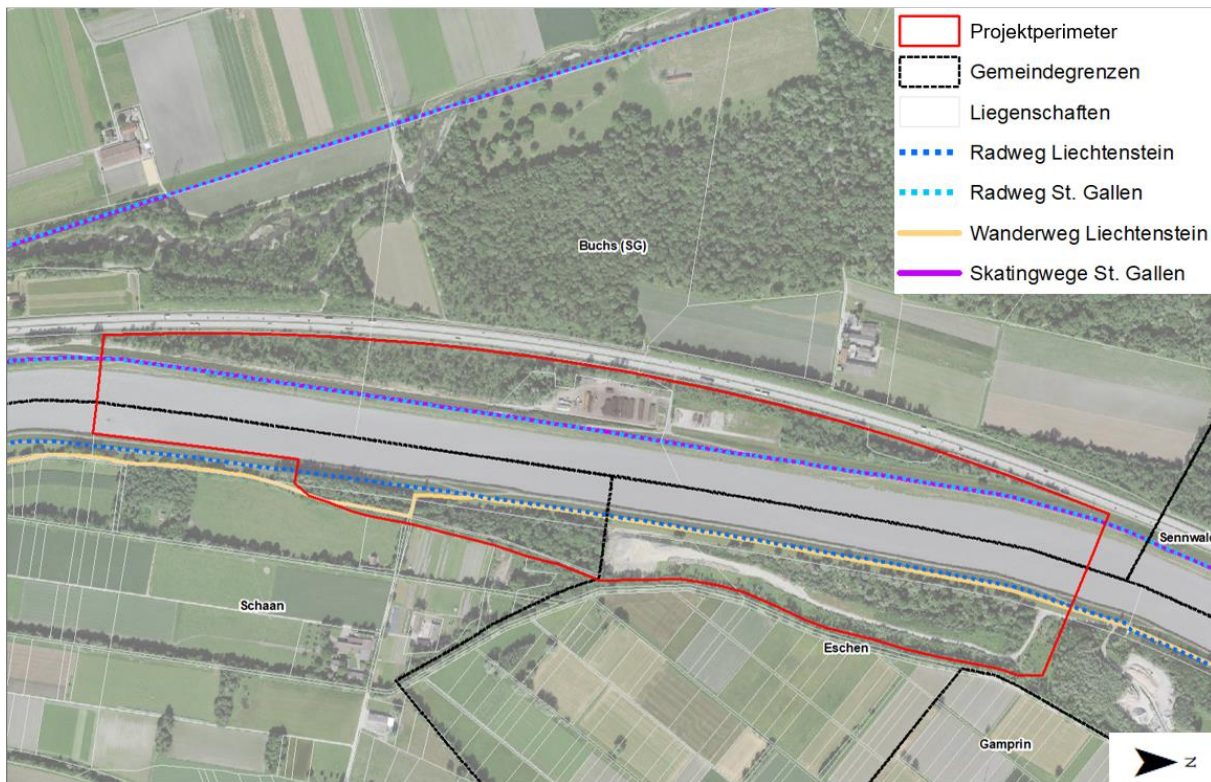


Abbildung 16: Langsamverkehrsrouten im Projektgebiet. [SG: [57], FL: [58], [59]].

3.5.4 Landwirtschaft

Die Landwirtschaftlichen Flächen innerhalb des Projektperimeters sind nicht als Fruchtfolgeflächen ausgeschieden.

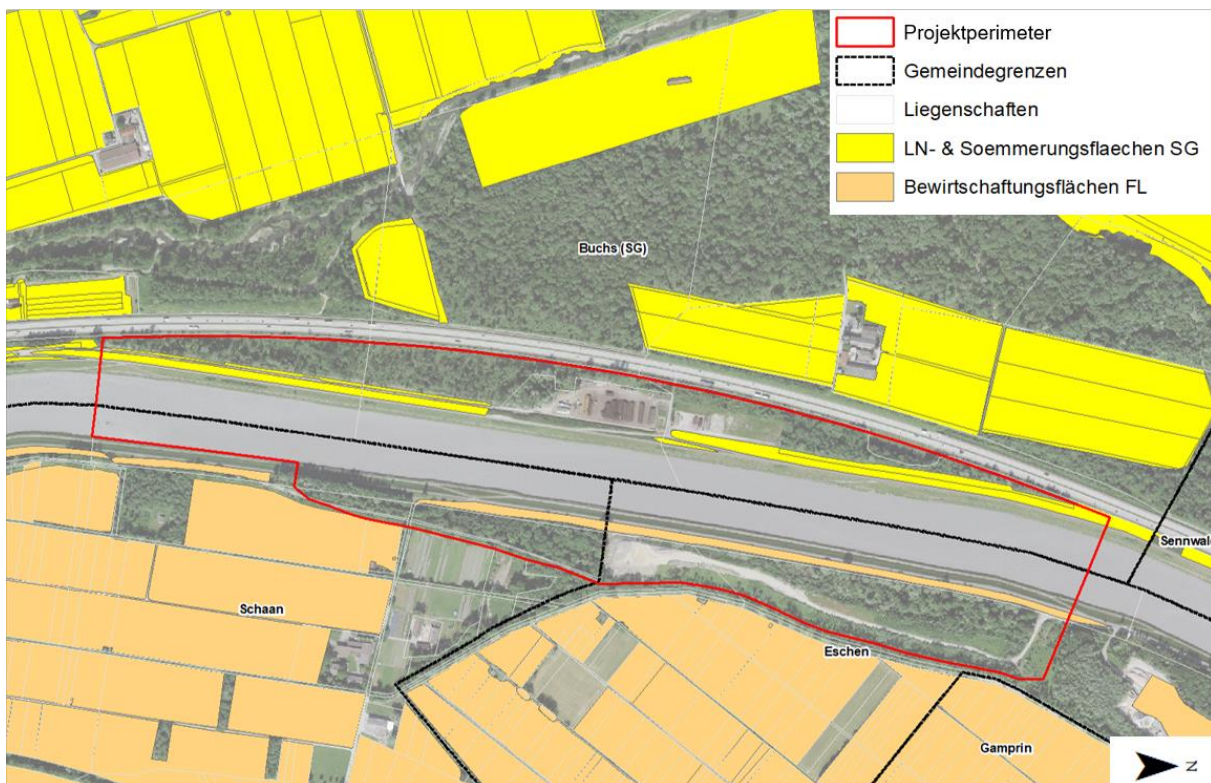


Abbildung 17: Landwirtschaftliche Nutzflächen/Bewirtschaftungsflächen [SG: [60], FL: [61]].

3.5.5 Werkleitungen

Die Werkleitungen sind ebenfalls in der Planbeilage 10 dargestellt.

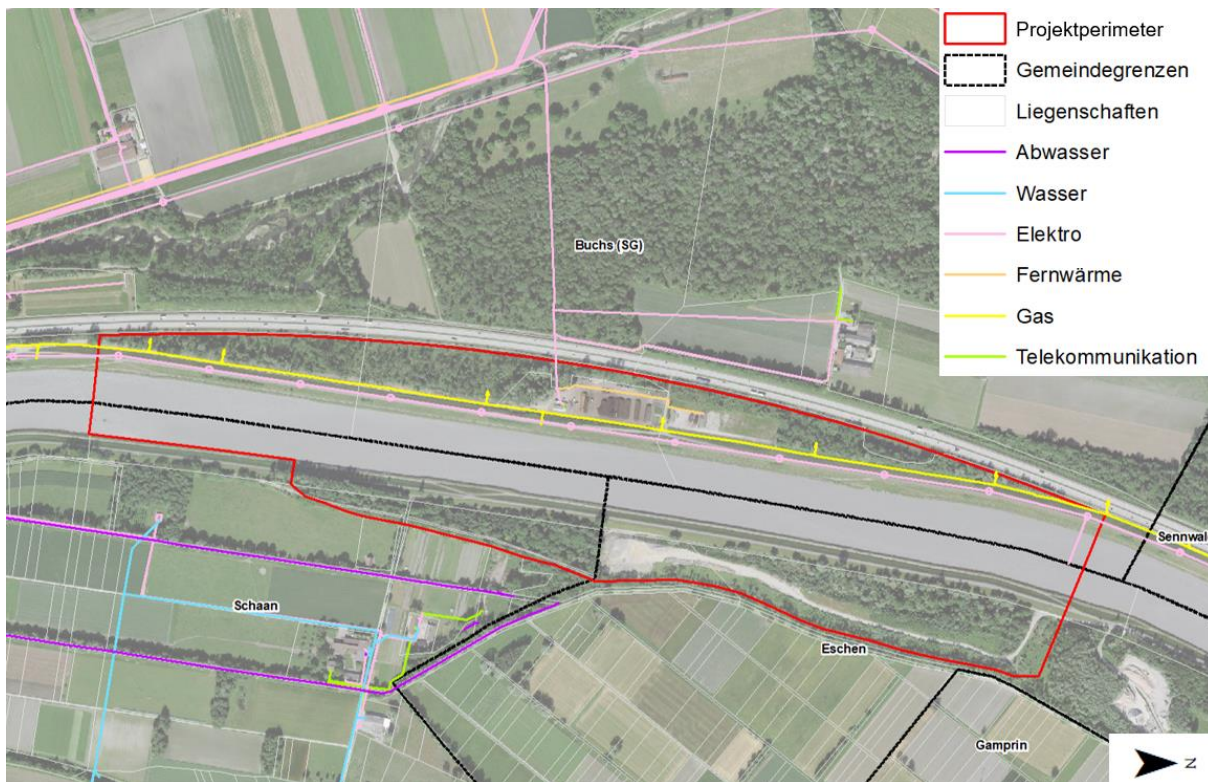


Abbildung 18: Werkleitungen.

Auf Seite Fürstentum Liechtenstein sind keine Schnittstellen mit Werkleitungen vorhanden. Es wurden folgende Unterlagen geprüft:

- Wasser und Abwasserkataster Eschen (Datenlieferung von Hanno Konrad Anstalt, 07.02.2022)
- Werkplan Strom (Datenlieferung von Liechtensteinische Kraftwerke LKW, 11.02.2022)
- Werkplan Kommunikation (Datenlieferung von Liechtensteinische Kraftwerke LKW, 11.02.2022)

Auf Schweizer Seite (Gemeinde Buchs) sind die in Tabelle 11 aufgelisteten Schnittstellen zu Werkleitungen vorhanden.

Tabelle 11: Schnittstelle mit Werkleitungen Gemeinde Buchs.

| Medium | Grundlage | Eigentümer | Kurzbeschreibung |
|---------------|--------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elektro | Bänziger Partner (Lieferung 25.01.2022) | Axpo | Freileitung (050-/110-kV) auf linksseitigem Damm |
| Elektro | FKL & Partner AG (Lieferung 08.02.2022) | | Anschluss bei Kompost-Aufbereitungsanlage |
| Fernwärme | FKL & Partner AG (Lieferung 08.02.2022) | | Anschluss bei Kompost-Aufbereitungsanlage |
| Kommunikation | Netzauskunft (Bezug: 07.02.2022) | Swisscom | Anschluss bei Kompost-Aufbereitungsanlage |
| Gas | Bänziger Partner (Lieferung 25.01.2022) | Erdgas Ostschweiz | linksufrige Transportgasleitung beim äusseren Dammfuss |
| Abwasser | ARA Buchs (Lieferung 04.02.2022) | ARA Buchs | linksufrige ARA Ablaufdruckleitung zum Rhein bei km 50.6 (Oberstrom des Projektperimeters) |

3.5.6 Wald

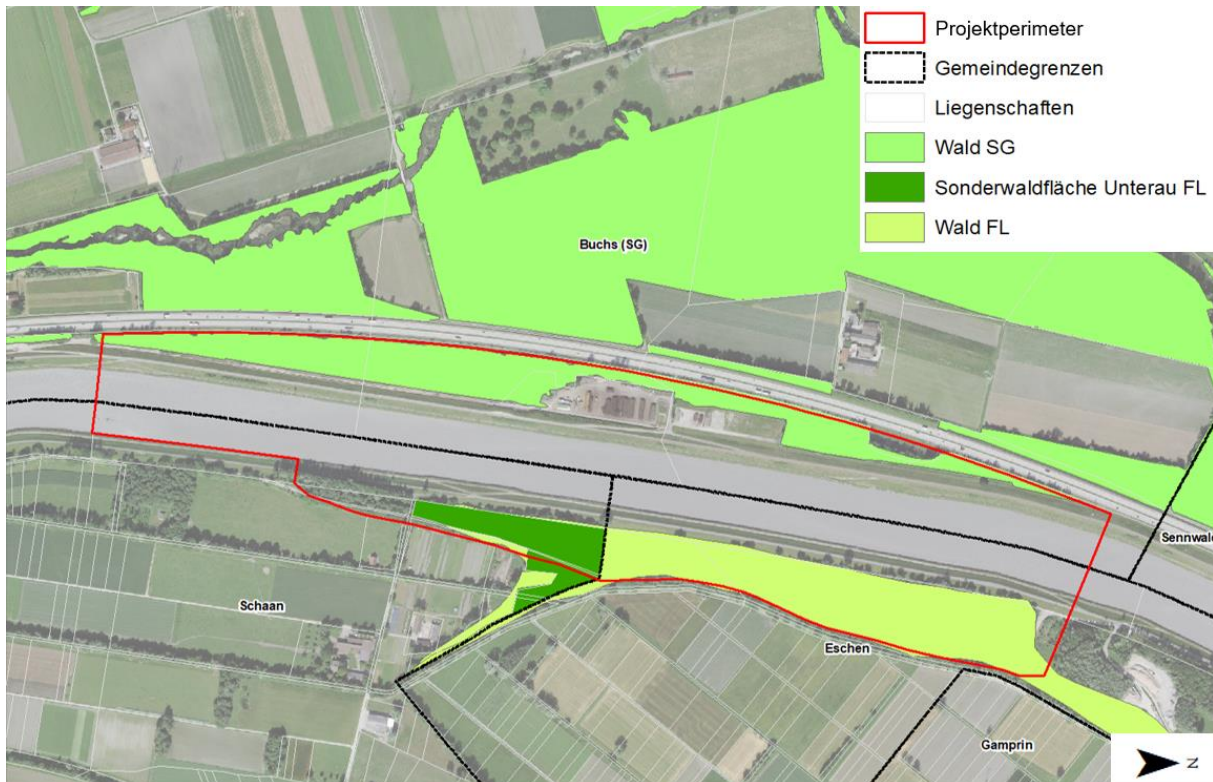


Abbildung 19: Waldflächen [63], [55].

Auf Seite Liechtenstein liegt die lokale Sonderwaldfläche Unterau teilweise innerhalb des Projektperimeters. Sonderwaldflächen haben vorrangige Natur- und Landschaftsschutzfunktion, auf welchen der Schutz besonders schützenswerter Pflanzen- und Tierarten, die Erhaltung ökologisch besonders wertvoller Waldformen mit bedeutsamen Naturwerten oder Kulturzeugnissen oder die Beibehaltung einer speziellen waldbaulichen Betriebsart entsprechend dem jeweiligen Schutz- und Waldentwicklungsziel spezifische Massnahmen erfordern⁶. Die Gesamtfläche des Sonderwaldes Unterau beträgt 2.2 ha [55], wovon 1.71 ha innerhalb des Projektperimeters liegen.

3.5.7 Ortsbild und Landschaft

Im Projektperimeter sind keine Objekte aus den nationalen Inventaren vorhanden (BLN, ISOS; IVS) [64][65][66][67].

⁶ Liechtensteinisches Landesgesetzblatt [921.013]. Verordnung vom 21. November 2000 über Waldreservate und Sonderwaldflächen (Fassung: 25.05.2007)

3.5.8 Grundwassernutzung und Gewässerschutz

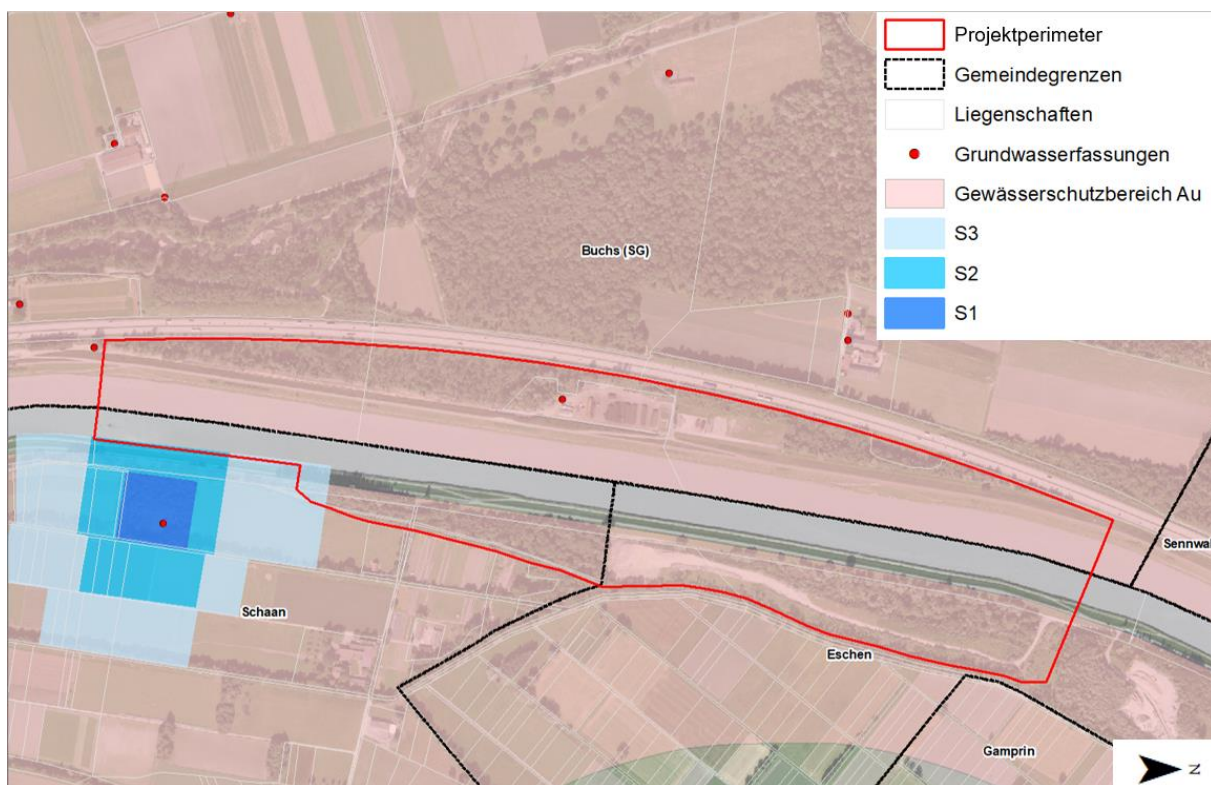


Abbildung 20: Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserfassungen im Bereich des Projektperimeters. Die Schutz-zonen gehören zum Grundwasserpumpwerk Underau.

3.5.9 Benachbarte Planungen/Drittprojekte

N13/28 Wildtierquerung – ASTRA

Im Auftrag des ASTRA wird zurzeit eine neue Wildtierquerung der Autobahn A13 auf Höhe km 52.54 geplant. Für das Projekt sind folgende Grobtermine vorgesehen:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| - Ausführungsprojekt | 2022 |
| - Plangenehmigungsverfahren | 2023 – Frühling 2024 |
| - Detailprojekt und Ausschreibung | 2024 – 2025 |
| - Realisierung | 2025 – 2026 |

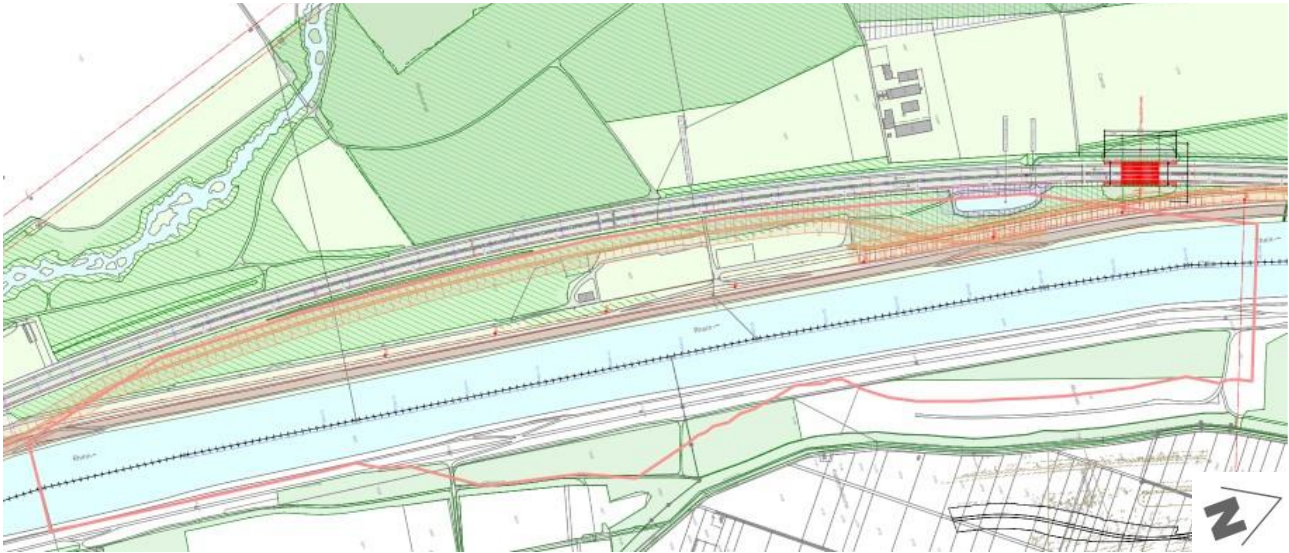


Abbildung 21: geplannte Wildtierüberquerung (rot). In hellrot ist der Perimeter aus den Machbarkeitsabklärungen des vorliegenden Projektes dargestellt (Plan: Arbeitsgrundlage, Situation 1:2000 vom 02.02.2022 (34))

Rheindammsanierung Uderau km 50.8 – km 51.4 Schaan – Amt für Bevölkerungsschutz FL

Auf Höhe des Grundwasserpumpwerks Uderau wurde der rechte Damm in der Gemeinde Schaan luftseitig saniert (Baubeginn: November 2021, Fertigstellung Bauarbeiten: April 2022, (36)):

- Dichtwand im Mixed-in-Place (MIP)-Verfahren, km 50.8 – 51.35,
- Druckentlastung inkl. Interventionspiste am luftseitigen Dammfuss und Drainageschlitz in der Böschung, km 50.865 – 51.4

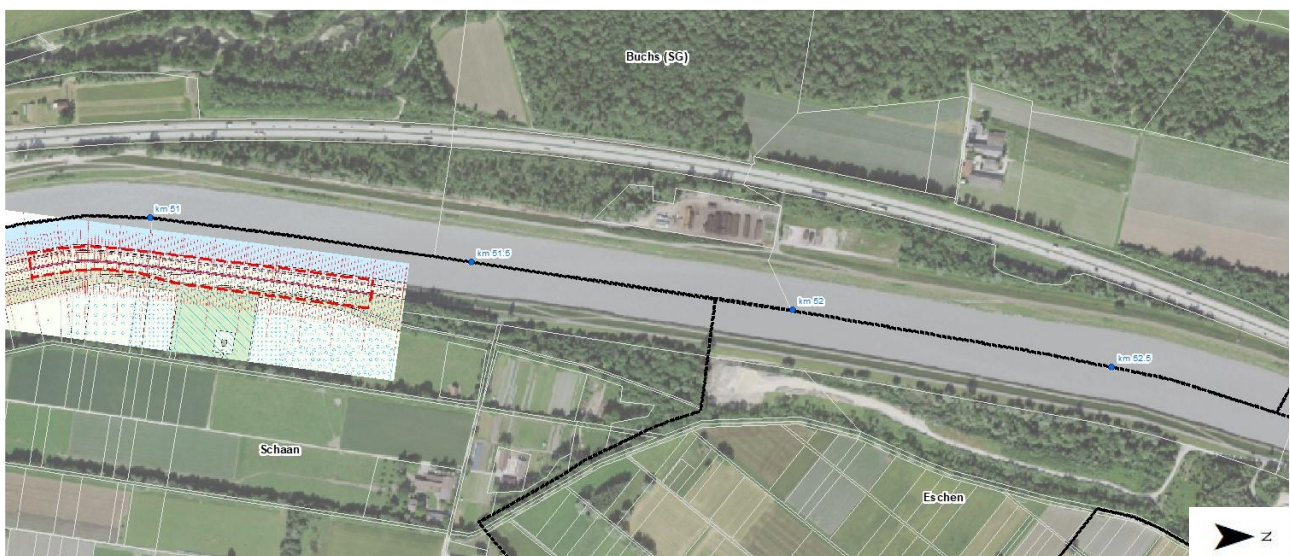


Abbildung 22: Rheindammsanierung Uderau in Eschen zwischen km 50.8 und km 51.4 (Perimeter in rot) (Plan: Ausführungsprojekt, Situation Dichtwand 1:500 vom 22.02.2022 (36)).

3.6 Geologie und Hydrogeologie

3.6.1 Grundwasserverhältnisse

Der mittlere Grundwasserspiegel beim südlichen Rand des Projektperimeters (km 51.0) liegt auf rund 442.5 m ü.M. Bis zum nördlichen Rand des Projektperimeters (km 51.7) reduziert sich die Höhe des mittleren Grundwasserspiegels auf rund 440.0 m ü.M. Die Flurabstände zum mittleren Grundwasserspiegel ausserhalb der Hochwasserschutzdämme betragen 2 – 4 m [23].

Die geplante Aufweitung befindet sich in einem auflandenden Abschnitt des Alpenrheins, wodurch sich auch die nahegelegenen Grundwasserspiegel anheben (vgl. Abbildung 23).

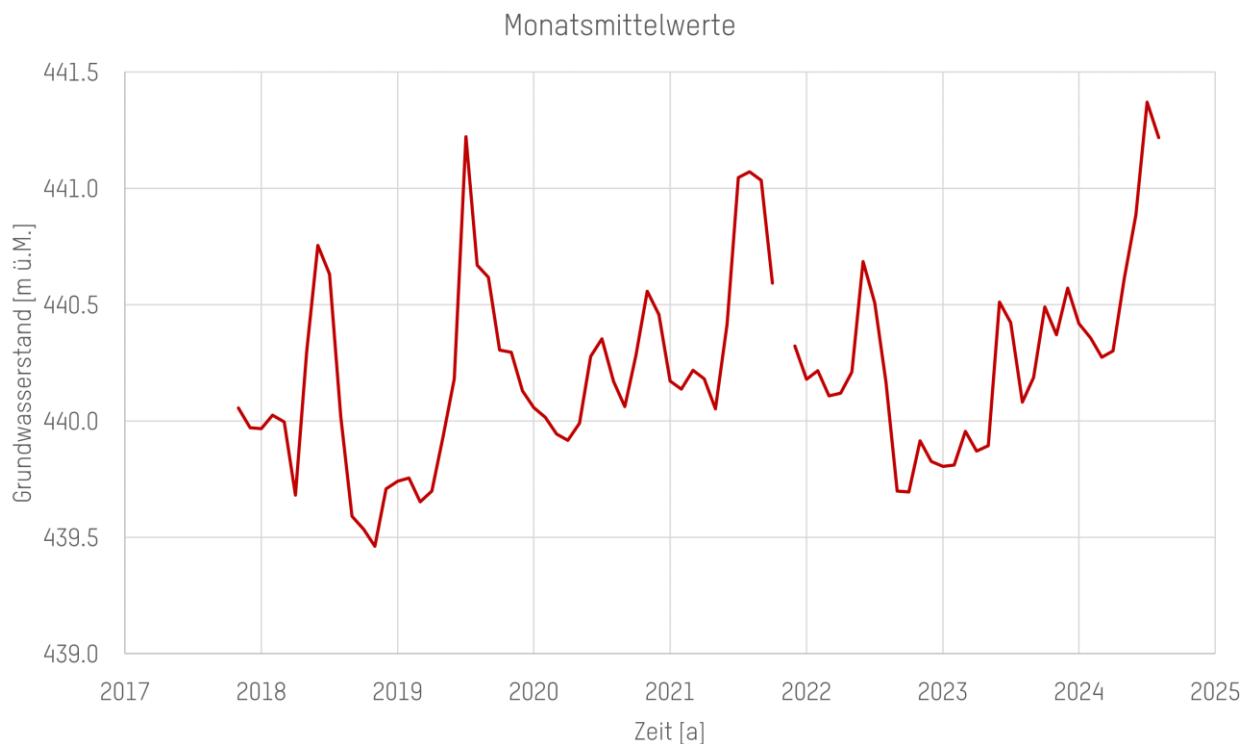


Abbildung 23: mittlerer monatlicher Grundwasserstand der letzten Jahre bei der Messstelle 14.0.30+D im Fürstentum Liechtenstein, ca. bei km 52.8 (Quelle: Amt für Umwelt, Fürstentum Liechtenstein).

3.6.2 Baugrund

Im Bereich des Projektperimeters gab es vorgängig bereits diverse Baugrunderhebungen und geotechnische Beurteilungen:

- Interventionspiste Rheindamm Eschen, Schaan – Tragweite Vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2010) (2010)
- Stabilität Rheindamm – Tragweite Vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2007)
- Drittprojekt ASTRA N13/28 Wildtierquerung – Andres Geotechnik AG (2021)
- Drittprojekt Dammsanierung Underau – Dr. Bernasconi AG (2020/2021)

Im Rahmen der vorliegenden Vorprojekterarbeitung wurden zusätzliche Baugrunduntersuchungen durchgeführt (vgl. Baugrunduntersuchungskonzept im Anhang C).

- Rotationskernbohrungen (6 Stk auf Seite Fürstentum Liechtenstein, 5 Stk auf Seite Schweiz)
- Rammsondierungen (4 Stk auf Seite Fürstentum Liechtenstein, 2 Stk auf Seite Schweiz)
- Baggerschlitze (0 Stk auf Seite Fürstentum Liechtenstein, 14 Stk auf Seite Schweiz)

Im Projektperimeter ist der Baugrund von einer Wechsellagerung von feinkörnigeren Feinsanden/Silt (Überschwemmungs- und /oder Hinterwasserablagerungen) sowie den grobkörnigeren Rheinschotter geprägt. Die Mächtigkeit der an der Oberfläche oftmals vorherrschenden feinkörnigen Böden variiert von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern Mächtigkeit.

Die Dokumentation der zusätzlich durchgeführten Baugrunduntersuchungen findet sich in der Beilage 71 des vorliegenden Vorprojektdossiers. In der Situationsbeilage sind auch die bereits vorhandenen Baugrunduntersuchungen verortet.

3.6.3 Belastete Standorte

Gemäss dem Kataster der belasteten Standorte des Kt. St. Gallens [56] sind auf schweizerischer Seite keine Altlasten bekannt. Im Fürstentum Liechtenstein gibt es einen Eintrag für den im Kapitel 3.5.2 genannten Deponie-Bereich, welcher bis 2012 geschüttet wurde. Die Deponie Rheinau (Gemischtablagerungen ca. 90% Typ A und ca. 10% Typ B Material) ist im Kataster der belasteten Standorte des Fürstentums Liechtenstein als Standort ohne Sanierungs- oder Überwachungsbedarf vermerkt. Flussaufwärts, direkt angrenzend an den Projektperimeter, befindet sich ein weiterer belasteter Standort (Standort Pflanzgartaweg). Auch dieser Standort ist als Standort ohne Sanierungs- oder Überwachungsbedarf vermerkt. Hier wurden früher Holzpfähle imprägniert und gelagert. Ein allfälliger Einfluss auf diesen Standort durch die geplanten Projektmassnahmen ist im Rahmen der weiteren Planungsarbeiten abzuklären.

Für die im Rahmen der Baugrunduntersuchung durchgeführten Rotationskernbohrungen KB-FL-3 und KB-FL-4 (vgl. Kapitel 3.6.2) wurden zusätzlich Laboranalysen (Schwermetalle, Organischer Summenparameter, PAK, seltene Erden, Halogenide/Schwefel, Matrixelemente) durchgeführt. Die Proben wurden im Bereich der Gemischtablagerungen (vgl. Kapitel 3.5.2) entnommen, um einen ersten Hinweis über die Belastungssituation der künstlichen Aufschüttungen zu erhalten. Die Resultate zeigen, dass beide Proben die Anforderung nach VVEA für Typ A (unverschmutzt) knapp nicht erfüllen. Die Referenzwerte für Typ B (wenig und schwach verschmutzt) werden jedoch nicht überschritten.

4 Projektziele, Projektvorgaben und Rahmenbedingungen

4.1 Ziele

Die nachfolgend aufgeführten Projektziele bilden die Basis für die Variantenbewertung. Neben den übergeordneten Projektzielen wurden auch für die Bereiche Wasserbau/Morphologie, Ökologie/Umwelt sowie Grundwasser, Nutzung und Landschaft konkrete Ziele definiert. Da diese Themen diverse Schnittstellen aufweisen, kann es auch bei den Zielen zu Überschneidungen bzw. Wiederholungen kommen.

4.1.1 Übergeordnete Ziele (Muss-Ziele)

- Zeitnahe Sicherstellung der Dammstabilitäten
- Gewährleistung des Hochwasserschutzes gemäss «Systemsicherheit Alpenrhein» (18)(19) und «Vereinbarung der Projektziele» (25)
- «Memorandum of Understanding» der beteiligten Parteien Fürstentum Liechtenstein und Kanton St. Gallen resultierend aus der erarbeiteten Systemsicherheit Alpenrhein der IRKA
- Projektmassnahmen sind kompatibel, respektive erlauben auf Seite FL eine zukünftige Erweiterung der Aufweitung in Längsrichtung gemäss Massnahmen EKA im Sinne eines Kernlebensraums.
- Projektmassnahmen auf Seite FL und CH können zeitlich getrennt ausgeführt werden (keine Projektabhängigkeiten)
- Der ökologische Wert wird verbessert
- Der Wert als Naherholungsgebiet wird verbessert

4.1.2 Wasserbau/Morphologie

- Gewährleistung Hochwassersicherheit bis zum definierten Schutzziel unter Berücksichtigung der aktuellen sowie der langfristig prognostizierten Sohlenlage, dem definierten Freibord sowie Berücksichtigung des Überlastfalls.
- Stabilisierung der Sohlenlage unterhalb der Aufweitung.
- Keine unzulässigen Auflandungen, welche zu Hochwasserschutzdefiziten führen.
- Mit der Aufweitung soll der Alpenrhein mehr Raum bekommen und dadurch die Möglichkeit einer eigendynamischen ökologischen Entwicklung erhalten.
- Erhöhung der ökomorphologischen Vielfalt (Strömung, Strukturen) und Schaffung von charakteristischen Lebensräumen für gewässertypische Lebensgemeinschaften.
- Verbesserung der Reproduktionssituation für die aquatische Fauna (insbesondere Fische) unter Berücksichtigung von Schwall-Sunk bzw. dessen langfristiger Sanierung sowie dem Geschiebetrieb.
- Förderung und Vernetzung von autotypischen aquatischen und amphibischen Habitaten.
- Schaffung einer Basis für einen Kernlebensraum für die ökologische Längsvernetzung entlang des Alpenrheins gemäss EKA, aquatisch wie auch terrestrisch.
- Schaffung strukturreicher Ufer und Lebensräume auf Sand- und Kiesbänken, möglichst mit einem Gehölzanteil.
- Erhalt oder Ersatz bestehender Amphibienlebensräume und Naturwerte im Projektperimeter (u.a. Magerwiesen), Sicherstellung übergeordneter Vernetzung und Tierwanderung.
- Förderung der ökologischen Quervernetzung durch Abbau von Wanderhindernissen quer zur Flussachse/zu den Ufern.

4.1.3 Grundwasser, Nutzungen und Landschaft

- Keine unzulässigen Risiken infolge von übermässigen Grundwasserspiegelschwankungen.
- Die Attraktivität des Gebiets für die Naherholung (insbesondere für den Langsamverkehr) muss ungeschmälert erhalten bleiben und bestmöglich gefördert werden. Mit einer gezielten Besucherlenkung (Wegführung, Sitzplatzmöglichkeiten, Gewässerzugang, Infrastruktur, etc.) soll insbesondere eine optimale Schnittstelle zwischen Mensch und Natur erzielt werden.
- Aufwertung des Landschaftsbilds, sowohl im Nahbereich der Aufweitung (lokale Einblicke) wie auch als markantes Element in der gesamten Talebene (erhöhter Einblick von den Bergflanken).

4.2 Projektvorgaben

4.2.1 Schutzziele Hochwasserschutz und Systemsicherheit

Gemäss dem Bericht «Vereinbarung der Projektziele» [25] ist ein vollständiger Hochwasserschutz bis zum HQ_{300} zu gewährleisten. Lokale temporäre Strukturen innerhalb des Flussbetts geniessen kein Schutzziel und werden weder gegen Überschwemmung noch gegen Seitenerosion geschützt. Gemäss [18][19] liegt der Projektperimeter in einem Abschnitt, wo der Überlastfall mittels robusten Ableitens im Gerinne bewältigt werden soll. Die Aufweitung muss so projektiert werden, dass die Grundsätze der Systemsicherheit eingehalten werden.

4.2.2 Dammhöhe/n

Um ein robustes Durchleiten im Sinne der Systemsicherheit Alpenrhein bei Hochwasser zu gewährleisten, wurde von Seite Auftraggeber gefordert, dass die neuen Dämme, unabhängig von der hydraulischen Freibordberechnung, die gleiche Höhe wie im Ist-Zustand aufweisen. Die neuen Dämme besitzen damit ein grosszügiges Freibord. Damit soll auch die Akzeptanz in der Bevölkerung gestärkt werden, dies insbesondere im Rückblick auf das Hochwasserereignis von 1927, bei welchem es zu einer Überströmung und in dessen Folge einem Dammbruch auf der Seite Fürstentum Liechtenstein kam [26].

Für den vollständigen Nachweis der Hochwassersicherheit, ist die Freibordberechnung nach KOHS im Anhang F beigelegt.

4.2.3 Massnahmenplanung und Kostenschätzung

Der Finanzierungsprozess im Fürstentum Liechtenstein unterscheidet sich von dem im Kanton St. Gallen. Im Fürstentum Liechtenstein wird der Finanzierungskredit auf Basis des abgeschlossenen Vorprojekts beantragt, was auf der Schweizer Seite erst nach Abschluss des Bauprojekts erfolgt. Eine nachträgliche Krediterhöhung ist auf Seiten Fürstentum Liechtenstein ein nicht gangbares Szenario, welches mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einem Projektabbruch führen würde. Daher erfolgten die Massnahmenplanung und die entsprechende Kostenschätzung aufgrund der derzeitigen Planungsstufe unter konservativen Annahmen, um eine entsprechende Kostensicherheit zu erhalten.

5 Defizitanalyse

Abflusskapazität

Innerhalb des Projektperimeters weist der Rhein im heutigen Zustand eine sehr grosse Abflusskapazität auf. Selbst bei einem EHQ_B ist beim vorhandenen Abflussquerschnitt noch eine Freibordhöhe von 2 – 3 m vorhanden (vgl. Anhang F)

Dammstabilität

Die Rheindämme innerhalb des Projektperimeters weisen abschnittsweise eine ungenügende Sicherheitsreserve bezüglich hydraulischem Grundbruch bei einem HQ_{100} auf. Die vorhandenen Sicherheitsreserven bezüglich Gesamtstabilität sind beim HQ_{100} wahrscheinlich noch knapp genügend, beim HQ_{300} sind die Stabilitätsreserven betreffend Gesamtstabilität teilweise sogar ungenügend (vgl. Kapitel 3.2.7).

Ökologie

Gemäss der ökomorphologischen Beurteilung des BAFU weist der Rhein zwischen Landquart und der Mündung in den Bodensee durchgängig ein naturfremdes/künstliches Gerinne auf. Die Handlungsfelder hinsichtlich ökologischer Aufwertungen wurden im Entwicklungskonzept [15] festgehalten. Gemäss dem Entwicklungskonzept gibt es zwischen Reichenau und der Mündung in den Bodensee fünf Standorte, welche für eine Aufweitung zu priorisieren sind:

1. Zizers
2. Bad Ragaz
3. Eschener Au
4. Illspitz
5. Pilotstrecke kurz vor der Mündung

Der Projektperimeter der geplanten Aufweitung «Schaan, Buchs & Eschen» ist ein Teilbereich des Standortes 3 «Eschener Au».

6 Variantenstudium

Das Variantenstudium wurde in einem separaten Bericht ausführlich dokumentiert. In den folgenden Kapiteln werden nur die wesentlichen Kernelemente des Variantenstudiums kurz aufgegriffen. Für detaillierte Angaben wird auf den Bericht des Variantenstudiums in Anhang B verwiesen.

6.1 Variantenfelder

In einem ersten Schritt wurden mögliche Aufweitungsformen auf Schweizer Seite wie auch auf Seite des Fürstentums Liechtensteins evaluiert. Basierend auf den verschiedenen Aufweitungsformen wurden in einem nächsten Schritt Varianten abgeleitet, welche vertiefter geprüft wurden. Für die Variantensynthese wurden sämtliche Kombinationen der verschiedenen Aufweitungsformen auf Schweizer Seite sowie auf Seite Fürstentum Liechtenstein qualitativ beurteilt. Es resultierten fünf Varianten, welche detailliert bewertet wurden.

Tabelle 12: Übersicht der untersuchten Varianten

| Kurz. | Name | Kurzbildung |
|-------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V0 | Nullvariante | Die bestehenden Hochwasserschutzdämme werden beidseitig ohne Aufweitung in-stand gestellt. |
| V1 | Klein (Integration) | Die Aufweitung auf Schweizer Seite erfolgt im Abschnitt zwischen dem Anfang des Projektperimeters (km 51) und der Kompost-Aufbereitungsanlage auf einer Länge von rund 730 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung entlang des bereits geschütteten «Deponiedamms» auf einer Länge von rund 800 m. Der bereits geschüttete «Deponiedamm» wird als Hochwasserschutzdamm integriert. |
| V2 | Mittel (Reduktion) | Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite, unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung), die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung entlang des bereits geschütteten «Deponiedamms» auf einer Länge von ca. 800 m. Die Breite des bereits geschütteten «Deponiedamms» wird reduziert (Teilabtrag), um mehr Fläche für den Rhein zu generieren. |
| V3 | Gross (Integration) | Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung innerhalb des Projektperimeters ebenfalls über die maximal mögliche Länge von rund 1'280 m. Der «Deponiedamm» wird als Hochwasserschutzdamm integriert. |
| V4 | Gross (Reduktion) | Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung innerhalb des Projektperimeters ebenfalls über die maximal mögliche Länge von rund 1'280 m. Die Breite des bereits geschütteten «Deponiedamms» wird reduziert (Teilabtrag)- wodurch auch die maximal mögliche Breite und daraus resultierend die grösstmögliche Fläche für den Rhein generiert wird. |

6.2 Bewertungskriterien

Die Varianten wurden anhand der folgenden Haupt- bzw. Subkriterien bewertet.

Tabelle 13: Übersicht der Haupt- und Subkriterien.

| Hauptkriterium (Gewichtung) | Subkriterium (Gewichtung) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A) Wasserbau/Morphologie (24%) | A1) Hydromorphologische Diversität (12%) A2) Auswirkungen auf Sohlenentwicklung (12%) |
| B) Ökologie und Umwelt (24%) | B1) Qualitative Lebensraumbewertung (8%) B2) Zuwachs von autotypischen Lebensräumen (8%) B3) Konfliktpotenzial mit geschützten Lebensräumen (8%) |
| C) Sozioökonomie (24%) | C1) Auswirkungen auf das Landschaftsbild (8%) C2) Auswirkungen auf die Naherholung/Freizeitnutzung (8%) C3) Auswirkungen auf bestehende Nutzungen (8%) |
| D) Wirtschaftlichkeit (24%) | D1) Investitionskosten im Verhältnis zur Aufweitungsfäche (24%) |
| E) Kompatibilität zukünftige Erweiterung (4%) | E1) Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten (nördlich + südlich) (4%) |

6.3 Variantenbewertung

Sämtliche untersuchten Varianten wurden anhand der Kriterien auf einer Skala von 0 – 3 bewertet (vgl. Tabelle 14). Zusätzlich wurde im Rahmen der Bewertung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurde die Gewichtung der einzelnen Hauptkriterien variiert:

- Schwerpunkt «Natur» → Gewichtung «Ökologie und Umwelt»
- Schwerpunkt «Flussbau» → Gewichtung «Wasserbau/Morphologie» und «Kompatibilität zukünftige Erweiterung»
- Schwerpunkt «Kosten» → Gewichtung «Wirtschaftlichkeit»
- Schwerpunkt «Erweiterung» → Gewichtung «Kompatibilität zukünftige Erweiterung»⁷

Mit Ausnahme des Schwerpunktes «Erweiterung» führte die Sensitivitätsanalyse zu keiner Änderung der Bestvariante. Beim Schwerpunkt «Erweiterung» wäre die Variante V2-Mittel (Reduktion) der Variante V4-Gross (Reduktion) zu bevorzugen.

Tabelle 14: Übersicht Variantenbewertung. Die Bestvariante ist grün hinterlegt.

| Hauptkriterium | V0 | V1 | V2 | V3 | V4 |
|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A) Wasserbau/Morphologie | 0.0 | 8.0 | 16.0 | 16.0 | 20.0 |
| B) Ökologie und Umwelt | 10.7 | 12.0 | 16.0 | 18.7 | 18.7 |
| C) Sozioökonomie | 13.3 | 12.0 | 16.0 | 17.3 | 18.7 |
| D) Wirtschaftlichkeit | 0.0 | 7.2 | 22.4 | 17.6 | 24.0 |
| E) Kompatibilität zukünftige Erweiterung | 2.7 | 3.3 | 3.3 | 2.0 | 2.0 |
| Gesamtpunktzahl (max. 100) | 26.7 | 42.5 | 73.7 | 71.6 | 83.3 |

⁷ Das Kriterium beschreibt den Aufwand bzw. die Komplexität einer zukünftigen Erweiterung. Grundsätzlich sind alle Varianten mit einer zukünftigen Erweiterung in Längsrichtung kompatibel, der Aufwand dafür unterscheidet sich jedoch (vgl. Technischer Bericht Variantenstudium Anhang B)

6.4 Variantenentscheid

Die Variantenbewertung und die Sensitivitätsanalyse wurde im Planerteam unter Einbezug der Fachexperten intensiv diskutiert, mit dem Ergebnis «V4 – Gross (Reduktion)» als Bestvariante zu berücksichtigen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Variante V4 sehr robust ist und auch bei ändernder Gewichtung als Bestvariante hervorgeht.

Der Unterschied zur zweitplatzierten Variante V2 beträgt 9.6 Punkte und ist damit nicht übermässig gross. Unter Berücksichtigung der Standortgebundenheit ist die Variante V4 gegenüber der Variante V2 jedoch klar zu bevorzugen, da sie die maximal mögliche Aufweitungsfäche und damit Potenzialausnutzung aufweist.

Mit der Wahl der Variante V4 kann dem Alpenrhein innerhalb des Projektperimeters die grösste Aufweitungsfäche zur Verfügung gestellt werden. Die Variante V4 ermöglicht somit den grössten Zuwachs und damit die besten Voraussetzungen für die Entstehung vielfältiger, standortgebundener Lebensräume, welche ausschliesslich im Bereich vom Flussraum und somit am Alpenrhein gewonnen werden können. Die tangierten geschützten Lebensräume sind hingegen nicht standortgebunden und es können entsprechende Ersatzstandorte geschaffen werden. Auch aus sozioökonomischer Sicht schneidet diese Variante am besten ab, die Aufweitungsformen lassen sich harmonisch in das Landschaftsbild eingliedern und es kann ein deutlicher Mehrwert für die Naherholung geschaffen werden. Zudem bietet die Variante V4 die Möglichkeit einer künftigen Erweiterung der Aufweitung in Längsrichtung, sodass der Handlungsspielraum zur weiteren Erhöhung des ökologischen Potentials (Kernlebensraum) auch in Zukunft offenbleibt.

7 Massnahmen

Flussbauliche Projekte brauchen nach Bauabschluss eine gewisse Entwicklungszeit, in welcher die Natur die neu geschaffenen Rahmenbedingungen formen und gestalten kann, bevor sich das gewünschte Zielbild einstellt. Für den Bau der vorliegenden Aufweitung wird eine Kombinationslösung aus maschinellem und eigendynamischem Abtrag angestrebt. Es wird deshalb zwischen folgenden Zuständen unterschieden:

- **Ausgangszustand:** heutiger Ist-Zustand vor dem Baustart
- **Projektzustand:** Zustand nach Abschluss der maschinellen Bauarbeiten
- **Endzustand:** langfristig erwarteter Zustand nach Abschluss aller Bauarbeiten sowie der eigendynamischen Gestaltung durch den Alpenrhein (vollständige Aufweitung, entwickelte Vegetation, Gewässersohle im Gleichgewicht)

Die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Massnahmen werden zur Erreichung des Projektzustandes umgesetzt.

7.1 Dammbauten

Auf Seite Fürstentum Liechtenstein wird der bestehende Deponiedamm zwischen km 51.9 und 52.6 in einen Hochwasserschutzdamm umgewandelt. Dabei wird die luftseitige, bestockte Böschung wie im heutigen Zustand beibehalten. Bei dieser Böschung wird ein 3 m tiefer Wurzelbereich (Überprofil) berücksichtigt, welcher bei den geotechnischen Stabilitätsbeurteilungen nicht miteinbezogen wird. Die Anforderungen gemäss DWA [5] werden mit dem geplanten Überprofil erfüllt. Die Annahme eines Wurzelkraters infolge Windwurfs mit einem Radius von 1.5 m liegt im Überprofil und beeinflusst die Standsicherheit nicht. Die Wurzeltiefen auf Hochwasserschutzdämmen wurden in [6] eingehend untersucht. Unter stressfreien Bedingungen kann die Bestockung nach mehreren Jahrzehnten eine massgebende Wurzeltiefe von maximal 3 m erreichen.

Wasserseitig wird der bestehende Deponiedamm abgetragen und eine neue Dammböschung mit einer Neigung von 2:5 gestaltet. Diese Neigung ist ein Kompromiss zwischen den gegenläufigen Aspekten Maximierung der Aufweitungsfäche (möglichst steile Neigung) und Unterhaltsarbeiten (möglichst flache Neigung, ca. 1:3). Eine Neigung von 2:5 verlangt einen inneren Reibungswinkel des Dammmaterials von 21°. Dieser wird von praktisch allen Erdbaumaterialien erreicht und stellt nur geringe Anforderungen an das einzubauende Material. Somit ist auch aus geotechnischer Sicht die gewählte Neigung von 2:5 mit den vorhandenen Materialien machbar. Die Sondierungen haben gezeigt, dass der bestehende Deponiedamm mehrheitlich aus feinkörnigen tonig-siltigen Feinsanden besteht und als dicht gelagert bezeichnet werden kann. In Anbetracht der fehlenden Unterlagen zu den damaligen Materiallieferungen können potenzielle Kiesnester nicht ausgeschlossen werden. Deshalb wird dem Damm wasserseitig eine Bentonitmatte vorgelagert, welche das Auswaschen von Feinanteilen (insbesondere bei abklingenden Hochwassern) sicherstellt. Die Lage und Einbindtiefe der Bentonitmatte ist im Rahmen der weiteren Projektbearbeitung zu überprüfen bzw. optimieren. Die Lebensdauer der Matten wird gem. [43] auf > 400 Jahre angegeben (Langzeitscherfestigkeitstest bei 15° C), womit die Dichtigkeit bei richtigem Einbau über die gesamte Dammlbensdauer ohne Unterhalt geben ist. Als weitere Massnahme wird ein 3 m breites Überprofil vorgesehen, welches aus geotechnischer Sicht für die Standsicherheit mit den aktuell vorliegenden Grundlagen nicht notwendig ist. Dieses Überprofil ist somit als geotechnische Reserve infolge Unsicherheiten in Bezug auf das Schüttmaterial des Deponiekörpers zu verstehen.

Zur Verhinderung des hydraulischen Grundbruches ist auf der Luftseite bereichsweise ein Dammfussfilter erforderlich. Sobald die Deckschichten /Überschwemmungsablagerungen eine Mächtigkeit von > 3 m erreichen, wird auf einen Dammfussfilter verzichtet.

Zwischen dem zu einem Hochwasserschutzdamm umfunktionierten Deponiedamm und dem bestehenden Hochwasserschutzdamm ausserhalb des Projektperimeters wird auf Seite Fürstentum Liechtenstein ein Anschlussdamm erstellt. Dieser Damm wird mit möglichst steilen Böschungsneigungen erstellt (2:3), da er einen temporären Charakter hat und bei einer zukünftigen nördlichen Erweiterung wieder abgetragen werden muss (vgl. Kapitel 11.10).

Zwischen km 51.35 und 51.9 auf Seite Fürstentum Liechtenstein sowie km 51.0 und 52.55 auf Schweizer Seite werden neue Hochwasserschutzdämme erstellt. Diese weisen sowohl wasser- als auch luftseitig eine Dammneigung von 2:5 auf. Bei den neuen Hochwasserschutzdämmen wird eine Sohlendrainage verbaut, sofern diese keinen grösseren Aushub bedingt. Als Kriterium wird eine Höhendifferenz von 3 m zwischen OK Interventionspiste und Lage des Rheinschotters berücksichtigt. Die Sohlendrainage reicht ungefähr bis in die Mitte der luftseitigen Dammböschung, die Form wird den aktuellen Gegebenheiten, wie Mächtigkeit der Deckschichten und notwendige Aushübe jeweils angepasst. Die Angaben zu den Sohlendrainagen wurden in den einzelnen QP gemacht und entsprechend robust angesetzt. Im Verlauf der weiteren Planung sind detailliertere Abklärungen zu den Mächtigkeiten der Deckschichten (insbesondere CH-Seite) nötig.

Die neuen Hochwasserschutzdämme werden mit dem vorhandenem feinkörnigeren Aushubmaterial erstellt. Für die Oberflächenstabilität/Erosionsschutz werden sowohl luft- wie auch wasserseitig kiesigere Materialien verwendet. Auf der aktuellen Planungsstufe wird bei den neuen Hochwasserschutzdämmen - analog dem umzubauenden Depo-niedamm auf Seite Fürstentum Liechtenstein - zusätzlich eine Bentonitmatte als Abdichtung berücksichtigt. Zeigt sich im Verlauf der weiteren Planung, dass die Dämme primär aus feinkörnigem Material geschüttet werden können, kann nach erbrachtem Nachweis der Dichtigkeit auf den Einbau der Bentonitmatte ggf. verzichtet werden.

Anfallendes Sickerwasser aus den Dammfussfilter, resp. der Sohlendrainage wird auf Seite Fürstentum Liechtenstein über ein nahegelegenes Oberflächengewässer (Tentschagraba) abgeleitet. Auf Schweizer Seite wird das anfallende Wasser in einer Drainageleitung gesammelt und in Richtung Werdenberger Binnenkanal abgeführt. Dazu muss das gesammelte Wasser unter der A13 durchgeleitet werden. Gem. Angaben aus den Plänen von [33] und [34] bestehen im Bereich des Perimeters bereits zwei Durchlässe: Der erste befindet sich ca. auf Höhe von km 51.65 (Sohlenkote Einlauf gem. [33] auf ca. 443.45 m ü. M), der zweite auf Höhe von km 52.4 (alter Auslauf Retentionsbecken Ceres, Sohlenkote Einlauf gem. [33] auf ca. 441.5 m ü. M). Eine erste gutachterliche Prüfung (Vergleich Koten Dammfuss bzw. Sohlendrainage mit Sohlenkoten Durchlässe) zeigt, dass ein Ableiten des Drainagewassers im Freispiegel durch die beiden Durchlässe und weiter Richtung Wiesenfurt und Werdenberger Binnenkanal möglich sein sollte. Es wird davon ausgegangen, dass allfälliges Drainage- bzw. Sickerwasser bereits im heutigen Zustand über diesen Weg entwässert. Ebenfalls wird davon ausgegangen, dass sich die Menge an Sicker- und Drainagewasser vom IST- zum Projektzustand nicht ändert und die Einleitung in die Vorfluter (Wiesenfurt bzw. Werdenberger Binnenkanal) daher weiterhin ohne Retentionsmassnahmen möglich sein sollte. Die Ableitung sollte auch bei Hochwasser im Vorfluter möglich sein, da auch im heutigen Zustand keine Rückstauprobleme bekannt sind. Eine detaillierte Prüfung (Verifizierung Koten der Durchlässe, Wassermenge, Rückstau aus Vorfluter, etc.) soll auf Stufe Bauprojekt durchgeführt werden.

Schüttungen können grundsätzlich Setzungen auslösen, die eine gewisse Reichweite haben. Im vorliegenden Fall sind insbesondere die Auswirkungen auf die Autobahn A13 auf Schweizer Seite von Interesse. Die Distanz zwischen dem Fuss des neuen Hochwasserschutzdammes bei der Interventionspiste und der Autobahn beträgt rund 16 - 17 m. Weiter sind die Mächtigkeiten der setzungsempfindlichen Deckschichten mit 1 -2 m eher gering. Die Berechnungen nach Boussinesq (vgl. Anhang D) zeigen, dass auf dieser Distanz keine Setzungen im Bereich der Autobahn zu erwarten sind. Gleich wie im heutigen Zustand weisen sämtliche Hochwasserschutzdämme einen wasserseitigen Wuhrweg, eine Dammstrasse auf der Dammkrone sowie eine luftseitige Interventionspiste auf. Sämtliche Strassen/Wege haben eine Breite von 4 m und besitzen beidseitig ein 0.5 m breites Bankett. Der wasserseitige Wuhrweg wird auf Höhe der Wasserspiegellage des 30-jährlichen Hochwasserereignis erstellt, um Überflutungen bei kleineren Hochwassern und entsprechende Unterhaltskosten zu vermeiden. Bei km 51.1 und 52.35 auf Schweizer Seite sowie bei km 51.5 und 52.5 auf Seite Fürstentum Liechtenstein werden Querverbindungen zwischen Wuhrweg und Dammstrasse, respektive zwischen Dammstrasse und Interventionspiste gebaut.

7.2 Erosionsschutz

Innerhalb der Aufweitung muss mit morphologischen Kolkiefen⁸ zwischen 3.2 und 6 m gerechnet werden (vgl. Abbildung 43 in Anhang D). Die Höhe der zu erwartenden Kiesbänke beträgt bis zu 2.5 m. Beim nördlichen Ende der Aufweitung ist zusätzlich mit einer Verengungskolkentiefe von ca. 1.5 m bis 2 m zu rechnen (vgl. Abbildung 44 in Anhang D). Damit ergibt sich am nördlichen Ende der Aufweitung (km 52.6) eine Gesamtkolkentiefe von bis zu 7.3 m (5.3 m morphologischer Kolk + 2 m Verengungskolk). Die Länge des Verengungskolks kann bis zu 200 m betragen.

Zur Vermeidung von Seitenerosionen wird die wasserseitige Böschung bis zum Wuhrweg mit einem Blockwurf gesichert. Der Blockwurf wird dabei bis auf die berechneten Kolkentiefe + 1 m fundiert. Sofern diese Tiefe kleiner als 3.5 m kann der Blockwurf maschinell als Blocksatz fertiggestellt werden. Bei grösseren Tiefen wird ein Blockwurfdepot erstellt, aus welchem die einzelnen Blocksteine nachrutschen können und somit den Schutz vor Seitenerosion gewährleisten. Mit einer Filterschicht wird das Ausschwemmen von Feinmaterial (innere Erosion) verhindert. Das Erstellen einer Filterschicht (unter Einhaltung der Filterkriterien) ist insbesondere auf Seite Fürstentum Liechtenstein wichtig, wo die feinkörnigen Überschwemmungsablagerungen abschnittsweise bis unter die heutige Sohlenlage reichen. Die Blockgrösse nimmt von unten (1.5 - 2.5 t) gegen oben (0.8 - 1.5 t) hin ab (vgl. Dimensionierung Blocksatz in Anhang D). Die Böschungsneigung des Blockwurfs liegt ebenfalls bei 2:5. Diese flachere Neigung gegenüber dem Bestand wurde infolge Verbesserung Quervernetzung der terrestrischen Fauna gewählt.

⁸ Kolkberechnungen sind mit Unsicherheiten verbunden, weshalb die angegebenen Tiefen nicht als absolute Werte zu verstehen sind.

Damit keine durch den Verengungskolk induzierte Seitenerosionen auftreten, werden nördlich des Projektperimeters bei den bestehenden Böschungen bis km 52.8 beidseitig Blockwurfdepots erstellt.

Der Bereich zwischen dem Wuhr- und dem Dammweg wird mit einer Schroppenlage geschützt. Damit im Hochwasserfall keine Erosion auftritt, ist eine mittlere Korngrösse von 0.2 – 0.3 m erforderlich (vgl. Dimensionierung Blocksatz in Anhang D).

7.3 Engineered Log Jams

Zur Reduktion der Defizite hinsichtlich Gerinnemorphologie, aquatischen/semiaquatischen Lebensräumen und Totholz sowie zur Ausdifferenzierung wertvoller ökomorphologischer Strukturen innerhalb des Aufweitungsperimeters sollen insbesondere naturnah wirkende Initialstrukturen wie lagestabile Totholkomplexe (Engineered Log Jams (4)) eingesetzt werden. Engineered Log Jams (ELJ) dienen als Ersatz für natürliche, grosse Totholkomplexe im Flussraum, welche ursprünglich in Gerinnen mit Sohlenbreiten > 10 m entstehen und auch bei Hochwasser nicht verdriftet werden können. Wie ihr natürliches Vorbild können die lagestabilen ELJs das Habitatangebot (aquatisch, semiaquatisch und terrestrisch), die Habitatkomplexität, die Konnektivität der Lebensräume und mit der Zeit – nach Aufwuchs von Gehölzen im Strömungsschatten – auch die Gewässerbeschattung deutlich steigern. Langfristig können sie wieder eine Gehölzsukzession und Totholzdynamik reaktivieren, wie sie im natürlichen Zustand zu erwarten wäre (bewaldete Inseln im Flusslauf). Das hat nicht nur ökologische Vorteile, denn mit diesen Prozessen (Gehölzaufwuchs und Schwemmholzanlagerung) können sich die eingebauten Initialstrukturen mit der Zeit selbst erneuern.

In der Aufweitung Schaan-Buchs-Eschen soll das vorgesehene ELJ-Design eine Annäherung an natürliche Prozesse und Referenzzustände erreichen, indem die morphologische Differenzierung im Flussraum unterstützt wird (mosaikartige Verteilung von Kiesbänken, Gehölzaufwuchszonen und benetzten Bereichen) und wichtige initiale Habitatfunktionen bereits rasch nach Bau gewährleistet werden können (Akzentuierung Kolke/Tiefwasserzonen, Schaffung strömungsberuhigter Zonen, Auflandungszonen und Kiesinseln, Angebot an Deckungsstrukturen, Rückhalt von Geschwemmsel und Nährstoffen als Basis der aquatischen Nahrungskette).

Neben den morphologischen Wirkungen helfen die ELJ-Strukturen auch die negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Regimes abzufedern. Die Strukturen induzieren lokale, ausgeprägte Kolke, welche insbesondere in der Sunk-Phase als wertvolle Rückzugshabitate für die Fischfauna dienen.

Als Voraussetzung für die morphologische Wirkung ist eine möglichst gute Anströmung der einzelnen Strukturen zu gewährleisten. Das geplante Design umfasst 9 ELJs (Typ Inselkopf) und wurde auf Basis historischer Karten und aktueller Luftbilder entworfen. Anhand der historischen Karten (ehem. Flussauen bei Zizers, Oberried und Kriessern) wurde die Bank- bzw. Inselbildung in der Aufweitung Schaan-Buchs-Eschen im Referenzzustand gutachterlich abgeschätzt (Anzahl Inseln und Inselängen in Bezug zu Sohlenbreite und Länge des Abschnitts)⁹. Die geplanten ELJs (Lage, Zwischenabstände) unterstützen die Bildung von Mittelbänken (N = 2) bis hin zur verzweigten Morphologie (N = 3 im breitesten Abschnitt) und berücksichtigen Inselängen im jeweiligen Strömungsschatten von 150 – 300 m. Luftaufnahmen des Ist-Zustands wurden herangezogen, um die ELJ-Strukturen insb. in der Aufweitzungszone (km 51.0 bis 51.4) und der Verengungszone (km 52.2 bis km 52.4) näherungsweise in die anschliessende Morphologie der alternierenden Bänke¹⁰ einzupassen (Antizipieren der Anströmung).

Bei der Platzierung der Insel-ELJs wird darauf geachtet, dass die vorhandenen, durch die Kiesbänke geprägten Strömungsbilder optimal genutzt werden, um den Abfluss auf die eigendynamischen Abtragbereiche zu lenken und Erosionsprozesse zu induzieren. Da die alternierenden Kiesbänke innerhalb des Projektperimeters wandern, kann zum heutigen Zeitpunkt noch keine Aussage über die optimalen Platzierungsstandorte gemacht werden (siehe auch Exkurs in Kapitel 8.3). Für eine bestmögliche Platzierung sollten die ELJ-Strukturen jeweils am Ende der einzelnen Bauetappen erstellt werden.

⁹ Die in den historischen Karten von 1853 aufgeführten Flussinseln bilden u. U. auch Relikte von einst bewaldeten Inseln ab und sind daher hilfreich, um einen möglichen morphologischen Referenzzustand vor der anthropogenen Ausserkraftsetzung des natürlichen Totholregimes abzuschätzen. Die gängigen gerinnemorphologischen Typisierungen (z.B. Yalin/da Silva) berücksichtigen das natürliche Totholregime nicht. Der Einfluss eines natürlichen, funktionalen Totholregimes führt erfahrungsgemäss zu einer kleinräumigeren Verteilung von Inseln und benetzten Zonen bzw. Nebengerinnen. Siehe dazu auch (4)

¹⁰ Annahme: In den Zonen unmittelbar ober- und unterhalb der Aufweitung setzen sich trotz zu erwartender Auswirkungen auf die Sohlenlage die alternierenden Bänke gemäss bestehendem Muster durch (in Bezug auf links- oder rechtsseitige Ausbildung).

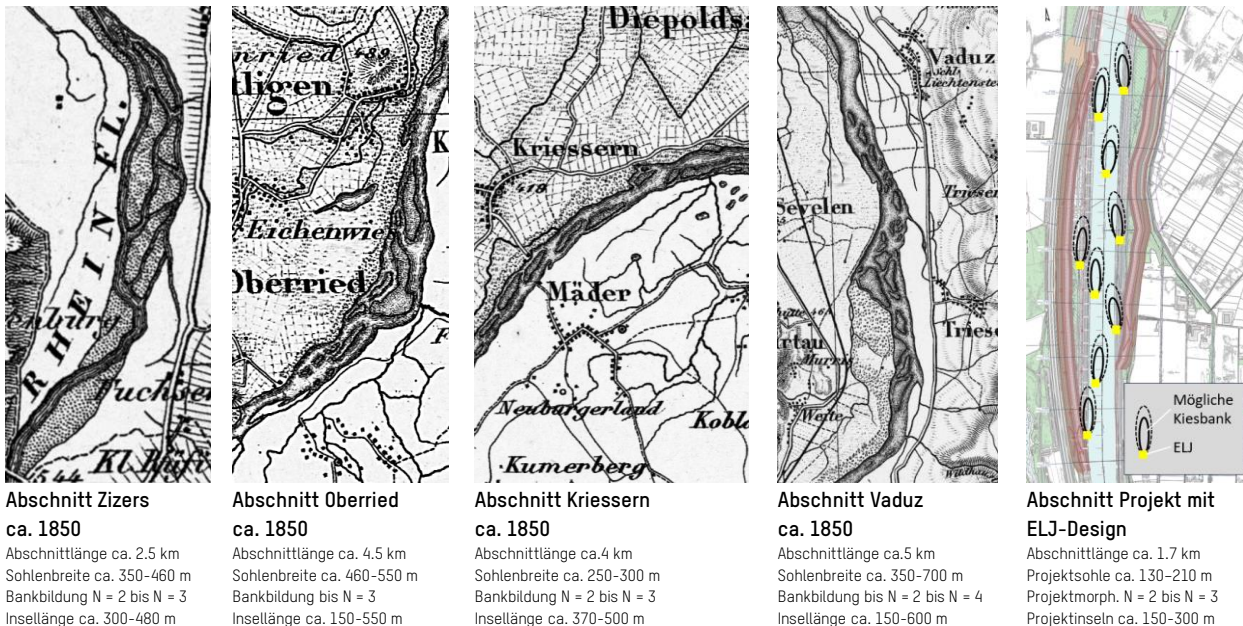


Abbildung 24: ELJ-Design für das vorliegende Projekt im Vergleich zum früheren Zustand des Alpenrheins in verschiedenen Abschnitten.

Aufbau ELJ: Der Hauptbestandteil der ELJs ist Totholz. Durch die gerammten Pfähle, den typischen, lagenweise verschränkten Aufbau und eine dauerhafte Verbindungstechnik entsteht eine stabile und naturnahe Struktur, die reich an Oberflächen und Zwischenräumen ist. Die Holzstruktur wird mit Kies / Aushub überschüttet und mit Auengehölzen bepflanzt. Die in die Strömung ragenden Wurzelteller akkumulieren laufend Schwemmholz. Die Aufwachsenden Gehölze durchwurzeln die Struktur.

Die im Projektperimeter geplanten Insel-ELJs können jeweils beidseitig umströmt werden. Die Strukturen sind bis zur Dimensionierungsabflussmenge überströmbar zu erstellen. Die ELJ-Struktur wird mit ausreichend Auflast gegen Auftrieb und mit tiefer Verankerung in der Flusssohle gegen Abschwemmen bis zur Dimensionierungsabflussmenge gesichert. Die berechneten Kolk-tiefen von bis zu 6 m sind durch eine entsprechend tiefere Verankerung der Struktur abzufangen (ggf. unterstützt durch eine bauliche Kolkbegrenzung).

Die vorgesehenen ELJ-Strukturen weisen eine Breite und Länge von jeweils rund 8 m auf. Die Höhe der Strukturen beträgt rund 3.5 – 4.0 m über der projektierten Endsohlenlage. Somit werden die ELJ Strukturen im Mittel etwa ab einem 30-jährlichen Hochwasser überströmt.

Die im Projektperimeter geplanten Inselkopf-ELJ dienen rein der Initialisierung der natürlichen Gehölzsukzession und haben keine Funktion als Erosionsschutz der Uferböschung wie z.B. ein ELJ-Uferverbau oder eine ELJ-Buhne [4]. Sie müssen nicht unterhalten oder ersetzt werden bzw. «erneuern» sich durch die natürliche Sukzession selbst. Dieser Vorgang ist in Abbildung 25 gezeigt und kann wie folgt beschrieben werden:

- Die Inselkopf-ELJ werden gebaut und mit anstehendem Material hinterfüllt. Eine Initialbepflanzung mit standort-passendem Gehölz gibt eine weitere Starthilfe.
- Die ELJs werden sich selbst überlassen. Im Verlauf der Zeit wird die ursprüngliche Holzstruktur durch Erosion und Verwitterung (insb. im wechselfeuchten Bereich) abgetragen und destabilisiert, gleichzeitig wird die Struktur durch die zunehmende Durchwurzeln sowie Schwemmholz, dass an der Struktur hängen bleibt stabilisiert/erneuert.
- Schlussendlich wird das ursprüngliche (maschinell eingebrachten) ELJ durch die natürliche Sukzession vollständig ersetzt.

Die Lebensdauer der ursprünglichen ELJ-Struktur ist von verschiedenen Faktoren abhängig (gewählte Holzart, Ausmass der Erosion, Ausdehnung der wechselfeuchten Zone, etc.). Der Teil oberhalb der Wasserlinie ist nach spätestens 20 Jahren zersetzt. Aufgrund der natürlichen Sukzession ist dies aber nicht problematisch, sondern sogar gewünscht, da die Struktur laufend von neu angeschwemmtem Schwemmholz erneuert wird.

Eine verkürzte Lebensdauer bzw. das Ausbleiben der natürlichen Sukzession kann aufgrund verschiedener Umstände eintreten. In Gewässern ohne Schwemmholz kann sich die Struktur z.B. nicht erneuern. Der Alpenrhein führt genug Schwemmholz, sodass dieses Risiko als klein eingestuft wird (vgl. Kapitel 3.2.4). Die Schwemmholzmenge bzw. die

laufende Ablagerung von neuem Holz wird auch als genügend gross eingeschätzt, um die Abrasion durch Geschiebe zu kompensieren.

Ein weiterer Grund für eine verkürzte Lebensdauer ist das Versagen der Struktur. Das kann durch Kolkbildung, überströmen oder auch unterspülen ausgelöst werden. Das Risiko kann durch eine angepasste Wahl des Dimensionierungsabflusses sowie sorgfältige Dimensionierung der Struktur minimiert werden.

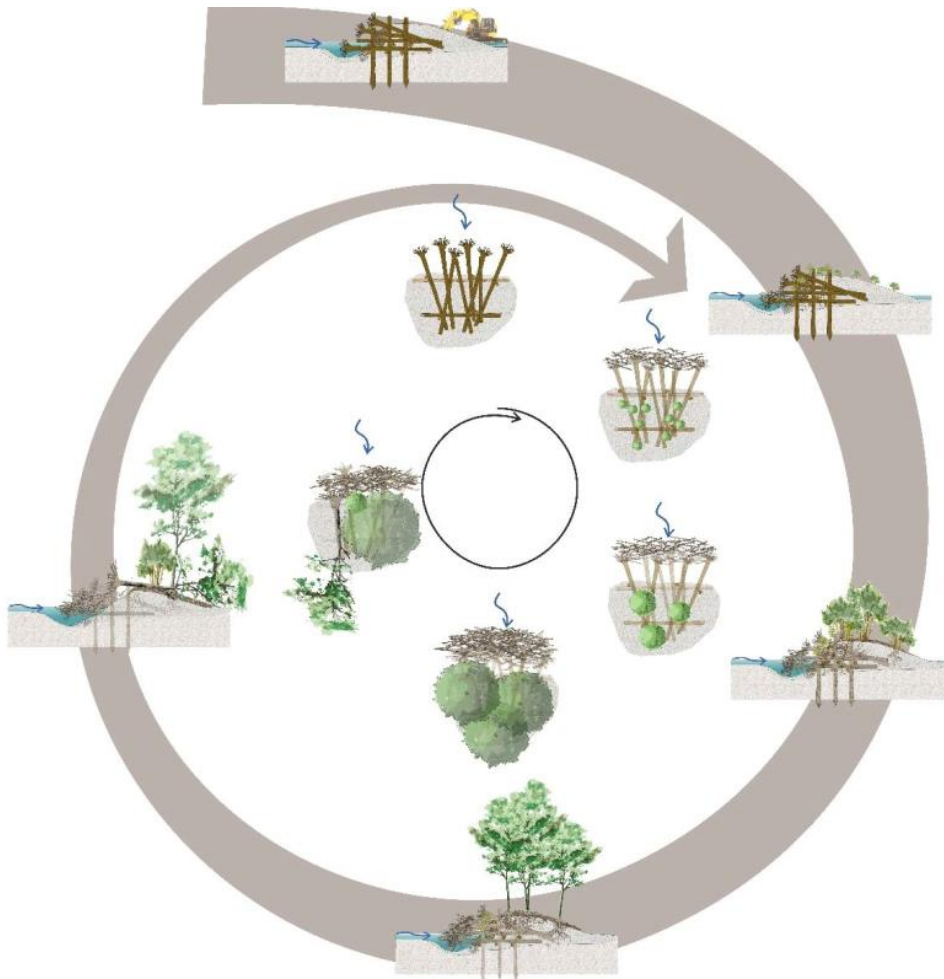


Abbildung 25: Natürliche Sukzession und Selbsterneuerung bei einem Inselkopf-ELJ [4].



Abbildung 26: Engineered Log Jams zur ökologischen und morphologischen Aufwertung in einer Aue von nationaler Bedeutung (Sense, Ruchmühle, Projekt Emch+Berger AG.)

7.4 Werkleitungen

Auf Schweizer Seite muss die Transportgasleitung auf einer Länge von rund 1'600 m und die Elektrofreileitung umgelegt werden. Die neuen Linienführungen der beiden Leitungen ist durch die Werkseigentümer zu planen und mit dem vorliegenden Projekt abzustimmen. In den weiteren Planungsphasen sind ist die Umlegung mit den Werkseigentümern zu besprechen und koordinieren. Idealerweise erfolgt die Auflage der neuen Trasse zusammen mit dem vorliegenden Projekt. Idealerweise werden beide Leitungstrasses auf die westliche Seite der Autobahn A13 verlegt. Dass die Leitungen auch zukünftig zwischen Hochwasserschutzdamm und Autobahn verlaufen, kann auf der aktuellen Planungsstufe jedoch nicht ausgeschlossen werden (falls die Standortgebundenheit nachgewiesen werden kann).

Es wird empfohlen, dass die neue Linienführung der Elektrofreileitung so gewählt wird, dass bei einer potenziellen, zukünftigen Erweiterung der Aufweitung in nördlicher Richtung keine erneuten Anpassungen an der Elektrofreileitung erforderlich werden.

Auf Schweizer Seite müssen noch einige kleinere Erschliessungsleitungen (Wasser, Elektro, Telekommunikation) bei der Kompostaufbereitungsanlage rückgebaut werden, auf Seite Fürstentum Liechtenstein sind keine weiteren Werkleitungen tangiert.

8 Anmerkung zur Bauausführung

8.1 Bauablauf

Auf der aktuellen Planungsstufe wird davon ausgegangen, dass die Aufweitung auf Seite Fürstentum Liechtenstein und diejenige auf Seite der Schweiz zeitlich unabhängig voneinander realisiert werden. Insbesondere auf Schweizer Seite ist der Realisierungszeitpunkt abhängig vom Betrieb der Kompostieranlage. Für die Kompostieranlage muss eine Lösung gefunden werden, wobei der KVR (Kehrichtverwertung Rheintal) federführend ist. Zudem ist der erforderliche Ersatz des Retentionsbeckens der Autobahn, einem Amphibienbiotop von nationaler Bedeutung, im Zuge der Sanierung der Autobahn anzustreben. In Abbildung 27 und Abbildung 28 sind die Bauabläufe schematisch dargestellt unter der Bedingung, dass der Hochwasserschutz jederzeit gewährleistet wird.

Seite Fürstentum Liechtenstein (vgl. Abbildung 27):

1. In einem ersten Schritt erfolgt der Aushub zwischen bestehendem Deponiedamm und Hochwasserschutzdamm in der «Etappe Nord». Mit diesem Material wird der nördliche Anschlussdamm sowie ein Zwischendamm auf Höhe von km 52.0 geschüttet. Im Bereich zwischen dem Anschluss- und dem Zwischendamm, wird der Deponiedamm in einen Hochwasserschutzdamm umgewandelt. Das kiesige Material für die Überschüttung der Bentonitmatten des Deponiedamms muss geliefert werden, da bei den Aushubarbeiten praktisch kein kiesiges Material anfällt. Ein Teil des abgetragenen Deponiedammmaterials wird für die Schüttung des neuen Hochwasserschutzdamms in der «Etappe Süd» verwendet, der Überschuss wird entsorgt.
2. Danach kann der bestehende Hochwasserschutzdamm in der «Etappe Nord» abgetragen werden. Ein Teil des kiesigen Materials kann für die Fertigstellung des neuen Hochwasserschutzdamms in der «Etappe Süd» verwendet werden, der Rest geht in die Wiederverwertung/Verkauf.
3. Sobald der neue Hochwasserschutzdamm auf der gesamten Länge realisiert ist, wird im verbleibenden Abschnitt zwischen km 51.4 und 52.0 der bestehende Hochwasserschutz- sowie der Zwischendamm abgetragen. Dort, wo sich der Zwischendamm bzw. der alte Hochwasserschutzdamm und der neuen Hochwasserschutzdamm berühren, werden zeitgleich die Blockwürfe fertig gestellt.

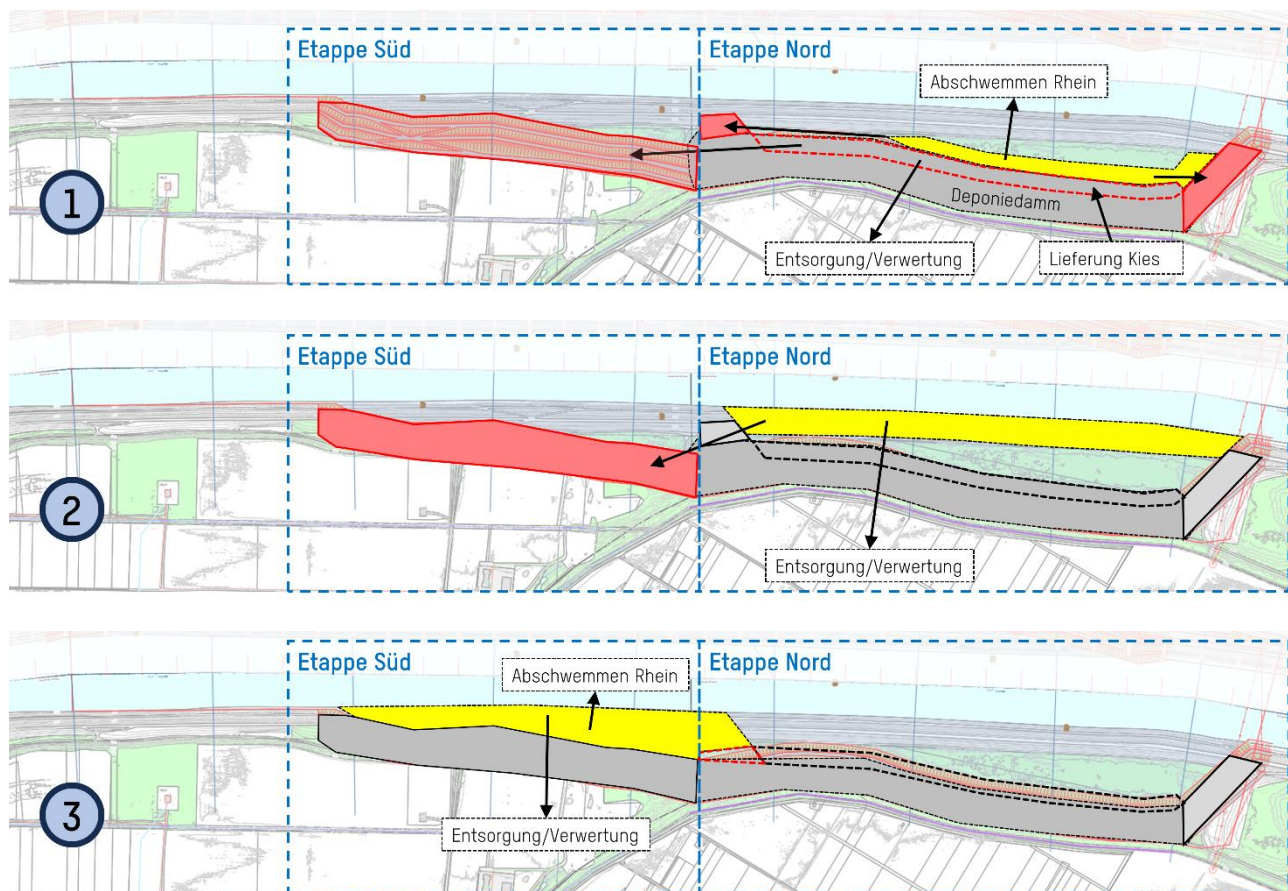


Abbildung 27: Bauablauf Seite Fürstentum Liechtenstein [grau = Bestehend, rot = Schüttung, rot gestrichelt = Umwandlung Deponiedamm in Hochwasserschutzdamm, gelb = maschineller Aushub/Abtrag].

Seite Schweiz (vgl. Abbildung 28):

1. In einem ersten Schritt erfolgt der Aushub zwischen dem bestehenden und dem neuen Hochwasserschutzdamm. Mit dem kiesigen und feinkörnigen Aushubmaterial kann ein Teil des neuen Hochwasserschutzdammes geschüttet werden.
2. Für die Fertigstellung des neuen Hochwasserschutzdammes muss zusätzliches Material (feinkörnig und kiesig) geliefert werden.
3. Sobald der neue Hochwasserschutzdamm auf der gesamten Länge realisiert ist, wird der bestehende Hochwasserschutzdamm abgetragen (Material in Wiederverwertung/Verkauf) und die neuen Blockwürfe (wo nicht vorgängig möglich) werden fertiggestellt.

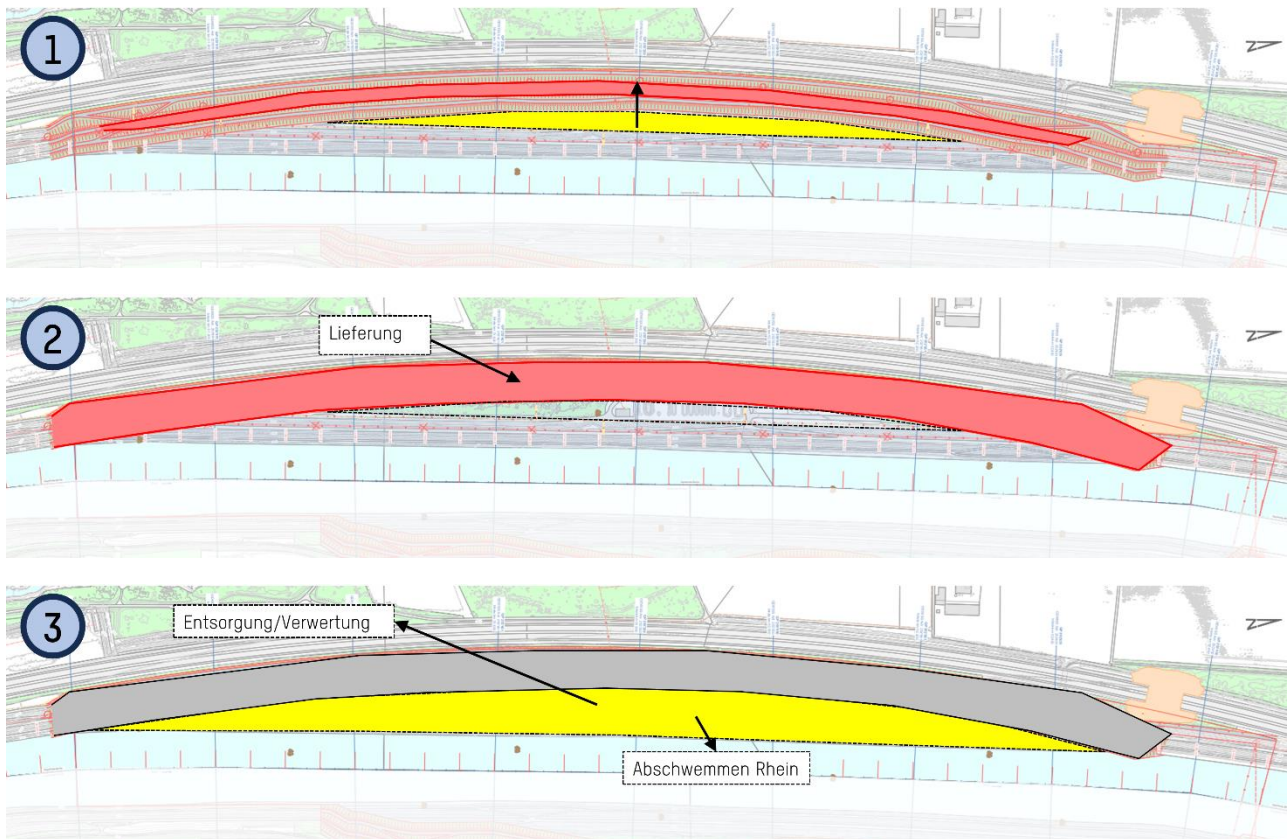


Abbildung 28: Bauablauf Seite Schweiz (grau = Bestehend, rot = Schüttung, gelb = Aushub/Abtrag).

8.2 Bauzeit

Für die Abschätzung der Bauzeit wurden zwei Kriterien berücksichtigt:

- Mögliche Wochenleistung = 200'000 CHF
- Jährliche Verwertungskapazität des kiesigen Aushub-/Abtragmaterials = 60'000 m³

Beide Ansätze führen zu etwa gleichen Abschätzungen. Die Bauzeit für die baulichen Massnahmen auf Seite Fürstentum Liechtenstein wird auf rund 5 Jahre geschätzt, diejenige auf Schweizer Seite dauert mit rund 6 Jahren etwas länger. Eine Verkürzung der Bauzeit auf 3 Jahre ist grundsätzlich denkbar, demzufolge würde sowohl die Wochenleistung wie auch die Verwertungskapazität des kiesigen Materials zunehmen. Eine detaillierte Prüfung soll in der nächsten Projektphase erfolgen.

8.3 Zeitliche Entwicklung Aufweitung

Für die Gestaltung der Aufweitungsfläche innerhalb der neuen Hochwasserschutzdämme wird eine Kombinationslösung aus maschinell (Erreichung Projektzustand) und eigendynamischem Abtrag (Erreichung Endzustand) angestrebt. Für den Bau der Blockwürfe bis auf Höhe der Wuhwege (vgl. Kapitel 7.2) ist ein maschineller Aushub erforderlich. Dadurch ergeben sich zwei zusätzliche Teilgerinne. Entlang diesen zusätzlichen Teilgerinnen sowie beim bestehenden Hauptgerinne werden bei den eigendynamischen Abtragbereichen initiale Anrissstellen erstellt, um die Erosions- und Aufweitungsprozesse zu begünstigen/beschleunigen (vgl. Abbildung 29). In den neuen, relativ schmalen Teilgerinnen können zudem kleinere Lenkbuhnen eingebaut werden, um die Strömung in Richtung der eigendynamischen Abtragbereiche zu lenken und die Seitenerosion gegen die Flussmitte zu fördern.

Über die Zeit wird sich in der Aufweitung die neue Sohlenmorphologie bilden. U.a. wird sich die Sohle aufgrund der neuen Abflussbedingungen in der Aufweitung heben (vgl. Kapitel 11.1). Dabei bildet sich über die Zeit auf natürliche Weise ein Sohlenversatz aus.

Bezogen auf die heutige mittlere Sohlenlage verbleiben innerhalb der Aufweitung rund **504'000 m³** Material, welches durch eigendynamische Aufweitungs- und Erosionsprozesse des Alpenrheins im Laufe der Zeit abtransportiert werden (siehe auch Kapitel 9). Dabei handelt es sich bei ca. **172'000 m³** um kiesiges Material (Rheinschotter). Diese Menge entspricht in etwa der 3-fachen mittleren, jährlichen Geschiebefracht des Alpenrheins. Die restlichen **332'000 m³** sind feinkörnige Überschwemmungsablagerungen. Diese Menge entspricht etwa 22 % der jährlichen Schwebstofffracht.

Um ein möglichst effizientes und ökologisches Materialmanagement betreiben zu können, ist vorgesehen, zusätzliches Feinmaterial (Überschwemmungsablagerungen) aus dem maschinellen Aushub durch den Rhein abtransportieren zu lassen. Die durch den Rhein abzutransportierenden Materialmengen sind in Tabelle 15 für die verschiedenen Bauetappen (vgl. Kapitel 8.1) ausgewiesen. Die einzelnen Etappen dauern jeweils mehrere Jahre und je nach weiterem Projektverlauf können auch längere zeitliche Unterbrüche zwischen den Etappen liegen.

Tabelle 15: Materialvolumina, welche in den verschiedenen Bauetappen durch den Rhein abtransportiert werden. Die prozentualen Anteile beziehen sich dabei jeweils auf die jährliche Geschiebe- sowie Schwebstofffracht.

| Etappe | Kies (m ³) / Anteil (%) | Feinkörnig (m ³) / Anteil (%) | Total (m ³) |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
| FL-Etappe Nord | 23'000 / 38 | 221'000 / 15 | 244'000 |
| FL – Etappe Süd | 21'000 / 35 | 52'000 / 3 | 73'000 |
| CH | 128'000 / 213 | 59'000 / 4 | 187'000 |
| Total | 172'000 / 287 | 332'000 / 22 | 504'000 |

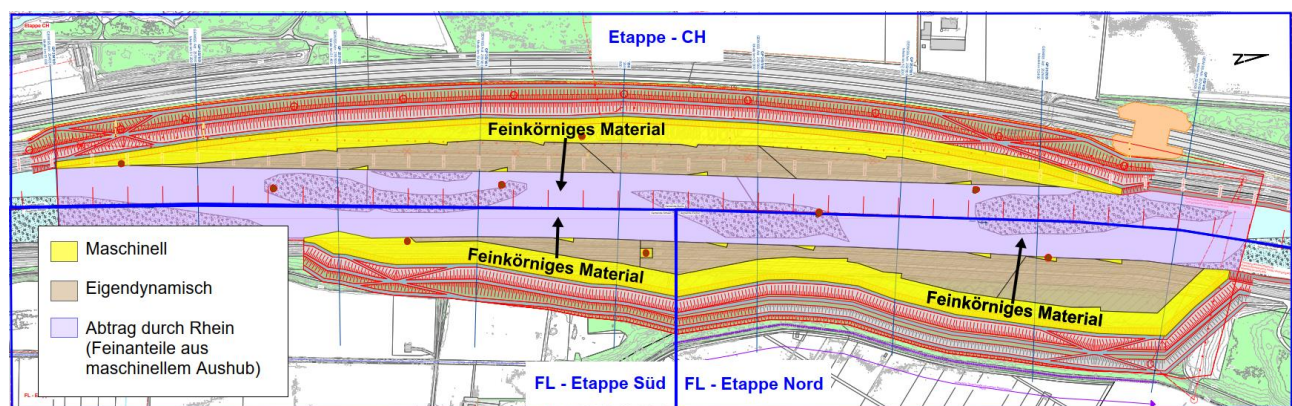


Abbildung 29: Schematische Darstellung maschineller (gelb) und eigendynamischer Abtrag (hellbraun) sowie Abschwemmung Feinanteile aus maschinellern Aushub durch Rhein (hellviolett).

Exkurs - eigendynamische Aufweitungen:

Jüngere Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass eigendynamische Aufweitungsprozesse stark von der Geschiebeverfügbarkeit abhängen [9]. Je näher die Geschiebeverfügbarkeit bei der Transportkapazität liegt, desto stärker sind die zu erwartenden Aufweitungsprozesse (vgl. Abbildung 30). Die Modellergebnisse können nicht 1:1 auf die Realität übertragen werden, können jedoch zur Einordnung der zu erwartenden Prozesse beigezogen werden. Da der Alpenrhein im Bereich des Projektperimeters eine Auflandungstendenz aufweist (Geschiebefracht ist grösser als die Geschiebetransportkapazität) kann davon ausgegangen werden, dass eigendynamische Aufweitungsprozesse begünstigt werden.



Abbildung 30: Flussaufweitungen für verschiedene Geschiebeverfügbarkeiten (Prozentualer Anteil der Geschiebetransportkapazität) [9].

Die eigendynamische Entwicklung von Aufweitungen kann zusätzlich durch Initialaufweitungen/Anrissstellen gefördert werden (vgl. Abbildung 31). Die Anrissstellen führen vor allem lokal (einige Meter) zu Erosionsprozessen, bewirken jedoch keine massgebenden Strömungsveränderungen.

Da diese Massnahme relativ einfach und kostengünstig umsetzbar ist, werden bei der geplanten Aufweitung am Alpenrhein während den maschinellen Aushubarbeiten initiale Anrissstellen bei den eigendynamischen Abtragbereichen erstellt.



Abbildung 31: Flussaufweitungen mit Initialaufweitungen bei 60 % Geschiebeverfügbarkeit [9].

Eine weitere Möglichkeit, wie die eigendynamische Entwicklung gefördert werden kann, ist der Einbau von Lenkbuhnen. Modellversuche für eine Aufweitung an der Sense haben gezeigt, dass mit Lenkbuhnen die Strömung umgelenkt und signifikante Böschungserosionen sowie morphologische Umgestaltungen des Bachbettes induziert werden können (vgl. Abbildung 32). Die Modellversuche haben jedoch auch gezeigt, dass die Lenkbuhne beträchtliche Dimensionen aufweisen muss (ca. 2/3 der Sohlenbreite, ausgeprägter Anzug gegen die Böschung), damit die morphologischen Prozesse (Seitenerosion am Gegenufer) ausgelöst werden können.

Für die geplante Aufweitung am Alpenrhein stellen Lenkbuhnen im heutigen Gerinnebereich keine zielführende Massnahme dar. Diese müssten eine Länge von 60 – 70 m aufweisen um die gewünschte Erosionswirkung am Gegenufer auszulösen und würden durch die vorhandenen alternierenden Kiesbänke hindurch gebaut werden. Im Bereich der Lenkbuhnen dürfte sich über die Zeit eine stabile Sohlenmorphologie entwickeln, welche im Gegensatz zu der gewünschten eigendynamischen Entwicklung sowie den bereits vorhandenen alternierenden und wandernden Kiesbänken steht. Zudem ist der Bau von Lenkbuhnen mit erheblichen Kosten verbunden.

Buhnen mit einer lenkenden Wirkung, welche in der Dimension deutlich kleiner sind als die Lenkbuhnen werden als zusätzliche Uferstrukturierungen in den neuen Teilgerinne eingesetzt werden. Diese Strukturen können die Seitenerosion bei den eigendynamischen Abtragbereichen bis zu einem gewissen Grad fördern, der Einflussbereich wird jedoch nicht bis zum gegenseitigen Ufer reichen.

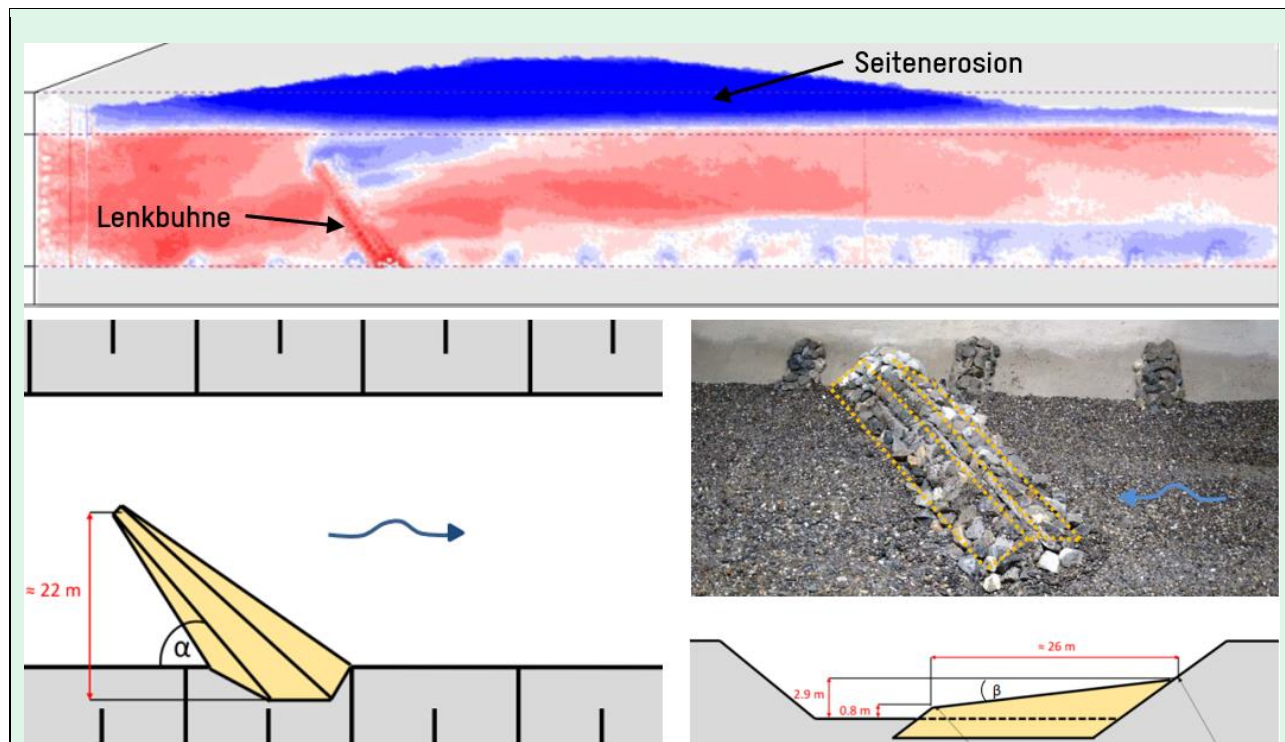


Abbildung 32: Flussaufweitungen mit Leitbuhne [10].

Eine zusätzliche Möglichkeit, wie die eigendynamische Entwicklung gefördert werden kann, ist der Einbau von Strukturelementen (z.B. ELJ-Struktur, wie sie im vorliegenden Projekt vorgesehen sind, vgl. Kapitel 7.3). Die Strukturelemente führen lokal zu Strömungsumlenkungen und zu morphologischen Umgestaltungen der Flusssohle. Bei der Platzierung der Strukturelemente wird darauf geachtet, dass die vorhandenen, durch die Kiesbänke geprägten Strömungsbilder optimal genutzt werden, um den Abfluss auf die eigendynamischen Abtragbereichen zu lenken und Erosionsprozesse zu induzieren. Da die alternierenden Kiesbänke innerhalb des Projektperimeters wandern, kann zum heutigen Zeitpunkt noch keine Aussage über die optimalen Platzierungsstandorte der ELJ-Strukturen gemacht werden (vgl. Abbildung 33).

Neben den aufgeführten baulichen Massnahmen wird der der eigendynamischen Aufweitungsprozess im Projektperimeter zu Beginn primär durch die alternierenden Kiesbänke definiert. Die induzierten Querströmungen bei kleinen bis mittleren Abflüssen führt zu einer hohen Beanspruchung der Böschungen. Infolge fehlendem Erosionsschutz wird die Böschungserosion stark begünstigt. Mit fortschreitender Aufweitung reduziert sich dieser Effekt.

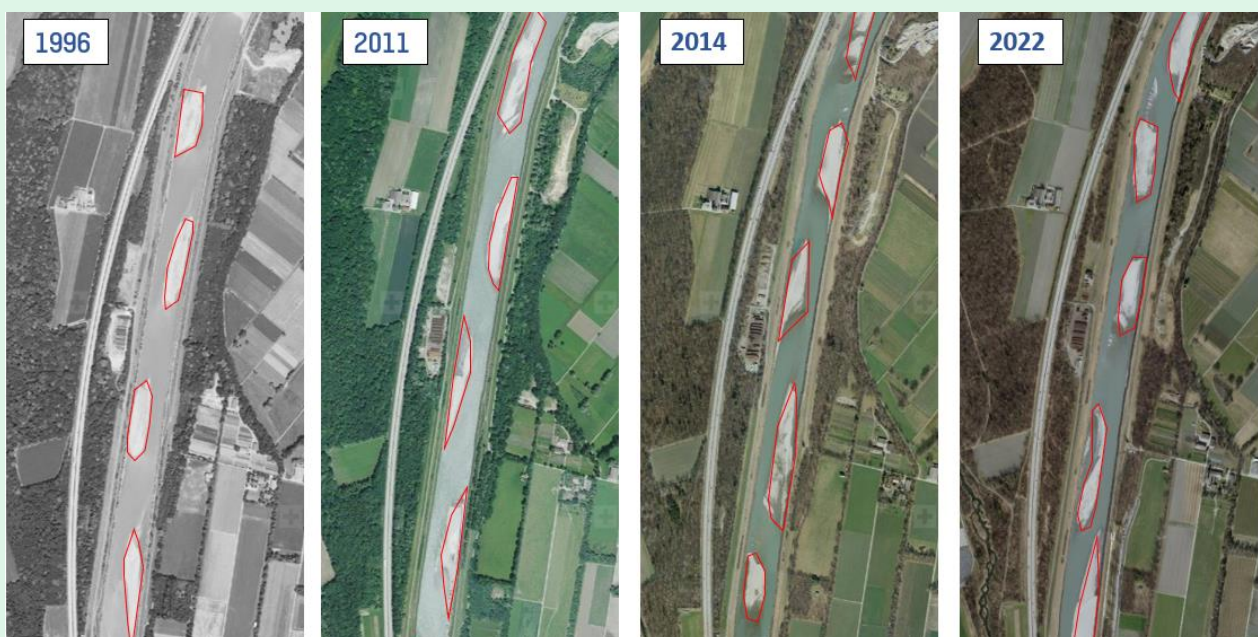


Abbildung 33: Entwicklung der alternierenden Kiesbänke beim Alpenrhein.

Exkurs - Aufweitung Alpenrhein Maienfeld - Bad Ragaz:

In Maienfeld und Bad Ragaz ist eine weitere Aufweitung am Alpenrhein geplant. Gleich wie im vorliegenden Projekt würden sich enorme Aushubvolumina bei einer komplett maschinellen Gestaltung ergeben. Während der Planungsphase für die Aufweitung in Maienfeld - Bad Ragaz wurde deshalb intensiv untersucht, wie der zu erstellende Projektzustand nach Bauabschluss gestaltet werden muss, damit sich ein eigendynamischer Materialabtrag sowie Entwicklungsprozess der Aufweitungsfäche einstellen kann:

- *Etwa 70 % wird mechanisch ausgehoben. Die restlichen 30 % werden in Form von unberührten Waldinseln im Erosionsbereich des Alpenrheins belassen. Der abzuführende/zu verwertende Kiesüberschuss wird auf 554'000 m³ geschätzt.*
- *Die Schaffung von zusätzlichen Seitengerinnen ist für die Eigendynamik nicht förderlich, da die Schubspannungen in den schmalen Gerinnen nicht ausreichen.*
- *Die Geschwindigkeit der Seitenerosionstiefe wird auf 1.5 - 2.0 m pro Jahr geschätzt*
- *Die Bauphase wird in zwei Etappen durchgeführt (1. Etappe ca. 5 Jahre, 2. Etappe ca. 2 Jahre). Zwischen den Bauetappen wird eine maximal 5 Jahre dauernde Beobachtungspause eingelegt. Die anschliessende Entwicklungszeit bis zum Erreichen des Endzustandes wird auf 20 - 30 Jahre geschätzt.*
- *Der regionale Markt kann etwa 60'000 m³ Kies pro Jahr aufnehmen ohne einen Preiszerfall zu generieren. Dies Rahmenbedingung diktiert die Dauer der Bauzeit.*
- *Bis zum Erreichen des Endzustandes wird davon ausgegangen, dass rund 16'500 m³ kiesiges Material pro Jahr infolge der eigendynamischen Entwicklung abgeschwemmt werden.*

*Die Erkenntnisse von der Aufweitung in Maienfeld-Bad Ragaz können **nicht** 1:1 auf das vorliegende Projekt übertragen werden, es liegen gewichtige Unterschiede in den vorhandenen Rahmenbedingungen vor:*

- *Die Aufweitung in Maienfeld - Bad Ragaz liegt in einem Erosionsabschnitt (Geschiebedefizit) mit einem Längsgefälle von rund 2.8 ‰. Die Aufweitung in Schaan, Buchs & Eschen liegt in einer Auflandungszone (kein Geschiebedefizit) mit einem Längsgefälle von rund 1.8 ‰.*
- *Das kiesige Material (Rheinschotter) in Maienfeld - Bad Ragaz ist gröber ($d_m \approx 5 \text{ cm}$, $d_{90} \approx 30 \text{ cm}$) als im vorliegenden Projektperimeter ($d_m \approx 4 \text{ cm}$, $d_{90} \approx 8 \text{ cm}$).*
- *Im vorliegenden Projektperimeter sind die Schichten der feinkörnigen Überschwemmungsablagerungen deutlich mächtiger. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein reichen diese abschnittsweise bis unter die heutige Sohlenlage.*

Auf der aktuellen Planungsstufe kann folglich festgehalten werden, dass die Voraussetzungen für einen eigendynamischen Materialabtrag im vorliegenden Projekt tendenziell deutlich besser sind als bei der Aufweitung in Maienfeld-Bad Ragaz

8.4 Wasserhaltung

Für einen Grossteil der Massnahmen ist keine Wasserhaltung erforderlich, da die neuen Dämme hinter den bestehenden Hochwasserschutzdämmen geschüttet werden können. Wasserhaltungen werden für die Erstellung der Ufersicherungen (Blockwürfe) bei den Anschlussbereichen an die bestehenden Dämme sowie für die Erstellung der ELJ-Strukturen im bestehenden Gerinnbereich erforderlich sein. Diese Wasserhaltungen können mit geschütteten Baupisten aus dem vorhandenen Sohlen- und Dammmaterial erstellt werden. Diese baulichen Massnahmen werden im Winterhalbjahr bei Niedrigwasserverhältnissen und ausserhalb der Hochwassersaison realisiert.

9 Materialbilanz und Materialbewirtschaftungskonzept

Für die Materialbilanzierung wird eine getrennte Betrachtung für das Fürstentum Liechtenstein und die Schweiz gefordert (vgl. Kapitel 8). Für den Bau der Aufweitungsfäche innerhalb der neuen Hochwasserschutzdämme wird eine Kombinationslösung aus maschinell sowie eigendynamischem Abtrag berücksichtigt (vgl. Kapitel 8.3).

Für die Bilanzierung werden folgende Schüttmaterialarten und Verwertungsgrundsätze berücksichtigt:

- Feinkörniges Material des bestehenden Deponiedamms auf Seite Fürstentum Liechtenstein:
Ein Teil des Materials wird für den Bau des neuen Hochwasserschutzdamms auf Seite Fürstentum Liechtenstein verwendet. Das restliche Material muss in andere Deponien entsorgt werden (es handelt sich um anthropogenes Material, welches bereits auf einer Deponie gelagert ist). Dabei wird das Material vor Ort triagiert und beprobt (und ggf. aufbereitet), damit nur verschmutztes Material in die Deponien gelangt.
- Feinkörnige Überschwemmungsablagerungen
Die feinkörnigen Deckschichten werden für die Auffüllung bei den neu fundierten Böschungssicherungen verwendet. Auf Schweizer Seite wird zudem ein Teil für den Bau des neuen Hochwasserschutzdamms wiederverwendet. Der Überschuss wird sowohl auf Seite Fürstentum Liechtenstein als auch auf Schweizer Seite komplett durch den Rhein abtransportiert.
- Kiesiges Material der bestehenden Hochwasserschutzdämme
Das Material wird aufbereitet und in die Bauwirtschaft abgegeben.
- Rheinschotter
Ein Teil des ausgehobenen Rheinschotters kann für den Bau der neuen Hochwasserschutzdämme verwendet werden. Das restliche Material wird entweder in die Bauwirtschaft abgegeben oder durch den Rhein abtransportiert.

Zudem werden folgende Materialien für den Böschungsverbau/Erosionsschutz ausgewiesen:

- Blockwurf bis auf Höhe des Wuhwegs
- Schroppenlage zwischen Wuhweg und Dammkrone
- Bentonitmatten

Die übergeordnete Materialbilanzierung für die gesamte Aufweitung ist in Abbildung 34 ersichtlich. Die Materialbilanzierung auf Seite Fürstentum Liechtenstein sowie auf Schweizer Seite wird in den folgenden Unterkapiteln ausgewiesen.

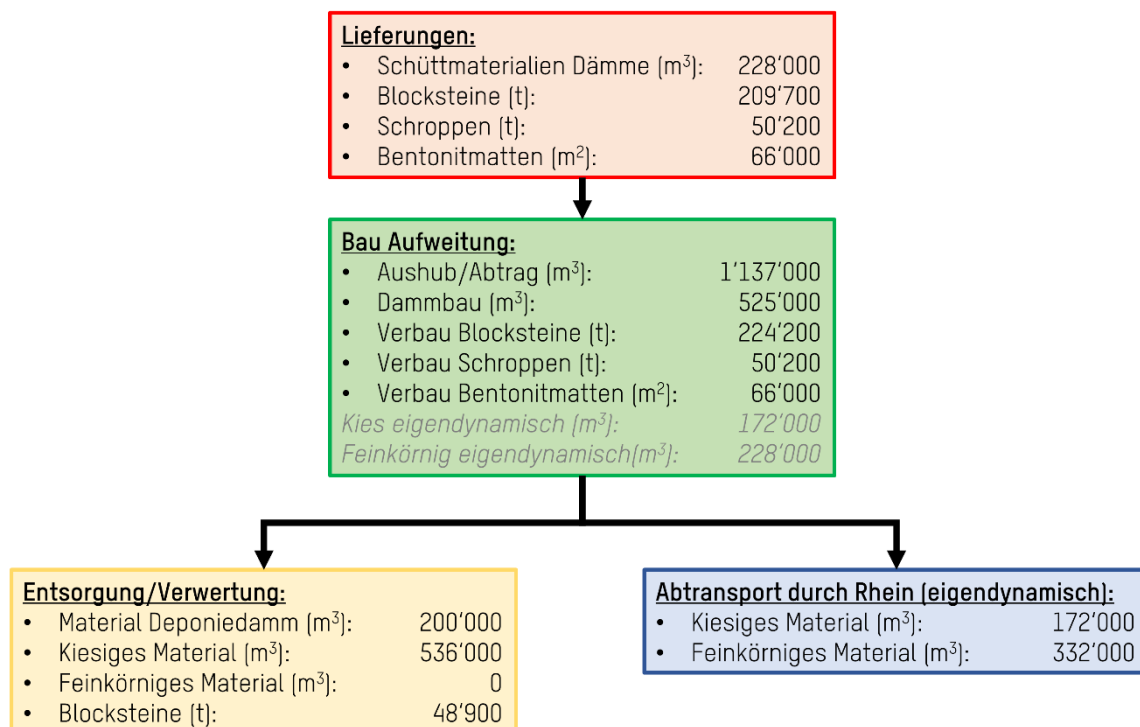


Abbildung 34: Übergeordnete Materialbilanzierung für die gesamte Aufweitung.

9.1.1 Seite Fürstentum Liechtenstein

Zu der in Abbildung 35 gezeigten Materialbilanzierung auf Seite Fürstentum Liechtenstein gibt es folgende Anmerkungen:

- Die getrennte Betrachtung zwischen den beiden Uferseiten führt dazu, dass auf Seite Fürstentum Liechtenstein ein grosser Materialüberschuss entsteht, welcher abgeführt werden muss.
- Es wird davon ausgegangen, dass das kiesige Material für die Überschüttung bei den Bentonitmatten im Bereich des Deponiedamms geliefert werden muss, da bei den Aushubarbeiten praktisch kein kiesiges Material anfällt (vgl. Kapitel 8). Auf Stufe Bauprojekt kann geprüft werden, ob das kiesige Material durch einen Teilabtrag des bestehenden Hochwasserschutzdammes gewonnen werden kann (Dabei gilt es, das akzeptierten Hochwasserrisiko während der Bauphase festzulegen). Ansonsten kann der neue Hochwasserschutzdamm auf Seite Fürstentum Liechtenstein mit vorhandenen Materialien aus Abtrag/Aushub erstellt werden.
- Die Fundation des bestehenden Blocksatzes ist unbekannt, die Abschätzung (ungefähr heutige Sohlenlage) ist mit Unsicherheiten behaftet
- Auf der aktuellen Planungsstufe wird angenommen, dass sämtliches Material für die Schroppenlage zwischen Wuhrweg und Dammstrasse geliefert wird und die bestehende Pflasterungsschicht nicht wiederverwendet werden kann.

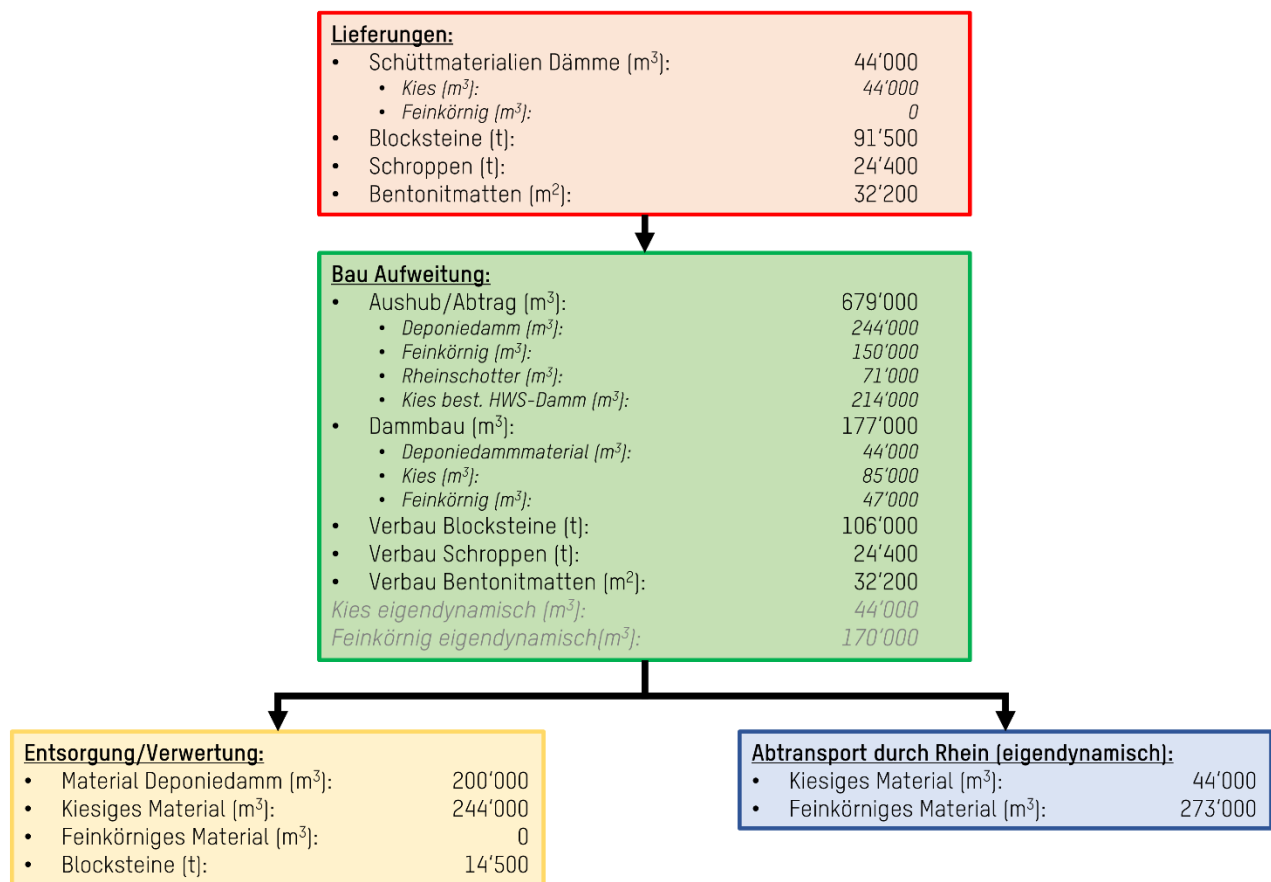


Abbildung 35: Materialbilanzierung Seite Fürstentum Liechtenstein.

9.1.2 Seite Schweiz

Zu der in Abbildung 36 gezeigten Materialbilanzierung auf Seite Schweiz gibt es folgende Anmerkungen:

- Die getrennte Betrachtung zwischen den beiden Uferseiten führt dazu, dass auf Schweizer Seite ein beträchtlicher Teil des Schüttmaterials für den neuen Hochwasserschutzdammes geliefert werden muss.
- Unter der Voraussetzung, dass die Hochwassersicherheit jederzeit gewährleistet ist, kann nicht ausreichend Material ausgehoben/abgetragen werden (vgl. Kapitel 8).
- Nach dem Bau des neuen Hochwasserschutzdammes mit entsprechendem Uferschutz muss der bestehende Damm abgetragen werden, was zu einem grossen Kiesvolumen führt, welches verwertet/verkauft wird.
- Die Fundation des bestehenden Blocksatzes ist unbekannt, die Abschätzung (ungefähr heutige Sohlenlage) ist mit Unsicherheiten behaftet
- Auf der aktuellen Planungsstufe wird angenommen, dass sämtliches Material für die Schroppenlage zwischen Wuhrweg und Dammstrasse geliefert wird und die bestehende Pflasterungsschicht nicht wiederverwendet werden kann.

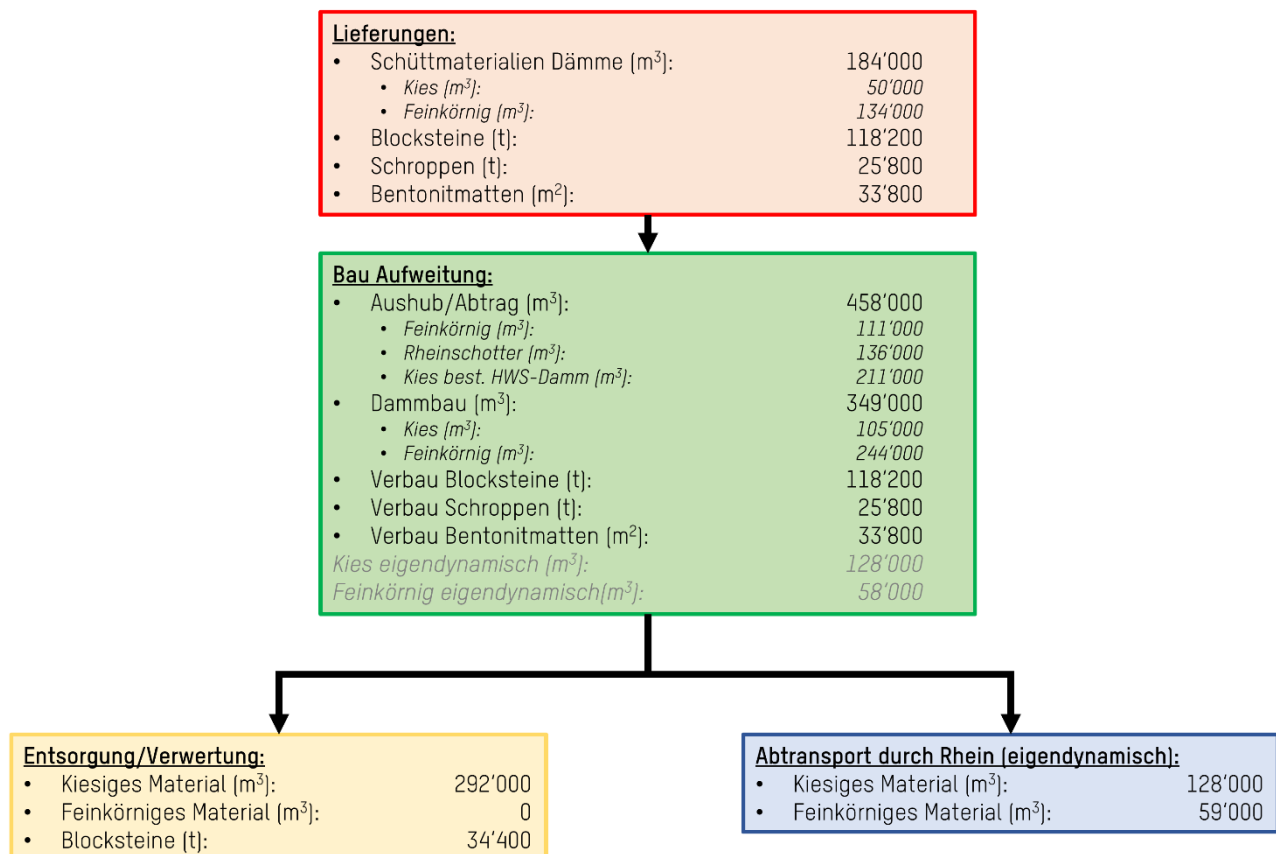


Abbildung 36: Materialbilanzierung Seite Schweiz.

10 Kostenschätzung / Kostenreview

Im Rahmen der Vorprojekterarbeitung wurde vom Projektverfasser Emch + Berger AG Bern eine Kostenschätzung [41] unter konservativen Annahmen erarbeitet, um auf der aktuellen Planungsstufe eine möglichst hohe Kostensicherheit auszuweisen (vgl. Kapitel 4.2.3). Die resultierenden Baukosten wurden, im Vergleich mit ähnlichen Kostenschätzungen wie beispielweise denjenigen der Aufweitung Maiefeld – Bad Ragaz (Stufe Bauprojekt), von der Bauherrschaft als sehr hoch beurteilt.

In Folge wurde die IM Maggia Engineering AG von der Bauherrschaft für ein Review der Massenberechnungen und Kostenannahmen des Vorprojekts beauftragt [42]. Für die weitere Projektierung wird die Kostenschätzung aus dem Review [42] verwendet und daher im vorliegenden Bericht aufgeführt (vgl. Tabelle 16). Der Kostenreview geht analog zur ursprünglichen Kostenschätzung von einer getrennten Realisierung auf Seite Fürstentum Liechtenstein und Schweiz (vgl. Kapitel 8) aus. Entsprechend wurde kein Materialaustausch zwischen den beiden Uferseiten berücksichtigt.

Tabelle 16: Kostenschätzung +/- 20 % aus dem Kostenreview der IM Maggia Engineering AG [42].

| Zusammenfassung Kosten Aufweitung Alpenrhein "Schaan, Buchs & Eschen" | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| VARIANTE: ZEITLICH GETRENNTE AUSFÜHRUNGEN | | | | |
| Genauigkeit +/- 20% | | Kosten IM | | |
| | | CH [CHF] | FL [CHF] | Gesamt [CHF] |
| A BAUKOSTEN | | 43'077'753 | 30'280'981 | 73'358'734 |
| 1 | Baustelleninstallation, Regien, und Wasserhaltung | 4'900'000 | 3'506'000 | 8'406'000 |
| 2 | Rodungsarbeiten | 524'096 | 517'100 | 1'041'196 |
| 3 | Abbrüche | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Wasserbau/Dammbau | 25'028'579 | 21'547'711 | 46'576'290 |
| 5 | Wege/Strassen | 1'625'770 | 1'034'160 | 2'659'930 |
| 6 | Werkleitungen | 4'336'000 | 160'000 | 4'496'000 |
| 7 | Zusätzliche Kosten aus Sicht IM | 6'663'308 | 3'516'010 | 10'179'318 |
| B PROJEKT- UND BAULEITUNG, VERMESSUNGEN | | 8'286'000 | 5'856'000 | 14'142'000 |
| C VERSCHIEDENES | | 630'000 | 630'000 | 1'260'000 |
| D RISIKOKOSTEN | | 1'768'000 | 1'792'000 | 3'560'000 |
| TOTAL PROJEKT exkl. MwSt | | 53'762'000 | 38'559'000 | 92'321'000 |
| 8.1% | 11 MwSt. 8.1% | 4'355'000 | 3'123'000 | 7'478'000 |
| TOTAL PROJEKT inkl. MwSt | | 58'120'000 | 41'680'000 | 99'800'000 |

11 Projektauswirkungen

11.1 Gewässer und Morphologie

Mit der Aufweitung kann dem Alpenrhein eine zusätzliche Sohlenfläche von knapp 144'000 m² zur Verfügung gestellt werden (FL: 72'700 m², CH: 71'300m²). Dies bedeutet eine Zunahme von 86 % im Vergleich zur heutigen Sohlenfläche innerhalb des Projektperimeters (IST-Zustand: 167'400 m²). Abbildung 37 zeigt, die neuen Sohlenbreiten im Projektperimeter im Vergleich zum IST-Zustand.

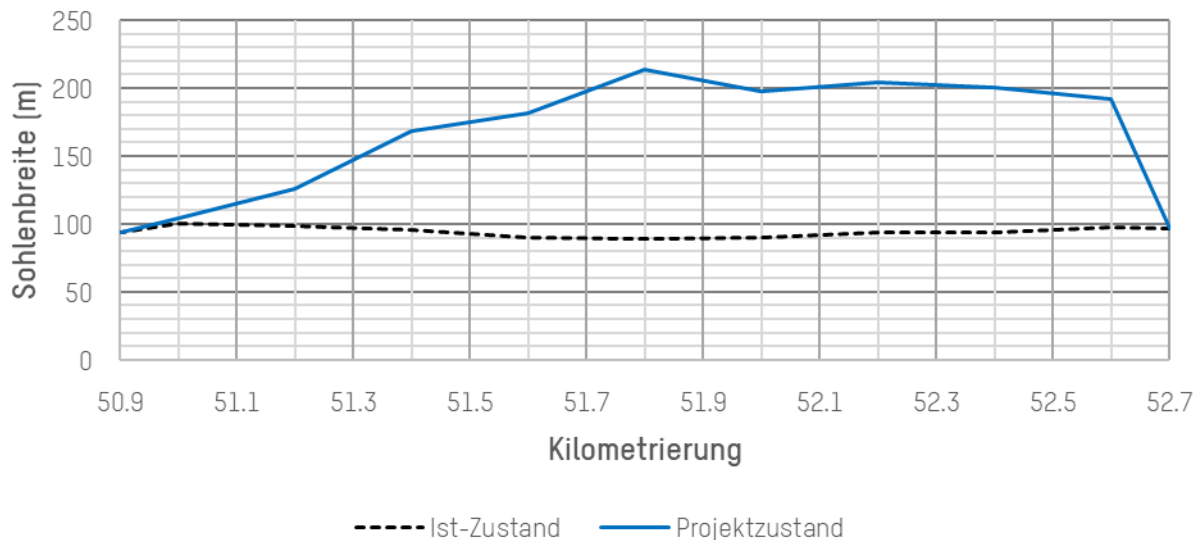


Abbildung 37: Vergleich Sohlenbreiten, Ist-Zustand und vorliegendes Vorprojekt.

Detaillierte Angaben zu den durchgeführten morphologischen und hydraulischen Modellierungen finden sich in der Berichtbeilage 72.

Die durchgeführten morphologischen Simulationen (vgl. Berichtbeilage 72) zeigen, dass im Bereich der Aufweitung mit **Auflandungen** von bis zu **1.8 m** gerechnet werden muss. Die Modellierung deckt einen Zeitraum von 129 Jahren ab (die vorhandene 43-jährige Abflussganglinie wurde drei Mal aneinandergereiht) und es wurde **keine** Geschiebemanagement berücksichtigt (mit Ausnahme der aktuell konzessionierten Entnahmemengen). Durch die Auflandungen innerhalb der Aufweitung kann der anhaltende Auflandungstrend unterhalb der Aufweitung bis zur Illmündung verlangsamt werden.

Im Bereich der Aufweitung wurde infolge möglicher Auenwaldentwicklung ab einer Sohlenbreite von 170 m mit einem erhöhten Rauigkeitsbeiwert infolge Vegetation gerechnet. Innerhalb der Aufweitung ist im Hochwasserfall aufgrund des grösseren Abflussquerschnittes trotzdem mit tieferen Wasserspiegellagen zu rechnen. Die ELJ-Strukturen wurden auf der aktuellen Planungsstufe nicht im hydraulischen Modell berücksichtigt. Die Beeinflussung auf die Wasserspiegellage wurde mit Hilfe einer einfachen Abflussquerschnittsbetrachtung abgeschätzt. Es ist davon auszugehen, dass die Strukturen lokal zu einer Wasserspiegelerhöhung von 15 – 20 cm führen (ab dem HQ₅₀ werden die Strukturen überströmt und die Wasserspiegelerhöhungen nehmen bei selteneren Hochwasser tendenziell wieder ab).

Aufgrund der Sohlenanhebung innerhalb der Aufweitung treten Oberstrom des Projektperimeters höhere Wasserspiegellagen auf (bis ca. km 45). Die verbleibenden Freibordhöhen betragen jedoch selbst beim EQ_A nach wie vor durchgehend über 2 m und die Hochwasserschutzziele für den Prozess Überflutung bleiben erfüllt (vgl. Anhang F).

Die zu erwartenden hydraulischen und morphologischen Veränderungen, die aus der Aufweitung resultieren sind in Abbildung 38 dargestellt. Dargestellt sind die Differenzen der Sohlenlage und der Hochwasserspiegel des Projektzustands in 129 Jahren und des IST- Zustands heute.

Im Rahmen der durchgeführten Modellierungen (vgl. Berichtbeilage 72) wurden auch die Entwicklung der Sohlenlage bei einer Erweiterung der Aufweitung in Richtung Norden (bis km 54.2) und Süden (bis km 50.2) untersucht (vgl. Kapitel 11.10). Mit den Erweiterungen muss im Aufweitungsperimeter mit Auflandungen von bis zu 2.7 m gerechnet werden.

Hydraulische Modellierungen für die Erweiterungen Nord und Süd wurden nicht durchgeführt. Unter der konservativen Annahme von gleichbleibenden Abflusstiefen wie bei der geplanten Aufweitung, wurde abgeschätzt, ob die heutigen Dammhöhen die Schutzanforderungen für den Prozess Überflutung noch erfüllen (vgl. Anhang F). Aufgrund der deutlichen Sohlenanhebung innerhalb der Aufweitung reichen auch die höheren Wasserspiegellagen weiter ins Oberwasser (bis ca. km 42). Die verbleibenden Freibordhöhen betragen jedoch beim EHQA nach wie vor durchgehend über 1.4 m und die Hochwasserschutzziele für den Prozess Überflutung bleiben erfüllt.

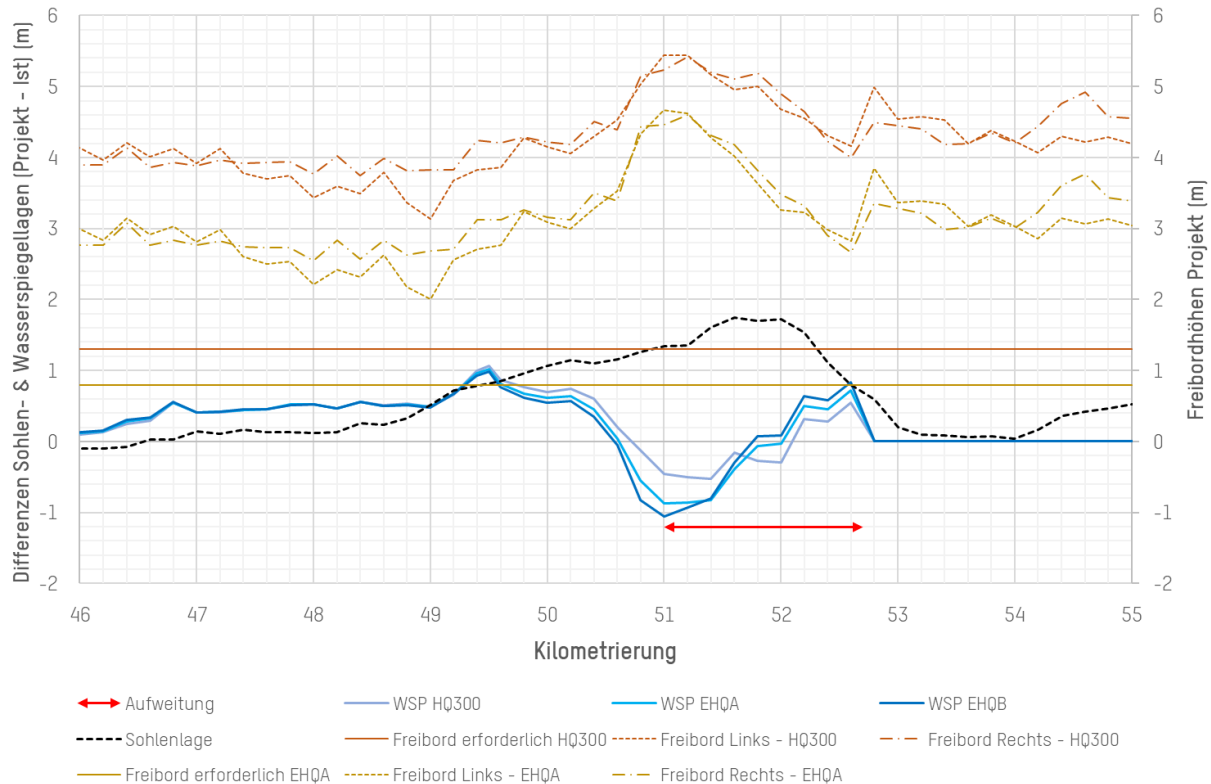


Abbildung 38: Sohlen- und Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem Projektzustand in 129 Jahren und dem Ist-Zustand heute, sowie erforderliche und vorhandene Freibordhöhen beim HQ₃₀₀ und beim EHQA im Projektzustand für beide Uferseiten.

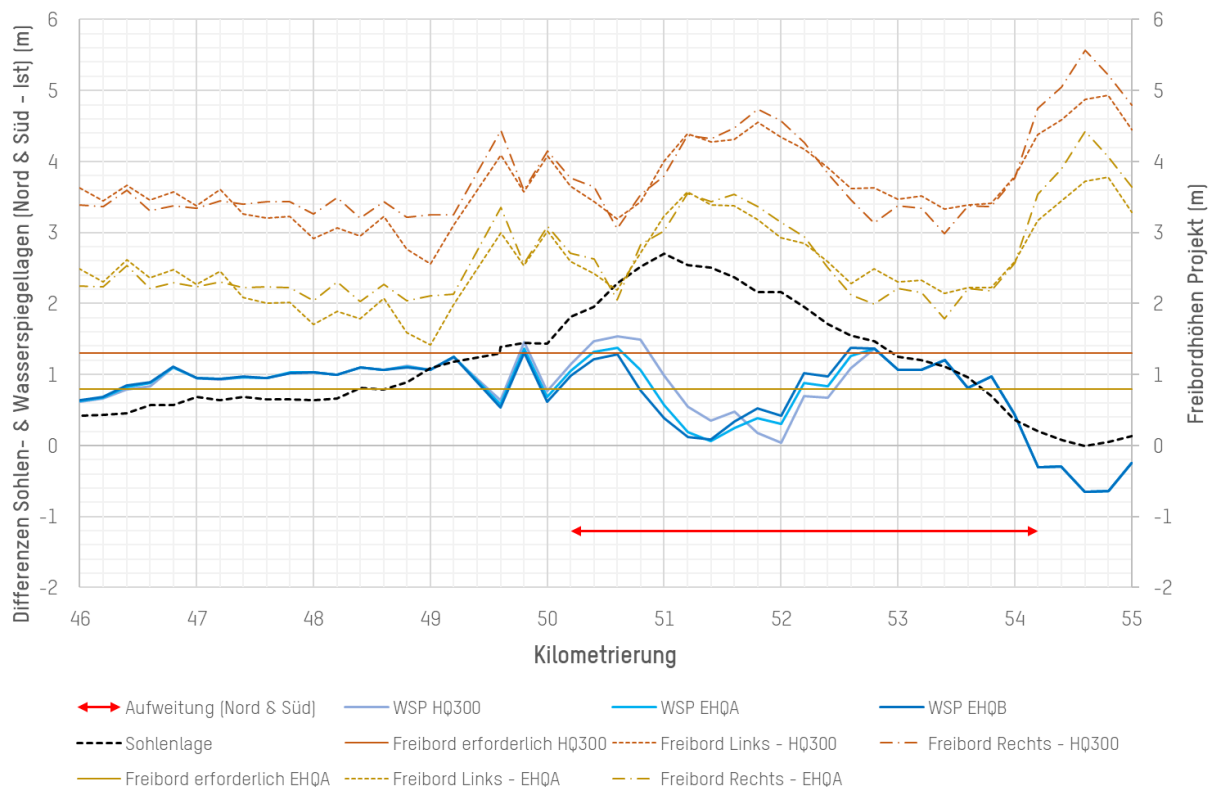


Abbildung 39: Sohlen- und Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem Projektzustand mit Erweiterungen Nord & Süd in 129 Jahren und dem Ist-Zustand heute, sowie erforderliche und vorhandene Freibordhöhen beim HQ300 und beim EHQA im erweiterten Projektzustand für beide Uferseiten.

Die Einordnung der projektierten Aufweitung im Yalin-Diagramm (vgl. Abbildung 40) zeigt, dass die Morphologieprognose deutlich im Bereich der verzweigten Gerinne liegt. Die Tatsache, dass der Alpenrhein ab ca. km 47 eine Auflandungstendenz aufweist (Geschiebefracht ist grösser als die Geschiebetransportkapazität) unterstützt die Ausbildung eines verzweigten Gerinnes noch zusätzlich.

Eine Prognose der morphologischen Entwicklung wurde bereits in [16] durchgeführt. Bei dieser Prognose wurde der Abfluss beim Geschiebetransportbeginn als charakteristischer Abfluss berücksichtigt. Für das vorliegende Projekt wurde eine erneute Abschätzung durchgeführt, wobei ebenfalls die Abflusstiefe bei Transportbeginn¹¹ berücksichtigt wurde. In Abbildung 40 ist neben der Prognose für den Projektzustand, auch der neu berechnete IST-Zustand und der in [16] berechnete IST-Zustand dargestellt. In der Berechnung in [16] wurde für den IST-Zustand ein Sohlengefälle von 1.5 ‰ verwendet, was dem mittleren Gefälle zwischen der Blockrampe Buchs und der Illmündung entspricht. In der aktualisierten Berechnung wurde mit dem mittleren Gefälle des Perimeters von 1.8 ‰ gerechnet (vgl. Kapitel 3.2.5), wodurch es zu einer leichten Differenz der beiden Prognosen kommt.

Für den Projektzustand wurden ebenfalls die mittlere Breite und das mittlere Gefälle verwendet. Beide Werte werden mit der Zeit grösser, da es durch die Aufweitung zu Auflandungen kommt. Es wurden deshalb zwei Berechnungen durchgeführt:

- Prognose direkt nach Realisierung (hellblauer Punkt)
- Prognose Endzustand nach 129 Jahren (dunkelblauer Punkt)

Beide Prognosen liegen im Bereich der verzweigten Gerinne, wobei es über die Zeit zu einer immer deutlicheren Ausprägung kommt (Abbildung 40).

Die Ausbildung eines verzweigten Gerinnes wird zusätzlich von den geplanten ELJ-Strukturen (vgl. Kapitel 7.3) gefördert. Neben diesem morphologischen Zweck helfen die ELJ-Strukturen auch die negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Regimes abzufedern. Die Strukturen induzieren lokale, ausgeprägte Kolke, welche insbesondere in der Sunk-Phase als wertvolle Rückzugshabitate für die Fischfauna dienen.

¹¹ Der Abfluss bei Transportbeginn ist kein konstanter Wert, da er u.a. von der Breite und dem Gefälle abhängig ist.

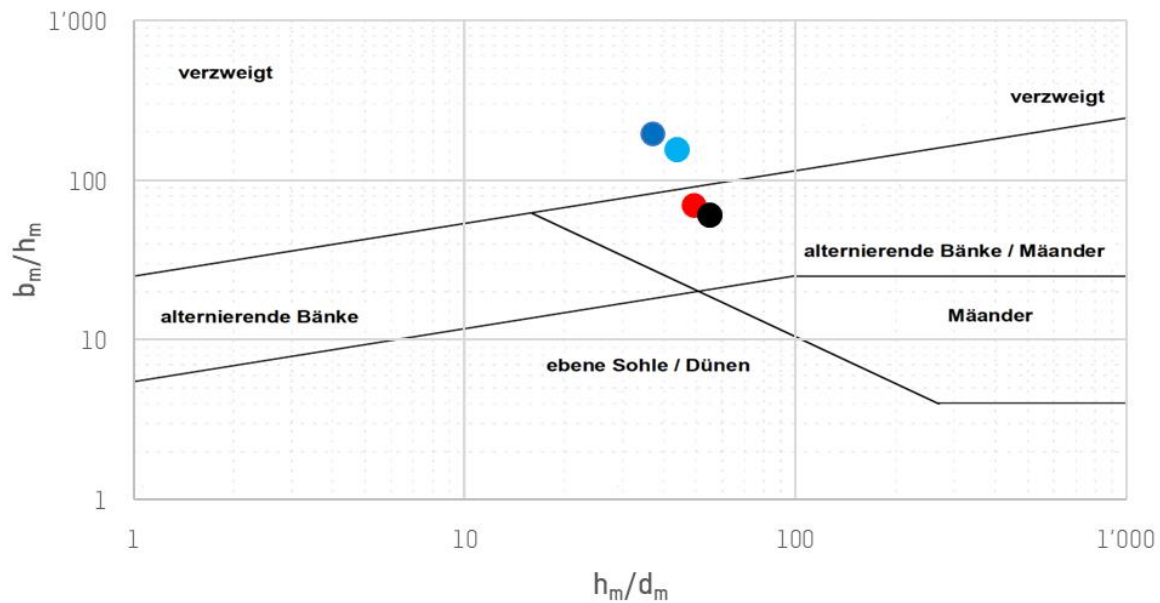


Abbildung 40: Prognostizierte Flussmorphologie bei Transportbeginn dargestellt im nach Zarn modifizierten Yalin-Diagramm [11]. Schwarzer Punkt = IST-Zustand aus [16], Roter Punkt = neu berechneter Ist-Zustand, Hellblauer Punkt = Projekt-Zustand direkt nach Realisierung, Dunkelblauer Punkt = Endzustand nach 129 Jahren.

11.2 Überlastfall

Gemäss den Grundsätzen zur Systemsicherheit Hochwasserschutz Alpenrhein [18][19] liegt der Projektperimeter in einem Abschnitt, wo der Überlastfall mittels robusten Ableitens im Gerinne bewältigt werden soll.

Diese Vorgabe wird mit der aktuell geplanten Aufweitung gemäss Ausführungen in Kapitel 11.1 weiterhin erfüllt.

11.3 Natur, Umwelt und Ökologie

Im Rahmen von Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekten muss den ökologischen Anforderungen gemäss verschiedenen Gesetzgebungen Rechnung getragen werden. Es sind dies:

- Art. 37 Abs. 2 GSchG bzw. Art. 4 Abs. 2 WBG (Schweiz)
- Art. 31 und 34 GSchG (Fürstentum Liechtenstein)
- Art. 41a-r GSchG (EU Wasserrahmenrichtlinie, welche das Fürstentum Liechtenstein als Mitglied des EWR im Jahre 2007 übernommen und 2011 in nationales Recht umgesetzt hat)

Den Anforderungen aus den genannten Gesetzgebungen muss auch in der weiteren Planung – unter Berücksichtigung des strategischen Entwicklungskonzeptes [15] sowie der Systemsicherheit bezüglich Hochwasserschutz [18][19][20] – Rechnung getragen werden.

11.3.1 Lebensraumbilanzierung

Die Lebensraumbilanzierung für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume wurde mit der BESB+ -Methode von Hintermann und Weber (2017) durchgeführt (8). Für die Erhebung des Ist-Zustands wurde in einem ersten Schritt eine Luftbildinterpretation durchgeführt. Dies anhand von aktuellen Luft- und Infrarotbildern von Swisstopo. Anschließend wurden diese Flächen anhand der Lebensraumklassifizierung gemäss (7) im Feld angesprochen und nach der BESB+ -Methode nach (8) verifiziert. Eine Übersicht über die vorgefundenen Lebensraumtypen findet sich in Kapitel 3.4.5. In dieser Tabelle sind auch die verwendeten Codes der Lebensräume zu entnehmen. Die Bewertung der Lebensräume erfolgt nach den vier Kriterien:

- K1 Entwicklungszeit bzw. Regenerationsdauer
- K2 Seltenheit des Lebensraumtyps
- K3 Bedeutung für die Biodiversität
- K4 Besonderheiten der Ausprägung eines Lebensraums

In der Bilanzierung ist die Quantität der Flächen ersichtlich. Gestützt auf die BESB+ -Methode nach (8) werden anhand der Qualität pro Einheit Punkte vergeben. Die Bilanzierung zwischen Ausgangs- und Endzustand ist in Abbildung 41 und Tabelle 17 ersichtlich. Die Überflutungsflächen im Endzustand wurden für die Bewertung prozentual in ein Mosaik von unterschiedlichen Auenlebensräumen eingeteilt. Die detaillierte Analyse für den Ausgangs- sowie den Endzustand finden sich im Anhang E. Die Bewertung zeigt, dass die geplante Aufweitung zu einer Aufwertung der Lebensräume führt. Die Bewertung des Endzustandes liegt punktemässig knapp **17 %** über derjenigen des Ausgangszustandes. Grund für die auf den ersten Blick eher geringe Verbesserung liegt darin, dass sich die Aufweitung bereits zu einem grossen Teil innerhalb wertvoller Lebensräume bewegt. Die massgebende Verbesserung beinhaltet die Schaffung eines eigendynamischen, vielfältigen Lebensraums, in welchem sich eine autotypische Vegetation ausbilden kann. Solche Lebensräume fehlen bisher unterhalb der Ellhornschwelle und sind daher als Mangelbiotop besonders wertvoll. Gleichzeitig soll die Aufweitung auch als Erholungsraum für die Menschen dienen.

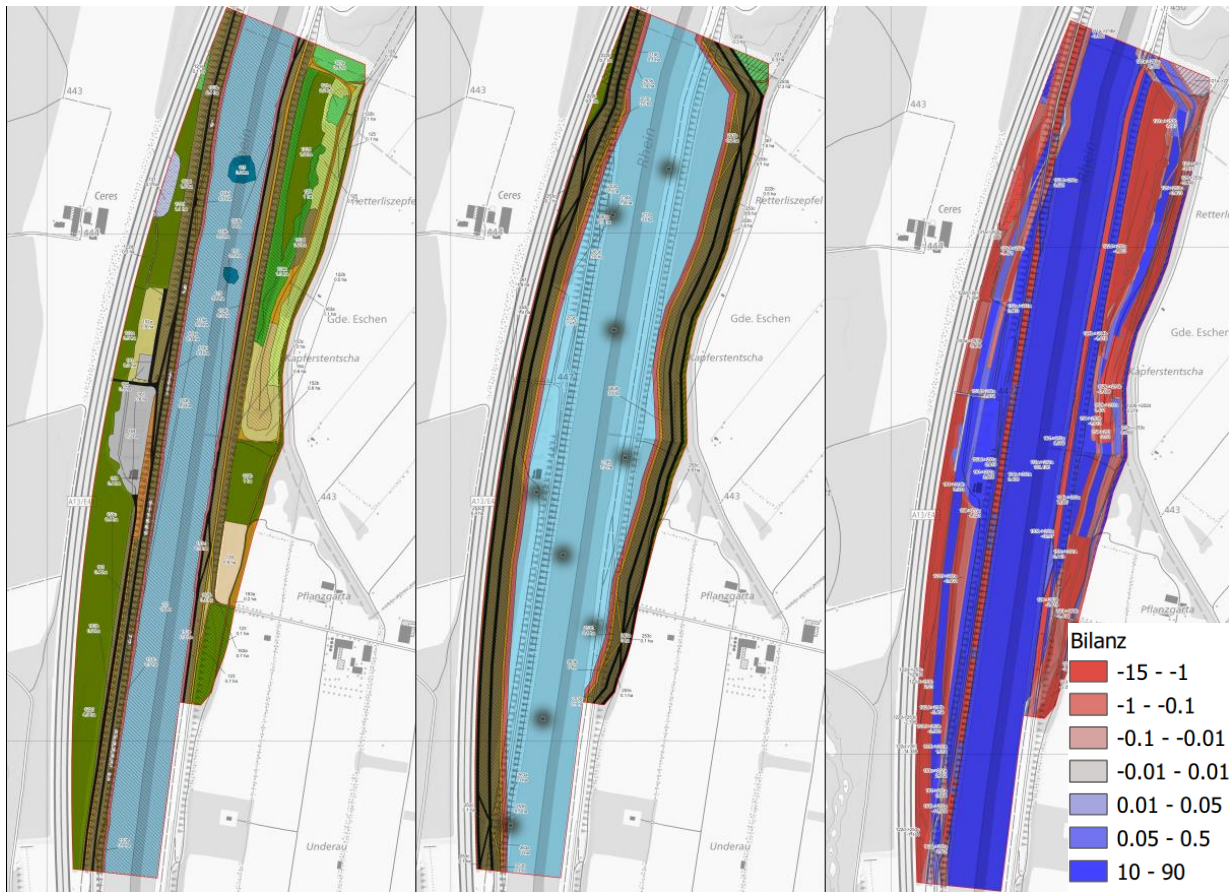


Abbildung 41: Lebensraumklassierung Ausgangszustandes (links), Lebensraumklassierung Endzustandes (Mitte), Bilanzierung zwischen Ausgangs- und Endzustand (rechts).

Tabelle 17: Lebensraumbilanzierung Ist-Zustand gemäss BESB+ -Methode.

| Ausgangszustand | | | | Endzustand | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------|--------|------------|--------------------------------------|-------------|--------|-----------|
| Typ | Biotoptyp Name | Fläche [ha] | Punkte | Typ | Biotoptyp Name | Fläche [ha] | Punkte | Differenz |
| 111a | Rhein | 17.00 | 119.03 | 211a | Überflutungsfläche | 30.98 | 439.67 | 321 |
| 114a | Blocksatz/ Blockbuhne mit Vegetatio | 0.93 | 5.60 | 214a | Blocksatz/ Blockbuhne mit Vegetation | | | -6 |
| 114b | Blocksatz/ Blockbuhne | 0.60 | 1.20 | 214b | Blocksatz/ Blockbuhne | 2.68 | 5.37 | 4 |
| 115 | Sand-/Kiesufer | 0.31 | 2.19 | | | | | -2 |
| 121a | Forstpflanzungen artenarm | 0.65 | 1.31 | 221 | Forstpflanzungen artenarm | 0.25 | 0.50 | -1 |
| 122a | Hartholz-Auenwald jung | 0.52 | 4.13 | | | | | -4 |
| 122b | Hartholz-Auenwald artenreich jung | 1.60 | 16.00 | | | | | -16 |
| 122d | Hartholz-Auenwald artenreich alt | 7.48 | 119.73 | 222d | Hartholz-Auenwald artenreich alt | 0.82 | 12.61 | -107 |
| 123 | Lindenmischwald | 0.84 | 21.88 | | | | | -22 |
| 124a | Weichholz-Auenwald | 1.32 | 26.44 | | | | | -26 |
| 124b | Weichholz-Auenwald artenreich | 0.26 | 4.17 | | | | | -4 |
| 125 | Grauerlen-Auenwald | 1.70 | 23.80 | | | | | -24 |
| 128 | Eichen-Hainbuchenwald | 0.64 | 18.05 | | | | | -18 |
| 131a | Stillwasser-Röhricht | 0.31 | 3.66 | | | | | -4 |
| 152a | Kunstwiese | 0.61 | 2.44 | | | | | -2 |
| 152b | Knautgraswiese | 0.64 | 2.57 | | | | | -3 |
| 153b | Mitteuropäischer Halbtrockenrasen | 3.09 | 74.25 | 253b | Mitteuropäischer Halbtrockenrasen | 5.00 | 90.00 | 16 |
| 153c | Arrhenateretum | 2.42 | 19.37 | 253c | Arrhenateretum | 5.32 | 34.02 | 15 |
| 153d | Arrhenateretum mit Rhinanthus | 1.97 | 15.74 | | | | | -16 |
| 154 | Dauco melilotion | 0.61 | 12.71 | | | | | -13 |
| 157a | Mesophiles Gebüsch | 0.18 | 1.26 | | | | | -1 |
| 158 | Wiese mit Brombeer | 0.35 | 0.71 | | | | | -1 |
| 161 | Asphalt-, Betonstrasse oder Platz | 1.89 | 0.00 | 261 | Asphalt-, Betonstrasse oder Platz | 3.33 | 0.00 | 0 |
| 163a | Weg/Platz aus Mergel, Kies | 2.44 | 9.77 | 263a | Weg/Platz aus Mergel, Kies | 0.20 | 0.80 | -9 |
| 163b | Weg/Platz aus Mergel, Kies mit Veg | 0.20 | 1.20 | 263b | Weg/Platz aus Mergel, Kies mit Veg | 1.51 | 9.06 | 8 |
| 164 | Weitere Bauten/ Privatareale | 1.41 | 0.00 | | | | | |
| | | 49.99 | 507.20 | | | 50.09 | 592.03 | 85 |

11.3.2 Inventare und Schutzgebiete

Tabelle 18: Auswirkungen auf Inventare und Schutzgebiete Seite Schweiz.

| Inventar | Betroffene Fläche (m ²) | Ersatz |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nationales Amphibienlaichgebiet A | 6'000 | Wurde im Rahmen der Lebensraumbilanzierung berücksichtigt. Ob ein Ersatz gefordert ist, wird mit der KARCH abgeklärt |
| Nationales Amphibienlaichgebiet B | 33'800 | Wurde im Rahmen der Lebensraumbilanzierung berücksichtigt. Ob ein Ersatz gefordert ist, wird mit der KARCH abgeklärt |
| Kantonales Schongebiet - Lebensräume bedrohter Arten | 260'740 | Mit dem vorliegenden Projekt kann das Schongebiet aufgewertet werden. |
| Nationale Trockenwiesen und -weiden Nr. 429 | 19'200 | Die Trockenwiesen und -weiden können gleich wie im heutigen Zustand auf der wasserseitigen Böschung des neuen Hochwasserschutzdammes mit einer Sodenverpflanzung gestaltet werden und sind luftseitig ebenfalls anzustreben ¹² . |
| Nationaler Wildtierkorridor Nr. SG-08 (liegt auch auf Seite FL) | 356'430 | Kein Ersatz erforderlich, der Wildtierkorridor erfüllt seine Funktion auch mit der Aufweitung |

Tabelle 19: Auswirkungen auf Inventare und Schutzgebiete Seite Fürstentum Liechtenstein.

| Inventar | Betroffene Fläche (m ²) | Ersatz |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biotop B1.13 | 98'750 | Das Biotop schützt die Wasserfläche des Alpenrheins, welche mit dem vorliegenden Projekt aufgewertet wird. |
| Magerstandorte | 28'640 | Die Magerstandorte können gleich wie im heutigen Zustand auf den Dammböschungen der neuen Hochwasserschutzdämme gestaltet werden. |
| Sonderwaldfläche Unterau | 17'120 | Im Rahmen der Bilanzierung werden einige Weich- und Hartholzauen entstehen, insbesondere auf Seite Fürstentum Liechtenstein. Neue Flächen können so entstehen. |

¹² Eine luftseitige Ausprägung als Trockenwiesen und -weiden ist in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, würde diese jedoch noch zusätzlich positiv beeinflussen.

11.4 Grundwasser

Im Rahmen der durchgeführten Grundwassermodellierungen wurden vier Szenarien untersucht:

- «Ist-Zustand»: Heutige Situation
- «Entwicklung»: Entwicklung des heutigen Zustandes nach 129 Jahren mit prognostizierten Sohlenveränderungen
- «Bestvariante»: Projektzustand mit prognostizierten Sohlenentwicklung nach 129 Jahren
- «Erweiterung»: Projektzustand mit Erweiterung der Aufweitung im Norden und Süden (vgl. Kapitel 11.10) mit prognostizierten Sohlenentwicklung nach 129 Jahren

Die Auswirkungen auf die Grundwasserstände werden im Detail in der Berichtbeilage 73 erläutert.

Im unmittelbaren Nahbereich (Luftseite Dammfuss) des Projektperimeters ist aufgrund der höheren Sohlenlagen mit Grundwasseranstiegen zu rechnen. Bei den Szenarien «Entwicklung» und «Bestvariante» beträgt dieser rund 0.4 – 0.6 m. Beim Szenario «Erweiterung» wurden Anstiege von 0.6 – 1.0 m modelliert. Bei allen Szenarien sind die Anstiege bei tiefen Grundwasserständen um einiges grösser als bei hohen Grundwasserständen.

Grossräumig betrachtet führen die Szenarien mit den zukünftigen Sohlenveränderungen oberhalb von km 48 zu Absenkungen des Grundwasserspiegels und unterhalb von km 48 zu Grundwasseranstiegen. Beim Szenario «Entwicklung» betragen die Absenkung sowie der Anstieg rund 1.0 m. Im Vergleich zum Szenario «Entwicklung» zeigt das Szenario «Bestvariante» geringere Absenkungen sowie Anstiege des Grundwasserspiegels. Das gleiche gilt auch für das Szenario «Erweiterung». Hier sind jedoch die Grundwasseranstiege im unmittelbaren Aufweitungsbereich aufgrund der höheren Sohlenlage deutlich ausgeprägter als beim Szenario «Entwicklung».

Als Grundlage für die weitere Planung wurden im Rahmen der durchgeführten Modellierungen Karten erstellt, welche die Grundwasseranstiege in Bereichen mit geringen Flurabständen aufzeigen (Siedlungsgebiet < 3 m, Landwirtschaftsgebiet < 1 m). Innerhalb dieser Bereiche werden Gebiete mit Grundwasseranstiegen > 0.2 m als «näher abzuklärender Einflussbereich» ausgewiesen.

Die Auswirkungen auf die Grundwasserspiegel hängen stark von der prognostizierten Sohlenentwicklung ab. Diese wiederum werden stark von der Geschiebemanagement des Alpenrheins beeinflusst. Sowohl bei den morphologischen Modellierungen wie auch den Grundwassermodellierungen wurde keine Geschiebemanagement berücksichtigt (mit Ausnahme der aktuell konzessionierten Entnahmemengen).

Demnach zeigen die in den Berichtbeilagen 72 und 73 erläuterten Auswirkungen auf die Sohlenlage und Grundwasserspiegel das obere Limit der Auswirkungen auf, welche mit einer entsprechenden Geschiebemanagement beeinflusst werden können (vgl. Kapitel 11.9).

Ein Grundwasser-Überwachungskonzept ist bereits parallel durch die Bernasconi AG in Erarbeitung, damit die Überwachung im Sinne einer vorsorglichen Beweissicherung gemäss Empfehlung im Technischen Bericht möglichst zeitnah in Betrieb genommen werden kann.

11.5 Wald

Die gesamte Waldfläche im Projektperimeter beträgt rund 6.9 ha auf Seite CH und rund 8.1 ha auf Seite FL (davon 1.71 ha Sonderwaldfläche). Für die Realisierung der Aufweitung sind innerhalb des Projektperimeters permanente Rodungen von rund 14.2 ha erforderlich. Nach Bauabschluss werden ca. 0.3 ha Wald wieder aufgeforstet. Weiter wird davon ausgegangen, dass sich auf ca. 23 % der neuen Überflutungsfläche, also auf rund 7.1 ha neue Auenwälder etablieren werden (vgl. Anhang E). Insgesamt ergibt sich daraus eine Reduktion von rund 6.8 ha Waldfläche (vgl. Tabelle 20).

Es ist davon auszugehen, dass in der nächsten Projektphase (Bauprojekt) eine Gesamtrodnungsbilanz zu erarbeiten ist und darauf basierend sind die erforderlichen Kompensationsmassnahmen zu prüfen.

Das aus den Forstarbeiten gewonnene Holzmaterial kann für die Strukturierung der Ufersicherungen und teilweise für die Erstellung der ELJ-Strukturen verwendet werden.

Tabelle 20: Bilanzierung der Waldflächen basierend auf der Lebensraumbilanzierung in Anhang E.

| | Fläche [ha] |
|------------------------------------------------|-------------|
| Waldfläche IST Seite CH | 6.9 |
| Waldfläche IST Seite FL | 8.1 |
| Gesamtwaldfläche IST | 15 |
| Permanent zu rodende Waldfläche | 14.2 |
| Verbleibende Waldfläche | 0.8 |
| aufgeforstete Waldfläche | 0.3 |
| neu etablierter Auenwald in Überflutungsfläche | 7.1 |
| Gesamtwaldfläche SOLL | 8.2 |
| Differenz | 6.8 |

11.6 Naherholung und Besucherlenkung

Die Aufweitung führt zu einem attraktiveren Flussraum mit bedeutend mehr Erlebnismöglichkeiten. Mit einem Naherholungskonzept können die unterschiedlichen Nutzungsansprüche von Erlebnissräumen und Naturräumen im Gebiet geregelt werden, damit der Flussraum den unterschiedlichen Ansprüchen gerecht wird.

Die grossräumigen Langsamverkehrsverbindungen (vgl. Kapitel 3.5.3) können wie im heutigen Zustand weiterhin auf den Dammwegen geführt werden und gewinnen durch die neuen Naturwerte an Attraktivität.

Für die geplante Aufweitung bei Maienfeld / Bad Ragaz [39] wurde ein ausführliches Besucherlenkungskonzept verfasst, welches als Basis/Inspiration für das vorliegende Projekt verwendet werden kann.

11.7 Landerwerb/temporäre Landbeanspruchung

Die Grundeigentumsverhältnisse wurden in [21] analysiert. Auf schweizerischer Seite ist das Rheinunternehmen bis auf eine Parzelle alleiniger Grundeigentümer. Die Parzelle, auf dem das Retentionsbecken für die Autobahn liegt, befindet sich im Grundeigentum des Bundes. Auch auf Seite Fürstentum Liechtenstein sind alle Grundstücke innerhalb des Projektperimeters in der Hand öffentlicher Körperschaften. Der Flussraum und der Rheindamm sind im gemeinsamen Eigentum des Landes Liechtenstein und der jeweiligen Gemeinde. Auf Gemeindegebiet von Schaan ist die Gemeinde Eigentümerin der an den Rhein anschliessenden Flächen. Des Weiteren ist im Perimeter der geplanten Aufweitung die Bürgergenossenschaft Eschen ein wichtiger Grundeigentümer, in deren Eigentum die Flächen zwischen dem Rheindamm und dem Binnendamm auf dem Gemeindegebiet von Eschen liegen.

Für den Bau der geplanten Aufweitung ist zwar kein Landerwerb von Privaten notwendig. Für die Realisierung des geplanten Vorhabens ist jedoch insbesondere die aktive Zustimmung der Bürgergenossenschaft Eschen erforderlich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass temporäre Landbeanspruchungen während der Bauphase für die Baustelleninstallation und -erschliessung erforderlich sind. Diese müssen im Rahmen der weiteren Planung konkretisiert werden.

11.8 Pflege, Unterhalt und Monitoring

Ein Pflege-, Unterhalt- und Monitoringkonzept wird während der weiteren Projektierung erarbeitet. Regelmässige Aufnahmen während der Entwicklungsphase der Auenlandschaft bilden die Grundlage für eine morphologische Wirkungskontrolle. Eine ökologische Wirkungskontrolle überprüft die Zielerreichung. Unabhängig davon, ob Massnahmen erfolgreich oder weniger erfolgreich sind, liefert die Erfolgskontrolle wichtige Grundlagen für künftige Projekte. Insbesondere die Auswirkungen auf Lebensräume, Flora und Fauna sind schwer abzuschätzen, da sie von verschiedenen externen Einflussfaktoren abhängig sind. Im Rahmen der Baubegleitung sollen daher die Auswirkungen regelmässig untersucht werden.

Für die geplante Aufweitung bei Maienfeld / Bad Ragaz [39] wurde ein Unterhalts- und ein Monitoringkonzept verfasst, welches als Basis/Inspiration für das vorliegende Projekt verwendet werden kann. Zurzeit erarbeitet die Internationale Regierungskommission Alpenrhein ein Monitoringkonzept über den gesamten Alpenrhein, welches ebenfalls zu berücksichtigen ist.

11.9 Geschiebemanagement

Bei der bisherigen Projektierung wurden bei den morphologischen Simulationen keine Geschiebemanagement (berücksichtigt (vgl. Kapitel 11.1)). Mit der Vorgabe, dass die neuen Dämme die gleiche Höhe wie im Ist-Zustand aufweisen müssen, führen die Auflandungen gemäss den Simulationsergebnissen zu keinen Hochwasserschutzdefiziten im Bereich der Aufweitung. Unabhängig von der projektierten Aufweitung zeigt der Alpenrhein ab ca. km 47 eine Auflandungstendenz. In den Projektzielen wurde festgelegt, dass eine Stabilisierung der Sohlenlage unterhalb der Aufweitung anzustreben ist und dass keine unzulässigen Auflandungen auftreten dürfen, welche zu Hochwasserschutzdefiziten führen. Aufweitungen stellen während der sich einstellenden Sohlenanhebung eine Geschiebesenke dar, bis sich ein neues Gleichgewicht eingestellt hat. Dieser Effekt kann bei der Geschiebemanagement genutzt werden (Kiesentnahmen bei der Aufweitung), wodurch sich die Auflandungstendenz unterstrom der Aufweitung sowie die Sohlenanhebung im Oberwasser eindämmen lässt. Eine Geschiebemanagement ist schliesslich eine effektive Stellschraube um nach Projektabschluss den Unsicherheiten bei der Modellierung (Sohlenentwicklung, Grundwasserstände) entgegenzuwirken. Aus diesem Grund soll eine mögliche Geschiebemanagement im Rahmen der weiteren Planung ausgearbeitet werden. Diese kommt jedoch erst zum Tragen, wenn sich nach der Realisierung des Projekts unzulässige Sohlenlagen oder Grundwasserstände entwickeln. Die Abstimmung der Geschiebemanagement erfolgt übergeordnet auf dem Abschnitt Ellhorn bis Illmündung und unter Berücksichtigung potenzieller Grundwasseranstiegen. In der Berichtbeilage 73 wird näher auf die Geschiebemanagement eingegangen.

11.10 Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten

Bei der Planung der vorliegenden Aufweitung wurden bei der Dimensionierung potenzielle Erweiterungen in nördlicher und südlicher Richtung berücksichtigt, so dass das die Projektanforderungen auch zukünftig erfüllt werden und Ergänzungen der Aufweitung möglich sind. Grundsätzlich kann die Aufweitung zukünftig gemäss EKA [15] in Längsrichtung erweitert werden (vgl. Abbildung 42). Im Folgenden wird eine kurze Auslegeordnung der Erweiterungsrichtungen in Längsrichtung gegeben.

Richtung Nord:

Eine Erweiterung Richtung Norden ist grundsätzlich auf Seite Fürstentum Liechtenstein bis km 54.2 möglich. Nördlich vom Projektperimeter befinden sich direkt angrenzend an den Rheindamm mächtige Deponieablagerungen mit einem Volumen von mehreren 100'000 m³, welche bei einer Erweiterung nach Norden zurückgebaut bzw. auf eine andere Deponie gebracht werden müsste. Weiter im Norden ist ein rückversetzter Deponiedamm vorhanden, welcher in diesem Bereich deutlich mächtiger bzw. breiter ist als im Projektperimeter. Gleich wie im vorliegenden Projektperimeter kann der bestehende Deponiedamm in einen Hochwasserschutzdamm umgewandelt werden. Das Volumen an Deponiematerial, welches zurückgebaut bzw. auf eine andere Deponie gebracht werden müsste, ist in Richtung Nord jedoch deutlich grösser.

Eine zukünftige Erweiterung in nördlicher Richtung wurde im vorliegenden Projektperimeter bestmöglich berücksichtigt. So wird der Anschlussdamm zwischen dem bestehenden Hochwasserschutzdamm und dem Deponiedamm mit möglichst steilen Böschungen erstellt, um den späteren Materialabtrag so gering wie möglich zu halten (vgl. Bemerkung in Kapitel 7.1). Im Rahmen der notwendigen Umlegung der Elektrofreileitung wird zudem die Querung über den Rhein angepasst, so dass bei einer zukünftigen Erweiterung keine Strommasten mehr umgelegt werden müssen.

Richtung Süd:

Eine Erweiterung in südlicher Richtung ist auf Seite Fürstentum Liechtenstein grundsätzlich möglich. Als Randbedingung muss vermutlich die Brücke bei km 50.2 betrachtet werden. Für eine zusätzliche Aufweitung müsste der im Winter 2021/2022 sanierte Hochwasserschutzdamm (vgl. Kapitel 3.5.9) sowie der neu erstellte Damm zwischen km 51.4 und 51.9 verlegt werden. Beim südöstlichen Perimeterrand gilt es zudem das Grundwasserpumpwerk Uderau und die entsprechenden Grundwasserschutzzonen zu beachten (vgl. Kapitel 3.5.8). Zudem wird das Gebiet intensiv landwirtschaftlich genutzt und verschiedene Flächen befinden sich in privatem Besitz.

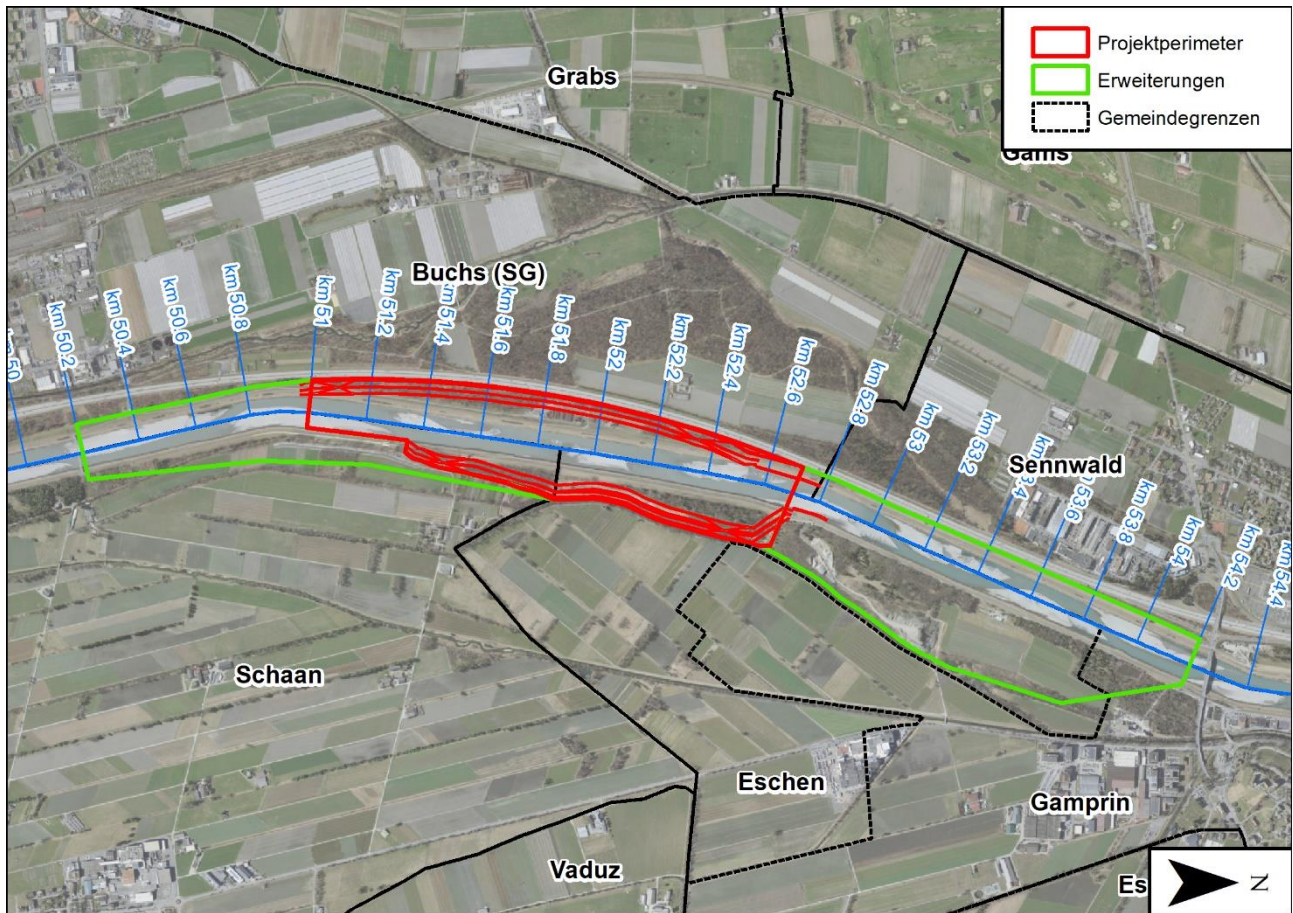
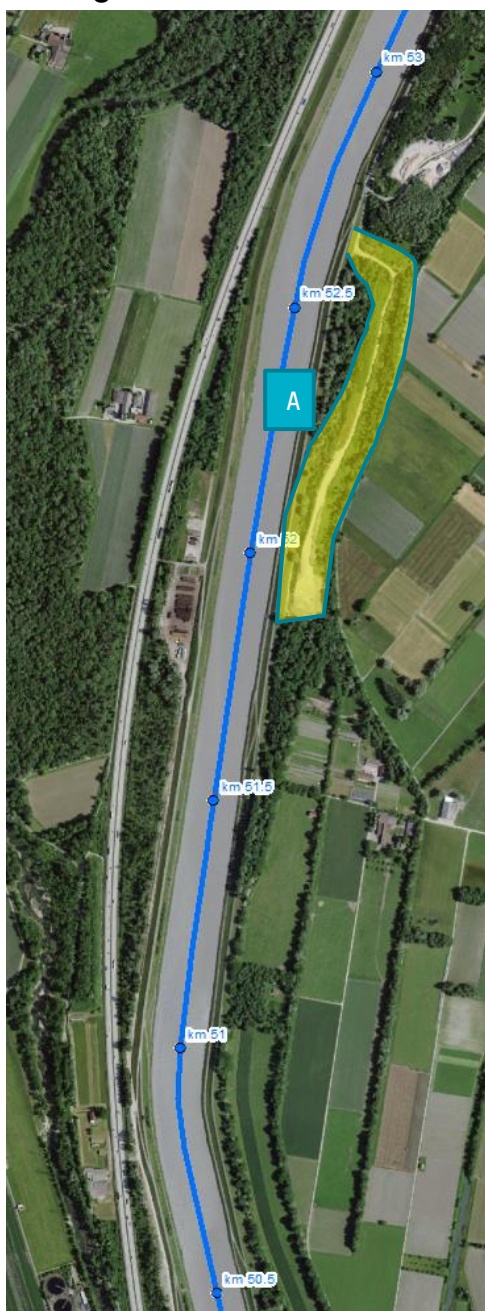


Abbildung 42: Übersicht zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten.

Anhang A Fotodokumentation zum Ausgangszustand



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 1: Bestehender Deponiekörper (FL), welcher als rückversetzter HWS-Damm geschüttet wurde (Im Hintergrund der Rheindamm)



Foto 2: Böschung des bestehenden Deponiekörpers (FL) mit Erosionsstellen



Foto 3: Weg auf Deponiekörper (FL), Blick Richtung unteres Perimeterende



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 4: Blick vom Rheindamm (FL) auf das obere Ende des Deponiekörpers, wo ökologische Aufwertungen durchgeführt wurden (sichtbar hier: Pflanzungen, Holzhaufen)



Foto 5: Details ökologische Aufwertung auf dem Deponiekörper, FL: Tümpel für Gelbbauchunken mit der Umgebung



Foto 6: Details ökologische Aufwertung auf dem Deponiekörper, FL: Tümpel für Gelbbauchunken mit Steinstrukturen



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 7: Blick vom oberen Ende des Deponiekörpers auf Rheindamm FL mit Zufahrtsweg / Weggabelung und ehem. Auenwald



Foto 8: alte Eiche auf der luftseitigen Dammböschung, FL



Foto 9: Blick vom Damm auf den ehem. Auenwald, FL



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



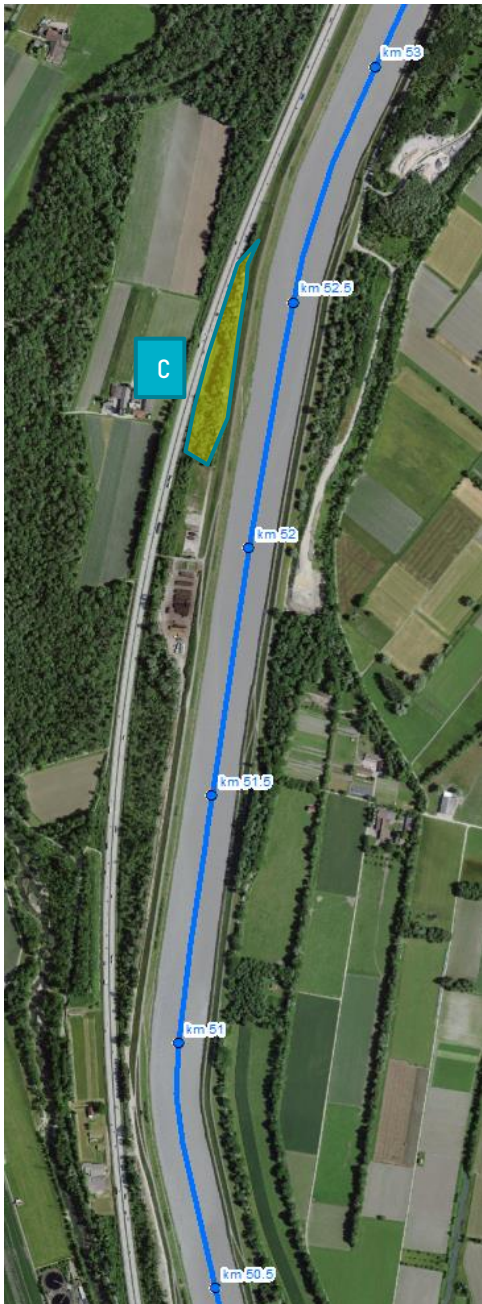
Foto 10: Details ökologische Aufwertung auf Deponiekörper, FL: Tümpel für Gelbbauchunken mit Blick Richtung Rhein



Foto 11: Deponiekörper mit ökologischen Aufwertungen, FL



Foto 12: Blick vom Deponiekörper auf luftseitige Böschung Rheindamm, FL



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



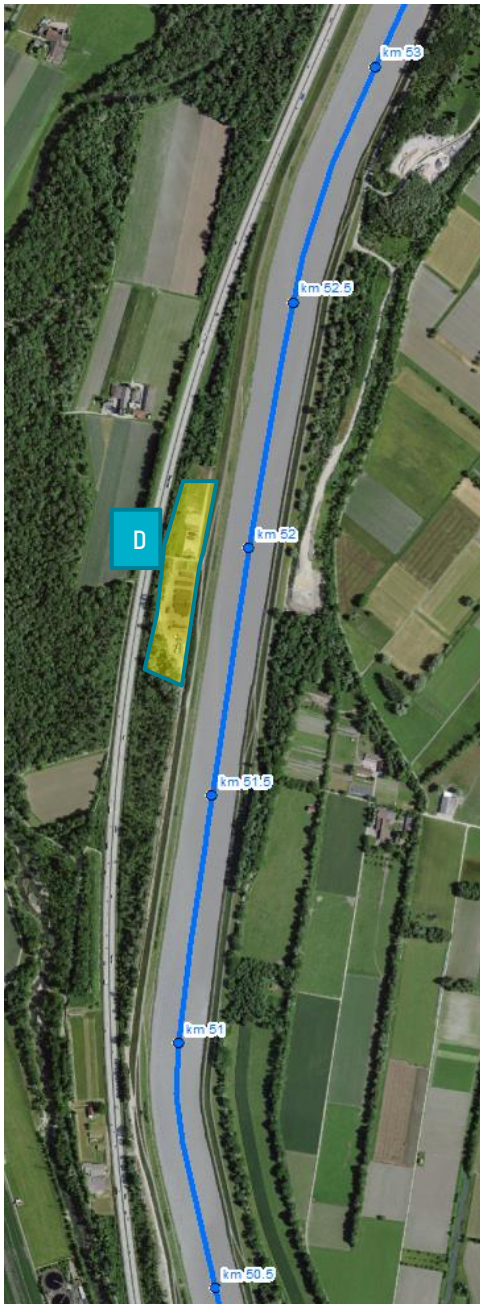
Foto 13: Retentionsbecken mit ehem. Auenwald und national bedeutendem Amphibiengebiet (Gelbbauchunke fehlender Nachweis seit ein paar Jahren; so- wie Kammolch) zwischen Autobahn und Rheindamm (SG)



Foto 14: Retentionsbecken mit ehem. Auenwald und national bedeutendem Amphibiengebiet (Gelbbauchunke fehlender Nachweis seit ein paar Jahren; so- wie Kammolch) zwischen Autobahn und Rheindamm (SG)



Foto 15: Landmark-Baum mit Mispeln: Markiert oberes Ende der Umgebungs- zone B des Amphibienlaichgebeits zwischen Autobahn und Rheindamm (SG).



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 16: Sammelbecken der Kompostaufbereitungsanlage (SG) Blickrichtung Autobahn



Foto 17: Sammelbecken der Kompostaufbereitungsanlage (SG) Blickrichtung Rheindamm



Foto 18: Kompostaufbereitungsanlage (SG) mit Komposthaufen Blickrichtung Autobahn

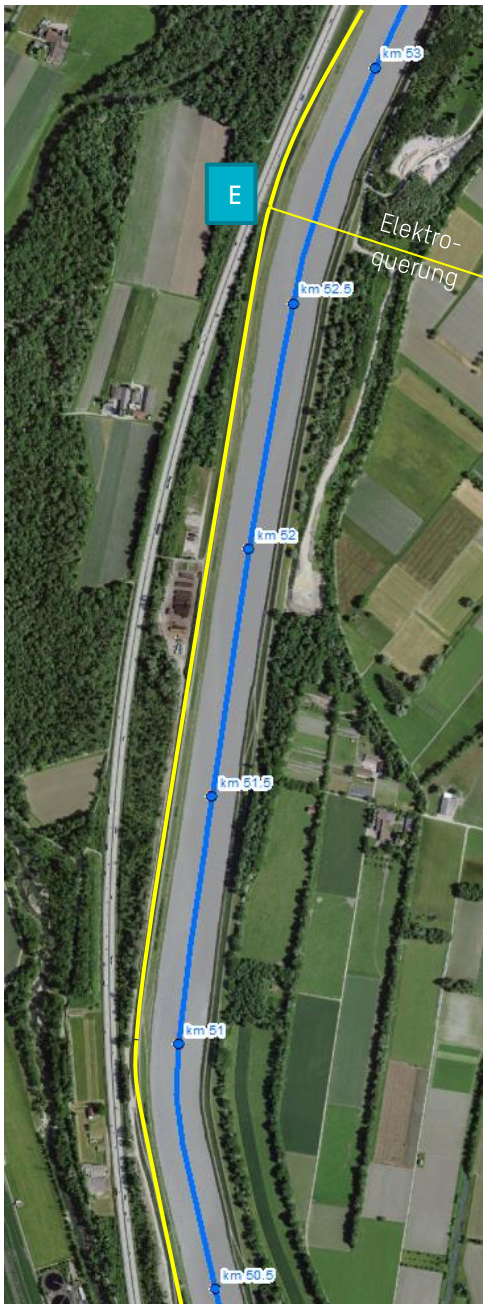


Foto 19: Überblick vom Damm (SG) auf luftseitige Rampe und Kompostaufbereitungsanlage



Foto 20: Überblick vom Damm (SG) über die Kompostaufbereitungsanlage

- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 21: Querung Elektro-Freileitung (Blick vom unteren Ende des Perimeters ins Projektgebiet), FL

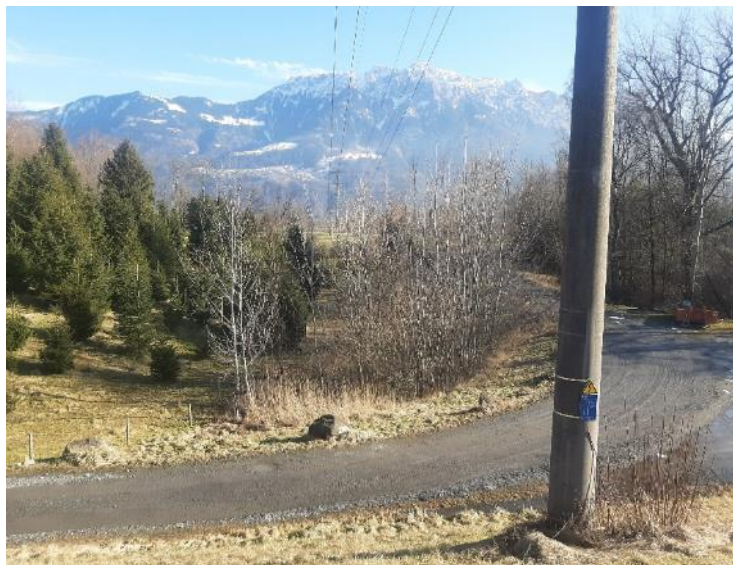


Foto 22: Elektro-Freileitung nach der Querung über den Rhein, FL



Foto 23: Elektro-Freileitung parallel zum Dammweg, SG



Foto 24: Zufahrtsweg zur Kompostierungsanlage (SG)

- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



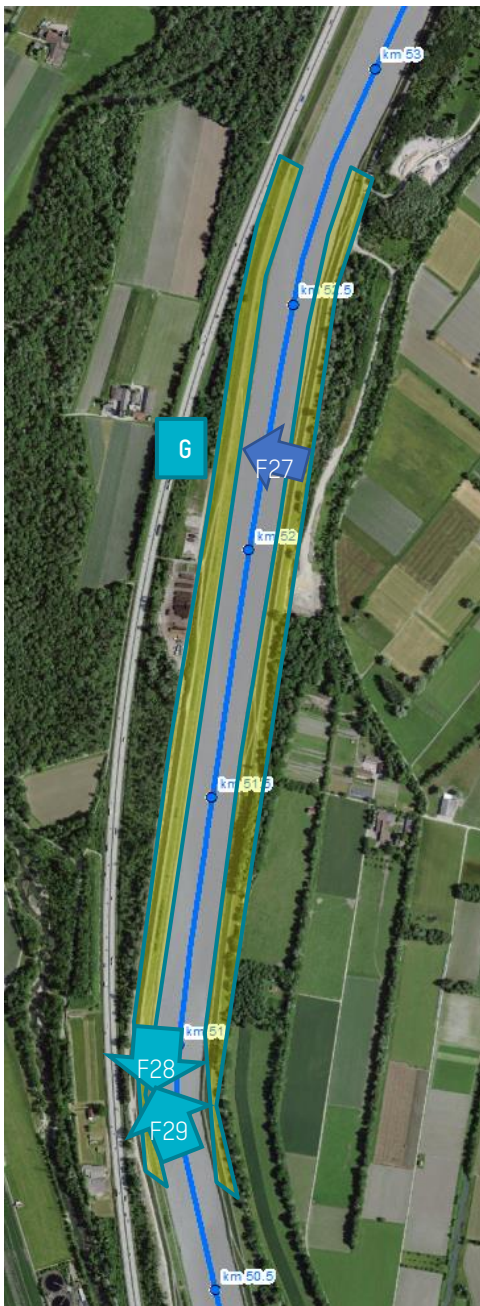
Foto 25: Langsamverkehrsbrücke mit Werkleitungen auf Höhe Buchs (ca. 900 m oberhalb des Projektperimeters), dahinterliegend [die Strassenbrücke](#) und die [Bahnbrücke](#)



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 26: Autobrücke ca. 1.6 km unterhalb des Projektperimeters



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 27: Blick auf Damm [SG] mit Zufahrtsrampe zur Vorlandpiste und Landmarkbaum (oberes Ende Retentionsbecken Autobahn)

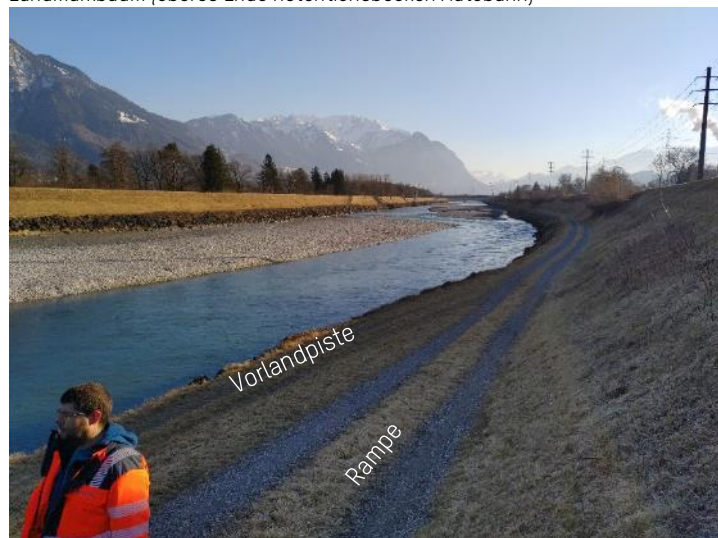
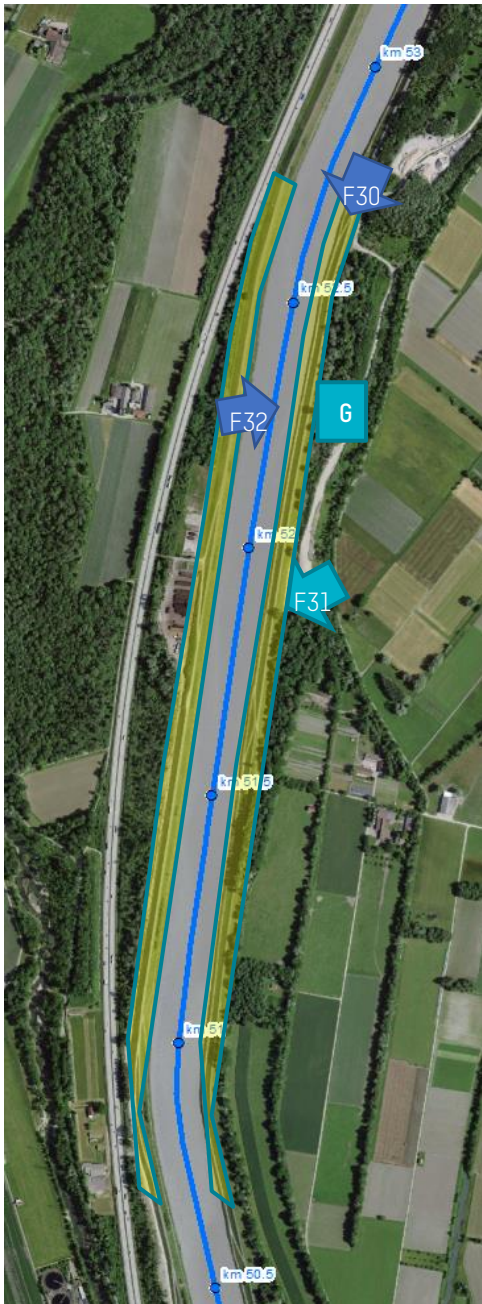


Foto 28: Damm SG im Bereich einer Zufahrtsrampe zur Vorlandpiste



Foto 29: Uferschutz mit Blocksteinen unterhalb der Vorlandpiste, SG



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 30: Rheindamm FL wasserseitig (wertvoller Trockenstandort) mit Vorland-piste



Foto 31: Rheindamm FL luftseitig (wertvoller Trockenstandort)



Foto 32: Blick auf Rheindamm FL



- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung



Foto 33: Blick auf Rheindamm SG, Kiesbänke



Foto 34: Blick auf Rheindamm SG, Kiesbänke, Querung Elektro



Foto 35: Blick auf Rheindamm SG, Kiesbänke (Auflandungstendenz: neue, höhere Bank schiebt sich über ältere, tiefere).



Foto 36: Blick auf Rheindamm SG, Kiesbänke

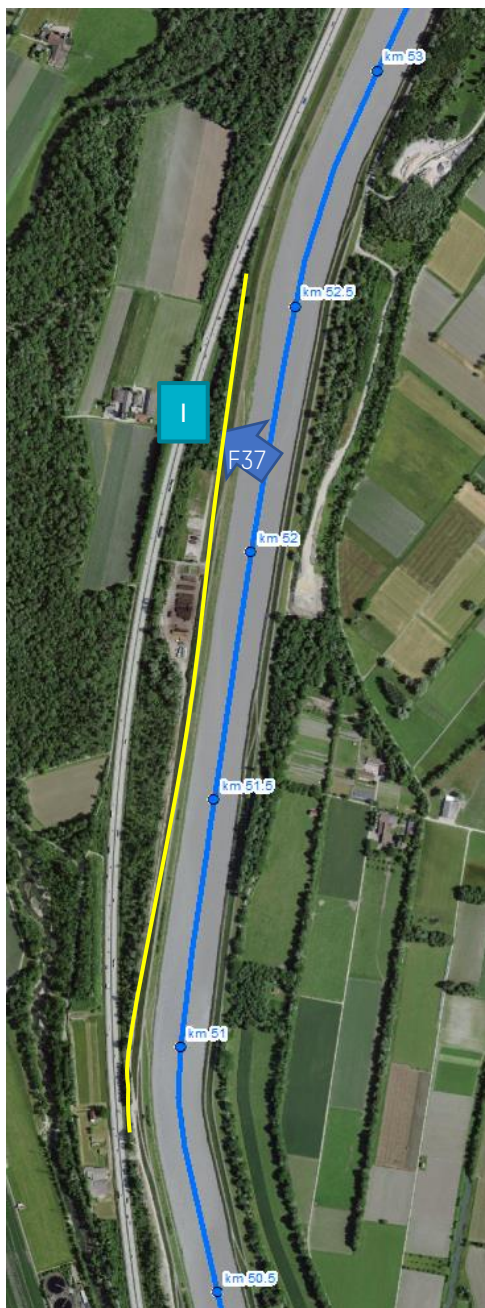


Foto 37: Verlauf Erdgasleitung entlang Dammfuss SG, auf Höhe Retentionsbecken Autobahn

- A. Deponie
- B. Ökologische Aufwertung
- C. Retentionsbecken Autobahn
- D. Kompostaufbereitungsanlage
- E. Elektro-Freileitungen (AXPO 110kW)
- F. Brücken
- G. Dämme und Uferverbauung
- H. Kiesbänke
- I. Erdgasleitung

Anhang B Variantenstudium



Kanton St. Gallen



Fürstentum Liechtenstein

Gemeinde Buchs
Gemeinde Schaan
Gemeinde Eschen

Aufweitung Alpenrhein

Schaan, Buchs & Eschen

km 51.0 bis 52.7

Variantenstudium

| | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|-------|----------|-------------|
| | | Projekt Nr. | | | | Beilage Nr. |
| | | UE224001 | | | | |
| Studie |   Planung Beratung Kommunikation  | Entw. | Gez. | Gepr. | Datum | |
| Vorprojekt | | feli | asek | wida | 31.10.23 | |
| Auflageprojekt | | | | | | |
| Ausführungsprojekt | | | | | | |
| Abschlussakten | | | | | | |
| | | (Name der elektronischen Ablage) | | | | |
| | | Format | | A4 | | |

Änderungsnachweis

| Version | Datum | Bezeichnung der Änderungen | Verteiler |
|---------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 0.1 | 27.09.2022 | Entwurf | Planerteam |
| 0.2 | 08.12.2022 | Überarbeitung Entwurf Variantenstudium | Planerteam |
| 0.3 | 03.02.2023 | Überarbeitung Entwurf gem. Rückmeldungen ABS und AU | Planerteam |
| 0.4 | 08.03.2023 | Überarbeitung Entwurf gem. Rückmeldungen ABS und AU | Planerteam |
| 0.5 | 10.03.2023 | Überarbeitung Entwurf gem. Rückmeldungen ABS und AU | Planerteam |
| 1.0 | 21.03.2023 | Überarbeitung Entwurf gem. Stellungnahme Renat | Planerteam |
| 1.1 | 05.04.2023 | Ergänzung Kap. 1 gem. Rückmeldungen Bauherrschaft | Planerteam |
| 1.2 | 29.08.2023 | Ergänzungen Kap. 8 gem. Rückmeldungen Bauherrschaft | Planerteam |
| 1.3 | 18.09.2023 | Ergänzungen Kap. 1 & 4 gem. Rückmeldungen Auftraggeber | Planerteam |
| 1.4 | 28.09.2023 | Überarbeitung Bericht, Anpassungen KV und Kap. 7 gem. Rückmeldungen ABS und AU | Planerteam |
| 1.5 | 10.10.2023 | Geringfügige Präzisierungen gem. Rückmeldungen ABS und AU | Planerteam |
| 1.6 | 31.10.2023 | Grobkostenschätzung als relativen Wert ausgewiesen | Planerteam |
| 1.7 | 03.01.2024 | Anpassungen gem. Stellungnahmen NGOs, RENAT, Fachbegleitung Wasserbau, tragweite AG und Gemeinde Schaan | Planerteam |

Impressum

| | |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auftragsnummer | UE224001 |
| Auftraggeber | Kanton St. Gallen vertreten durch das Rheinunternehmen, Fürstentum Liechtenstein |
| Datum | 03.01.2024 |
| Version | V1.7 |
| Vorversionen | V0.1 (27.09.2022), V0.2 (08.12.2022), V0.3 (03.02.2023), V0.4 (08.03.2023), V0.5 (10.03.2023), V1.0 (21.03.23), V1.1 (05.04.2023), V1.2 (29.08.23), V1.3 (18.09.2023), V1.4 (28.09.23), V1.5 (10.10.23), V1.6 (31.10.2023) |
| Autor(en) | Linus Feigenwinter (linus.feigenwinter@emchberger.ch), Simon Haupt (simon.haupt@emchberger.ch), Miriam Altmann (miriam.altmann@emchberger.ch) |
| Freigabe | Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch) |
| Verteiler | Auftraggeber |
| Datei | J:\F_WN\F_Fs22\UE224001_Alpenrhein Schaan\4_plan\42_vorp\Ing\Variantenstudium\Variantenstudium\UE224001_Kurzbericht_Variantenstudium_V1.7.docx |
| Seitenanzahl | 46 |
| Copyright | © Emch+Berger AG Bern |

Inhalt

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ausgangslage..... | 1 |
| 1.2 | Ablauf und Inhalt des Variantenstudiums | 2 |
| 1.3 | Projektperimeter | 3 |
| 2 | Grundlagen | 5 |
| 3 | Projektziele und Projektvorgaben/Dimensionierungsgrössen | 6 |
| 3.1 | Ziele | 6 |
| 3.1.1 | Übergeordnete Ziele (Muss-Ziele) | 6 |
| 3.1.2 | Wasserbau/Morphologie | 6 |
| 3.1.3 | Ökologie/Umwelt | 6 |
| 3.1.4 | Grundwasser, Nutzungen und Landschaft | 6 |
| 3.2 | Rahmen- und Randbedingungen..... | 7 |
| 4 | Schnittstellen zukünftige Erweiterungen | 13 |
| 5 | Mögliche Aufweitungsformen | 14 |
| 5.1 | Seite Schweiz (linksufrig) | 15 |
| 5.1.1 | Nr 1-CH Instandstellung..... | 15 |
| 5.1.2 | Nr 2-CH kleine Aufweitung | 16 |
| 5.1.3 | Nr 3-CH mittlere Aufweitung | 17 |
| 5.1.4 | Nr 4-CH grosse Aufweitung..... | 18 |
| 5.2 | Fürstentum Liechtenstein (rechtsufrig)..... | 19 |
| 5.2.1 | Nr 1-FL Instandstellung | 19 |
| 5.2.2 | Nr 2-FL Mittlere Aufweitung | 20 |
| 5.2.3 | Nr 3-FL kleine Aufweitung..... | 21 |
| 5.2.4 | Nr 4-FL grosse Aufweitung | 22 |
| 6 | Varianten | 23 |
| 6.1 | V0 – Nullvariante | 25 |
| 6.2 | V1 – Klein (Integration) | 26 |
| 6.3 | V2 – Mittel (Reduktion) | 27 |
| 6.4 | V3 – Gross (Integration) | 28 |
| 6.5 | V4 – Gross (Reduktion)..... | 29 |
| 7 | Grobkostenschätzung der Varianten | 30 |
| 8 | Variantenbewertung | 31 |
| 8.1 | Bewertungskriterien | 31 |
| 8.1.1 | A1 Hydromorphologische Diversität (12%) | 31 |
| 8.1.2 | A2 Auswirkung auf die Sohlenentwicklung (12%) | 32 |
| 8.1.3 | B1 Lebensraumbewertung (8%) | 32 |
| 8.1.4 | B2 Zuwachs von autotypischen Lebensräumen (8%) | 32 |
| 8.1.5 | B3 Konfliktpotenzial mit geschützten Lebensräumen (8%) | 33 |
| 8.1.6 | C1 Auswirkung auf das Landschaftsbild (8%) | 33 |
| 8.1.7 | C2 Auswirkung auf die Naherholung/Freizeitnutzung (8%) | 33 |
| 8.1.8 | C3 Auswirkung auf bestehende Nutzungen (8%) | 33 |
| 8.1.9 | D1 Investitionskosten (24%) | 33 |
| 8.1.10 | E1 Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten (4%)..... | 33 |
| 8.2 | Bewertung | 34 |
| 8.3 | Sensitivitätsanalyse | 35 |
| 8.3.1 | Schwerpunkt Natur | 35 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 8.3.2 | Schwerpunkt Flussbau | 37 |
| 8.3.3 | Schwerpunkt Kosten..... | 38 |
| 8.3.4 | Schwerpunkt Erweiterung | 39 |
| 8.4 | Variantenentscheid und Ausblick | 40 |
| Anhang A | Übersichtspläne der Varianten..... | A-1 |
| Anhang B | Variantenbewertungsmatrix | B-1 |

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das im Jahr 2005 erarbeitete Entwicklungskonzept Alpenrhein (EKA) [2] sieht in der Eschener Au eine Flussaufweitung vor. Der entsprechende Aufweitungssperimeter wurde seinerzeit im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) durch die entsprechenden Fachspezialisten erarbeitet. Dabei wurden u.a. die morphologischen Gegebenheiten, die räumlich vorhandenen Randbedingungen und bestehenden Nutzungen berücksichtigt. Der so festgelegte EKA-Perimeter wurde im Jahr 2005 von den Regierungen uneingeschränkt übernommen und genehmigt (vgl. EKA-Massnahme 26: Aufweitung «Eschner Au», km 51.0 – 54.1). In der Folge wurde die Möglichkeit einer Rheinaufweitung im Landesrichtplan des Fürstentums Liechtensteins verankert und den betroffenen Gemeinden als verbindliche Planungsgrösse in ihren Orts- und Zonenplänen vorgegeben.

Für den südlichen Teil dieser Flussaufweitung, im Bereich «Schaan-Buchs-Eschen» (km 51.0 bis 52.7), wurde 2019 eine Machbarkeitsabklärung [4] durchgeführt, in welcher die grundsätzliche Machbarkeit bestätigt werden konnte. Im gleichen Zug wurden auch die Auswirkungen auf die Sohlenentwicklung [5] und das Grundwasser [6] auf Stufe Konzeptstufe beurteilt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde 2020 beschlossen, im Rahmen eines Vorprojektes mit Variantenstudium die Flussaufweitung «Schaan-Buchs-Eschen» einer vertieften Untersuchung zu unterziehen.

Die geplante Rheinaufweitung «Schaan, Buchs, Eschen» und der festgelegte Projektperimeter sind das Ergebnis jahrelanger Vorbereitungs- und Abstimmungsarbeit mit den betroffenen liechtensteinischen Gemeinden sowie Grundeigentümern und der Stadt Buchs. So orientiert sich auch der im Jahr 2007 bewilligte Schüttplan der Deponie Rheinau Eschen am EKA-Perimeter. Im Rahmen des UVP-Verfahrens konnte festgelegt werden, dass die Deponie im Hinblick auf eine spätere Flussaufweitung in Form von zurückversetzten Dämmen entlang des EKA-Perimeters geschüttet wird. Mittlerweile ist innerhalb des Projektperimeters die bewilligte Deponieschüttung in Form eines Dammes abgeschlossen.

Anstelle der ursprünglichen Bedenken werden auch auf Seiten der Gemeinden zunehmend die mit dem Vorprojekt verbundenen Chancen wahrgenommen und eine Realisierung des Vorhabens wird in der Zwischenzeit aktiv unterstützt. Umgekehrt wird von den Gemeinden unmissverständlich zum Ausdruck gebracht, dass an dem im Jahr 2018 auf Grundlage des EKA politisch vereinbarten Projektperimeter festzuhalten ist.

Mit dem übergeordneten, gemeinsamen Ziel die Ertüchtigungs- und Aufweitungssprojekte am Rhein auf Basis des EKA in absehbarer Zeit einen Schritt voranzubringen, fokussiert das Vorprojekt Rheinaufweitung «Schaan-Buchs-Eschen» darauf, das unter Berücksichtigung der gesetzlichen Grundlagen zurzeit Machbare zu realisieren.

Auf der liechtensteinischen Rheinseite erfolgte die Begrenzung des Projektperimeters rheinaufwärts insbesondere unter Berücksichtigung des bestehenden Trinkwasser-Pumpwerks. Die südliche Grenze des Projektperimeters wurde so gewählt, dass die bestehende Grundwasserfassung bei diesem machbaren Schritt nicht tangiert wird und die Aufweitung nicht in Konflikt mit den bestehenden Grundwasser-Schutzzonen steht. Gemäss den aktuellen Wasserversorgungsprojekten kann ein Wegfall des Trinkwasser-Pumpwerkes in absehbarer Zeit nicht durch andere, bestehende Anlagen kompensiert werden. Sollte die Aufweitung künftig flussaufwärts erweitert werden, muss im Vorfeld ein geeigneter Ersatzstandort für die Verlegung des Trinkwasser-Pumpwerks gefunden werden. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass bereits heute diverse Nutzungskonflikte rund um die Trinkwasserfassungen des Landes bestehen (Landwirtschaft, Siedlung, Industrie und Gewerbe) und diese tendenziell noch zunehmen werden. Gebiete, welche sich für die Verlegung einer Grundwasserfassung eignen sind dementsprechend begrenzt und ebenfalls konfliktbeladen. Die Findung eines geeigneten Ersatzstandorts ist somit anspruchsvoll und erfordert detaillierte, raumplanerische, organisatorische und hydrogeologische Voruntersuchungen, welche mit einer entsprechend langen Vorlaufzeit verbunden sind. Entlang des Rheins befinden sich in unmittelbarer Rheinnähe verschiedene Trinkwasser-Pumpwerke bzw. für das Trinkwasser vorgesehene Gebiete, die mit potenziellen Aufweitungen in Konflikt stehen. Es ist daher vorgesehen mögliche Lösungsansätze im Rahmen eines übergeordneten, landesweiten Wasserversorgungsprojekts zu untersuchen. Des Weiteren befinden sich im Süden des Projektperimeters vermehrt Grundstücke im Privateigentum sowie landwirtschaftliche Nutzflächen (Ackerflächen).

Die nördliche Grenze des Projektperimeters liegt auf der Seite FL direkt angrenzend an die Hapterschliessung zur aktuellen Deponie (Zufahrt, Annahmekontrolle). Unmittelbar nördlich dieser Erschliessung befinden sich mächtige Deponieablagerungen mit einem Volumen von mehreren 100'000 m³, welche bei einer Erweiterung nach Norden zurückgebaut und auf anderen Deponien abgelagert oder anderweitig verwertet werden müssten. Seit einigen Jahren gibt es auf den

Deponien in Liechtenstein diverse Engpässe, insbesondere auf den Grossdeponien Schaan, Vaduz und Ruggell. Hier können aufgrund der aktuellen Kies- bzw. Felsabbausituation bis auf Weiteres keine grösseren, insbesondere keine zusätzlichen Deponievolumen angenommen werden. Die drei weiteren Deponien in Liechtenstein stehen kurz vor der Verfüllung (Balzers, Mauren und Eschen). Um die generelle Engpasssituation in Liechtenstein zu bewältigen, befindet sich seit 2021 im Auftrag der Gemeinden Liechtensteins ein Überbrückungskonzept in Bearbeitung, welches bis Anfang 2024 vorliegen soll. Dieses hat zum Ziel, die aktuelle Engpasssituation während den nächsten Jahren mit gezielten Massnahmen zu überbrücken. Parallel dazu laufen Abklärungen zu neuen Deponiestandorten. Diesbezüglich ist zu berücksichtigen, dass allfällige neue Deponiestandorte eine lange Vorlaufzeit haben. Basierend auf dem Überbrückungskonzept sowie den Abklärungen zu neuen Deponiestandorten erfolgt anschliessend in Zusammenarbeit mit den Gemeinden eine Aktualisierung der langfristigen Deponieplanung. Aufgrund des aktuellen, sowie auch während den nächsten Jahren anhaltenden Mangels an Deponievolumen ist es daher nicht möglich die bestehenden, mächtigen Deponieablagerungen im Norden des Projektperimeters zeitnah abzubauen und auf einen anderen Deponiestandort zu verschieben. Zudem befinden sich im Norden des Projektperimeters analog zur Situation im Süden landwirtschaftliche Nutzflächen (Ackerflächen), welche im Eigentum der Bürgergenossenschaft Eschen liegen.

Auf Schweizer Seite wurde die Grenze des Projektperimeters unter Berücksichtigung der bestehenden Infrastrukturen festgelegt. So verläuft diese, analog zum EKA-Perimeter, entlang der Autobahn A13.

Im Gegensatz zu den oben aufgeführten Konfliktpotentialen ausserhalb des Projektperimeters, bestehen im Projektperimeter selbst, insbesondere auf Seite FL vergleichsweise wenig Konflikte mit anderen Interessen. Diese günstige Ausgangslage soll eine zeitnahe Umsetzung des Projekts und damit verbunden erste ökologische Verbesserungen am Alpenrhein ermöglichen. Dies ist insbesondere angesichts der anhaltenden, ökologischen Verarmung von hoher Dringlichkeit. So bietet diese Aufweitung die Gelegenheit einen Auenlebensraum zu schaffen und damit die Biodiversität signifikant zu erhöhen.

Im Rahmen des Vorprojekts werden zusätzlich die technischen Möglichkeiten einer späteren Erweiterung der Aufweitung im Sinne des EKA mitberücksichtigt, damit die Option einer späteren Erweiterung in Richtung Norden und Süden der Aufweitung weiterhin aufrecht erhalten bleibt.

Im vorliegenden Bericht werden die verschiedenen Aufweitungsvarianten für den mit den Gemeinden und Grundeigentümern vereinbarten Projektperimeter im Bereich «Schaan-Buchs-Eschen» (km 51.0 – 52.7) hergeleitet und bewertet. Auf Basis der Bestvariante wird anschliessend das Vorprojekt ausgearbeitet.

Ein zentraler Punkt ist die Grösse der Fläche, die an den Alpenrhein zurückgegeben werden kann und die Förderung von auentypischen Habitaten. Die Grösse der Aufweitung hat einen direkten Einfluss auf die mögliche Lebensraumdiversität und damit auf die Artenvielfalt und soll maximiert werden. Dabei ist insbesondere die im Projekt festzulegende Ausdehnung in Querrichtung (möglichst grosse Breite) von Bedeutung, da eine Erweiterung in diese Richtung nach Abschluss des Projektes aufgrund der neu gebauten Hochwasserschutzdämme nur noch mit grösseren Anpassungen an den Dämmen möglich ist. Auf Seite CH ist dabei entscheidend, bis wohin der Damm an die Autobahn gestellt werden kann, ohne dass es dadurch zu unzulässigen Setzungen bzw. Auswirkungen auf die Autobahn A13 kommt. Eine Erweiterung in Längsrichtung bleibt auch nach Projektabschluss grundsätzlich möglich und soll in der Variantenbewertung ebenfalls berücksichtigt werden.

1.2 Ablauf und Inhalt des Variantenstudiums

Das Variantenstudium für die Aufweitung des Alpenrheins im Projektperimeter wird nach folgendem Schema durchgeführt:

1. Mögliche Aufweigungsformen auf Schweizer Seite sowie auf Seite Fürstentum Liechtenstein (Kapitel 5)
2. Synthetisieren verschiedener Varianten aus den möglichen Aufweigungsformen (Kapitel 6)
3. Variantenbewertung und Wahl der Bestvariante (Kapitel 8)

Im weiteren Vorgehen wird auf Basis der Bestvariante das Vorprojekt ausgearbeitet und beurteilt. Im Rahmen der Machbarkeitsabklärung wurde festgestellt, dass die Realisierung des Projekts auf Schweizer Seite aufgrund bestehender Nutzungen und Infrastrukturanlagen (Retentionsbecken Ceres, Kompost-Aufbereitungsanlage, Gasleitung) vermutlich erst später erfolgen wird als auf der Seite Fürstentum Liechtenstein. Es wird daher ggf. über einen längeren Zeitraum der Zustand der «einseitigen Aufweitung» eintreten. Entsprechend soll im Rahmen des Vorprojektes auch dieser Projektzustand mit einer einseitigen Aufweitung auf Seite Fürstentum Liechtenstein (ohne Aufweitung auf Schweizer Seite)

beurteilt werden. Eine gleichzeitige Ausführung wird von Seite CH angestrebt, da der ökologische Mehrwert der Dammverschiebung auf CH Seite allein als Argument zur Aufhebung/Verschiebung der Nutzungen im Projektperimeter (Retentionsbecken, Kompost-Aufbereitungsanlage) eventuell nicht ausreichend ist.

1.3 Projektperimeter

Im Rahmen des «Entwicklungskonzept Alpenrhein» [2] wurde die Rheinstrecke zwischen Reichenau und der Mündung in den Bodensee nach Aufwertungspotential in drei Klassen (A-C) eingeteilt. Der Abschnitt 26 Eschner Au wurde als Klasse A (grösstes Potential) eingestuft. 2015 wurde dieser Abschnitt von Hunziker, Zarn & Partner genauer untersucht und dafür in einzelne Teilperimeter A-F unterteilt [3]. Der in der darauffolgenden Machbarkeitsabklärung «Rheinaufweitung – Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen» [4] betrachtete Perimeter ist eine Erweiterung des Teilperimeters E aus [3]. Dabei wurden die Perimetergrenzen von der Wasser- auf die Luftseite der Hochwasserschutzdämme verschoben und die Perimeterfläche so vergrössert. Für die Projektausschreibung wurde dieser Perimeter nochmals geringfügig angepasst. Damit es in der weiteren Planung nicht zu Missverständnissen kommt, werden folgende Begrifflichkeiten und Definitionen verwendet:

1. Perimeter EKA

Der Perimeter gemäss Entwicklungskonzept Alpenrhein befindet sich zwischen den Rhein-Km 51.0 und 54.2 und sieht unterhalb der Blockrampe Buchs-Schaan Km 49.5 zuerst linksufrig (Km 51.0 bis Km 52.5) und anschliessend rechtsufrig (Km 51.3 bis Km 54.1) eine Verbreiterung des Rheins vor. Zudem besteht gemäss Massnahmen EKA die Möglichkeit, die Aufweitung in einer späteren Phase auf der liechtensteinischen Seite bis zur Blockrampe Buchs-Schaan zu verlängern.

2. Projektperimeter

Ist der **variantenunabhängige** maximal räumliche Massnahmenperimeter und verläuft auf der CH-Seite entlang der Autobahn und auf der Seite FL in der Regel entlang dem luftseitigen Fuss des Deponiedamms. Dieser Perimeter reicht von Km 51.0 bis Km 52.7 und entspricht weitgehend den Ausschreibungsunterlagen [1]. Während der Erarbeitung des Variantenstudiums wurde der Perimeter geringfügig angepasst. Der Perimeter ist in Abbildung 1 rot dargestellt.

3. Massgebender Aufweitungssperimeter

Dieser Perimeter beinhaltet nur die aktive Sohlenbreite innerhalb des Projektperimeters (ohne Dammbauten) und ist begrenzt durch den **wasserseitigen** Böschungsfuss. Er ist ein direktes Mass für den effektiv geschaffenen Raum für den Alpenrhein. Die Herleitung erfolgt im Rahmen des vorliegenden Variantenstudiums separat pro berücksichtigte Variante und ist somit **variantenabhängig**.

4. Betrachtungssperimeter

Der Betrachtungssperimeter berücksichtigt die Fliessstrecken vor und nach der Aufweitung, in welchem entscheidende Auswirkungen durch das Projekt zu erwarten sind. Oberstrom erstreckt sich der Betrachtungssperimeter bis über die bestehende Blockrampe Buchs-Schaan bei Km 49.5 und beinhaltet somit auch die potenzielle Geschiebetransportstrecke. Unterstrom beinhaltet der Betrachtungssperimeter denjenigen Abschnitt, in welchem morphologische Prozesse (wie Verengungskolk, Sohleneintiefung, etc.) durch die Aufweitung erwartet werden (bis ca. Km 55).

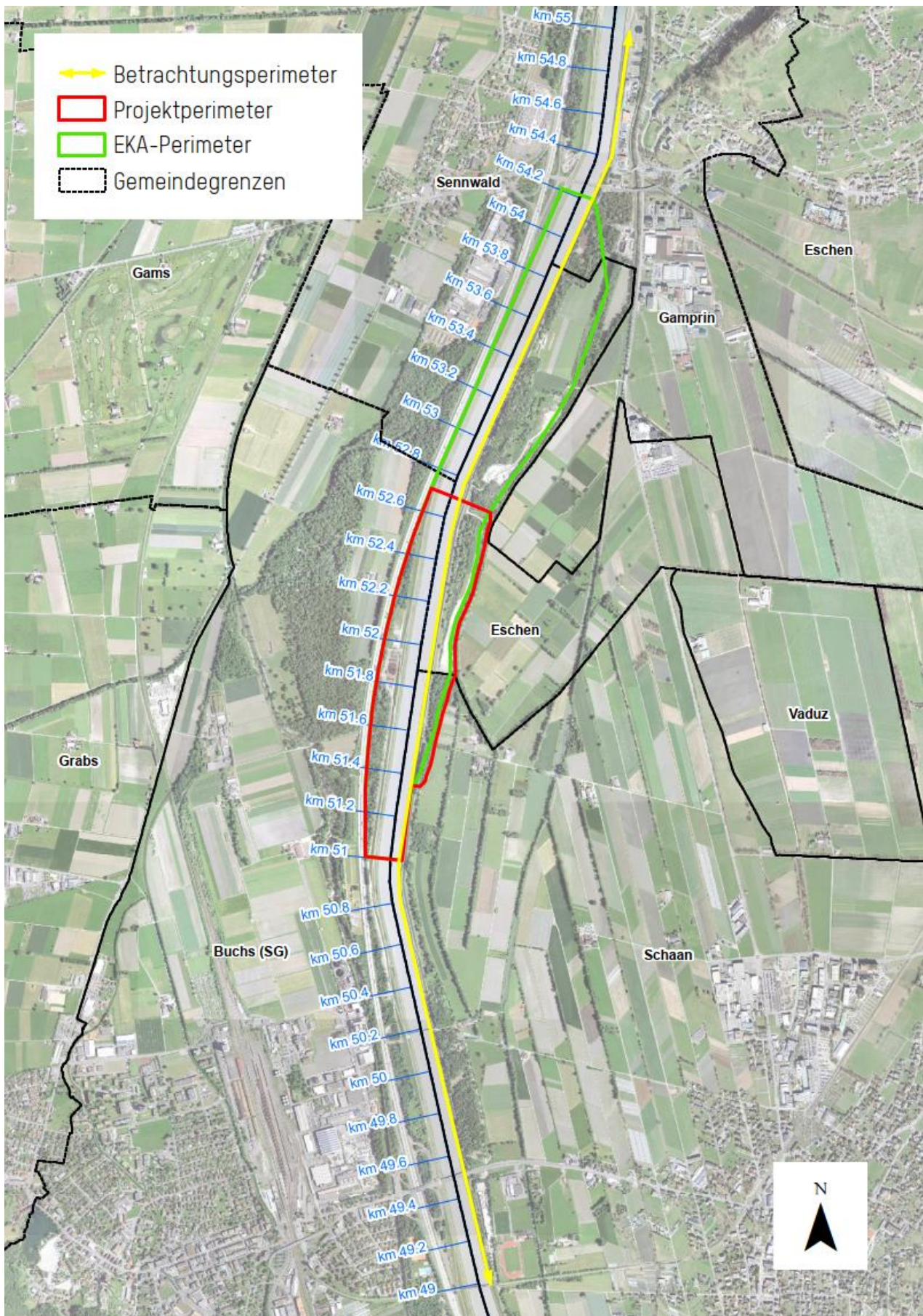


Abbildung 1: Darstellung der verschiedenen, im Projekt verwendeten Perimeter.

2 Grundlagen

- [1] Rheinunternehmen Kanton St. Gallen, Amt für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein (2021). Ausschreibungsunterlagen Projekt «Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen»
- [2] Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Internationale Rheinregulierung (IRR (2005). Entwicklungskonzept Alpenrhein.
- [3] Hunziker, Zarn & Partner (2015). Aufweitung Eschner Au, Auswirkungen auf die Gewässermorphologie.
- [4] RENAT GmbH (2019). Rheinaufweitung Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen – Machbarkeitsabklärung Bericht. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein
- [5] Hunziker, Zarn & Partner (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen. Konzeptstudie
- [6] TK Consult AG (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Konzeptstudie – Grundwassermodellierung. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- [7] Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) (2019). Projektstudie zur Systemsicherheit am Hochwasserschutz des Alpenrheins – Synthesebericht.
- [8] IUB Engineering AG (2021). Ertüchtigung Rheindämme, Vereinbarung der Projektziele. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.
- [9] Flussbau AG (2022). Alpenrhein, Reichenau bis Illmündung – Sohlenbreite, Abflussverhältnisse, Geschiebehaushalt, Gewässerraum.
- [10] Schweizerische Eidgenossenschaft – Bundesamt für Umwelt (BAFU). Inventare der Biotopie von nationaler Bedeutung (Stand August 2022)
- [11] Fürstentum Liechtenstein – Amt für Umwelt. Inventare der Schutzgebiete und -Objekte (Stand August 2022)
- [12] Hintermann & Weber AG (2017), im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume

3 Projektziele und Projektvorgaben/Dimensionierungsgrössen

3.1 Ziele

Die nachfolgend aufgeführten Projektziele bilden die Basis für die Variantenbewertung. Neben den übergeordneten Projektzielen wurden auch für die Bereiche Wasserbau/Morphologie, Ökologie/Umwelt sowie Grundwasser, Nutzung und Landschaft konkrete Ziele definiert. Da diese Themen diverse Schnittstellen aufweisen, kann es auch bei den Zielen zu Überschneidungen bzw. Wiederholungen kommen.

3.1.1 Übergeordnete Ziele (Muss-Ziele)

- Zeitnahe Sicherstellung der Dammstabilitäten
- Gewährleistung des Hochwasserschutzes gemäss «Systemsicherheit Alpenrhein» [7] und «Vereinbarung der Projektziele» [8]
- Projektmassnahmen sind kompatibel, respektive erlauben auf Seite FL eine zukünftige Erweiterung der Aufweitung in Längsrichtung gemäss Massnahmen EKA im Sinne eines Kernlebensraums.
- Projektmassnahmen auf Seite FL und CH können zeitlich getrennt ausgeführt werden (keine Projektabhängigkeiten)
- Der ökologische Wert wird verbessert
- Der Wert als Naherholungsgebiet wird verbessert

3.1.2 Wasserbau/Morphologie

- Gewährleistung Hochwassersicherheit bis zum definierten Schutzziel unter Berücksichtigung der aktuellen sowie der langfristig prognostizierten Sohlenlage, dem definierten Freibord sowie Berücksichtigung des Überlastfalls.
- Stabilisierung der Sohlenlage unterhalb der Aufweitung.
- Keine unzulässigen Auflandungen, welche zu Hochwasserschutzdefiziten führen. (Berücksichtigung einer Geschiebebewirtschaftungsstrecke oberhalb der Aufweitung).

3.1.3 Ökologie/Umwelt

- Mit der Aufweitung soll der Alpenrhein mehr Raum bekommen und dadurch die Möglichkeit einer eigendynamischen ökologischen Entwicklung erhalten.
- Erhöhung der ökomorphologischen Vielfalt (Strömung, Strukturen) und Schaffung von charakteristischen Lebensräumen für gewässertypische Lebensgemeinschaften.
- Verbesserung der Reproduktionssituation für die aquatische Fauna (insbesondere Fische) unter Berücksichtigung von Schwall-Sunk bzw. dessen langfristiger Sanierung sowie dem Geschiebetrieb.
- Förderung und Vernetzung von autotypischen aquatischen und amphibischen Habitaten.
- Schaffung einer Basis für einen Kernlebensraum für die ökologische Längsvernetzung entlang des Alpenrheins gemäss EKA, aquatisch wie auch terrestrisch.
- Schaffung strukturreicher Ufer und Lebensräume auf Sand- und Kiesbänken, möglichst mit einem Gehölzanteil.
- Erhalt oder Ersatz bestehender Amphibienlebensräume und Naturwerte im Projektperimeter (u.a. Magerwiesen), Sicherstellung übergeordneter Vernetzung und Tierwanderung.
- Förderung der ökologischen Quervernetzung durch Abbau von Wanderhindernissen quer zur Flussachse/zu den Ufern.

3.1.4 Grundwasser, Nutzungen und Landschaft

- Keine unzulässigen Risiken infolge von übermässigen Grundwasserspiegelschwankungen.
- Die Attraktivität des Gebiets für die Naherholung (insbesondere für den Langsamverkehr) muss ungeschmälert erhalten bleiben und bestmöglich gefördert werden. Mit einer gezielten Besucherlenkung (Wegführung, Sitzplatzmöglichkeiten, Gewässerzugang, Infrastruktur, etc.) soll insbesondere eine optimale Schnittstelle zwischen Mensch und Natur erzielt werden.
- Aufwertung des Landschaftsbilds, sowohl im Nahbereich der Aufweitung (lokale Einblicke) wie auch als markantes Element in der gesamten Talebene (erhöhter Einblick von den Bergflanken).

3.2 Rahmen- und Randbedingungen

In den nachfolgenden Tabellen sind sämtliche Rahmenbedingungen im/um den Projektperimeter aufgeführt. Die Rahmenbedingungen, welche in der dritten Spalte mit «ja» beurteilt sind, gelten für das Variantenstudium als Randbedingung und sind damit klare räumliche oder strategische Einschränkungen. Im Gegensatz dazu sind die Rahmenbedingungen flexibler und erlauben damit einen gewissen Handlungsspielraum. Abbildung 2 bis Abbildung 8 geben einen Überblick des heutigen Zustandes und der Rahmenbedingungen im Bereich des Projektperimeters. Der Projektperimeter selbst, wird ebenfalls als Randbedingung gehandhabt (vgl. Kap. 1.1). Seine Ausmasse sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Begrenzung des Projektperimeters verläuft entlang bestehender Infrastrukturen, Schutzzonen und Geländeausprägungen (Bsp. Dammfuss). Diese werden ebenfalls als Randbedingung betrachtet und sind unten aufgelistet (Bsp. Autobahn, Schutzzone Wasserfassung Underau, etc.).

Tabelle 1: Schnittstellen Drittprojekte.

| Was | Gemeinde | Randbedingung | Begründung/Erläuterung |
|--------------------------------|----------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N13/28 Wildtierquerung – ASTRA | Buchs | Ja | Raumbedarf für neue Wildtierquerung wird als Randbedingung berücksichtigt (Planung ist weiter vorangeschritten) |
| Rheindammsanierung Underau | Schaan | Nein | Anpassungen am sanierten Damm grundsätzlich möglich |
| ÖBB-Nordeinfahrt Bahnhof Buchs | Buchs | Nein | Keine konkrete Planung vorhanden, Machbarkeit durch Aufweitung nicht verunmöglicht. |

Tabelle 2: Schnittstellen Infrastruktur, Nutzungen.

| Was | Gemeinde | Randbedingung | Begründung/Erläuterung |
|--------------------------------|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Autobahn A13 | Buchs | Ja | Mindestabstand Achse Autobahn A13 – Dammfuss = 21 m [4] |
| Retentionsbecken Ceres A13 | Buchs | Nein | Retentionsbecken kann grundsätzlich umplatziert werden |
| Kompost-Aufbereitungsanlage | Buchs | Nein | Kompost-Aufbereitungsanlage kann grundsätzlich umplatziert werden, Weichungspflicht wird ggf. in neuer Konzession festgehalten. |
| Wasserfassung Underau | Schaan | Ja | Im Bereich der Schutzzonen |
| Gasleitung (Erdgas Ostschweiz) | Buchs | Nein | Gasleitung kann grundsätzlich verlegt werden |
| Freileitung | Buchs | Nein | Freileitung kann grundsätzlich verlegt werden. |
| Deponie Rheinau (Nord) | Eschen | Ja | Rückbau "Deponie Nord" aufgrund derzeitigem Mangel an Deponievolumen nicht zeitnah möglich (vgl. Kapitel 1.1) und wird im Moment als räumliche Randbedingung berücksichtigt. |
| Deponie Rheinau (Deponiedamm) | Eschen | Nein | Umgang mit dem «Deponiedamm» wird im Rahmen der Projekterarbeitung geklärt. Dieser wird jedoch nicht per se als räumliche Randbedingung berücksichtigt. Die Schüttung kann angepasst werden. |
| Internationale Radwege | FL/CH | Nein | Radwege können grundsätzlich angepasst bzw. verlegt werden. |

Tabelle 3: Schnittstellen nationale Inventare und Schutzgebiete.

| Was | Randbedingung | Begründung/Erläuterung |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (SG 205) | Nein | Bei Eingriff müssen zwingend Ersatzstandorte geschaffen werden. Anpassung Inventar notwendig. |
| Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (Nr. 429) | Nein | Bei Eingriff müssen zwingend Ersatzstandorte geschaffen werden. Anpassung Inventar notwendig. |
| Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung (SG 08) | Nein | Bei Projektierung berücksichtigen (insb. Schnittstelle zu Drittprojekt Wildtierquerung ASTRA). Deckungsstrukturen und Ein- / Ausstieg ins Wasser beachten. |
| Landschaftsschutzinventar L7.2 | Nein | Liegt grundsätzlich nicht im Projektperimeter. Auswirkungen bei Projektierung aufzeigen |
| Besonders schützenswerte Lebensräume - Magerstandorte (Trockenstandorte) | Nein | Berücksichtigung bei Projektierung (Auswirkungen aufzeigen). Es sind Ausgleichsmassnahmen oder gleichwertige Ersatzmassnahmen zu treffen. |
| Sonderwaldfläche Uderau | Nein | Berücksichtigung bei Projektierung (Auswirkungen aufzeigen). Es sind Ausgleichsmassnahmen oder gleichwertige Ersatzmassnahmen zu treffen. |
| Biotopinventar B1.13 | Nein | Berücksichtigung bei Projektierung (Auswirkungen aufzeigen). Es sind Ausgleichsmassnahmen oder gleichwertige Ersatzmassnahmen zu treffen. |

Tabelle 4: Schnittstellen regionale Inventare und Schutzgebiete.

| Was | Randbedingung | Begründung/Erläuterung |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|
| kantonales Schongebiet für Lebensräume bedrohter Arten in den Werdenberger Rheinauen tangiert | Nein | Berücksichtigung bei Projektierung (Auswirkungen aufzeigen). |

Gemäss den Ausführungen im Amphibienmonitoring aus dem Jahr 2011 [11] liegt der Projektperimeter auf Seite Fürstentum Liechtenstein in einem Amphibienlaichgebiet von überregionaler Bedeutung. Von den sechs vorkommenden Arten sind zwei stark gefährdet. Im Monitoring-Bericht ist die räumliche Auflösung der ausgewiesenen Gebiete klein und genaue Angaben über Lage und Ausdehnung der Laichgebiete sind nicht vorhanden. Diese müssen im Rahmen des Vorprojekts erhoben werden.

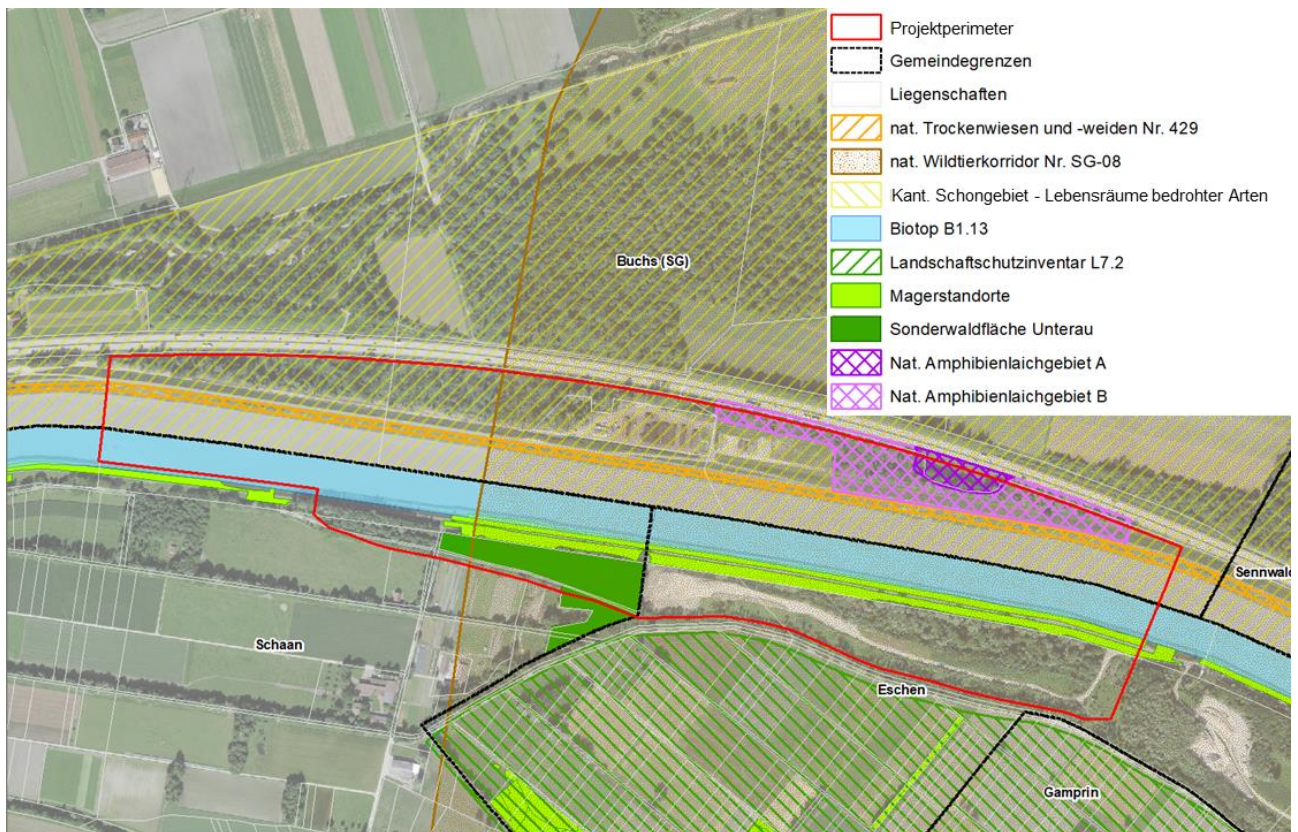


Abbildung 2: Inventare und Schutzgebiete.

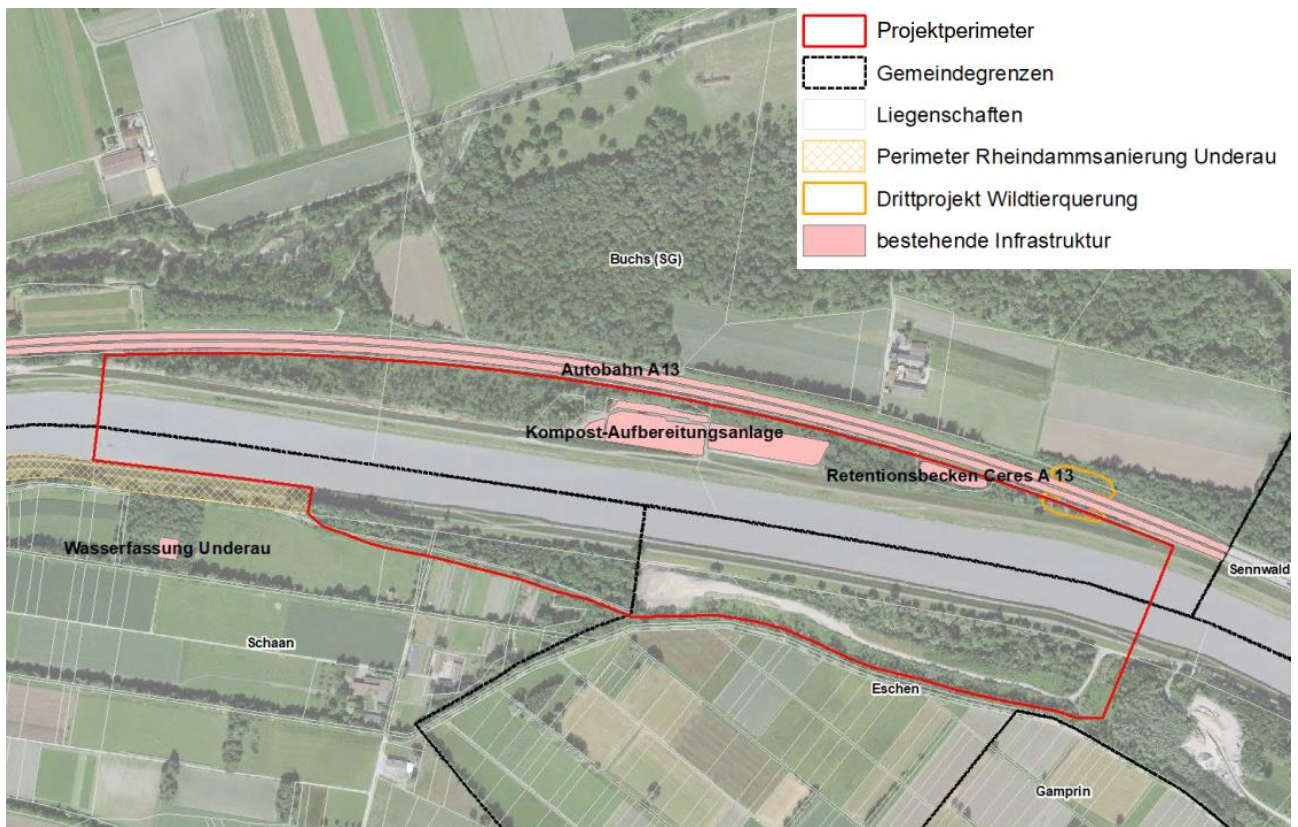


Abbildung 3: bestehende Infrastrukturanlagen und Drittprojekte.

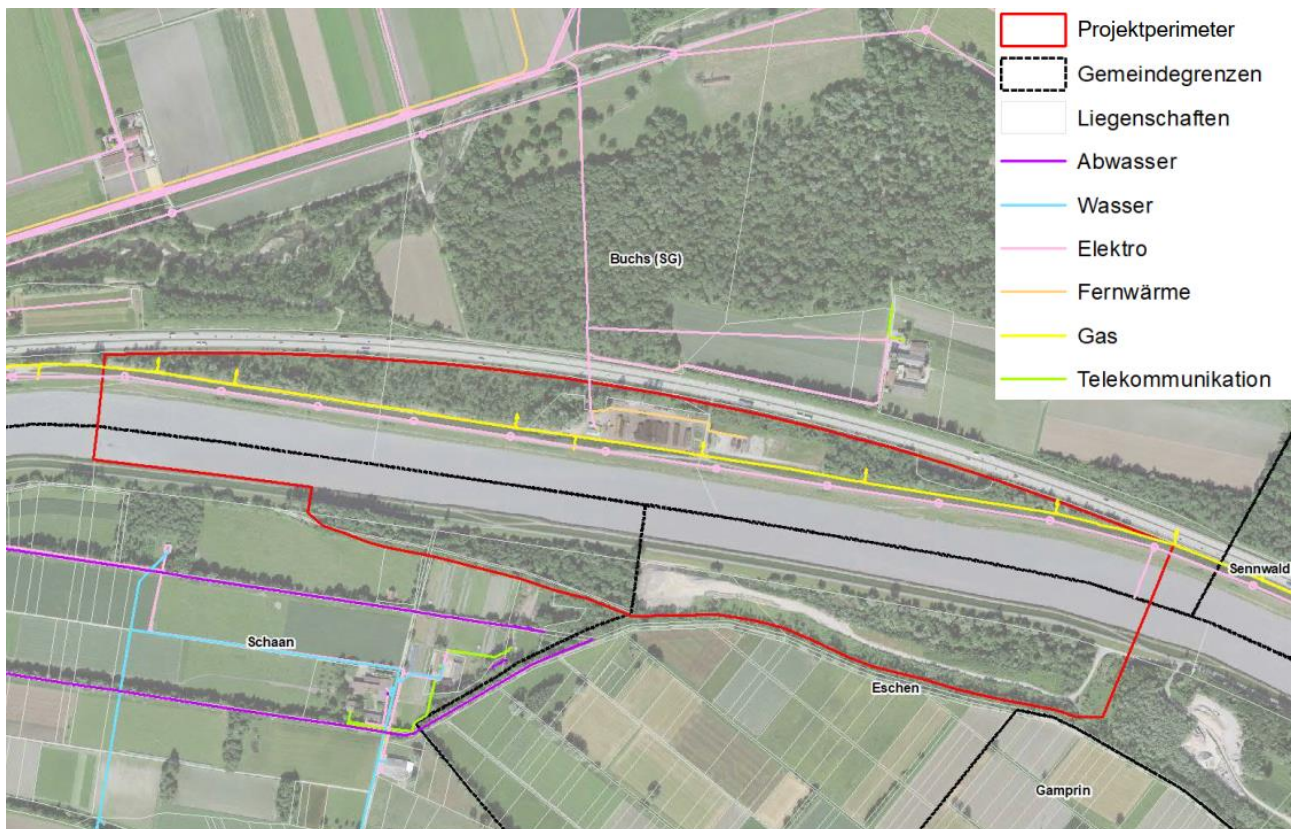


Abbildung 4: Werkleitungen.

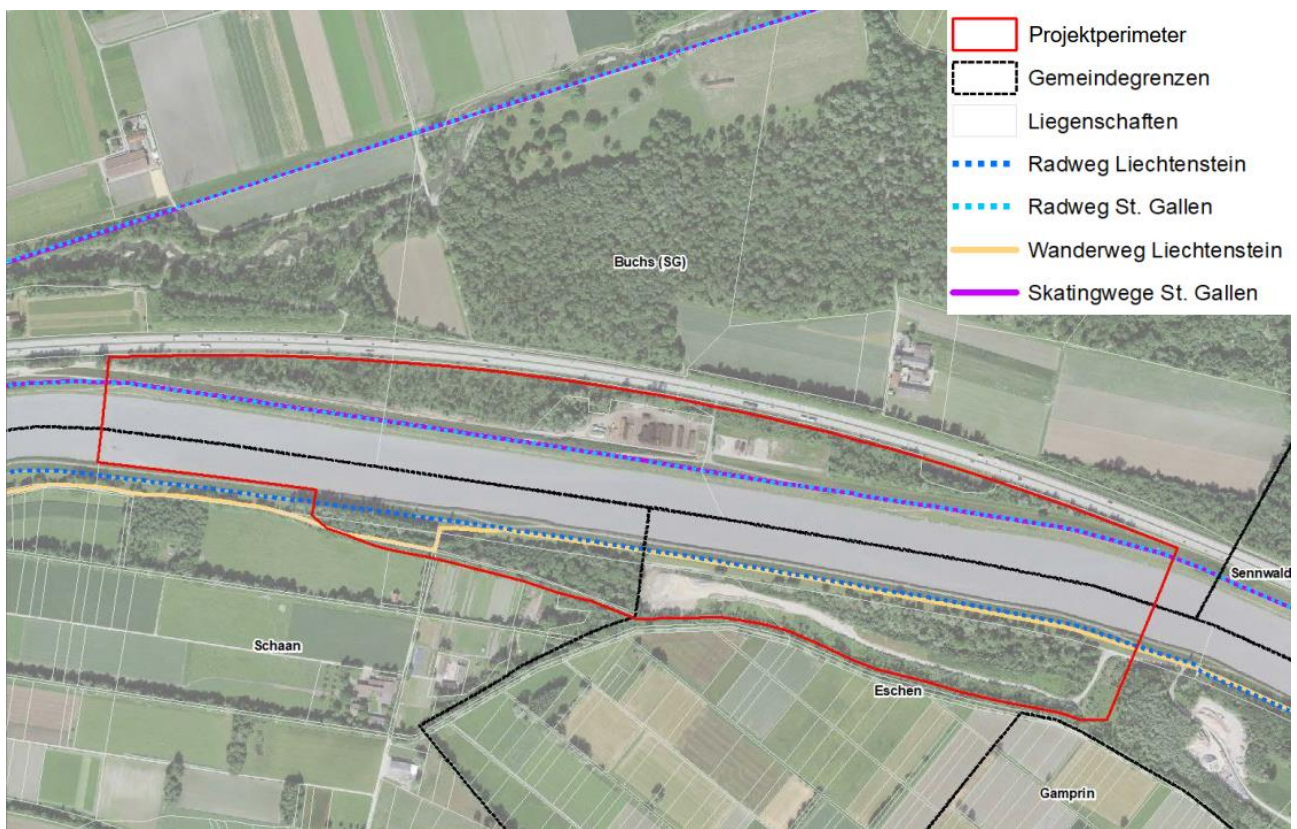


Abbildung 5: Langsamverkehrsrouten.

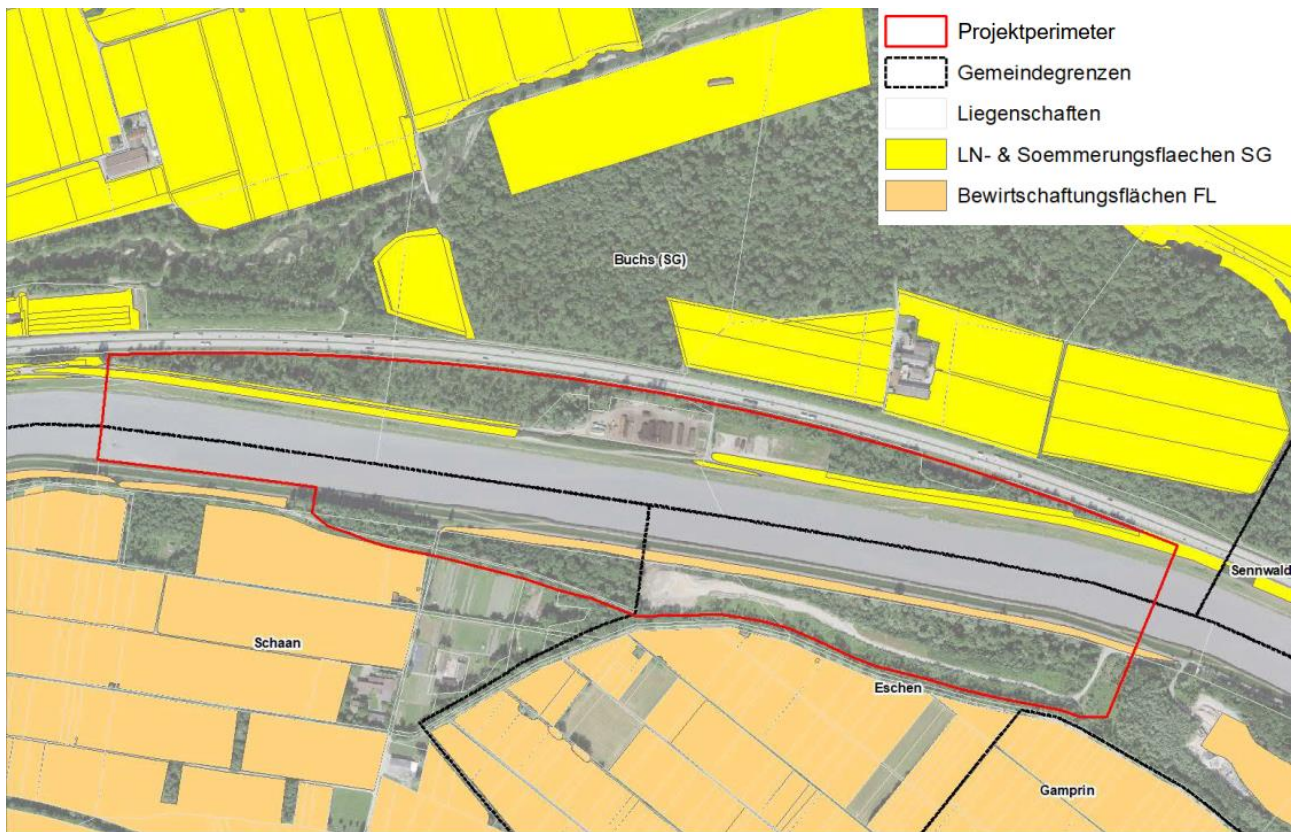


Abbildung 6: Landwirtschaftliche Nutzflächen/Bewirtschaftungsflächen.

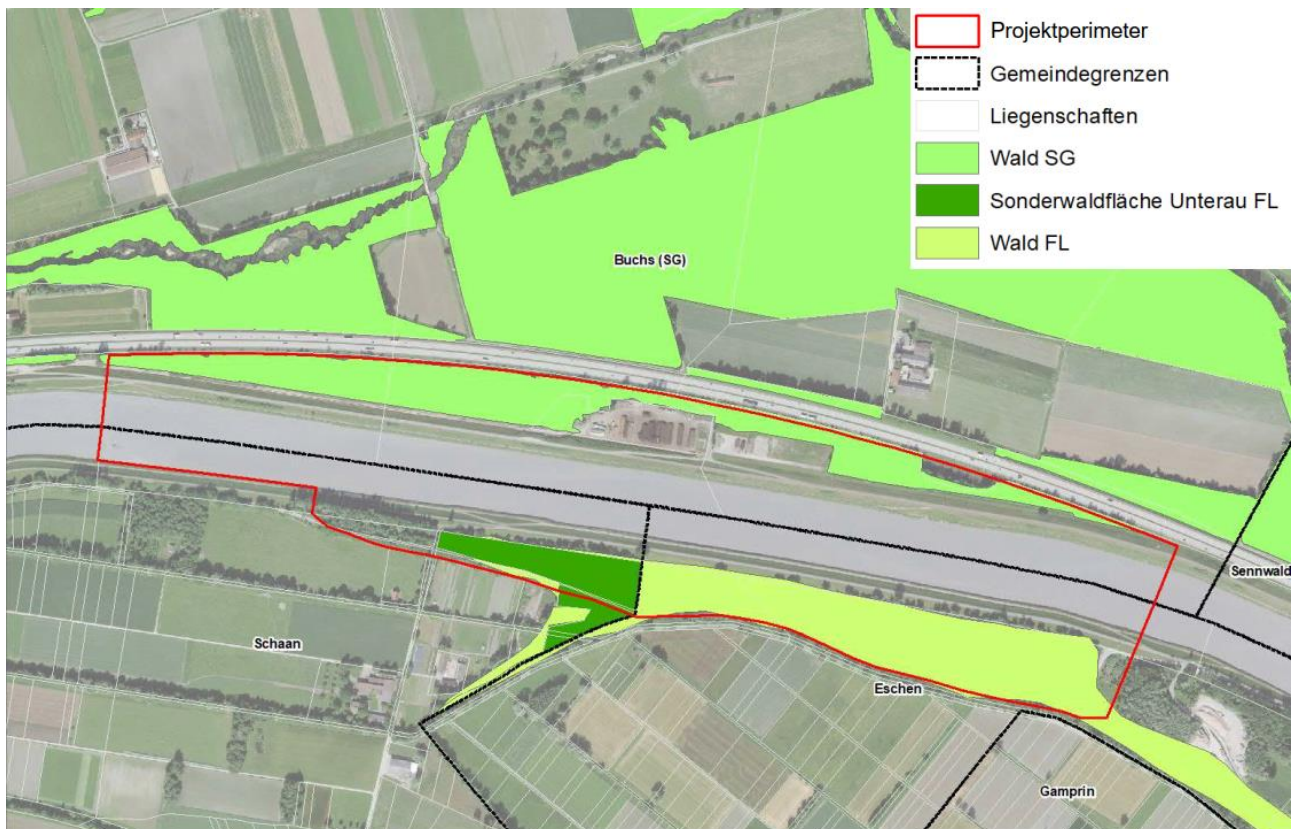


Abbildung 7: Waldflächen.

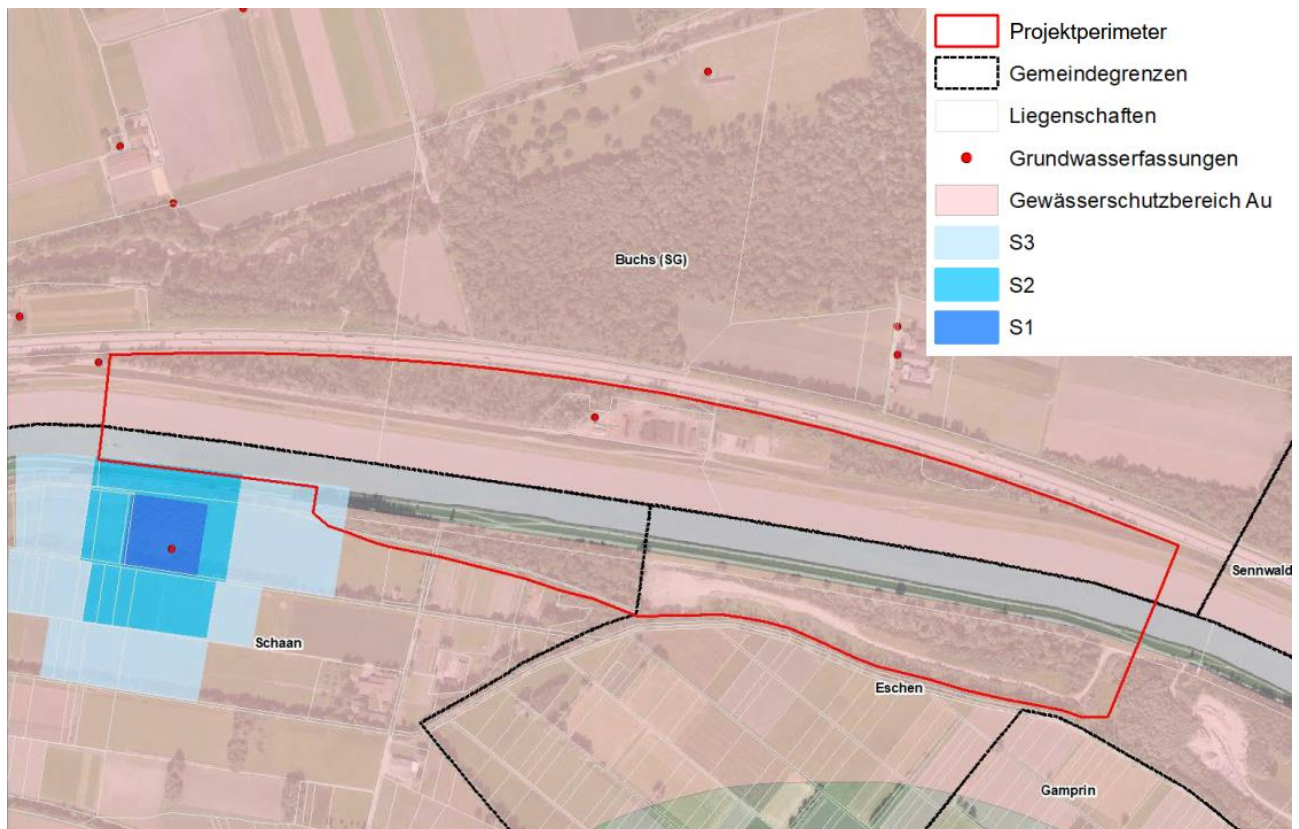


Abbildung 8: Gewässerschutzbereiche und Grundwasserfassungen.

4 Schnittstellen zukünftige Erweiterungen

Laut EKA ist seit 2005 zur Verbesserung der oberirdischen Gewässer als Lebensräume [Art. 34 GschG] ein Perimeter von der Liechtensteinischen Regierung genehmigt und im Landesrichtplan abgebildet, der eine zukünftige Erweiterung der Aufweitung in Längsrichtung ermöglicht (vgl. Kapitel 1.3). Es ist daher wichtig, dass die Massnahmen des vorliegenden Projektes solche Erweiterungen zulassen bzw. nicht verhindern. Im Rahmen des Vorprojekts sollen insbesondere die Auswirkungen einer späteren Erweiterung der Aufweitung gemäss EKA mitberücksichtigt und mögliche Konflikte aufgezeigt werden, d.h. nach Norden sowie weiter nach Süden bis zur Blockrampe Buchs-Schaan (vgl. Perimeter EKA gemäss Kapitel 1.3). Die notwendigen Baumassnahmen im Projektperimeter sind dabei so festzulegen, dass eine spätere Erweiterung der Aufweitung ohne grosse und komplexe bauliche Anpassungen im Projektperimeter möglich wird. Anpassungen im Übergangsbereich sind jedoch zu erwarten (vgl. Abbildung 9).

Im Rahmen des vorliegenden Variantenstudiums wurden insbesondere die wasserbaulichen Aspekte sowie Konflikte mit vorhandenen Infrastrukturanlagen im Bereich der Schnittstellen geprüft.

Aus wasserbaulicher Sicht gibt es keine Gegebenheiten, welche eine zukünftige Erweiterung in Längsrichtung verunmöglichen. Die Gewährleistung des Hochwasserschutzes gemäss «Systemsicherheit Alpenrhein» (7) und «Vereinbarung der Projektziele» (8) kann mit entsprechenden Dammbauten sichergestellt werden. Morphologische Prozesse innerhalb der Aufweitung können mit ausreichend tief fundierten Uferverbauungen entlang der Hochwasserschutzdämme kontrolliert werden.

Im Rahmen des Vorprojekts ist daher eine allfällige Erweiterung der Aufweitung bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. So werden insbesondere die prognostizierten Sohlenlagen sowie die erwarteten Kolkttiefen (v.a. beim Einengungstrichter) sowohl mit als auch ohne Erweiterung analysiert. Somit kann sichergestellt werden, dass die Hochwassersicherheit und die Uferstabilität im Projektperimeter gewährleistet bleiben, auch wenn die Aufweitung zu einem späteren Zeitpunkt in Längsrichtung erweitert wird.

Für eine spätere Erweiterung in Längsrichtung ist eine bauliche Kopplung der Hochwasserschutzdämme erforderlich. Anhand der Schnittstelle im Norden des Projektperimeters (bei Rhein-Km 52.7) auf der Seite des Fürstentums Liechtenstein wird eine solche bauliche Kopplung nachfolgend exemplarisch aufgezeigt:

1. Schüttung neuer Damm, welcher die Aufweitung im Projektperimeter mit dem «Deponiedamm» im Perimeter der Erweiterung verbindet (Dunkelgrün dargestellt in Abbildung 9, links)
2. Rückbau des Dammabschnittes, welcher die Aufweitung im Projektperimeter mit dem bestehenden Hochwasserschutzdamm verbindet (gelb dargestellt in Abbildung 9, Mitte)
3. Gestaltung und Angleichung der Aufweitungsfäche (Abbildung 9, rechts)



Abbildung 9: Bauliche Kopplung bei einer nördlichen Erweiterung auf Seite Fürstentum Liechtenstein.

Auf der Schweizer Seite, ist der Anschluss an den bestehenden Damm vor der zukünftigen Wildtierquerung geplant. Eine nördliche und südliche Erweiterung der Aufweitung auf Schweizer Seite ist aufgrund der Lage der Autobahn A13 nicht möglich und es sind hier somit keine vorausschauenden Massnahmen am Damm zu planen.

Am Ende des Projektperimeters (kurz vor Rhein-Km 52.7) quert eine Elektrofreileitung den Alpenrhein. Diese ist für die Aufweitung im Projektperimeter unproblematisch, wird jedoch bei einer zukünftigen Erweiterung in nördliche Längsrichtung zum Problem, da sie sich dann im Übergangsbereich befindet. Eine Verschiebung der Leitung ist nur in südliche

Richtung sinnvoll. Daher muss die Linienführung der Elektrofreileitung bereits bei der Realisierung der Aufweitung im Projektperimeter sinnvoll angepasst werden. Vorzugsweise wird die Querung ca. 130 m Richtung Süden verschoben, so dass sich keine Masten mehr im Übergangsbereich befinden (vgl. Abbildung 10).

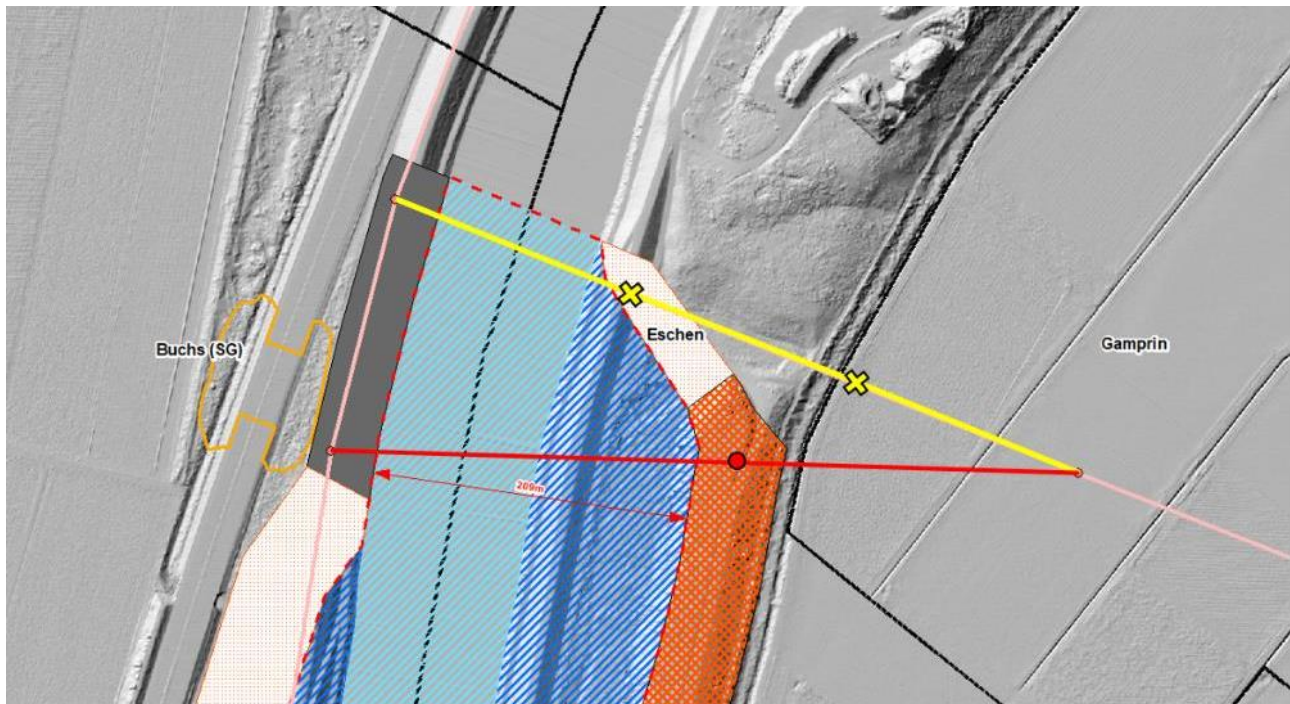


Abbildung 10: Bei der Aufweitung zu berücksichtigende Anpassung an der Elektrofreileitung (Hellrot = Bestand, gelb = Rückbau, rot = Verschiebung der Querung in südliche Richtung).

5 Mögliche Aufweitungsformen

Wie in Kapitel 1.2 erläutert, wurden für das Variantenstudium in einem ersten Schritt die möglichen Aufweitungsformen auf Schweizer Seite wie auch auf der Seite des Fürstentum Liechtensteins zusammengestellt. Ziel ist es, den Variantenfächer möglichst vollständig zu öffnen. Dafür werden die möglichen Aufweitungsformen in den nachfolgenden Kapiteln aufgelistet und auf ihre Vor- und Nachteile untersucht. In diesem ersten konzeptionellen Schritt wurde die Dimensionierung der Hochwasserschutzdämme noch nicht berücksichtigt.

5.1 Seite Schweiz (linksufrig)

5.1.1 Nr 1-CH Instandstellung

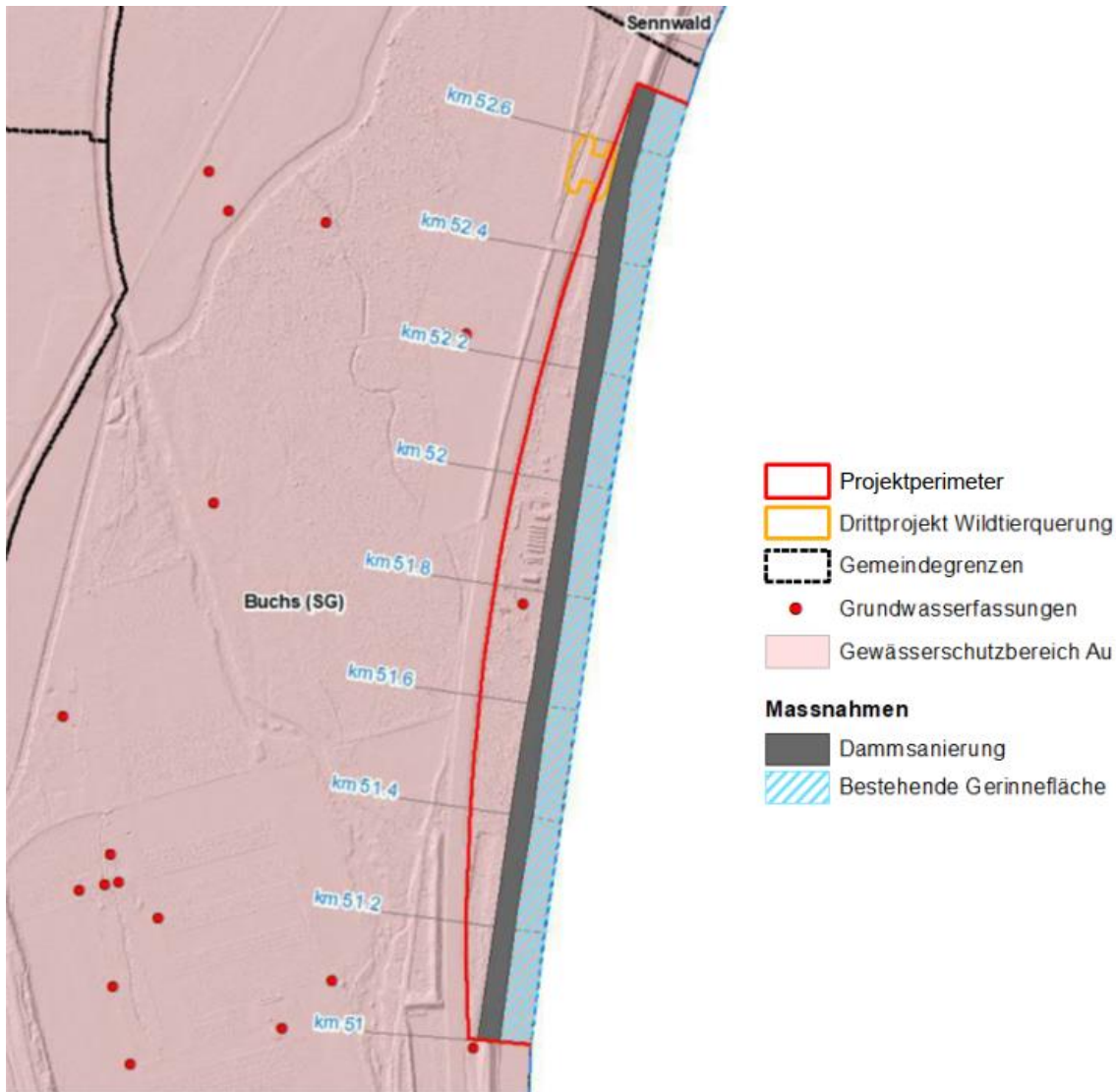


Abbildung 11: Skizze Nr 1-CH Instandstellung.

Tabelle 5: Grobcharakterisierung Nr 1-CH Instandstellung.

| Kurzbeschreibung | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters wird der bestehende Hochwasserschutzdamm auf Schweizer Seite ohne Aufweitung instand gestellt. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none"> + Gasleitung nicht tangiert + Elektrofreileitung nicht tangiert + Schutzgebiete und Inventare nur temporär beeinträchtigt + Infrastrukturen (Kompost-Aufbereitungsanlage, Retentionsbecken Ceres A13) nicht tangiert | <ul style="list-style-type: none"> - kein Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen - kein zusätzlicher Raum für den Rhein - keine eigendynamische Entwicklung |

5.1.2 Nr 2-CH kleine Aufweitung

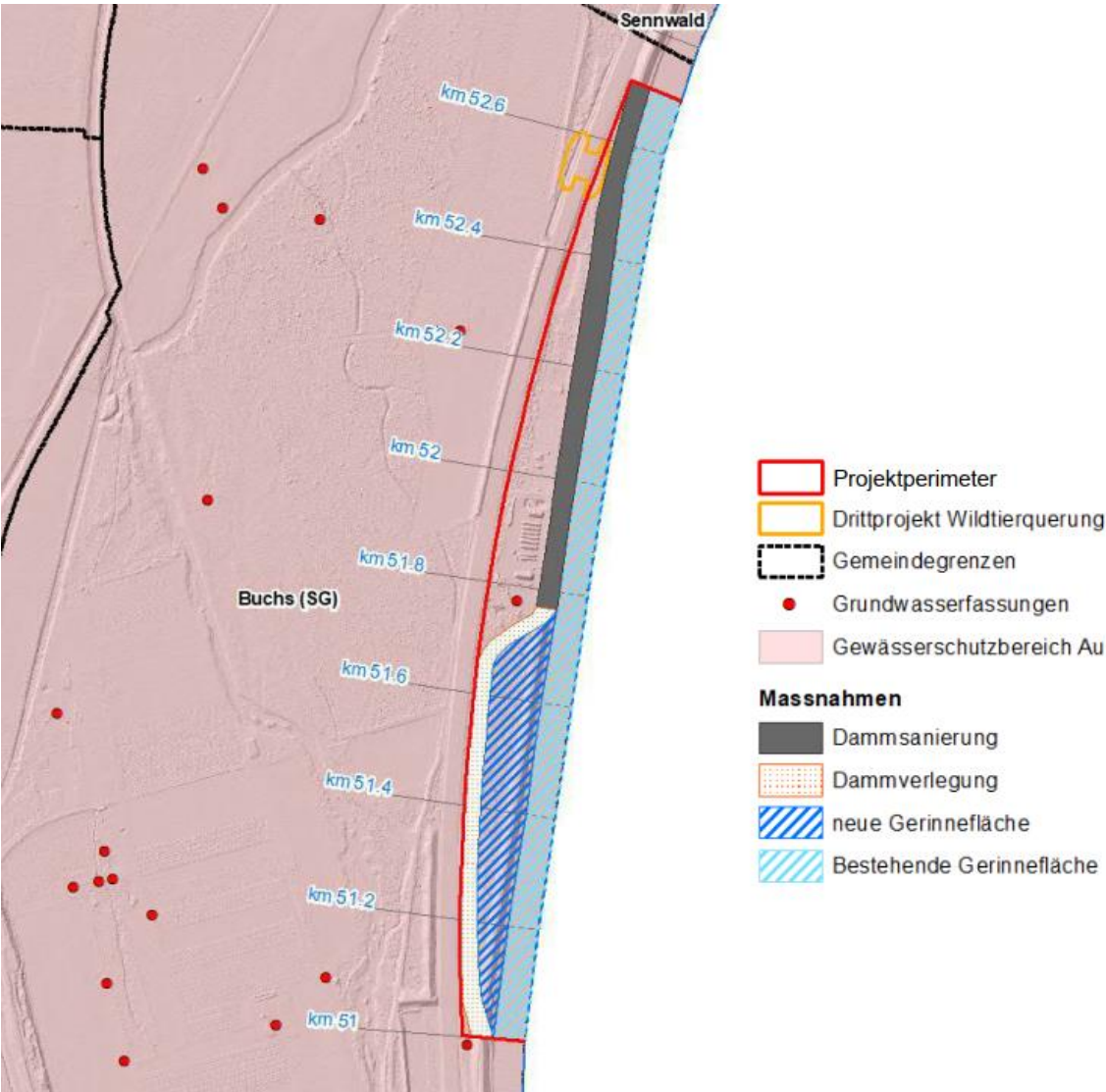


Abbildung 12: Skizze Nr 2-CH kleine Aufweitung.

Tabelle 6: Grobcharakterisierung Nr 2-CH kleine Aufweitung.

| Kurzbeschreibung | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn) eine Aufweitung auf Schweizer Seite vom Rhein-Km 51 bis zur Kompost-Aufbereitungsanlage. Unterstrom der Anlage wird der bestehende Hochwasserschutzdamm instand gestellt. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none">+ zusätzlicher Raum für den Rhein+ Amphibienlaichgebiet nationaler Bedeutung wird nicht tangiert.+ Infrastrukturen (Kompost-Aufbereitungsanlage, Retentionsbecken Ceres A13) nicht tangiert+ mässiges Potenzial zur Attraktivitätssteigerung Naherholung+ Gasleitung muss nur teilweise umgelegt werden+ Elektrofreileitung muss nur teilweise umgelegt werden | <ul style="list-style-type: none">- geringes Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen- geringes Potenzial für eigendynamische Entwicklung- Ersatzstandorte für betroffene Bundesinventare (Trockenwiesen und -weiden) |

5.1.3 Nr 3-CH mittlere Aufweitung

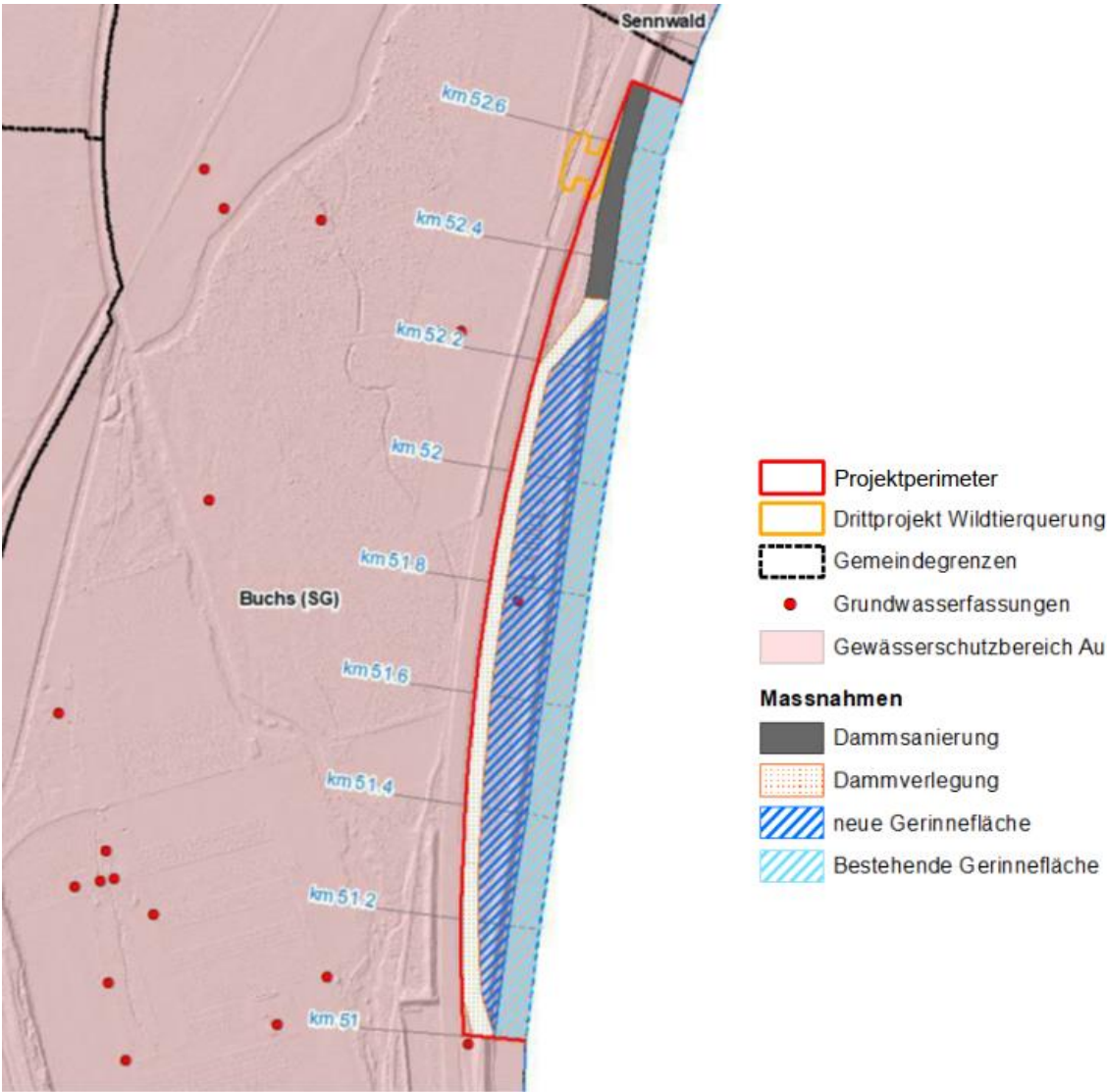


Abbildung 13: Skizze Nr 3-CH mittlere Aufweitung.

Tabelle 7: Grobcharakterisierung Nr 3-CH mittlere Aufweitung.

| Kurzbeschreibung | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) eine Aufweitung auf Schweizer Seite vom Rhein-Km 51 bis zum Retentionsbecken Ceres A13. Unterstrom der Anlage wird der bestehende Hochwasserschutzdamm instand gestellt. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <div>+ viel zusätzlicher Raum für den Rhein</div> <div>+ grosses Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen</div> <div>+ grosses Potenzial für eigendynamische Entwicklung</div> <div>+ grosses Potenzial zur Attraktivitätssteigerung Naherholung</div> <div>+ Amphibienlaichgebiet nationaler Bedeutung wird nur geringfügig tangiert.</div> | <div>- Gasleitung muss umgelegt werden</div> <div>- Freileitung muss umgelegt werden</div> <div>- Ersatzstandorte für betroffene Bundesinventare (Trockenwiesen und -weiden)</div> <div>- Kompost-Aufbereitungsanlage muss umplatziert werden</div> |

5.1.4 Nr 4-CH grosse Aufweitung

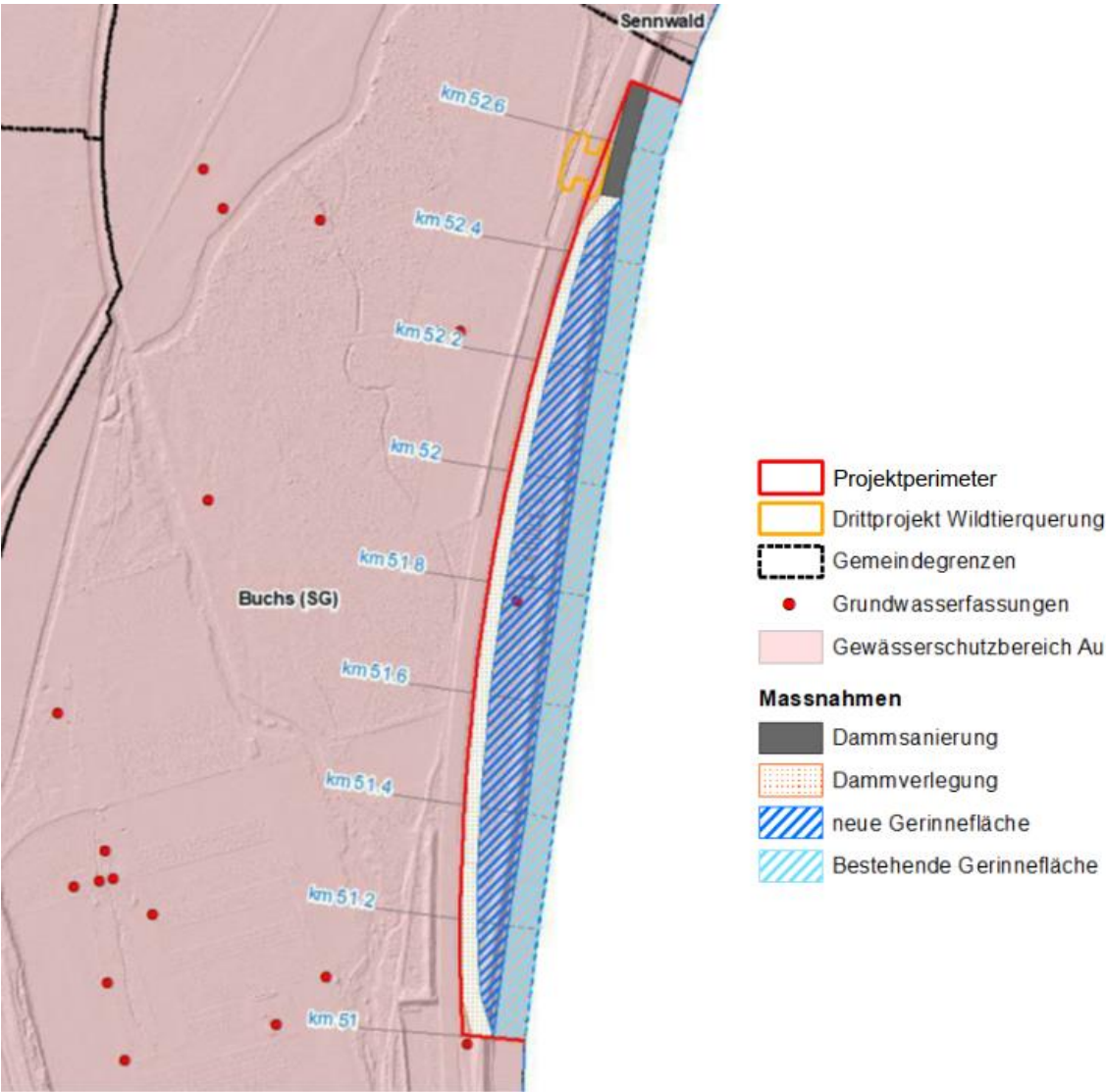


Abbildung 14: Skizze Nr 4-CH grosse Aufweitung.

Tabelle 8: Grobcharakterisierung Nr 4-CH grosse Aufweitung.

| Kurzbeschreibung | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) eine Aufweitung auf Schweizer Seite vom Rhein-Km 51 bis zur geplanten Wildtierquerung (maximal mögliche Aufweitung). Unterstrom der Querung wird der bestehende Hochwasserschutzdamm instand gestellt. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none">+ maximal möglicher zusätzlicher Raum für den Rhein+ maximal mögliches Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen+ maximal mögliches Potenzial für eigendynamische Entwicklung+ grosses Potenzial zur Attraktivitätssteigerung Naherholung | <ul style="list-style-type: none">- Gasleitung muss umgelegt werden- Freileitung muss umgelegt werden- Ersatzstandorte für betroffene Bundesinventare (Amphibienlaichgebiet, Trockenwiesen und -weiden)- Infrastrukturen (Kompost-Aufbereitungsanlage, Retentionsbecken Ceres A13) müssen umplatziert werden |

5.2 Fürstentum Liechtenstein (rechtsufrig)

5.2.1 Nr 1-FL Instandstellung

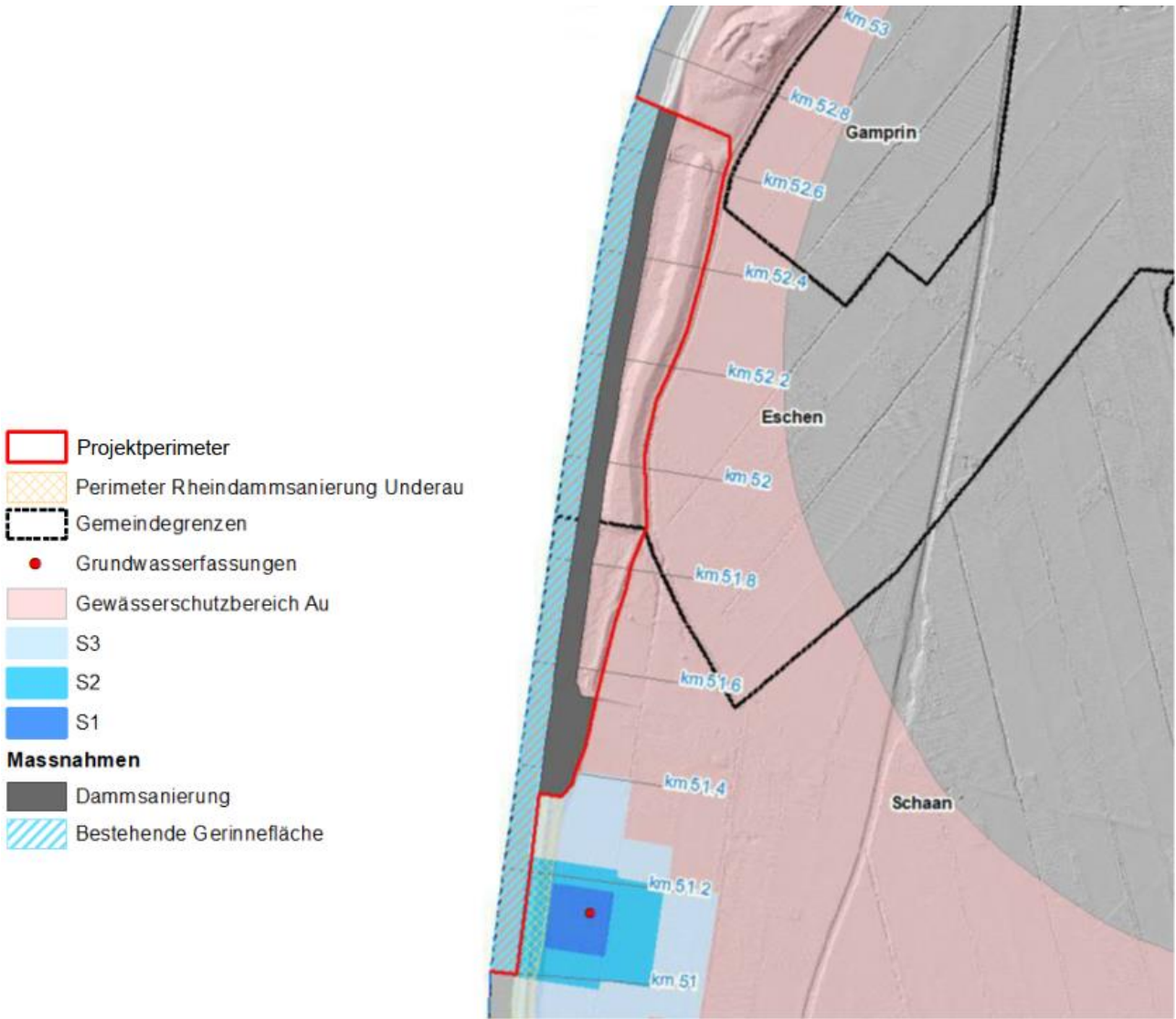


Abbildung 15: Skizze Nr 1-FL Instandstellung.

Tabelle 9: Grobcharakterisierung Nr 1-FL Instandstellung.

| Kurzbeschreibung | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters wird der bestehende Hochwasserschutzdamm auf Seite Fürstentum Liechtenstein ohne Aufweitung instand gestellt. | |
| Vorteile | Nachteile |
| + Schutzgebiete und Inventare nur temporär beeinträchtigt | - kein Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen |
| + bestehender Deponiedamm nicht tangiert | - kein zusätzlicher Raum für den Rhein |
| | - keine eigendynamische Entwicklung |

5.2.2 Nr 2-FL Mittlere Aufweitung

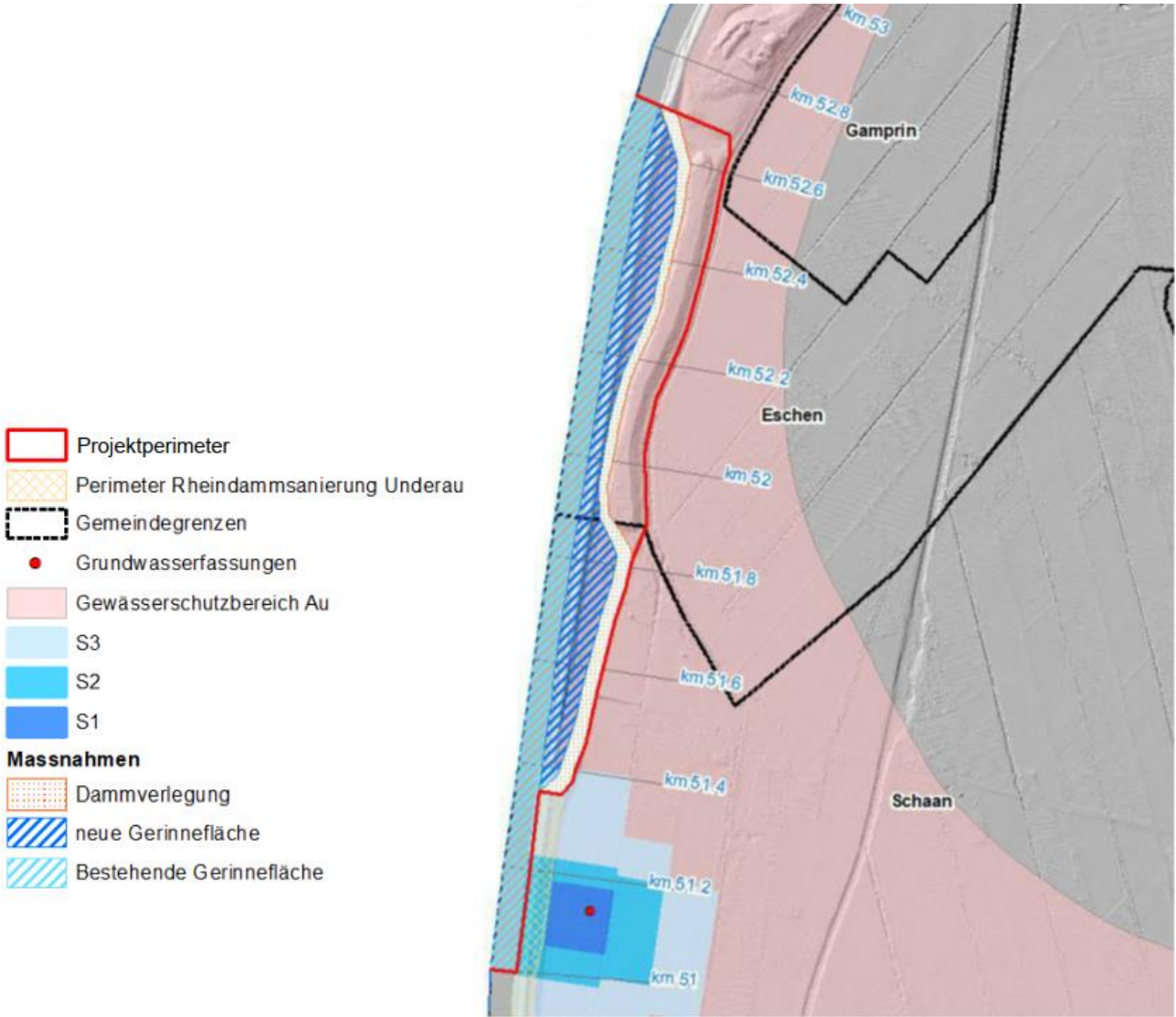


Abbildung 16: Skizze Nr 2-FL kleine Aufweitung.

Tabelle 10: Grobcharakterisierung Nr 2-FL kleine Aufweitung.

| Kurzbeschreibung | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Wasserfassung Underau) eine durchgehende Aufweitung auf Seite Fürstentum Liechtenstein. Es wird davon ausgegangen, dass der «Deponiedamm» nicht als Hochwasserschutzdamm genutzt werden kann und vorgelagert ein neuer Dammkörper erstellt werden muss. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none">+ zusätzlicher Raum für den Rhein+ grosses Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen+ grosses Potenzial für eigendynamische Entwicklung+ grosses Potenzial zur Attraktivitätssteigerung Naherholung+ keine Unsicherheiten bezüglich «Deponiedamm» (Klare Trennung Hochwasserschutzdamm und «Deponiedamm») | <ul style="list-style-type: none">- anspruchsvolle Dammumlegung im Bereich der heutigen flachen Aussenböschung zwischen Rhein-Km 51.35 und 51.55- Ersatzstandorte für betroffene Schutzgebiete (Trockenstandorte und ggf. Amphibienlaichgebiete, vgl. Kapitel 3.2) |

5.2.3 Nr 3-FL kleine Aufweitung

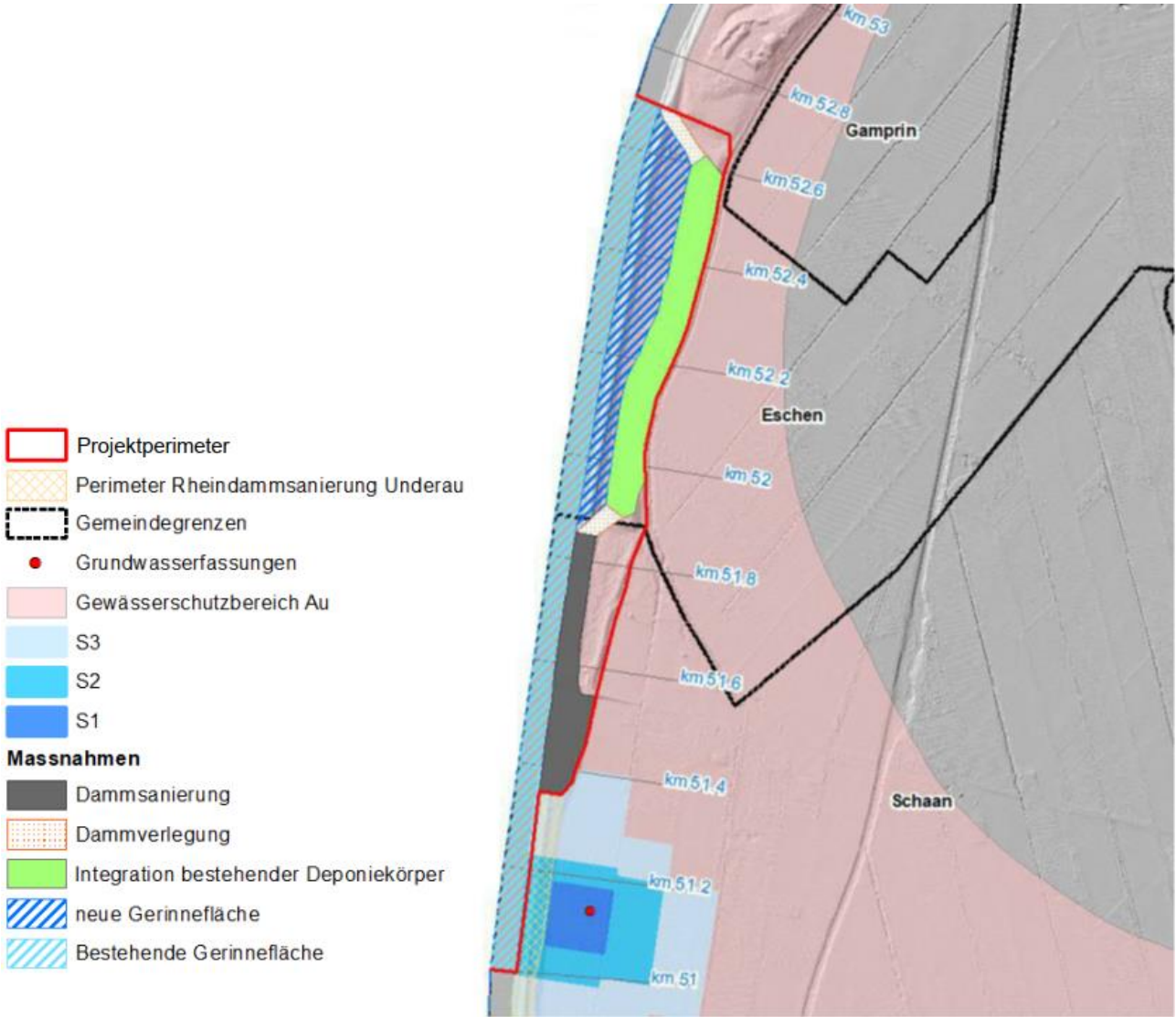


Abbildung 17: Skizze Nr 3-FL nördliche Aufweitung.

Tabelle 11: Grobcharakterisierung Nr 3-FL nördliche Aufweitung

| Kurzbeschreibung | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt nur im Bereich des bestehenden «Deponiedamms» eine Aufweitung auf Seite Fürstentum Liechtenstein. Der geschüttete «Deponiedamm» wird dafür als Hochwasserschutzdamm umfunktioniert. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <div>+ zusätzlicher Raum für den Rhein + nur sehr wenig neue Dammbauten nötig + Sonderwaldfläche Underau bleibt erhalten</div> | <div>- Unsicherheit bezüglich Umnutzung «Deponiedamm» (Materialeigenschaften) - geringes Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen - geringes Potenzial für eigendynamische Entwicklung - Ersatzstandorte für betroffene Schutzgebiete (Trockenstandorte und ggf. Amphibienlaichgebiete, vgl. Kapitel 3.2)</div> |

5.2.4 Nr 4-FL grosse Aufweitung

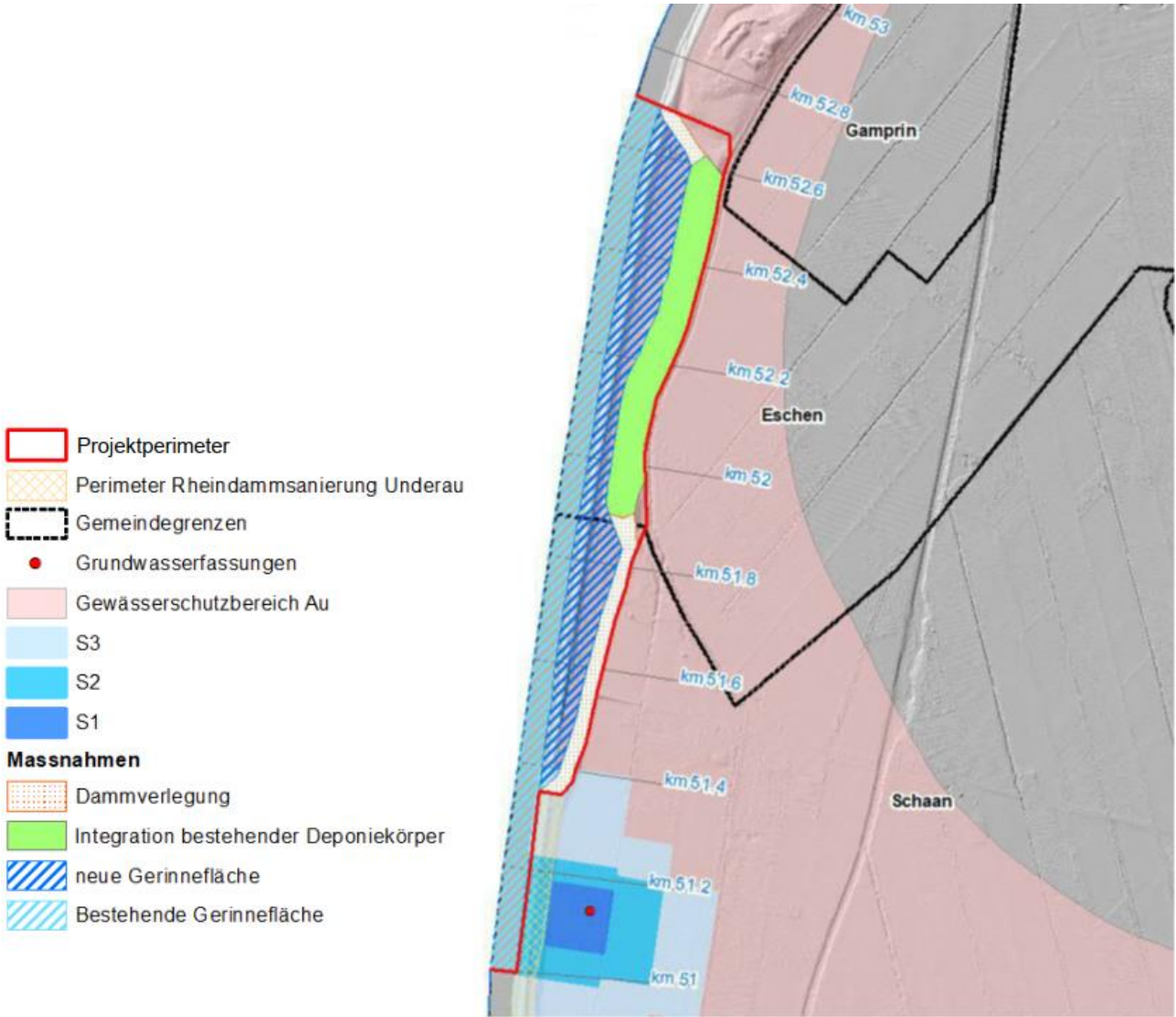


Abbildung 18: Skizze Nr 4-FL grosse Aufweitung.

Tabelle 12: Grobcharakterisierung Nr 4-FL grosse Aufweitung.

| Kurzbeschreibung | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Innerhalb des Projektperimeters erfolgt unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Wasserfassung Underau) die maximal mögliche Aufweitung auf Seite Fürstentum Liechtenstein. Der geschüttete «Deponiedamm» wird dafür als Hochwasserschutzdamm umfunktioniert. | |
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none">+ maximal möglicher zusätzlicher Raum für den Rhein+ maximal mögliches Potenzial für ökologische/morphodynamische Aufwertungen+ maximal mögliches Potenzial für eigendynamische Entwicklung+ grosses Potenzial zur Attraktivitätssteigerung Naherholung | <ul style="list-style-type: none">- Unsicherheit bezüglich Umnutzung «Deponiedamm» (Materialeigenschaften)- anspruchsvolle Dammumlegung im Bereich der heutigen flachen Aussenböschung zwischen Rhein-Km 51.35 und 51.55- Ersatzstandorte für betroffene Schutzgebiete (Trockenstandorte und ggf. Amphibienlaichgebiete, vgl. Kapitel 3.2) |

6 Varianten

Basierend auf den verschiedenen Aufweitungsformen (vgl. Kapitel 5) wurden in einem nächsten Schritt Varianten abgeleitet, welche vertiefter geprüft werden. Für die Variantsynthese wurden sämtliche Kombinationen der verschiedenen Aufweitungsformen auf Schweizer Seite sowie auf Seite Fürstentum Liechtenstein beurteilt (vgl. Tabelle 13).

Die Aufweitungsform «Nr 1-FL Instandstellung» sowie «Nr 1-CH Instandstellung» werden gemeinsam als «Nullvariante» berücksichtigt, welche als Vergleichsbasis ohne Aufweitung dient. Kombinationen mit anderen Aufweitungsformen werden ausgeschlossen, da auf Seite Fürstentum Liechtenstein grundsätzlich keine Hindernisse vorhanden sind, welche eine Aufweitung verunmöglichen. Die Bewertung der Bestvariante ohne Aufweitung auf Schweizer Seite erfolgt gemäss dem definierten Vorgehen (vgl. Kapitel 0) ohnehin in einem zweiten Schritt und wird darum hier ebenfalls nicht berücksichtigt.

Weiter wird die Aufweitungsform «Nr 3-CH mittlere Aufweitung» nicht berücksichtigt, da kein standhaftes Argument vorliegt, weshalb das Retentionsbecken Ceres am jetzigen Standort erhalten bleiben soll. Das Retentionsbecken würde nicht aufgehoben, sondern verschoben werden. Dadurch ist auch gleich der Ersatzstandort für das damit verbundene Amphibienlaichgebiet gegeben.

Ebenfalls ausgeschlossen wird die Aufweitungsform «Nr. 2-FL kleine Aufweitung». Diese Form sieht einen zweiten Damm neben dem Deponiedamm vor. Es ist jedoch seit geraumer Zeit vorgesehen, dass der Deponiedamm in einen Hochwasserschutzdamm umfunktioniert werden soll.

Tabelle 13: Kombinationen der möglichen Aufweitungsformen.

| Seite CH | Seite FL | Berücksichtigung | Begründung |
|----------|----------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nr 1-CH | Nr 1-FL | ja | Nullvariante, welche als Vergleichsbasis dient |
| Nr 1-CH | Nr 2-FL | nein | Nr 2-FL wurde ausgeschlossen |
| Nr 1-CH | Nr 3-FL | nein | Prüfung ohne Aufweitung auf Seite CH erfolgt in 2. Schritt für Bestvariante |
| Nr 1-CH | Nr 4-FL | nein | Prüfung ohne Aufweitung auf Seite CH erfolgt in 2. Schritt für Bestvariante |
| Nr 2-CH | Nr 1-FL | nein | Keine Aufweitung auf Seite FL wird ausgeschlossen |
| Nr 2-CH | Nr 2-FL | nein | Nr 2-FL wird ausgeschlossen |
| Nr 2-CH | Nr 3-FL | ja | Kleine Aufweitung |
| Nr 2-CH | Nr 4-FL | nein | Unterscheid zu obenstehender Kombination wird als zu gering beurteilt, um eine separate Variante festzulegen |
| Nr 3-CH | Nr 1-FL | nein | Nr 3-CH sowie keine Aufweitung auf Seite FL wurden ausgeschlossen |
| Nr 3-CH | Nr 2-FL | nein | Nr 3-CH und Nr 2-FL wurden beide ausgeschlossen |
| Nr 3-CH | Nr 3-FL | nein | Nr 3-CH wurde ausgeschlossen |
| Nr 3-CH | Nr 4-FL | nein | Nr 3-CH wurde ausgeschlossen |
| Nr 4-CH | Nr 1-FL | nein | Keine Aufweitung auf Seite FL wird ausgeschlossen |
| Nr 4-CH | Nr 2-FL | nein | Nr 2-FL wird ausgeschlossen |
| Nr 4-CH | Nr 3-FL | ja | Mittlere Aufweitung |
| Nr 4-CH | Nr 4-FL | ja | Grosse Aufweitung |

Basierend auf den oben beschriebenen Grundsätzen werden somit vier Kombinationen der Aufweitungsformen (inkl. Nullvariante als Vergleich) weiterverfolgt.

Nachfolgend wird von folgenden Böschungsneigungen bei den Hochwasserschutzdämmen ausgegangen (vgl. Abbildung 19):

- Wasserseitig: 1:2 (vertikal zu horizontal)
- Luftseitig: 1:3 (vertikal zu horizontal)

Diese Neigungen sind noch nicht abschliessend definiert, da sie von den Materialeigenschaften der Dämme abhängig sind. Die genauen Werte und weitestführende Abklärungen bezüglich der Dammgeometrie sind später im Rahmen des Vorprojekts für die Bestvariante zu prüfen.

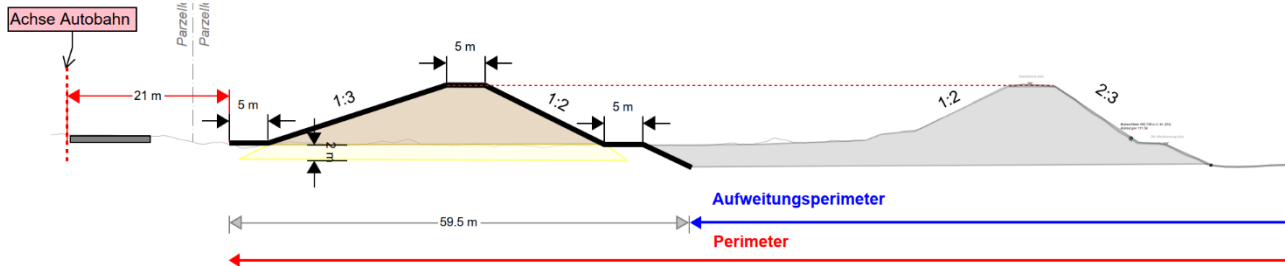


Abbildung 19: Charakteristisches Querprofil bei einer Verlegung des Hochwasserschutzdammes.

Weiter wurden zwei Optionen für den Umgang mit dem bestehenden Deponiekörper festgelegt. Bei der ersten Option «Integration» wird der bestehende Deponiekörper in seiner heutigen Form als Hochwasserschutzdamm integriert (vgl. Abbildung 20). Bei der zweiten Möglichkeit «Reduktion» wird der Deponiekörper in seiner Breite reduziert, damit die Aufweitungsfäche maximiert werden kann. Dabei wird ein Überprofil berücksichtigt, so dass auch eine wasserseitige Bepflanzung des Dammes möglich ist (vgl. Abbildung 21). In beiden Fällen wird der Deponiekörper in seiner Höhe belassen (kein Abtrag). Die Dammkrone des zukünftigen Hochwasserschutzdammes ist daher höher als im heutigen Bestand (vgl. rot gestrichelte Linie in Abbildung 20 und Abbildung 21).

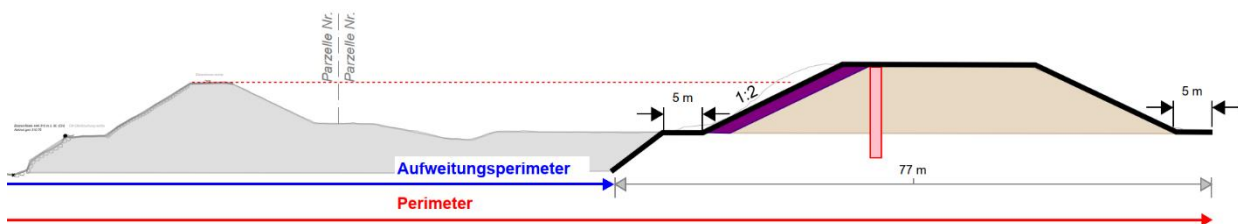


Abbildung 20: Charakteristisches Querprofil - Integration des bestehenden Deponiekörpers auf Seite Fürstentum Liechtenstein.

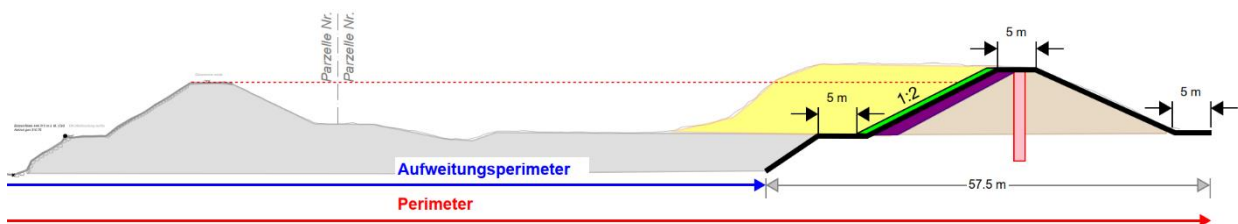


Abbildung 21: Charakteristisches Querprofil - Reduktion des bestehenden Deponiekörpers auf Seite Fürstentum Liechtenstein.

Gemeinsam wurde im Projektteam festgelegt, dass basierend auf obigen Ausführungen und den Ergebnissen in Tabelle 13, die folgenden fünf Varianten weiter untersucht und bewertet werden sollen:

- V0 - Nullvariante
- V1 - Klein (Integration)
- V2 - Mittel (Reduktion)
- V3 - Gross (Integration)
- V4 - Gross (Reduktion)

In den Kapiteln 6.1 bis 6.5 sind die Varianten kurz erklärt und die Übersichtspläne sind im Anhang A beigelegt. Um die Materialvolumen abzuschätzen, wurden die Hochwasserschutzdämme gem. den definierten Böschungsneigungen und geometrischen Anforderungen dimensioniert (vgl. Abbildung 19 bis Abbildung 21) und sind in den Übersichtsplänen massstäblich dargestellt.

6.1 V0 – Nullvariante

Kurzbeschreibung:

Die bestehenden Hochwasserschutzdämme werden beidseitig ohne Aufweitung instand gestellt.

Grobbeurteilung Ökologie:

Geschützte Lebensräume werden durch bauliche Tätigkeiten auf beiden Seiten temporär beeinträchtigt.

| Gerinnesohlenflächen | (m ² / %) | Materialvolumen | (m ³) |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Bestehende Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Dammrückbau | 0 |
| Zusätzliche Sohlenfläche | 0 / 0 | Dammneubau | 0 |
| Totale Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Aushub für Uferschutz | 0 |
| | | Teilabtrag Deponiedamm | 0 |

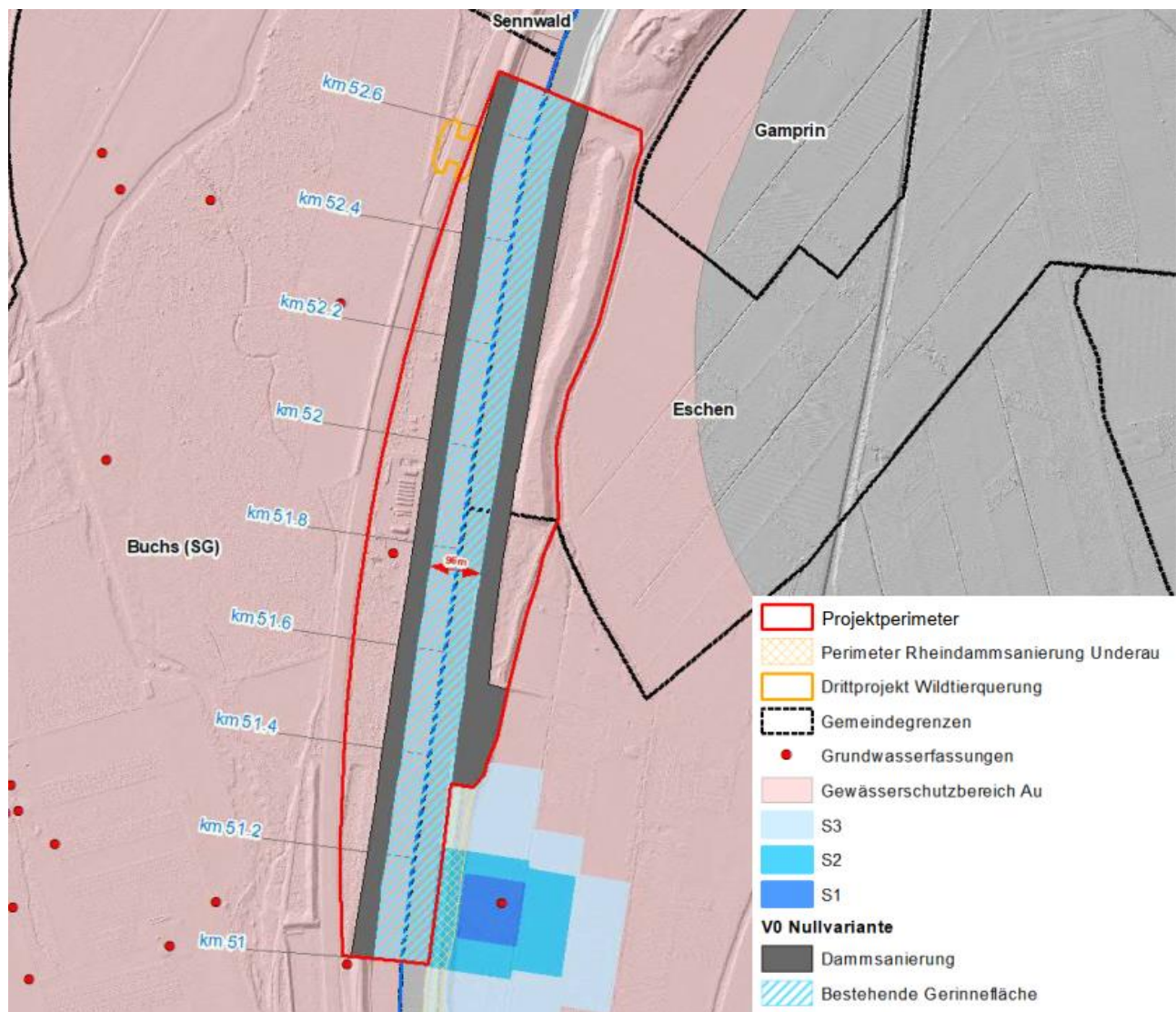


Abbildung 22: Skizze V0 - Nullvariante.

6.2 V1 – Klein (Integration)

Kurzbeschreibung:

Die Aufweitung auf Schweizer Seite erfolgt nur im Abschnitt zwischen dem Anfang des Projektperimeters (Rhein-Km 51) und der Kompost-Aufbereitungsanlage auf einer Länge von rund 730 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung nur entlang des bereits geschütteten «Deponiedamms» auf einer Länge von rund 800 m. Der bereits geschüttete «Deponiedamm» wird als Hochwasserschutzdamm integriert (vgl. Abbildung 23).

Grobbeurteilung Ökologie:

Die inventarisierten Amphibienschutzgebiete auf Schweizer Seite werden temporär beeinträchtigt. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist die Beeinträchtigung von Amphibienlaichgebieten noch im Detail zu prüfen (vgl. Kapitel 3.2). Es ist davon auszugehen, dass schützenswerte Gebiete tangiert bzw. zerstört werden und dafür Ersatzstandorte definiert werden müssen. Trockenstandorte werden auf beiden Seiten gestört und teilweise vernichtet. Es wird Ersatzstandorte brauchen, wobei sich der Deponiekörper als Möglichkeit anbietet.

| Gerinnesohlenflächen | (m ² / %) | Materialvolumen | (m ³) |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Bestehende Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Dammrückbau | -165'000 |
| Zusätzliche Sohlenfläche | 72'800 / 42 | Dammneubau | 184'000 |
| Totale Sohlenfläche | 244'300 / 142 | Aushub für Uferschutz | -139'000 |
| | | Teilabtrag Deponiedamm | 0 |

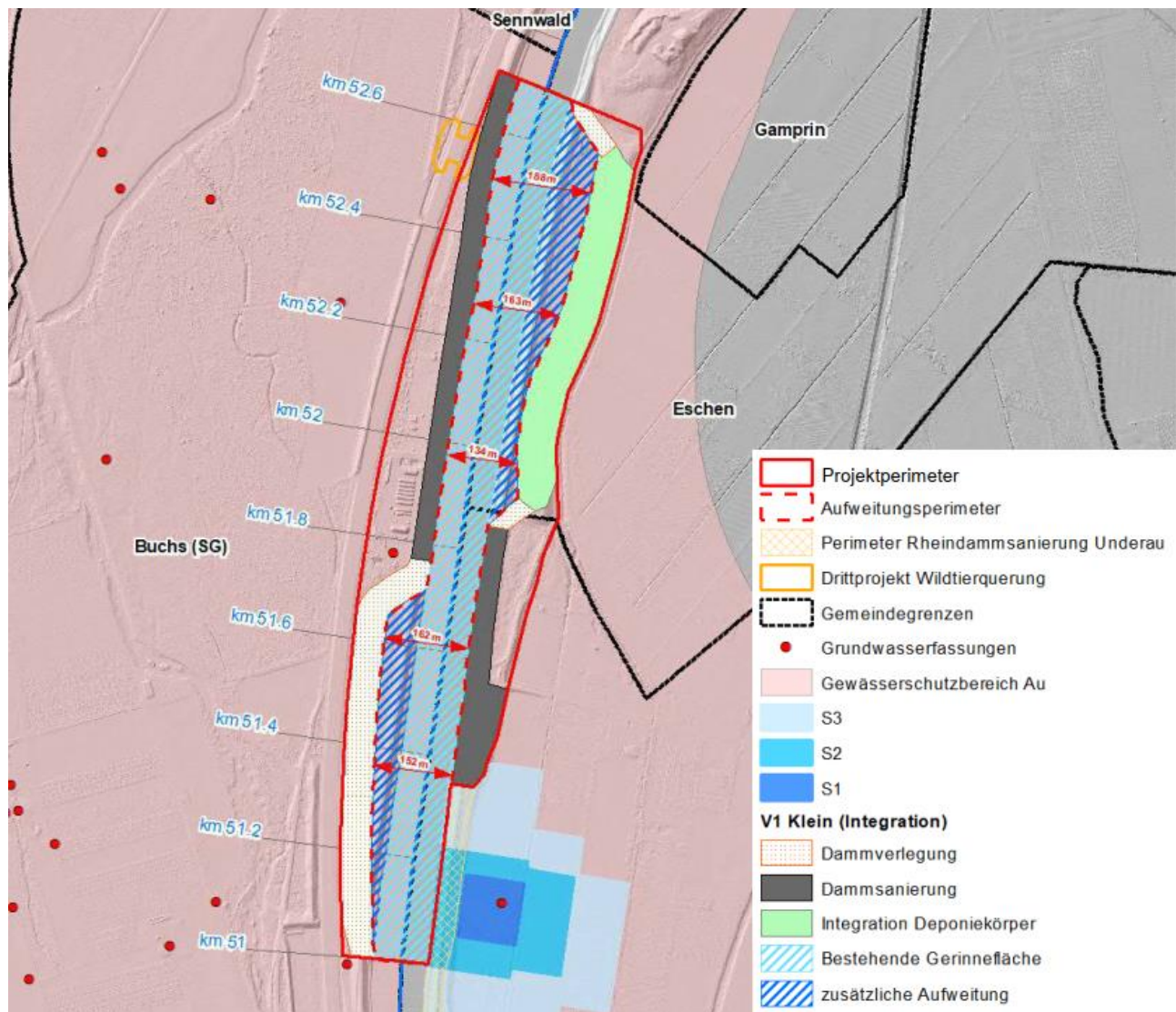


Abbildung 23: Skizze V1 – Klein (Integration).

6.3 V2 – Mittel (Reduktion)

Kurzbeschreibung:

Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung nur entlang des bereits geschütteten «Deponiedamms» auf einer Länge von ca. 800 m. Die Breite des bereits geschütteten «Deponiedamms» wird reduziert (Teilabtrag) um mehr Fläche für den Rhein zu generieren (vgl. Abbildung 24).

Grobbeurteilung Ökologie:

Gute eigendynamische Entfaltung möglich, allerdings werden Schutzgebiete temporär beeinträchtigt und teilweise vernichtet. Betroffen sind sicher Trockenstandorte auf beiden Seiten sowie Amphibienlaichgebiete auf Schweizer Seite. Für die betroffenen Gebiete sind Ersatzstandorte zu definieren. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist die Beeinträchtigung von Amphibienlaichgebieten noch im Detail zu prüfen (vgl. Kapitel 3.2). Es ist davon auszugehen, dass schützenswerte Gebiete tangiert bzw. zerstört werden und dafür Ersatzstandorte definiert werden müssen.

| Gerinnesohlenflächen | [m ² / %] | Materialvolumen | [m ³] |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Bestehende Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Dammrückbau | -238'000 |
| Zusätzliche Sohlenfläche | 126'400 / 74 | Dammneubau | 311'000 |
| Totale Sohlenfläche | 297'900 / 174 | Aushub für Uferschutz | -198'000 |
| | | Teilabtrag Deponiedamm | -158'000 |

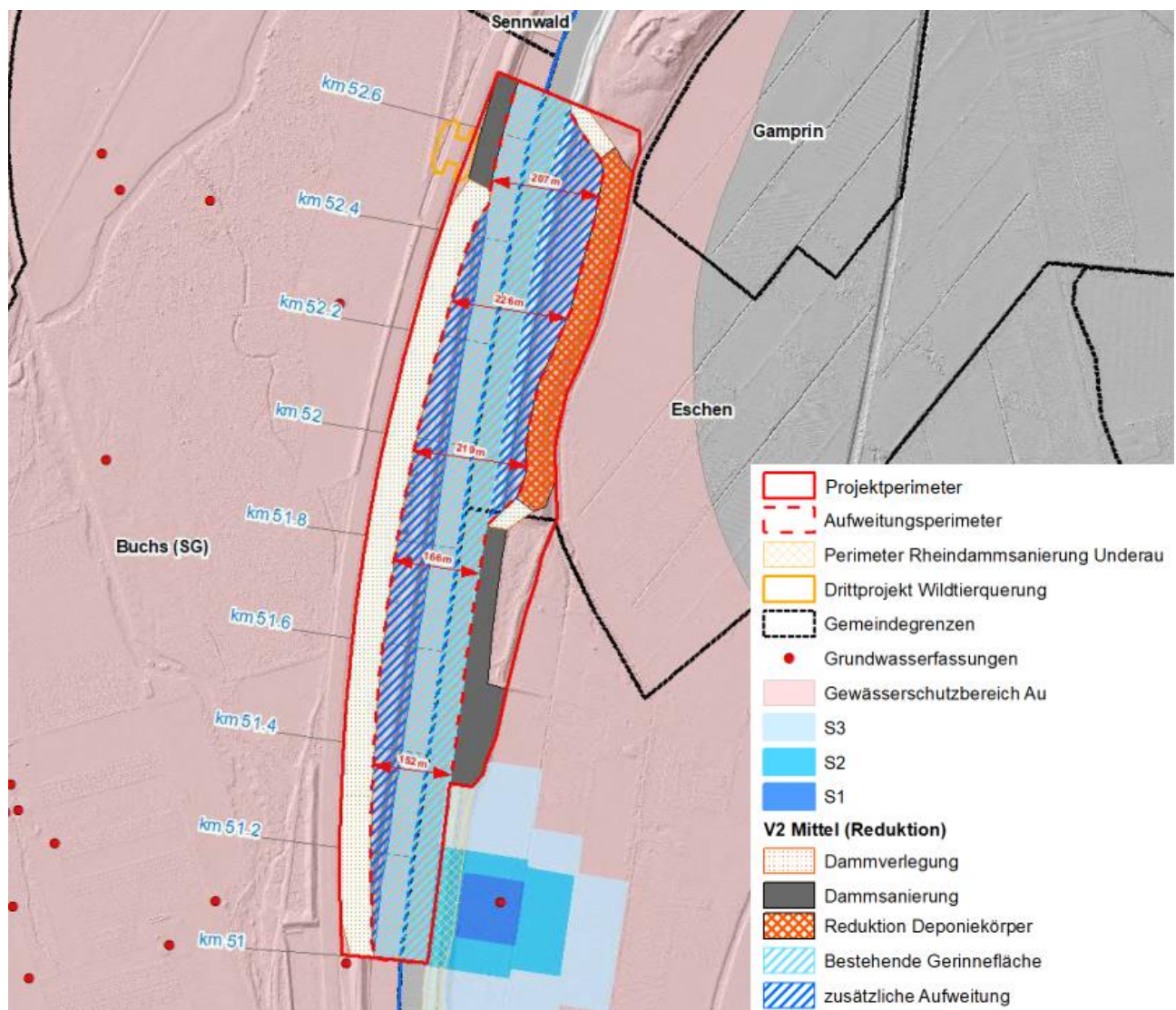


Abbildung 24: Skizze V2 – Mittel (Reduktion).

6.4 V3 – Gross (Integration)

Kurzbeschreibung:

Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt die Aufweitung innerhalb des Projektperimeters über eine Länge von rund 1'280 m unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Wasserefassung Underau). Der «Deponiedamm» wird als Hochwasserschutzdamm integriert (vgl. Abbildung 25).

Grobbeurteilung Ökologie:

Gute eigendynamische Entfaltung möglich, allerdings werden Schutzgebiete temporär beeinträchtigt und teilweise vernichtet. Betroffen sind sicher Trockenstandorte auf beiden Seiten sowie Amphibienlaichgebiete auf Schweizer Seite und die Sonderwaldfläche auf der Seite Fürstentum Liechtenstein. Für die betroffenen Gebiete sind Ersatzstandorte zu definieren. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist die Beeinträchtigung von Amphibienlaichgebieten noch im Detail zu prüfen (vgl. Kapitel 3.2). Es ist davon auszugehen, dass schützenswerte Gebiete tangiert bzw. zerstört werden und dafür Ersatzstandorte definiert werden müssen.

| Gerinnesohlenflächen | [m ² / %] | Materialvolumen | [m ³] |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Bestehende Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Dammrückbau | -280'000 |
| Zusätzliche Sohlenfläche | 132'900 / 77 | Dammneubau | 390'000 |
| Totale Sohlenfläche | 304'400 / 177 | Aushub für Uferschutz | -237'000 |
| | | Teilabtrag Deponiedamm | 0 |

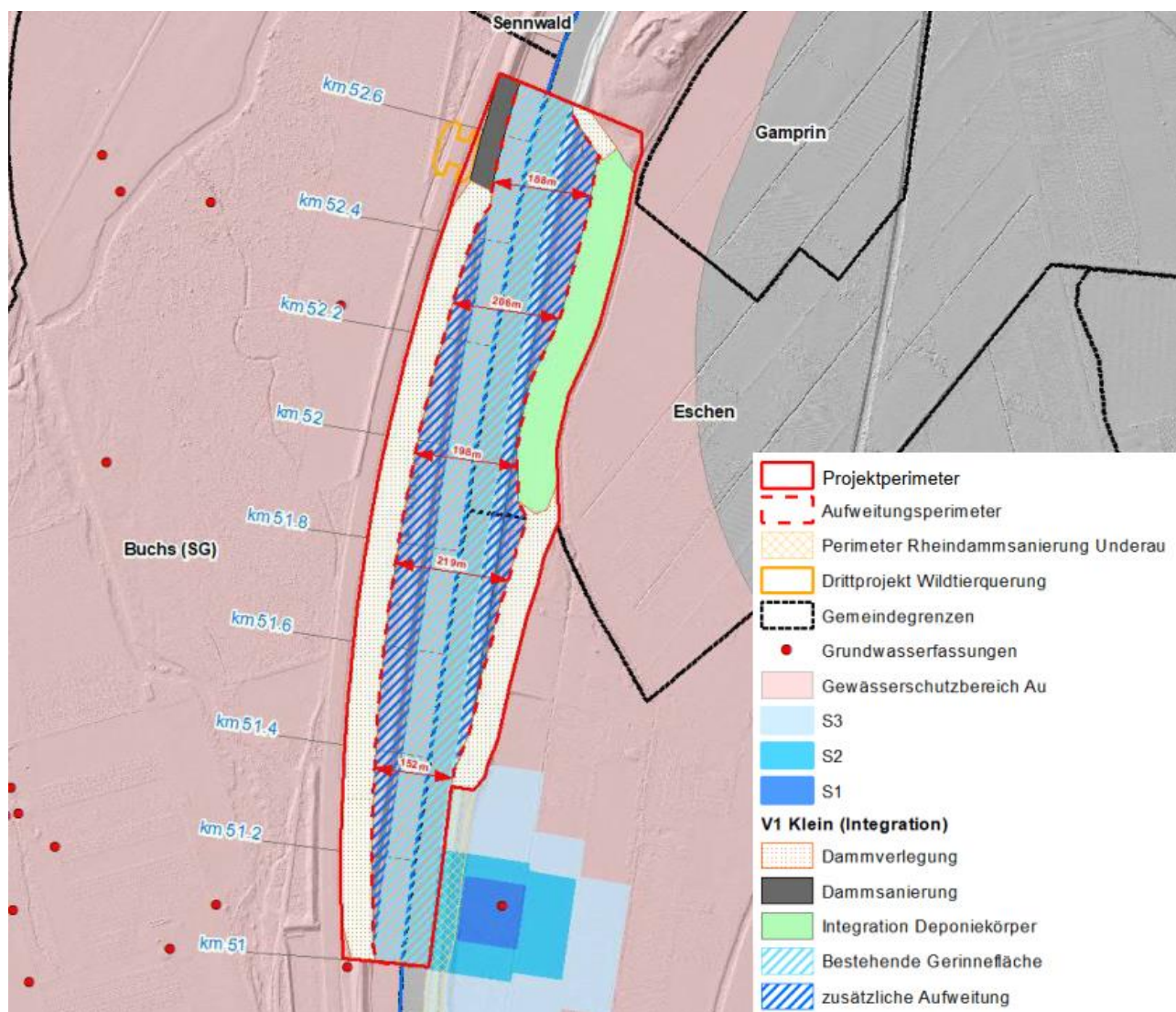


Abbildung 25: Skizze V3 – Gross (Integration)

6.5 V4 – Gross (Reduktion)

Kurzbeschreibung:

Innerhalb des Projektperimeters erfolgt auf Schweizer Seite unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Autobahn, Wildtierüberquerung) die maximal mögliche Aufweitung über eine Länge von rund 1'480 m. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein erfolgt ebenfalls die maximal mögliche Aufweitung innerhalb des Projektperimeters über eine Länge von rund 1'280 m unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen (Wasserfassung Uderau). Die Breite des bereits geschütteten «Deponiedamms» wird reduziert (Teilabtrag) um die grösstmögliche Fläche für den Rhein zu generieren (vgl. Abbildung 26).

Grobbeurteilung Ökologie:

Grösstmögliche eigendynamische Entfaltung möglich, allerdings werden Schutzgebiete temporär beeinträchtigt und teilweise vernichtet. Betroffen sind sicher Trockenstandorte auf beiden Seiten sowie Amphibienlaichgebiete auf Schweizer Seite und die Sonderwaldfläche auf der Seite Fürstentum Liechtenstein. Für die betroffenen Gebiete sind Ersatzstandorte zu definieren. Auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist die Beeinträchtigung von Amphibienlaichgebieten noch im Detail zu prüfen (vgl. Kapitel 3.2). Es ist davon auszugehen, dass schützenswerte Gebiete tangiert bzw. zerstört werden und dafür Ersatzstandorte definiert werden müssen.

| Gerinnesohlenflächen | [m ² / %] | Materialvolumen | [m ³] |
|--------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Bestehende Sohlenfläche | 171'500 / 100 | Dammrückbau | -280'000 |
| Zusätzliche Sohlenfläche | 146'500 / 85 | Dammneubau | 391'000 |
| Totale Sohlenfläche | 318'000 / 185 | Aushub für Uferschutz | -237'000 |
| | | Teilabtrag Deponiedamm | -158'000 |

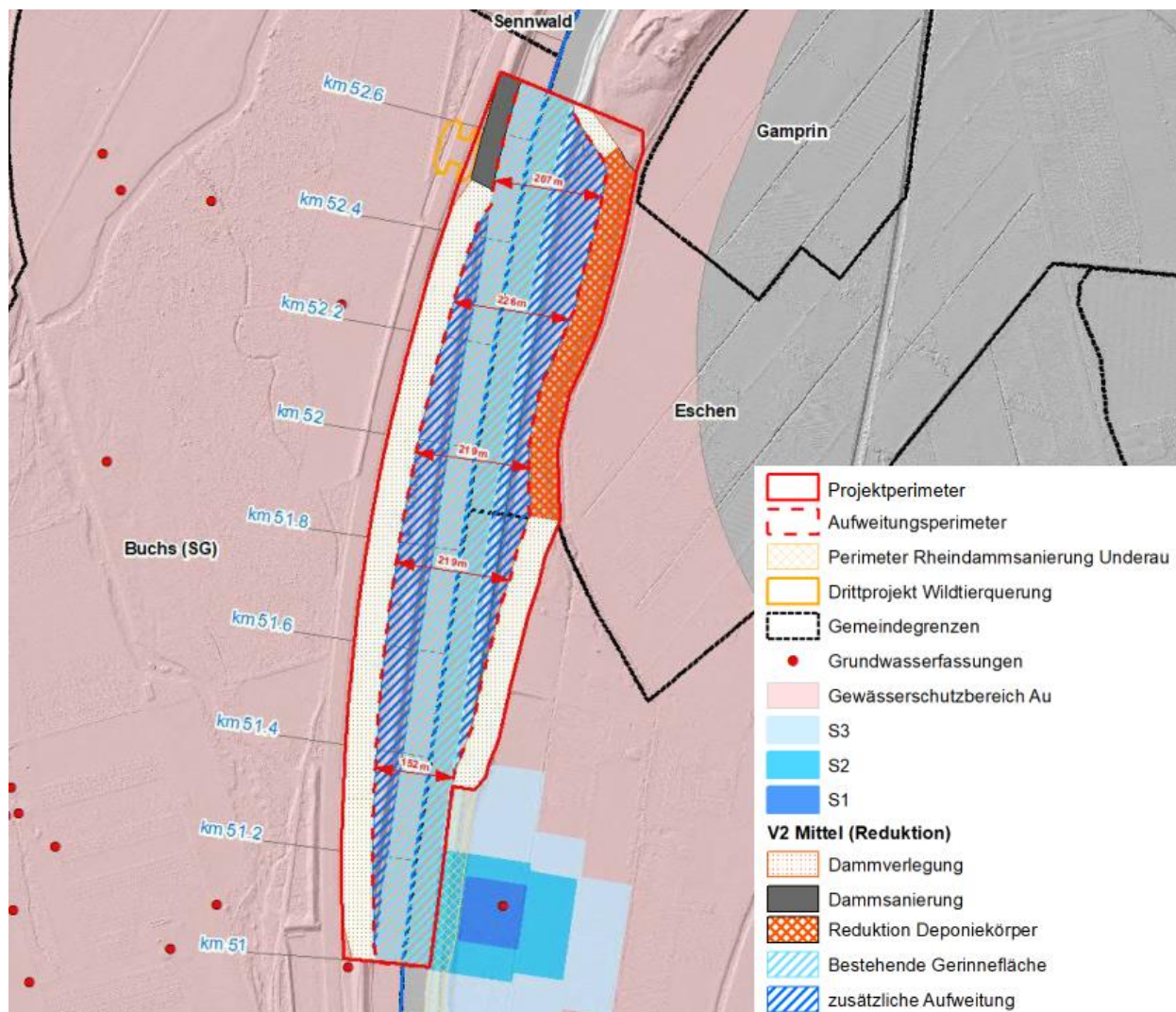


Abbildung 26: Skizze V4 – Gross (Reduktion).

7 Grobkostenschätzung der Varianten

Für die Grobkostenschätzung der Varianten wurden folgende Annahmen berücksichtigt:

Damm- und Erdbau:

- Neue HWS-Dämme werden wasserseitig (oberhalb Wuhrweg) mit Pflasterung geschützt
- Für die neuen HWS-Dämme muss eine tragfähige Foundationsschicht erstellt werden
 - Annahme: B = 45m, H = 2 m
 - Feine Deckschicht wird ausgehoben und seitlich deponiert, Tragfähige Schicht wird aus vorhandenem Aushubmaterial vor Ort eingebracht
- Die neuen HWS-Dämme können mit Aushubmaterial vor Ort geschüttet werden
- Auf Abschnitten, wo keine Aufweitung erfolgt, wird der bestehende HWS-Damm mit einer Dichtwand saniert
- Beim Deponiedamm wird eine Dichtwand erstellt

Wasserbau:

- Es wird ein Blocksatz bis auf Höhe des Wuhrwegs erstellt¹
 - Annahme, dass 70% der Steine wiederverwendet werden können und 30 % neu benötigt werden
 - Annahme V-Graben (n = 1:1, Tiefe = 10 m) → wiederauffüllen der unteren 5 m (Kolkstutztiefe)
- Innerhalb der neuen Aufweitung wird die Sohle optional maschinell ausgehoben

Wege/Strassen:

- Dammweg mit Asphaltbelag (Breite = 4 m + 0.5 m Bankett beidseitig)
- Wuhrweg + Interventionspiste → Kiesweg (Breite = 4 m + 0.5 m Bankett beidseitig)

Materialmanagement:

- In der Grobkostenschätzung wird ein optionaler vollständiger maschineller Abtrag der Aufweitungsfläche sowie das Abtransportieren und Deponieren des Materials berücksichtigt.

Tabelle 14: Grobkostenverhältnis Variantenstudium.

| Grobkostenverhältnis Variantenstudium | V0 Nullvariante | V1 Klein (Integration) | V2 Mittel (Reduktion) | V3 Gross (Integration) | V4 Gross (Reduktion) |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Kostenverhältnis gegenüber teuersten Variante (V _x /V4) | 8% | 55% | 87% | 94% | 100% |

¹ Aktuell wird die Ufersicherung der Rheindämme unterhalb des Wuhrwegs mit einem schweren Blocksatz sichergestellt [8]. Anpassungen in der Böschungssicherung beim Neubau der Dämme und insbesondere der Einsatz von ingenieurbologischen und Strömungslenkenden Massnahmen werden im Rahmen des Vorprojektes geprüft. Der Einsatz solcher Sicherungsmassnahmen ist i.d.R. günstiger als ein massiver Blocksatz.

8 Variantenbewertung

8.1 Bewertungskriterien

In der Variantenbewertung wird die Hochwassersicherheit nicht als Bewertungskriterium aufgeführt. Da es sich bei der Hochwassersicherheit um ein Muss-Ziel handelt (vgl. Kapitel 3.1.1), wird sie für alle betrachteten Varianten als gegeben angesehen. Die Dammhöhe der Bestvariante ist im Vorprojekt so zu wählen, dass die geforderten Schutzziele erreicht werden.

Die Varianten wurden anhand von fünf Hauptkriterien bewertet:

- A Wasserbau und Morphologie (24%)
- B Ökologie und Umwelt (24%)
- C Sozioökonomie (24%)
- D Wirtschaftlichkeit (24%)
- E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen (4%)

Die Kriterien A-D wurden gleich mit 24% gewichtet. Das Kriterium E wird schwächer gewichtet, da die Machbarkeit von Erweiterungen in Längsrichtung in allen Varianten gegeben ist (vgl. Kap. 4). Dieses Kriterium bewertet daher nur den Aufwand, welcher für eine nachträgliche Anpassung im Schnittstellenbereich der Dämme nötig ist.

Pro Hauptkriterium wurden verschiedene Subkriterien mit Punkten von 0-3 bewertet. Bei der Festlegung dieser Subkriterien wurden diejenigen Aspekte berücksichtigt, in denen sich die verschiedenen Varianten klar differenzieren. Mit der Variantenbewertung sollen hauptsächlich die Unterschiede zwischen den Varianten herauskristallisiert werden. Da es sich beim Standort der geplanten Aufweitung «Schaan, Buchs & Eschen» um einen potenziellen Kernlebensraum handelt (vgl. Kap. 1), wurde die Maximierung der möglichen Auenfläche (potenziell benetzte Fläche) besonders beachtet. Nachfolgend sind die einzelnen Subkriterien sowie ihre Herleitung erklärt. Die vollständige Variantenbewertungsmatrix findet sich im Anhang B.

8.1.1 A1 Hydromorphologische Diversität (12%)

Ist eine Quantifizierung der neu gewonnenen Gerinnesohlenfläche und wird als Verhältnis von Gerinnesohlenfläche Projekt zu Gerinnesohlenfläche Ist-Zustand berechnet. Damit sich in der Aufweitung ein verzweigtes Gerinne und damit hydromorphologische Diversität einstellen kann, müssen gewisse Mindestanforderungen bezüglich der Länge und Breite der Aufweitung erfüllt sein. Diese wurden in der Untersuchung zu den Auswirkungen auf die Gewässermorphologie [3] für den betrachteten Abschnitt wie folgt definiert:

- Mindestbreite Gerinnesohle = 150-170 m
- Mindestlänge Aufweitung = 1'000 m

Erfüllt die Aufweitung diese Mindestanforderungen nicht, muss damit gerechnet werden, dass sich kein verzweigtes Gerinne einstellt und die hydromorphologische Diversität stark eingeschränkt bleibt. Es wird deshalb bei Nichterfüllen jeweils 1 Punkt von der Bewertung abgezogen.

Der Wechsel vom Gerinne mit alternierenden Bänken zu einem verzweigten Gerinne wird als morphologischer Sprung bezeichnet. Eine Analyse der benötigten Sohlenbreiten zum Erreichen dieses Sprungs wurde in [3] durchgeführt und die Resultate in einem Yalin-Diagramm dargestellt (vgl. Abbildung 27). Wie oben ausgeführt, ist für die Variantenbewertung das Erreichen des morphologischen Sprungs zentral. Für eine bessere Abschätzung wurden die vier Varianten dafür im Yalin-Diagramm aus [3] abgebildet (vgl. Abbildung 27). Für die Breite wurde die mittlere Aufweitungsbreite zwischen km 51.6 und km 52.6 verwendet.

Die Varianten V2-V4 liegen deutlich im Bereich des verzweigten Gerinnes, kleinere Änderungen in der Sohlenbreite werden demnach keinen Einfluss auf die sich einstellende Gerinnemorphologie haben. Für die Bestvariante wird eine detaillierte Modellierung durchgeführt womit dann auch das genaue Verhältnis von Breite/Abflusstiefe und damit die Lage im Yalin-Diagramm bestimmen lässt.

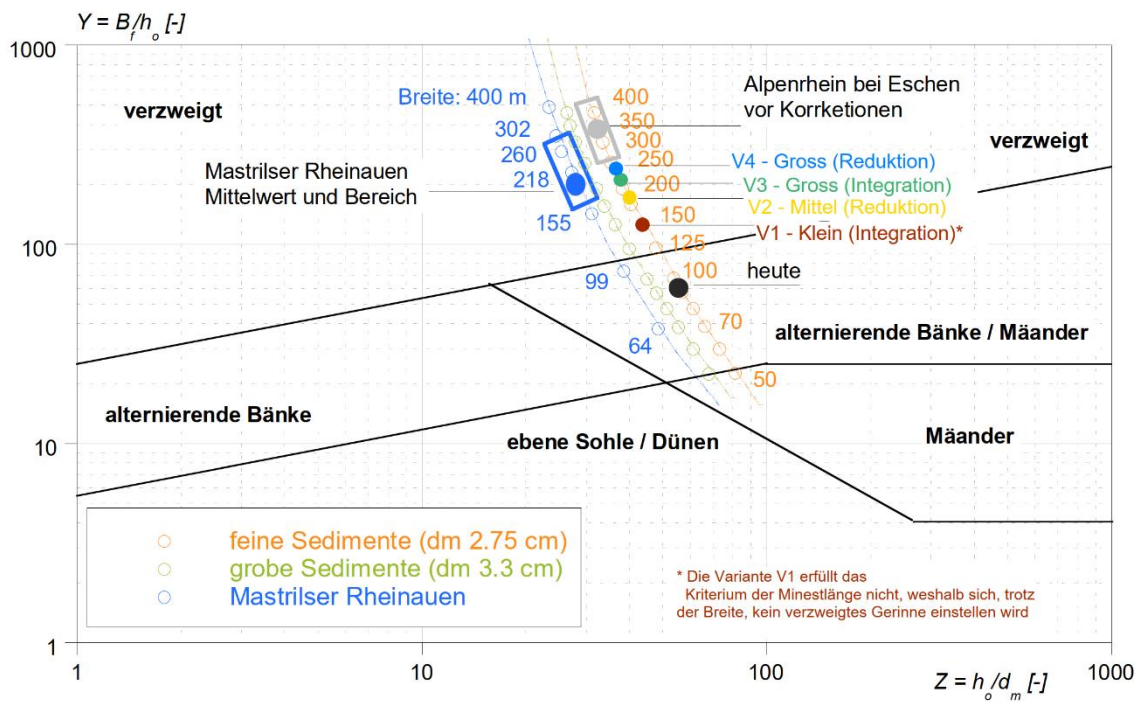


Abbildung 27: Yalin Diagramm aus dem Bericht «Aufweitung Eschener Au- Auswirkungen auf die Gewässermorphologie» [3]. Im Diagramm wurden die Punkte der vier Varianten (V1 bis V4) ergänzt.

8.1.2 A2 Auswirkung auf die Sohlenentwicklung [12%]

Im IST-Zustand zeigt der Alpenrhein in diesem Abschnitt eine Auflandungstendenz. Dieses Kriterium zeigt, inwiefern die neu gewonnene Fläche den Geschiebehalt beeinflusst bzw. als Geschiebepuffer agiert. Künftige Geschiebeentnahmen und Bewirtschaftungskonzepte werden dabei nicht berücksichtigt. Die Ermittlung der zukünftigen Sohlenlage bzw. Festlegung der angestrebten Sohlenlage des Alpenrheins ist aktuell in Bearbeitung (Stand Dezember 2023).

8.1.3 B1 Lebensraumbewertung [8%]

Dieses Kriterium ist eine qualitative Bewertung. Eine BESB-Lebensraumbewertung (Bewertung von Eingriffen in schützenswerte Biotope) gem. Modul A der «Bewertungsmethode für Eingriffe in schutzwürdige Lebensräume» [12] des IST-Zustands wurde vom Fachexperten Ökologie durchgeführt und dient als Basis für die gutachterliche Bewertung der Varianten in diesem Kriterium. Massgebend ist, wie viele verschiedene und welche neuen Lebensräume entstehen können (Fokus liegt bei allen Lebensräumen, auch terrestrische), nicht wie gross oder in welcher Anzahl diese Lebensräume zu erwarten sind. Wie viele Lebensräume entstehen können, ist von der neu gewonnenen Fläche (insb. Breite sowie Länge) abhängig. Je grösser diese Fläche ist, desto mehr verschiedene Lebensräume können sich bilden, die Fläche wird jedoch nicht direkt bewertet. Somit besteht z.B. zwischen Variante V2, V3 sowie V4 in der Bewertung kein Unterschied, da dieselben Lebensräume zu erwarten sind.

8.1.4 B2 Zuwachs von auentypischen Lebensräumen [8%]

Das Kriterium ist ein direktes Mass für die neu gewonnene auentypische Fläche im/am Alpenrhein. Im Gegensatz zum B1 Kriterium werden hierbei die Auenqualitäten in Betracht gezogen. Je grösser und vernetzter die zusammenhängende Fläche, desto grösser das Potential, das sich diese auentypischen Lebensräume wie Kiesinseln, Weich- und Hartholzaue und Überflutungsflächen auch bilden. Der Zusammenhang zwischen der sich potenzielle entwickelnden Auenwaldfläche und Sohlenbreite wurde im Rahmen der Abklärungen der Flussbau AG [9] näher untersucht und ist in Abbildung 28 dargestellt. Die Bewertung im Kriterium B2 erfolgt basierend auf den Erkenntnissen aus dieser Studie. Dabei wurde bewertet, ob die einzelnen Varianten die in [9] definierten Grenzwerte für eine gewisse Fläche an Auenwald erreichen bzw. überschreiten oder nicht. Zweiter Aspekt dieses Kriteriums ist der potenzielle Kernlebensraum, der entstehen kann. Dieser ist wiederum direkt von der Grösse und der Vernetzung der Fläche abhängig.

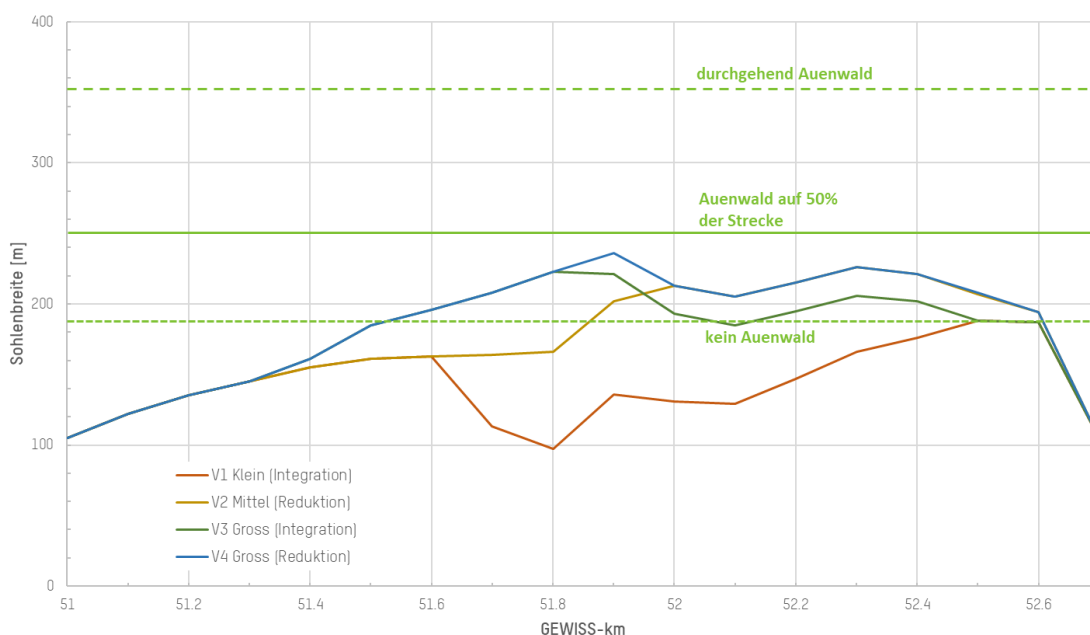


Abbildung 28: Grenzwerte der Sohlenbreite für die Entstehung von Auenwald gem. [9] mit 100m Auflösung.

8.1.5 B3 Konfliktpotenzial mit geschützten Lebensräumen (8%)

Im Projektperimeter existieren geschützte Lebensräume wie z.B. Amphibienhabitate und Trockenwiesenstandorte. Je nach Variante werden diese Lebensräume tangiert oder zerstört. Das Kriterium weist aus, ob die dadurch entstehenden Konflikte lösbar sind (Lebensraum nicht standortgebunden, Ersatzmassnahme möglich) oder nicht (Lebensraum standortgebunden, kann nicht verschoben werden). Die Bewertung erfolgt qualitativ.

8.1.6 C1 Auswirkung auf das Landschaftsbild (8%)

Bewertet, wie gut sich die Varianten in die bestehende Landschaft eingliedern. Insbesondere die Lage/Ausrichtung der Dämme ist hier relevant, da sie als Fremdkörper mehr oder weniger wahrgenommen werden können.

8.1.7 C2 Auswirkung auf die Naherholung/Freizeitnutzung (8%)

Das Projekt soll auch die Erlebbarkeit des Rheins und der neu entstandenen Lebensräume fördern. Die Umsetzung dieses Aspekts (Zugänglichkeiten, genaue Wegführung, etc.) ist für die Bewertung nicht relevant. Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass eine grössere Fläche mehr Spielraum für die Umsetzung und damit einen höheren Mehrwert für die Naherholung und Freizeitnutzung bietet.

8.1.8 C3 Auswirkung auf bestehende Nutzungen (8%)

Als bestehende Nutzungen werden Werkleitungen und benutzte Infrastrukturen, sowie Flächennutzung berücksichtigt. Die Schüttung des «Deponiedamms» auf Seite Fürstentum Liechtenstein ist im Projektperimeter abgeschlossen. Des Weiteren wird aufgrund des derzeitigen Wissenstands angenommen, dass das Material eigendynamische durch den Rhein abgetragen werden kann. Aus diesen Gründen werden die Einbussen auf Seite Fürstentum Liechtenstein generell als gering eingestuft.

8.1.9 D1 Investitionskosten (24%)

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Varianten herzustellen, werden die Investitionskosten pro Aufweitungsfäche (CHF/m²) betrachtet. Die Angaben sind relativ zur kostenwirksamsten Variante in Prozent angegeben (kostenwirksamste Variante = 100%).

8.1.10 E1 Zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten (4%)

Grundsätzlich kann die Aufweitung zukünftig gemäss EKA in Längsrichtung erweitert werden. Eine solche zukünftige Aufweitung müsste an die hier projektierte Aufweitung angeschlossen werden, insbesondere müssten die Dämme angepasst und mit den neuen Dämmen der Erweiterung verbunden/geschlossen werden. Die Ausführung der Dämme im vorliegenden Projekt ist daher massgebend für den Aufwand und die Komplexität von zukünftigen Erweiterungen.

8.2 Bewertung

Die vier erarbeiteten Varianten V1 bis V4 wurden aufgrund der in Kapitel 8.1 beschriebenen Bewertungskriterien bewertet und verglichen. Die Aufweitung des Alpenrheins im Bereich Schaan, Buchs und Eschen bietet eine einmalige Gelegenheit einer ökologischen und morphologischen Aufwertung in diesem Abschnitt. Die Wahl der Variante bestimmt welches Potential diese Aufwertung hat. Eine zukünftige Potentialerhöhung an diesem Standort ist nicht möglich, da die Ausdehnung in Querrichtung durch die neuen Hochwasserschutzdämme bis auf die Schnittstellenbereiche abschliessend bestimmt wird. Es gibt demnach eine klare Standortgebundenheit in Bezug auf die Ausbildung der aquatischen Lebensräume im Abschnitt (Km 51 bis Km 52.7). Diese Standortgebundenheit kann nur schwer quantifiziert werden und ist in den in Kapitel 8.1 beschriebenen Bewertungskriterien nicht direkt vertreten. Sie soll daher übergeordnet im Falle eines knappen Variantenentscheids als Unterstützung zur Entscheidungsfindung betrachtet werden.

Die vollständige Bewertungsmatrix ist im Anhang B zu finden. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Variantenbewertung graphisch zusammengefasst und kurz erklärt.

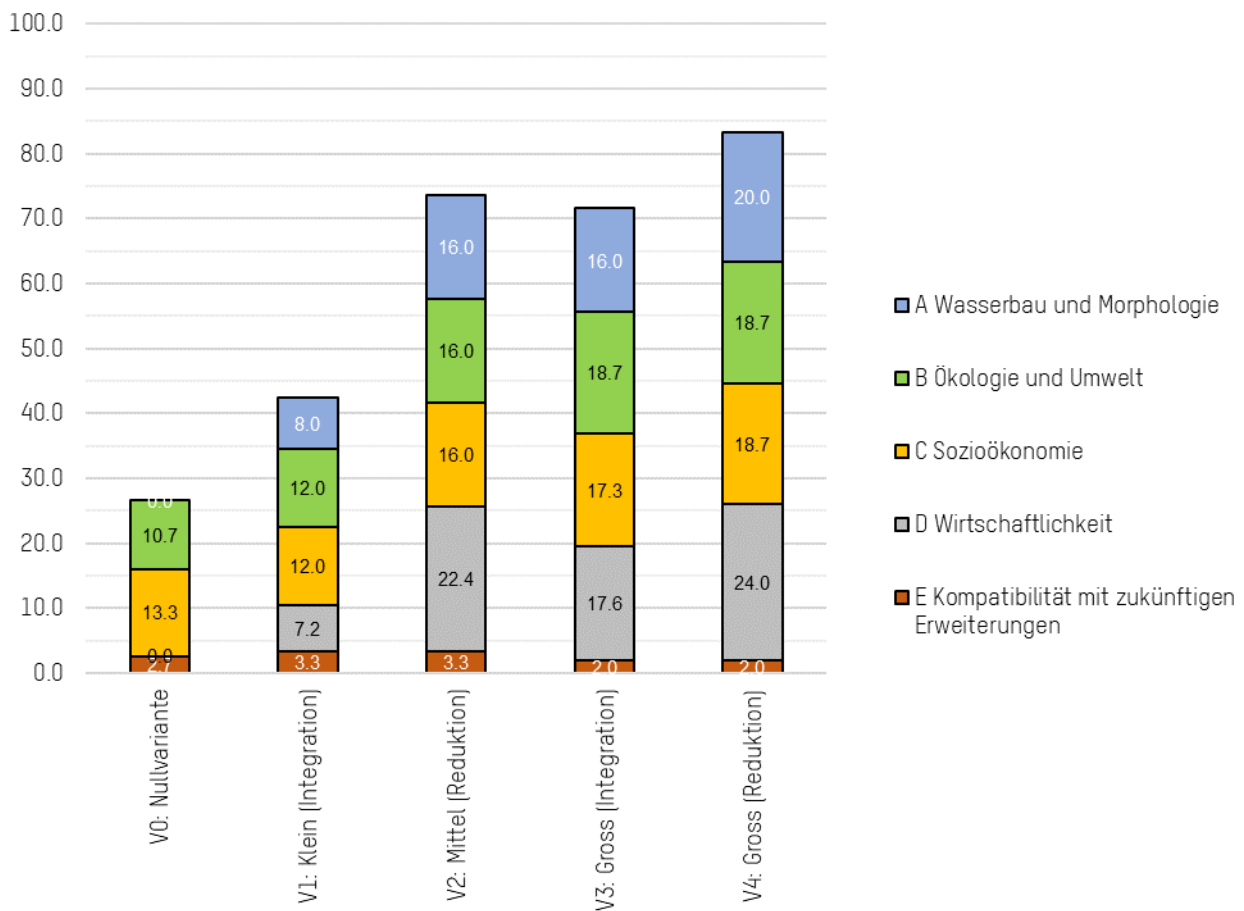


Abbildung 29: Säulendiagramm Variantenbewertung.

Abbildung 29 zeigt die Resultate der vier Varianten im Vergleich. Variante 4 schneidet mit 9.6 Punkten Vorsprung auf die nächstbeste Variante (V2) am besten ab. Allerdings zeigt sich, dass sich die drei Varianten V2-V4 insbesondere im Kriterium «Ökologie und Umwelt» nur geringfügig unterscheiden (verdeutlicht in Abbildung 30).

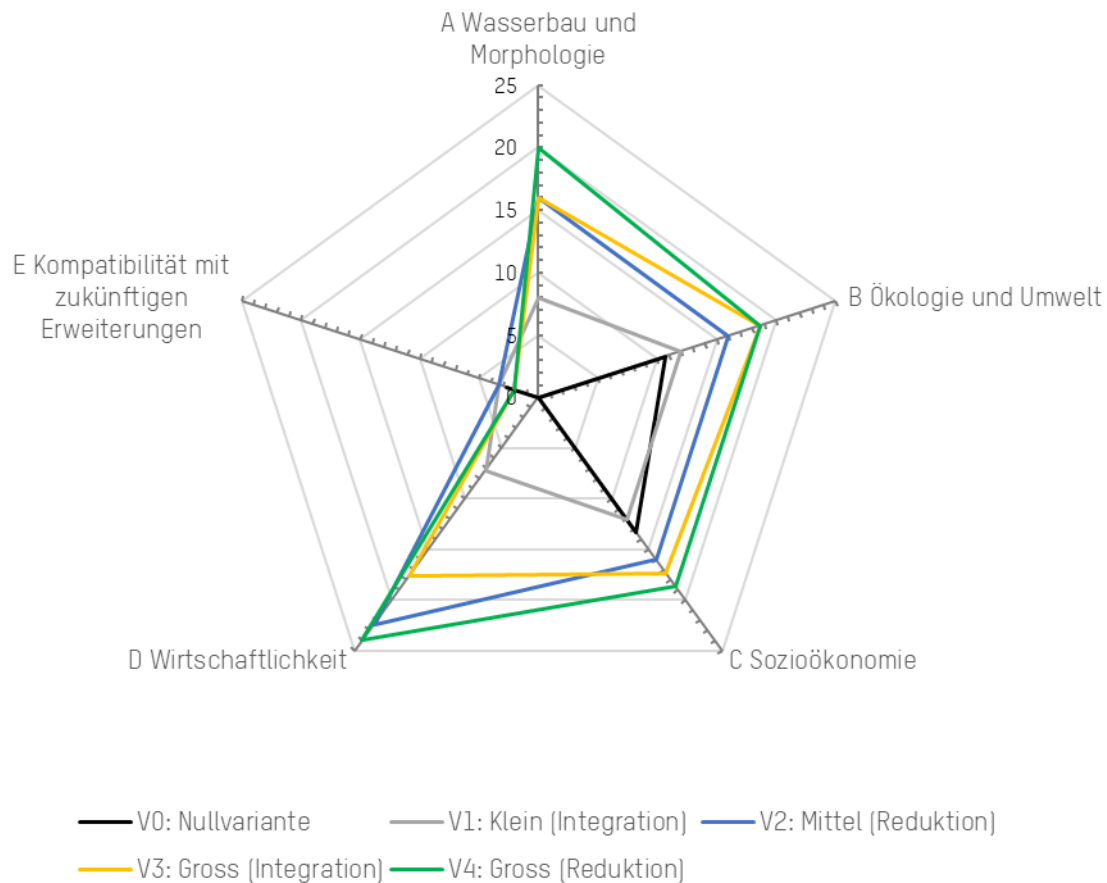


Abbildung 30: Smartspider-Grafik Variantenbewertung.

8.3 Sensitivitätsanalyse

Die Gewichtung der Bewertungskriterien A-E hat einen massgeblichen Einfluss darauf, welche Variante als Bestvariante aus der Bewertung hervorgeht. Zur Abschätzung des Einflusses der Gewichtung und zur Überprüfung der Robustheit der Bestvariante wurde eine Sensitivitätsanalyse anhand von verschiedenen gesetzten Schwerpunkten durchgeführt.

8.3.1 Schwerpunkt Natur

Der Schwerpunkt Natur stellt das Bewertungskriterium B in den Vordergrund. Da die Flussmorphologie hier ebenfalls eine Rolle spielt wurde auch die Gewichtung des Kriteriums A m Vergleich zum Rest (Kriterien C-E) erhöht.

Tabelle 15: Gewichtung «Schwerpunkt Natur».

| Kriterien | Gewichtung |
|------------------------------------------------|------------|
| A Wasserbau und Morphologie | 20% |
| B Ökologie und Umwelt | 50% |
| C Sozioökonomie | 10% |
| D Wirtschaftlichkeit | 10% |
| E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | 10% |

Eine Auswertung mit der Gewichtung «Schwerpunkt Natur» führt zu keiner Änderung der Bestvariante (vgl. Abbildung 31).

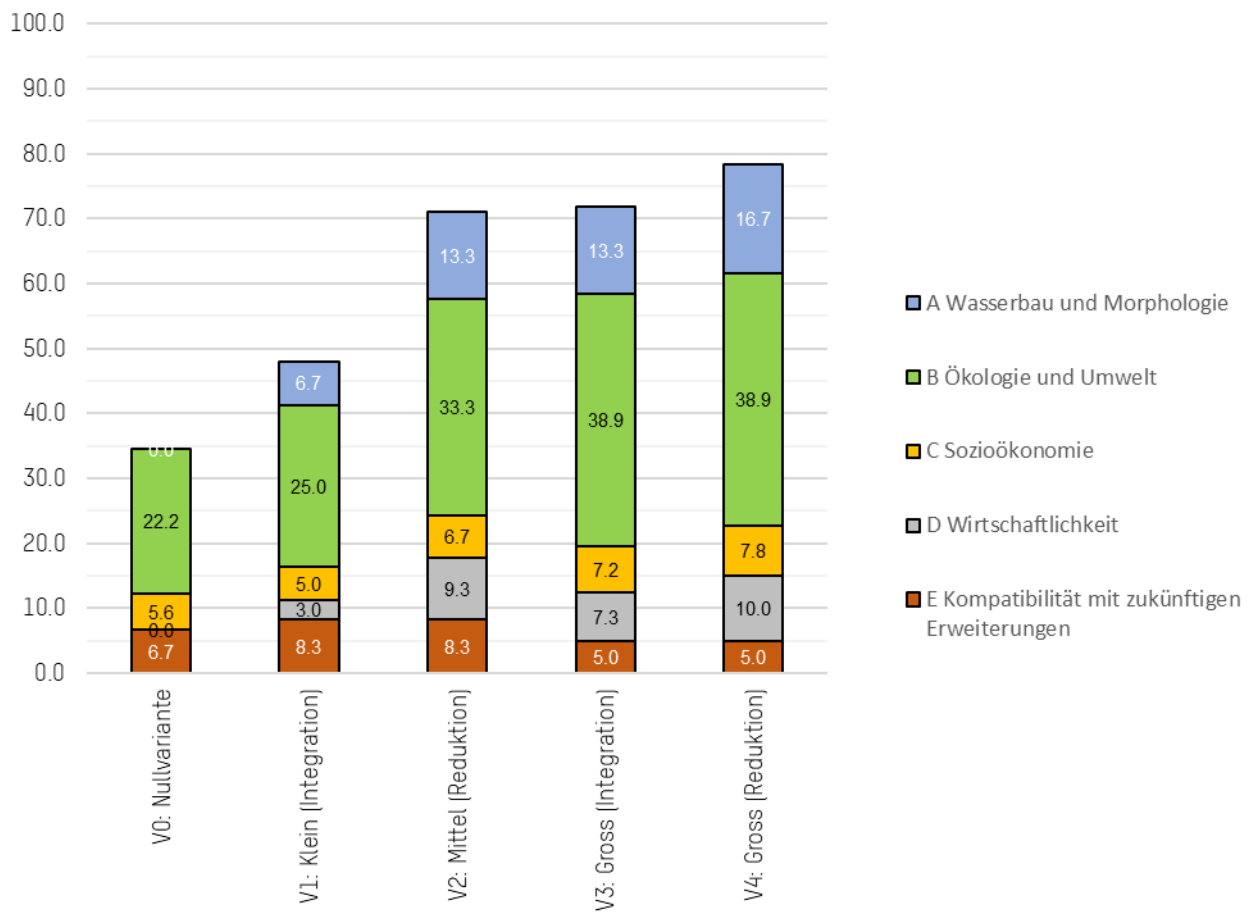


Abbildung 31: Säulendiagramm Variantenbewertung «Schwerpunkt Natur».

8.3.2 Schwerpunkt Flussbau

Der Schwerpunkt Flussbau stellt das Bewertungskriterium A in den Vordergrund. Da die Flussmorphologie von Aufweitungen oberstrom beeinflusst wird, sowie Aufweitungen unterstrom selbst beeinflusst, wird die Gewichtung des Kriteriums E im Vergleich zum Rest (Kriterien B-D) ebenfalls erhöht.

Tabelle 16: Gewichtung «Schwerpunkt Flussbau».

| Kriterien | Gewichtung |
|------------------------------------------------|------------|
| A Wasserbau und Morphologie | 60% |
| B Ökologie und Umwelt | 5% |
| C Sozioökonomie | 5% |
| D Wirtschaftlichkeit | 5% |
| E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | 25% |

Eine Auswertung mit der Gewichtung «Schwerpunkt Flussbau» führt zu keiner Änderung der Bestvariante (vgl. Abbildung 32).

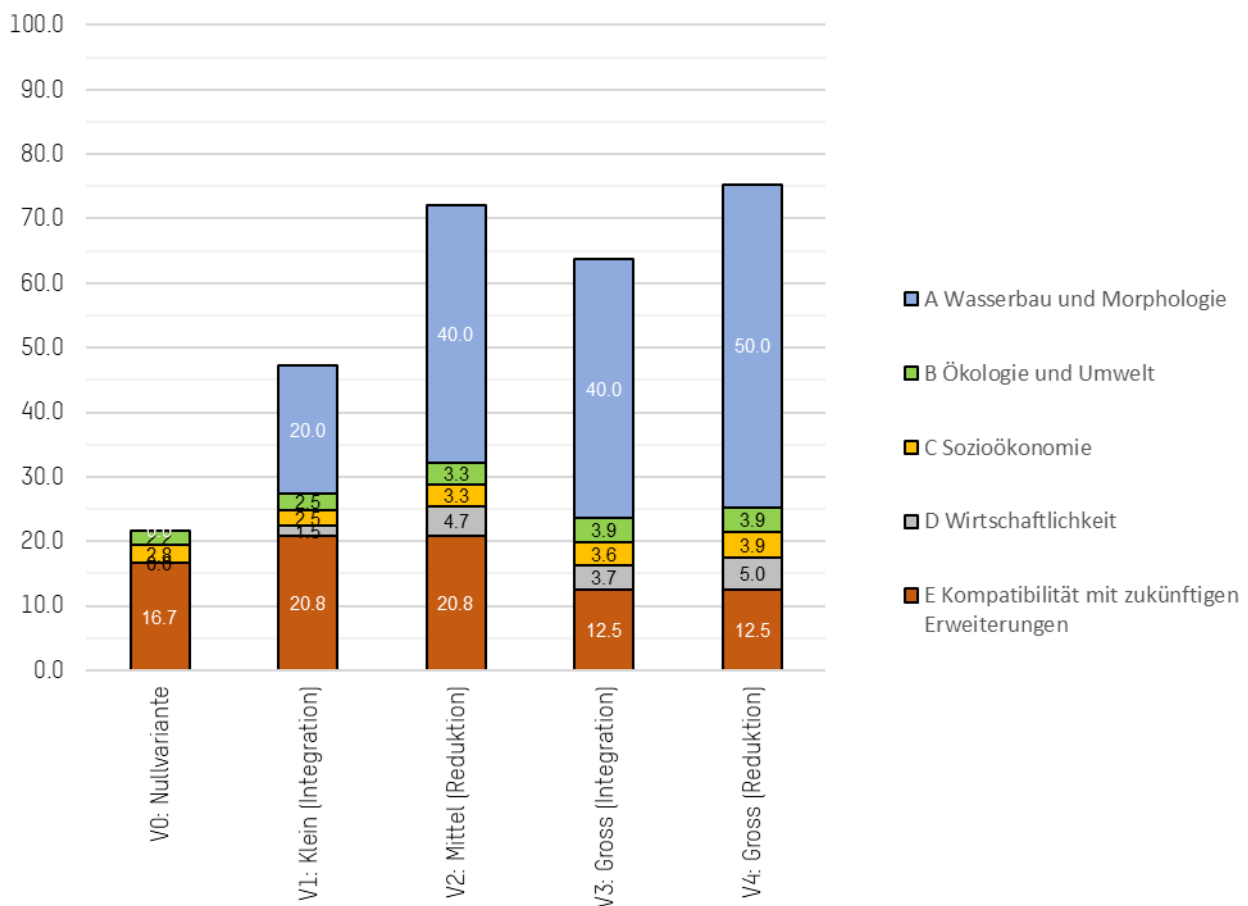


Abbildung 32: Säulendiagramm Variantenbewertung «Schwerpunkt Flussbau».

8.3.3 Schwerpunkt Kosten

Der Schwerpunkt Kosten stellt das Bewertungskriterium D in den Vordergrund. Die übrigen Kriterien werden mit gleicher Gewichtung bewertet.

Tabelle 17: Gewichtung «Schwerpunkt Kosten».

| Kriterien | Gewichtung |
|------------------------------------------------|------------|
| A Wasserbau und Morphologie | 10% |
| B Ökologie und Umwelt | 10% |
| C Sozioökonomie | 10% |
| D Wirtschaftlichkeit | 60% |
| E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | 10% |

Eine Auswertung mit der Gewichtung «Schwerpunkt Kosten» führt zu keiner Änderung der Bestvariante (vgl. Abbildung 33).

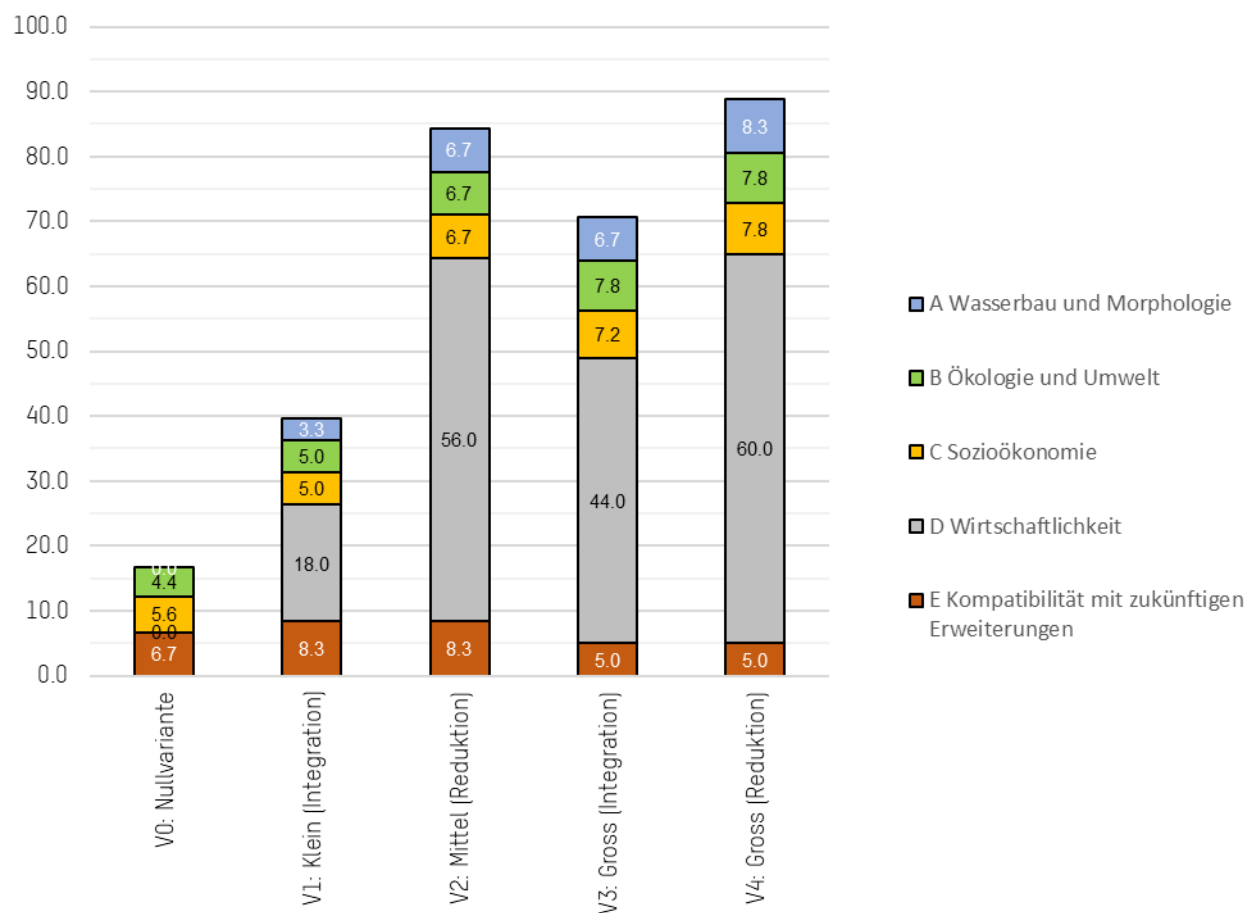


Abbildung 33: Säulendiagramm Variantenbewertung «Schwerpunkt Kosten».

8.3.4 Schwerpunkt Erweiterung

Der Schwerpunkt Erweiterung stellt das Bewertungskriterium E in den Vordergrund. Damit verbunden sind auch die Kosten (Kriterium D) sowie die Landnutzung (Teil des Bewertungskriteriums C), weshalb diese beiden Bewertungskriterien ebenfalls eine höhere Gewichtung im Vergleich zum Rest (Kriterien A und B) erhalten.

Tabelle 18: Gewichtung «Schwerpunkt Erweiterung».

| Kriterien | Gewichtung |
|------------------------------------------------|------------|
| A Wasserbau und Morphologie | 5% |
| B Ökologie und Umwelt | 5% |
| C Sozioökonomie | 20% |
| D Wirtschaftlichkeit | 20% |
| E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | 50% |

Bei dieser Art der Gewichtung gibt es eine Änderung in der Bestvariante, da die Variante V2 im Kriterium E deutlich besser abschneidet als die bisherige Bestvariante V4.

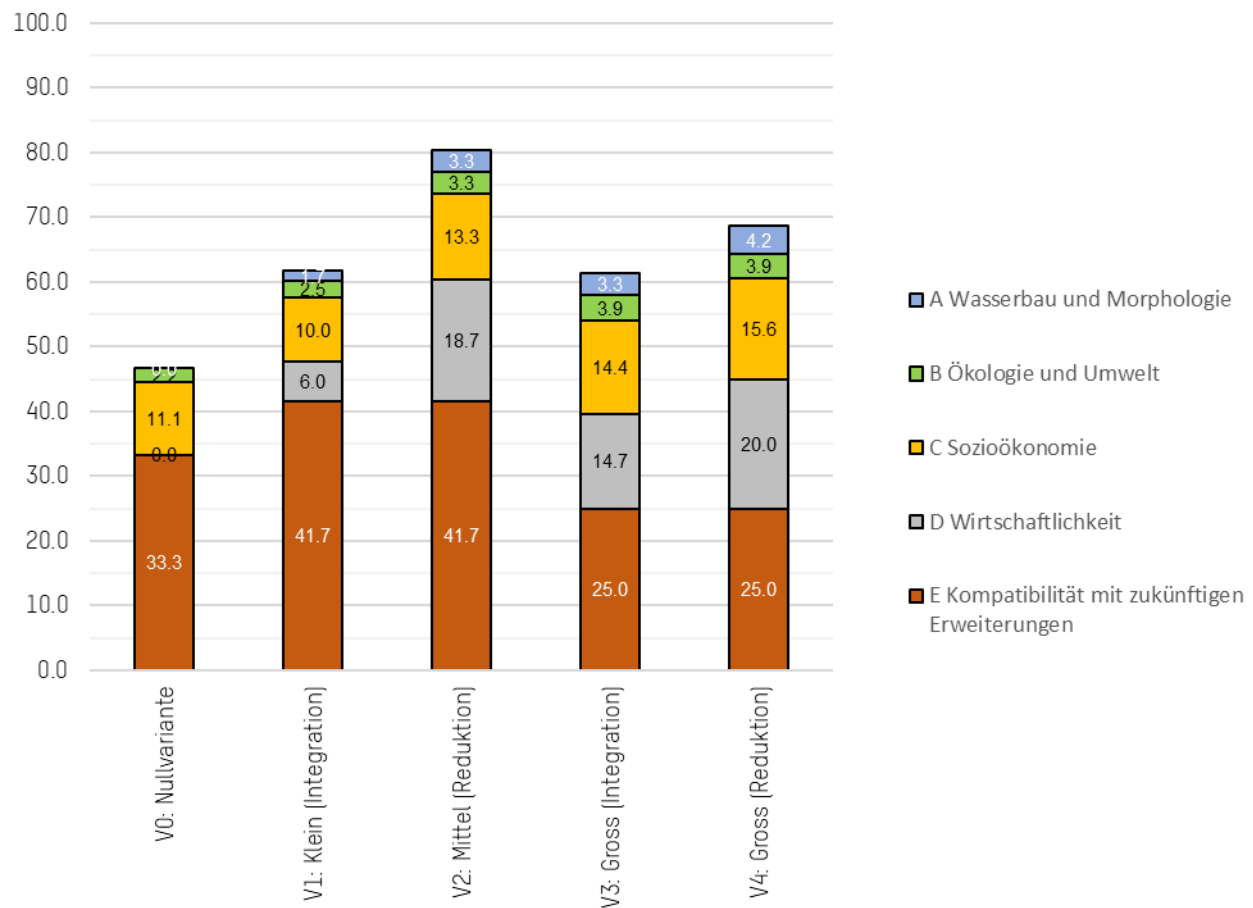


Abbildung 34: Säulendiagramm Variantenbewertung «Schwerpunkt Erweiterung».

8.4 Variantenentscheid und Ausblick

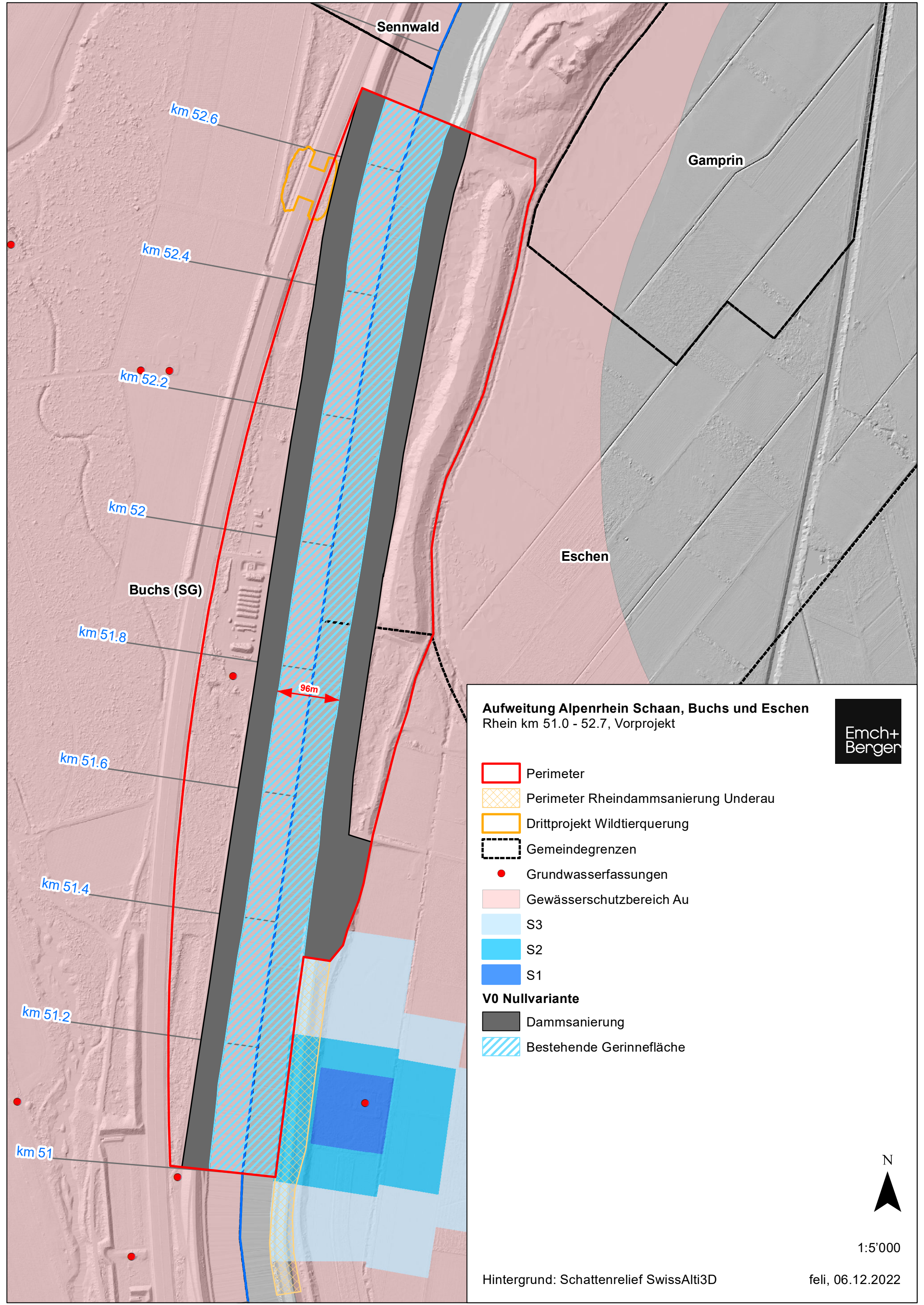
Die Variantenbewertung und die Sensitivitätsanalyse wurde im Planerteam unter Einbezug der Fachexperten intensiv diskutiert, mit dem Ergebnis «V4 – Gross (Reduktion)» als Bestvariante zu berücksichtigen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Variante V4 sehr robust ist und auch bei ändernder Gewichtung als Bestvariante hervorgeht. Nur beim Schwerpunkt «Erweiterung» (vgl. Kapitel 8.3.4) wird sie von der Variante V2 übertroffen. Dieser Schwerpunkt zeigt jedoch nur, dass eine Erweiterung bei der Variante V2 mit weniger Aufwand verbunden ist, die Machbarkeit ist grundsätzlich bei allen Varianten gegeben (vgl. Kap. 8.1.10).

Der Unterschied zur zweitplatzierten Variante V2 beträgt 9.6 Punkte und ist damit nicht übermässig gross. Wie im Kapitel 8.2 erwähnt, wird bei einem knappen Entscheid das übergeordnete Kriterium der Standortgebundenheit als Entscheidungshilfe beigezogen. Damit ist die Variante V4 gegenüber der Variante V2 klar zu bevorzugen, da sie die maximal mögliche Aufweitungsfäche und damit Potentialausnutzung aufweist.

Mit der Wahl der Variante V4 kann dem Alpenrhein innerhalb des Projektperimeters die grösste Aufweitungsfäche zur Verfügung gestellt werden. Die Variante V4 ermöglicht somit den grössten Zuwachs von standortgebundenen Lebensräumen, welche ausschliesslich im Bereich vom Flussraum und somit am Alpenrhein gewonnen werden können. Die tangierten geschützten Lebensräume sind hingegen nicht standortgebunden und es können entsprechende Ersatzstandorte geschaffen werden. Auch aus sozioökonomischer Sicht schneidet diese Variante am besten ab, die Aufweitungsformen lassen sich harmonisch in das Landschaftsbild eingliedern und es kann ein deutlicher Mehrwert für die Naherholung geschaffen werden.

Die Bestvariante V4 bietet die besten Voraussetzungen für die Entstehung vielfältiger standortgebundener Lebensräume. Um das Ziel eines Kernlebensraums zu erreichen sind jedoch weitere Anstrengungen in Form von Erweiterungen in Längsrichtung nötig.

Anhang A Übersichtspläne der Varianten



Sennwald

Gamprin

Eschen

Buchs (SG)

Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs und Eschen
Rhein km 51.0 - 52.7, Vorprojekt



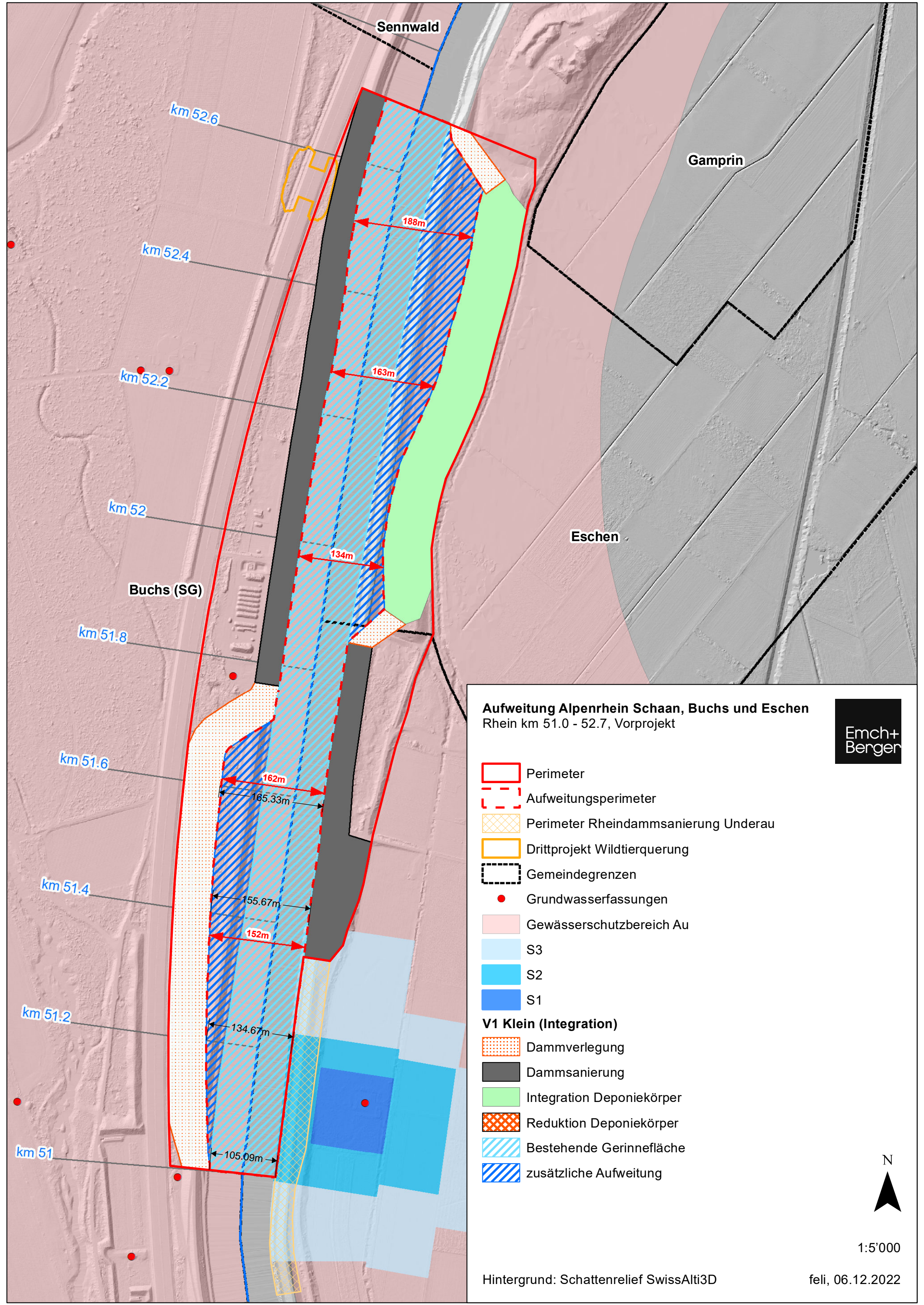
- Perimeter
- Perimeter Rheindammsanierung Underau
- Drittprojekt Wildtierquerung
- Gemeindegrenzen
- Grundwasserfassungen
- Gewässerschutzbereich Au
- S3
- S2
- S1
- V0 Nullvariante**
 - Dammsanierung
 - Bestehende Gerinnefläche



1:5'000

Hintergrund: Schattenrelief SwissAlti3D

feli, 06.12.2022



Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs und Eschen
Rhein km 51.0 - 52.7, Vorprojekt



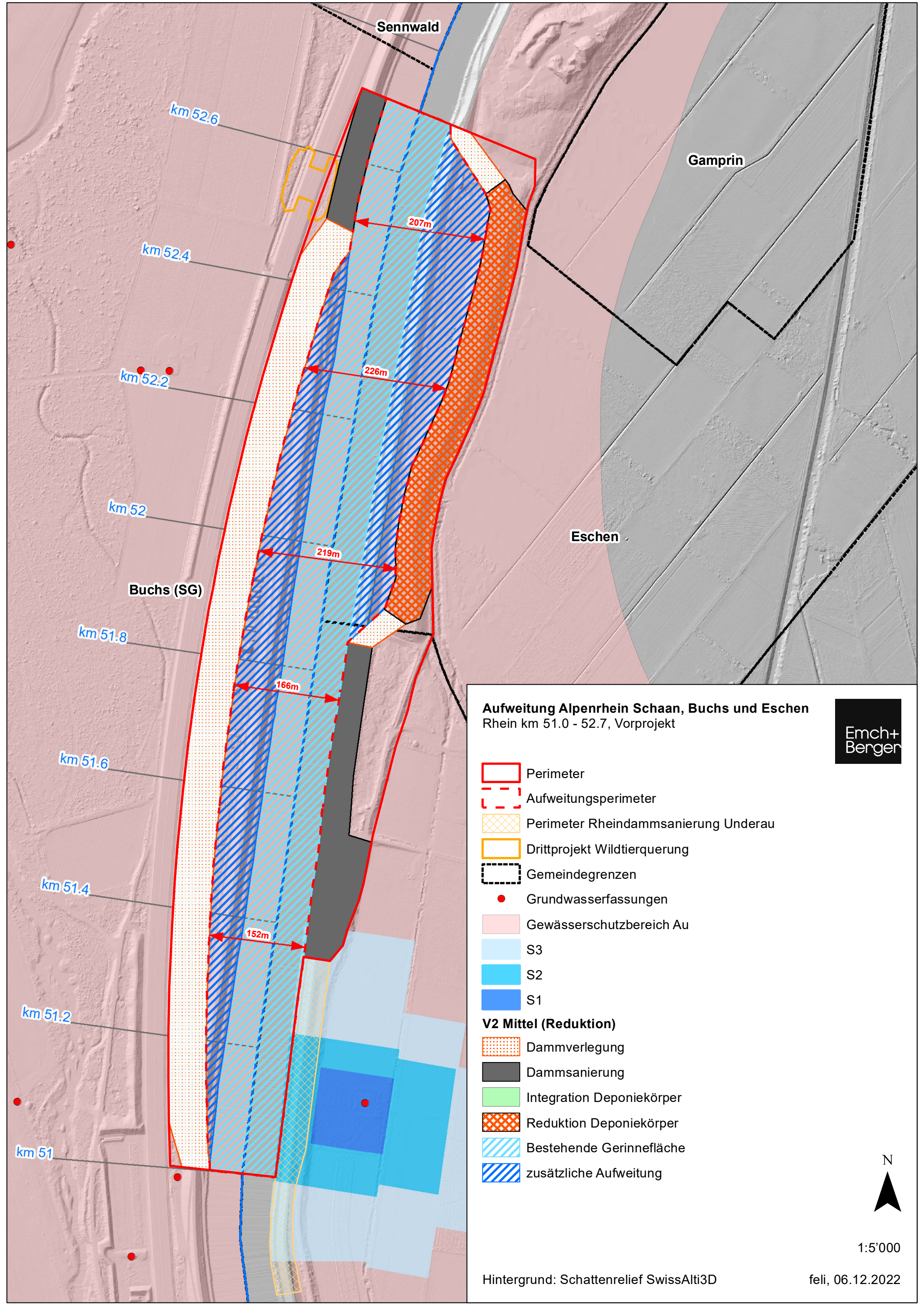
- Perimeter
- Aufweitungsperimeter
- Perimeter Rheindammsanierung Underau
- Drittprojekt Wildtierquerung
- Gemeindegrenzen
- Grundwassserfassungen
- Gewässerschutzbereich Au
- S3
- S2
- S1
- V1 Klein (Integration)**
 - Dammverlegung
 - Dammsanierung
 - Integration Deponiekörper
 - Reduktion Deponiekörper
 - Bestehende Gerinnefläche
 - zusätzliche Aufweitung



1:5'000

Hintergrund: Schattenrelief SwissAlti3D

feli, 06.12.2022



Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs und Eschen
Rhein km 51.0 - 52.7, Vorprojekt



- Perimeter
- Aufweitungsperimeter
- Perimeter Rheindammsanierung Underau
- Drittprojekt Wildtierquerung
- Gemeindegrenzen

- Grundwasserfassungen
- Gewässerschutzbereich Au

- S3
- S2
- S1

V2 Mittel (Reduktion)

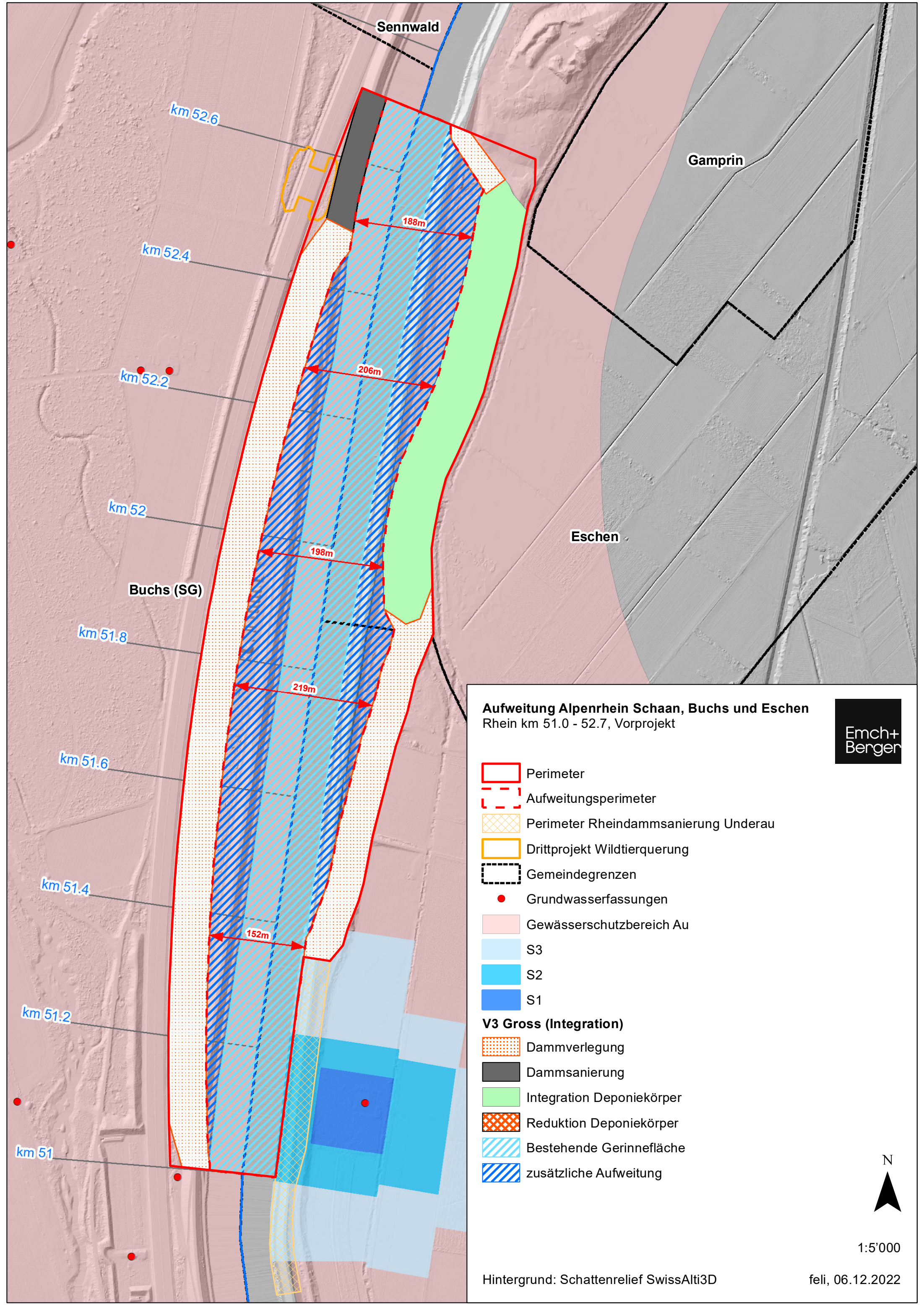
- Dammverlegung
- Dammsanierung
- Integration Deponiekörper
- Reduktion Deponiekörper
- Bestehende Gerinnefläche
- zusätzliche Aufweitung



1:5'000

Hintergrund: Schattenrelief SwissAlti3D

feli, 06.12.2022



Sennwald

Gamprin

Eschen

Buchs (SG)

Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs und Eschen
Rhein km 51.0 - 52.7, Vorprojekt



- Perimeter
- Aufweitungsperimeter
- Perimeter Rheindammsanierung Underau
- Drittprojekt Wildtierquerung
- Gemeindegrenzen

- Grundwassserfassungen
- Gewässerschutzbereich Au

- S3
- S2
- S1

V3 Gross (Integration)

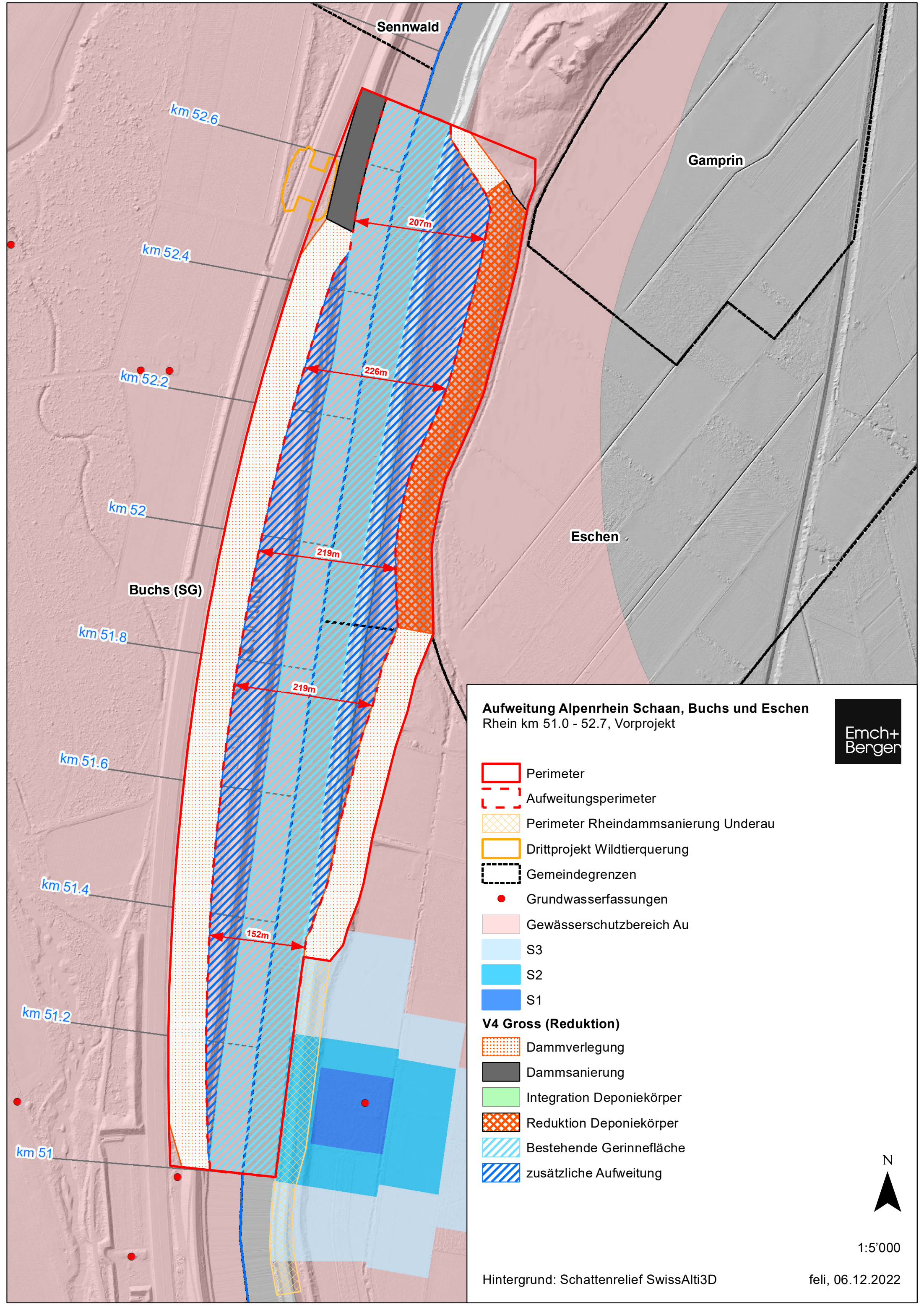
- Dammverlegung
- Dammsanierung
- Integration Deponiekörper
- Reduktion Deponiekörper
- Bestehende Gerinnefläche
- zusätzliche Aufweitung



1:5'000

Hintergrund: Schattenrelief SwissAlti3D

feli, 06.12.2022



Sennwald

Gamprin

Eschen

Buchs (SG)

Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs und Eschen
Rhein km 51.0 - 52.7, Vorprojekt



- Perimeter
- Aufweitungsperimeter
- Perimeter Rheindammsanierung Underau
- Drittprojekt Wildtierquerung
- Gemeindegrenzen
- Grundwassserfassungen
- Gewässerschutzbereich Au
- S3
- S2
- S1

V4 Gross (Reduktion)

- Dammverlegung
- Dammsanierung
- Integration Deponiekörper
- Reduktion Deponiekörper
- Bestehende Gerinnefläche
- zusätzliche Aufweitung



1:5'000

Hintergrund: Schattenrelief SwissAlti3D

feli, 06.12.2022

Anhang B Variantenbewertungsmatrix

Projekt
Projekt-Nr.
Datum
Verfasser

Aufweitung Alpenrhein "Schaan, Buchs & Eschen"
UE224001
31.10.2023
feli, wida

Aufweitung Alpenrhein "Schaan, Buchs & Eschen"

Variantenbewertung

| Kriterien | | | Beurteilungs-Indikatoren | | | Gewichtung | V0: Nullvariante | | | V1: Klein (Integration) | | | V2: Mittel (Reduktion) | | | V3: Gross (Integration) | | | V4: Gross (Reduktion) | | |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|
| A Wasserbau und Morphologie | | | | | | | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt |
| A1 | Hydromorphologische Diversität gemessen mit dem Verhältnis Gerinnesohlenfläche Projekt/Gerinnesohlenfläche Ist-Zustand L = Aufweitungslänge und B = Gesamtbreite nach Umsetzung Aufweitung - 1 Pkt Abzug, wenn Mindestbreite nicht erreicht (150 170 m) - 1 Pkt Abzug, wenn Mindestlänge nicht erreicht (1'000 m) | | 24% | 12.0% | L = 0 m B = 90 m Verhältnis = 1 | 0.0 | 0.0 | L = 720 [CH] + 820 [FL] m B = 130 - 190 m Verhältnis = 1.42 - 1 Pkt, da Länge nicht durchgehend | 1.0 | 4.0 | L = 1'700 m B = 150 - 225 m Verhältnis = 1.74 | 2.0 | 8.0 | L = 1'700 m B = 150 - 220 m Verhältnis = 1.77 | 2.0 | 8.0 | L = 1'700 m B = 150 - 225 m Verhältnis = 1.85 | 3.0 | 12.0 | | |
| A2 | Auswirkungen auf die Sohlenentwicklung (Berücksichtigung Geschiebeentnahmen/Geschiebebewirtschaftungskonzept) | | | 12.0% | gleich wie im heutigen Zustand (Auflandugstendenz) | 0.0 | 0.0 | nur wenig Pufferfläche vorhanden | 1.0 | 4.0 | moderate Pufferfläche vorhanden | 2.0 | 8.0 | moderate Pufferfläche vorhanden | 2.0 | 8.0 | moderate Pufferfläche vorhanden | 2.0 | 8.0 | | |
| Summe: A Wasserbau und Morphologie | | | | | | | | | 0.0 | | | 8.0 | | | 16.0 | | | 16.0 | | | 20.0 |
| B Ökologie und Umwelt | | | | | | | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt |
| B1 | Qualitative Lebensraumbewertung [basierend auf BESP Bewertung IST-Zustand] im Verhältnis zur Perimeterfläche | | 24% | 8.0% | gleichbleibend | 1.0 | 2.7 | nur unwesentliche Veränderungen | 1.0 | 2.7 | einige Habitate gehen verloren viele neue wertvolle Habitate können geschaffen werden | 2.0 | 5.3 | einige Habitate gehen verloren viele neue wertvolle Habitate können geschaffen werden | 2.0 | 5.3 | einige Habitate gehen verloren viele neue wertvolle Habitate können geschaffen werden | 2.0 | 5.3 | | |
| B2 | Zuwachs von auentypischen Lebensräumen (Kiesinseln, Weichholzaue, Hartholzaue, temporäre Überflutungsflächen) / Kleinteiligkeit des Mosaiks, Potential für Kernlebensraum | | | 8.0% | gleichbleibend | 0.0 | 0.0 | geringer Zuwachs auentypischer Habitate aufgrund kleiner Fläche | 1.0 | 2.7 | Mosaikartige Lebensräume in Aufweitungsflächen möglich. Temporäre Überflutungsflächen vorhanden | 2.0 | 5.3 | Mosaikartige Lebensräume in Aufweitungsflächen möglich. Temporäre Überflutungsflächen und Potential für Kernlebensraum vorhanden | 3.0 | 8.0 | Mosaikartige Lebensräume in Aufweitungsflächen möglich. Temporäre Überflutungsflächen und Potential für Kernlebensraum vorhanden | 3.0 | 8.0 | | |
| B3 | Konfliktpotenzial mit geschützten Lebensräumen (Amphibien, Trockenwiesen &-weiden (TWW), etc.) | | | 8.0% | bestehende geschützte Lebensräume bleiben vollständig erhalten | 3.0 | 8.0 | Amphibienhabitate Seite CH vollständig erhalten, für TWW können Ersatzstandorte geschaffen werden (nicht standortgebunden) | 2.5 | 6.7 | Für Amphibienhabitate und TWW können Ersatzstandorte geschaffen werden (nicht standortgebunden) | 2.0 | 5.3 | Für Amphibienhabitate und TWW können Ersatzstandorte geschaffen werden (nicht standortgebunden) | 2.0 | 5.3 | Für Amphibienhabitate und TWW können Ersatzstandorte geschaffen werden (nicht standortgebunden) | 2.0 | 5.3 | | |
| Summe: B Ökologie und Umwelt | | | | | | | | | 10.7 | | | 12.0 | | | 16.0 | | | 18.7 | | | 18.7 |
| C Sozioökonomie | | | | | | | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt |
| C1 | Auswirkungen auf das Landschaftsbild | | 24% | 8.0% | kein Auswirkungen da keine Änderungen | 1.0 | 2.7 | Aufweitungsform wirkt beidseitig wie Fremdkörper, es fehlt ein Zusammenhang [wirkt wie ein zufälliger Dammbruch] | 0.5 | 1.3 | Linienführung wird auf CH-Seite logisch aufgegriffen (sanfte Kurve), Übergang FL-Seite wirkt störend auf das Landschaftsbild | 2.0 | 5.3 | Linienführung wird auf CH-Seite logisch aufgegriffen (sanfte Kurve), Potenzial einer stimmigen Landschaft innerhalb Aufweitung | 3.0 | 8.0 | Linienführung wird auf CH-Seite logisch aufgegriffen (sanfte Kurve), Potenzial einer stimmigen Landschaft innerhalb Aufweitung | 3.0 | 8.0 | | |
| C2 | Auswirkungen auf die Naherholung/Freizeitnutzung (Zugang und Erlebbarkeit des Rheins) | | | 8.0% | kein Attraktivitätsgewinn | 1.0 | 2.7 | geringer Attraktivitätsgewinn für Naherholung. | 2.0 | 5.3 | deutlicher Mehrwert für Naherholung (Erlebbarkeit, Gewässerzugang) | 2.5 | 6.7 | deutlicher Mehrwert für Naherholung (Erlebbarkeit, Gewässerzugang) | 2.5 | 6.7 | maximal möglicher Mehrwert für Naherholung (Erlebbarkeit, Gewässerzugang) | 3.0 | 8.0 | | |
| C3 | Auswirkungen auf bestehende Nutzungen (u.A. Landwirtschaft/Wald) und Betroffenheit Dritter (Werkleitungen, Infrastrukturen) | | | 8.0% | keine Betroffenheit da keine Änderung | 3.0 | 8.0 | geringe Einbussen auf Seite FL Dämme nach wie vor als LN nutzbar. Gas- und Elektroleitung auf Seite CH betroffen | 2.0 | 5.3 | geringe Einbussen auf Seite FL Dämme nach wie vor als LN nutzbar. Gas- und Elektroleitung, Kompostieranlage und Retentionsbecken auf Seite CH betroffen | 1.5 | 4.0 | geringe Einbussen auf Seite FL Dämme nach wie vor als LN nutzbar. Betroffenheit Sonderwaldfläche Underau. Gas- und Elektroleitung, Kompostieranlage und Retentionsbecken auf Seite CH betroffen | 1.0 | 2.7 | geringe Einbussen auf Seite FL Dämme nach wie vor als LN nutzbar. Betroffenheit Sonderwaldfläche Underau. Gas- und Elektroleitung, Kompostieranlage und Retentionsbecken auf Seite CH betroffen | 1.0 | 2.7 | | |
| Summe: C Sozioökonomie | | | | | | | | | 13.3 | | | 12.0 | | | 16.0 | | | 17.3 | | | 18.7 |
| D Wirtschaftlichkeit | | | | | | | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt |
| D1 | Investitionskosten im Verhältnis zur Aufweitungsfäche (im Verhältnis zur kostenwirksamsten Variante) | | 24% | 24.0% | Lineare Interpolation zwischen 0: > 115 % 1: 107 - 115 % 2: 100 - 107% 3: 100 % | ∞ % der kostenwirksamsten Variante | 0.0 | 0.0 | 110.5% der kostenwirksamsten Variante | 0.9 | 7.2 | 100.8% der kostenwirksamsten Variante | 2.8 | 22.4 | 103.9% der kostenwirksamsten Variante | 2.2 | 17.6 | 100.0% der kostenwirksamsten Variante | 3.0 | 24.0 | |
| Summe: D Wirtschaftlichkeit | | | | | | | | | 0.0 | | | 7.2 | | | 22.4 | | | 17.6 | | | 24.0 |
| E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | | | | | | | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt | Erläuterung Bewertung | Note | Pkt |
| E1 | Zukünftige Erweiterungsmöglicheinten in Längsrichtung nördlich und südlich des Projektperimeters | | 4% | 4% | 0: nicht mehr möglich 1: sehr komplex und aufwändig 2: mässig komplex und aufwändig 3: einfache Realisierung möglich | Sowohl im Norden als auch im Süden ohne grössere Probleme realisierbar | 2.0 | 2.7 | Sowohl im Norden als auch im Süden bestmögliche Voraussetzungen für Anschluss Erweiterungen | 2.5 | 3.3 | Sowohl im Norden als auch im Süden bestmögliche Voraussetzungen für Anschluss Erweiterungen | 2.5 | 3.3 | Im Norden bestmögliche Voraussetzungen. Im Süden sehr aufwändig da gesamter neuer Damm angepasst werden müsste | 1.5 | 2.0 | Im Norden bestmögliche Voraussetzungen. Im Süden sehr aufwändig da gesamter neuer Damm angepasst werden müsste | 1.5 | 2.0 | |
| Summe: E Kompatibilität mit zukünftigen Erweiterungen | | | | | | | | | 2.7 | | | 3.3 | | | 3.3 | | | 2.0 | | | 2.0 |
| Punktzahl (Maximal 100) | | | | | | | 100% | 100% | | 26.7 | | 42.5 | | | 73.7 | | | 71.6 | | | 83.3 |
| | | | | | | | 5 .Rang | | | 4 .Rang | | | 2 .Rang | | | 3 .Rang | | | 1 .Rang | | |

Anhang C Baugrunduntersuchungskonzept Vorprojekt

Aufweitung Alpenrhein «Schaan, Buchs & Eschen»

Rhein km 51.0 – 52.7

| | |
|-------------------------|------------------------------------------------------|
| Betreff: | Baugrunduntersuchungskonzept Stufe Vorprojekt |
| Projekt-Nr.: | UE224001 |
| Datum / Version: | 04.04.2023 / 2.0 |
| Autor: | Sara Montani, Linus Feigenwinter, Simon Haupt |
| Empfänger: | Emmanuel Banzer, Anne Pfaffen LI, Daniel Dietsche SG |
| Kopie: | Hansjörg Vogt, Markus von Moos |

Inhalt

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Ausgangslage | 2 |
| 2 | Grundlagen | 2 |
| | 2.1 Allgemein | 2 |
| | 2.2 Baugrund und Geotechnik | 2 |
| 3 | Grundlagen Baugrund/Geotechnik | 3 |
| | 3.1 N13/28 Wildtierquerung – ASTRA (7) | 3 |
| | 3.2 Sanierung Rheindamm Underau (8) | 5 |
| | 3.3 Stabilität Rheindamm (10)..... | 5 |
| | 3.4 Interventionspiste am Rheindammfuss, Schaan – Eschen – Benden Gamprin, 2009/2010 (9) | 10 |
| | 3.5 Deponiedamm Eschen..... | 10 |
| 4 | Projektbeschreibung..... | 11 |
| 5 | Zu erhebende Grundlagen | 13 |

Projektstand / Änderungsnachweis

| Version | Datum | Projektstand | Verteiler |
|---------|----------|----------------------------------------------|---------------------|
| 0.1 | 04.05.22 | Entwurf 1 zur Diskussion | Planerteam |
| 0.2 | 06.07.22 | Entwurf 2. zur Diskussion | Planerteam, H. Vogt |
| 0.3 | 06.12.22 | Entwurf 3 zur Diskussion | Planerteam, H. Vogt |
| 1.0 | 20.12.22 | Genehmigtes Konzept: Arbeitsstand Submission | Planerteam, H. Vogt |
| 2.0 | 02.02.23 | Ergänzungen Dr. vonMoos AG | Planerteam, H. Vogt |
| 2.0 | 04.04.23 | Anpassungen Sondage-Standorte nach Begehung | Planerteam, H. Vogt |

Genehmigt / geprüft

Beilagen:

1. Situation Baugrunduntersuchung, 1:2'000, 04.04.2023

Emch+Berger AG Bern

Schlösslistrasse 23 | Postfach | CH-3001 Bern | Tel. +41 58 451 61 11
bern@emchberger.ch | www.emchberger.ch

Gesamtlösungen sind unser Plus.

1 Ausgangslage

2 Grundlagen

Das im Jahr 2005 erarbeitete Entwicklungskonzept Alpenrhein (EKA) [2] sieht in der Eschener Au eine Flussaufweitung vor. Im Rahmen einer ersten Machbarkeitsabklärung [4] konnte die Realisierbarkeit einer Flussaufweitung bestätigt werden. Im gleichen Zug wurden auch die Auswirkungen auf die Sohlenentwicklung [5] und das Grundwasser [6] auf Stufe Konzeptstudie beurteilt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird in einem nächsten Planungsschritt ein breit abgestütztes, qualitativ hochwertiges und kostenoptimiertes Vorprojekt (km 51.0 bis 52.7) erarbeitet.

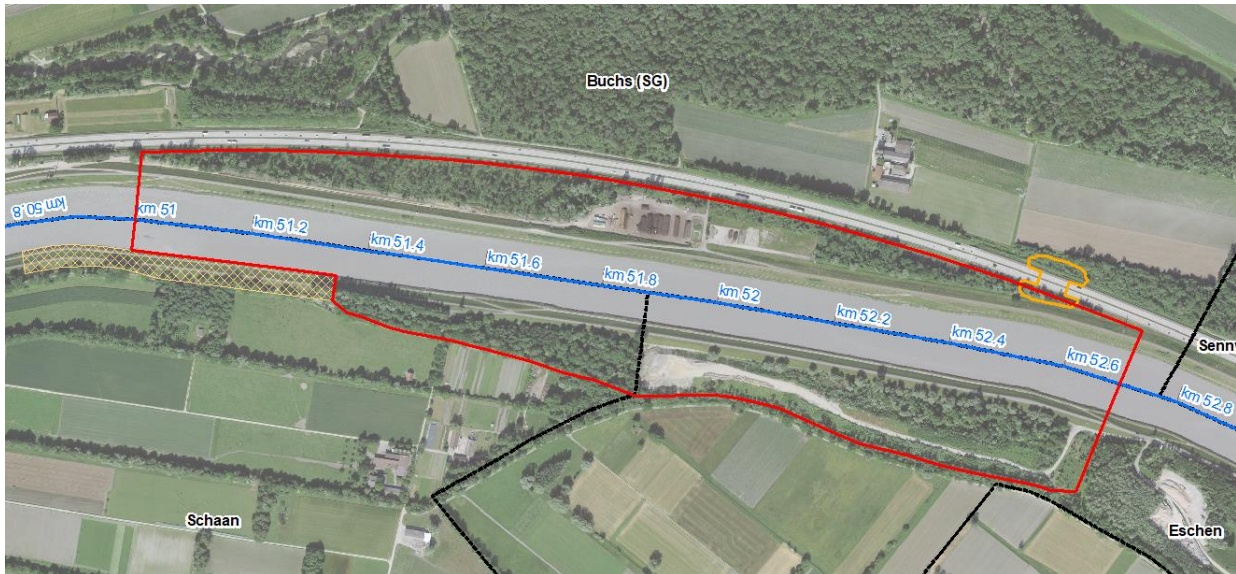


Abbildung 1: rot = Perimeter, orange = Wildtierquerung ASTRA, gelb schraffiert = Perimeter Rheindammsanierung Uderau.

Das vorliegende Faktenblatt gibt einen Überblick über die vorhandenen Grundlagen zum Baugrund und erläutert, welche zusätzlichen Erhebungen für die Vorprojekterarbeitungen benötigt werden.

2.1 Allgemein

- [1] Rheinunternehmen Kt.St. Gallen, Amt für Bevölkerungsschutz Fürstentum Liechtenstein (2021). Ausschreibungsunterlagen Projekt «Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen»
- [2] Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Internationale Rheinregulierung (IRR (2005). Entwicklungskonzept Alpenrhein.
- [3] Hunziker, Zarn & Partner (2015). Aufweitung Eschner Au, Auswirkungen auf die Gewässermorphologie.
- [4] RENAT GmbH (2019). Rheinaufweitung Abschnitt Schaan-Buchs-Eschen – Machbarkeitsabklärung Bericht. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein
- [5] Hunziker, Zarn & Partner (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen. Konzeptstudie
- [6] TK Consult AG (2020). Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen – Konzeptstudie – Grundwassermodellierung. Im Auftrag des Kantons St. Gallen und des Fürstentums Liechtenstein.

2.2 Baugrund und Geotechnik

- [7] Andres Geotechnik AG (2021). Wildquerung Vaduz SG08, Neubau Überführung – Buchs. Geotechnische Beurteilung (Kurzbericht Nr. 6908 vom 17. November 2021)
- [8] Dr. Bernasconi AG (2022). Rheindammsanierung Schaan, Abschnitt Uderau – Baugrunduntersuchungen – Ergebnisse der Dammuntersuchungen (Bericht Nr. 2435-B04 vom Februar 2022)
- [9] Tragweite Vogt Ingenieure, Dr. von Moos AG (2010). Interventionspiste am Rheindammfuss Schaan – Eschen – BERN – Gamprin 2009/2010. Zusammenfassender Bericht (Version 1.1 vom September 2010).
- [10] Vogt Ingenieurbüro, Dr. von Moos AG (2007). Stabilität Rheindamm, Detailunterlagen km 34.0 – 40.0, km 50.0 – 61.5 – Gesamtbeurteilung km 34 – 61.5 (Bericht Nr. 8060-2 vom 22.05.2007)
- [11] Hanno Konrad Anstalt (2021). Deponie Rheinau. Endgestaltungsplan und Landschaftspflegerischer Begleitplan (Situationsplan Nr. 30.00500/ vom 17.05.2021)

3 Grundlagen Baugrund/Geotechnik

In den folgenden Unterkapitel werden die vorhandenen Grundlagen zum Baugrund kurz beschrieben. Die Standorte der vorhandenen Baugrunduntersuchungen können der Beilage 1 entnommen werden.

3.1 N13/28 Wildtierquerung – ASTRA (7)

Im Oktober 2021 wurden im Bereich der geplanten Wildtierquerungen vier Baggerschlitzsondierungen durch das Büro Andres Geotechnik AG durchgeführt (7), wovon zwei zwischen der Autobahn und dem linken Hochwasserschutzdamm liegen (vgl. Abbildung 2 bis Abbildung 4).

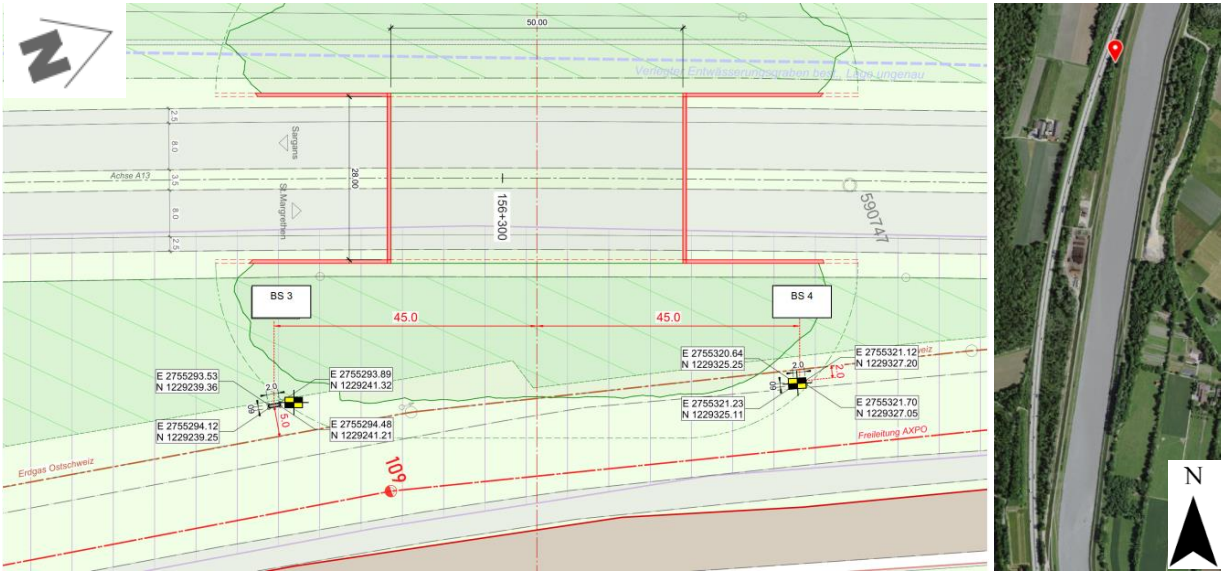


Abbildung 2: Lage der durchgeführten Baggerschlitzsondierungen.

| Masstab 1:50 | Tiefe [m] ab OKT | Schichtstärke [m] | Signatur | Beschreibung des Bodens | Geologie |
|--------------|---------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | 0.30 | 0.40 | Humus; weich; dunkelbraun | Humus; weich; dunkelbraun | Deckschicht |
| | 0.70 | 0.80 | siltiger Feinsand mit reichlich Kiesen, Steinen und Wurzelresten, humos, locker, grau | siltiger Feinsand mit reichlich Kiesen, Steinen und Wurzelresten, humos, locker, grau | Rheinsand |
| | 1.50 | 1.60 | leicht siltiger Fein- bis Mittelsand mit reichlich Kiesen; locker; grau | leicht siltiger Fein- bis Mittelsand mit reichlich Kiesen; locker; grau | Rheinschotter |
| 2 | 3.10 | | praktisch sauberer Kiessand mit wenig Steinen; locker; grau | praktisch sauberer Kiessand mit wenig Steinen; locker; grau | Rheinschotter |
| 3 | | | | | |



Abbildung 3: Baggerschlitzsondierung BS 3.

| Massstab 1:50 | Tiefe [m] ab OKT | Schichtstärke [m] | Signatur | Beschreibung des Bodens | Geologie |
|---------------|---------------------|-------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| | 0.20 | 0.20 | | Humus; weich; dunkelbraun | Deckschicht/Dammschüttung |
| | 0.70 | 0.70 | | leicht siltiger Kiessand mit reichlich Steinen, leicht humos; locker; grau | |
| 1 | 0.90 | | | | |
| | | | | | |
| 2 | | 2.10 | | praktisch sauberer Kiessand mit reichlich Steinen; locker; grau | Rheinschotter |
| | | | | | |
| 3 | 3.00 | | | | |
| | | | | | |



Abbildung 4: Baggerschlitzsondierung BS 4.

Für den Bau der Wildtierquerungen (Kunstbauten) wurden folgende Bodenkennwerte gemäss SIA 267 abgeschätzt:

| Bodenschicht | Feuchtraum- Gewicht γ_k [kN/m ³] | Scherwinkel φ'_k [°] | Kohäsion c'_k [kN/m ²] | Zusammen- drückbarkeit $M_{E0,k}$ [MN/m ²] | Durchlässigkeit k-Wert [m/s] |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Deckschicht | 18 - 19 | 27 - 30 | 0 | 4 - 8 | $10^{-4} - 10^{-6}$ |
| Rheinsand | 18 - 20 | 30 - 32 | 0 | 8 - 12 | $10^{-4} - 10^{-5}$ |
| Rheinschotter | 19 - 20 | 33 - 35 | 0 | 15 - 25 | $10^{-2} - 10^{-4}$ |

3.2 Sanierung Rheindamm Underau (8)

Für das angrenzende Drittprojekt «Sanierung Rheindamm Underau km 50.80 – km 51.4 wurden 2020 und 2021 geotechnische Grundlagen erhoben (8). Eines der Hauptziele waren die hydrogeologischen Abklärungen und Erfüllung der Auflagen zu den Schutzzonen der östlich gelegenen Grundwasserfassung Underau.

- 6 Dreh-Rammkernsondierungen in 2021
- 16 Baggerschlitze in 2020
- Über 74 Rammsondierungen (14 in 2020, 60 in 2021)

Daraus wurden 7 geotechnische Prinzipschnitte erstellt, wovon 4 innerhalb unseres Projektperimeters liegen (oberstes bei km 51.297). Weiter wurden für folgende Materialien Korngrössenverteilungen ermittelt:

- Binnendammerschüttung
- Rheindammerschüttung
- Rheinschotter
- Überschwemmungs- und Verlandungsablagerungen

3.3 Stabilität Rheindamm (10)

Für die Stabilitätsbeurteilungen der Rheindämme zwischen Km 34 bis 61.5 wurde einerseits eine umfassende Zusammenstellung vorhandener Grundlagen zum Baugrund erstellt sowie zusätzliche Baugrunduntersuchungen durchgeführt (10). Im Rahmen der Stabilitätsbeurteilung wurden innerhalb unseres Projektperimeters (vgl. Abbildung 1) drei Bohrungen und drei Schächte durchgeführt:

Im Bereich des Projektperimeters sind acht Bohrungen und drei Schächte vorhanden:

- Seite CH: Nr. 23/06 (vgl. Abbildung 7)
- Seite FL: Nr. 12/06 und Nr. 13/06 (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10)

Zusätzlich gibt es auf Schweizer Seite alte Bohrprofile von 1964 (Nr. B125 – B130), welche damals für den Bau der Autobahn erhoben wurden (vgl. Abbildung 8).

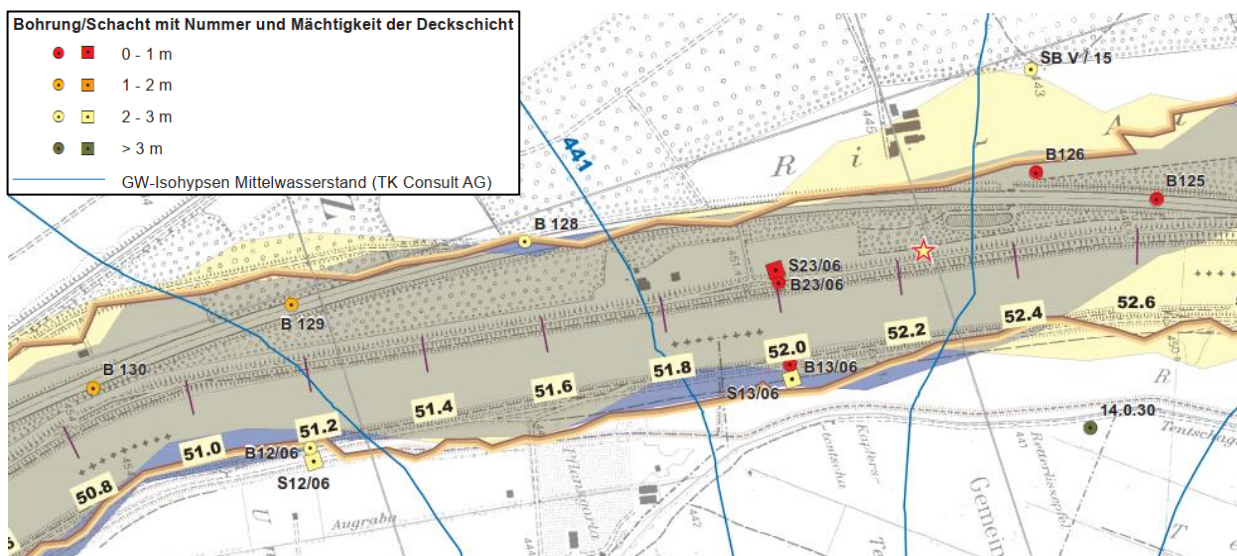


Abbildung 5: Bohrungen/Schächte im Bereich des Projektperimeters (10).



Abbildung 7: Bohrprofil Nr. B23/06, linke Uferseite (Schweiz).

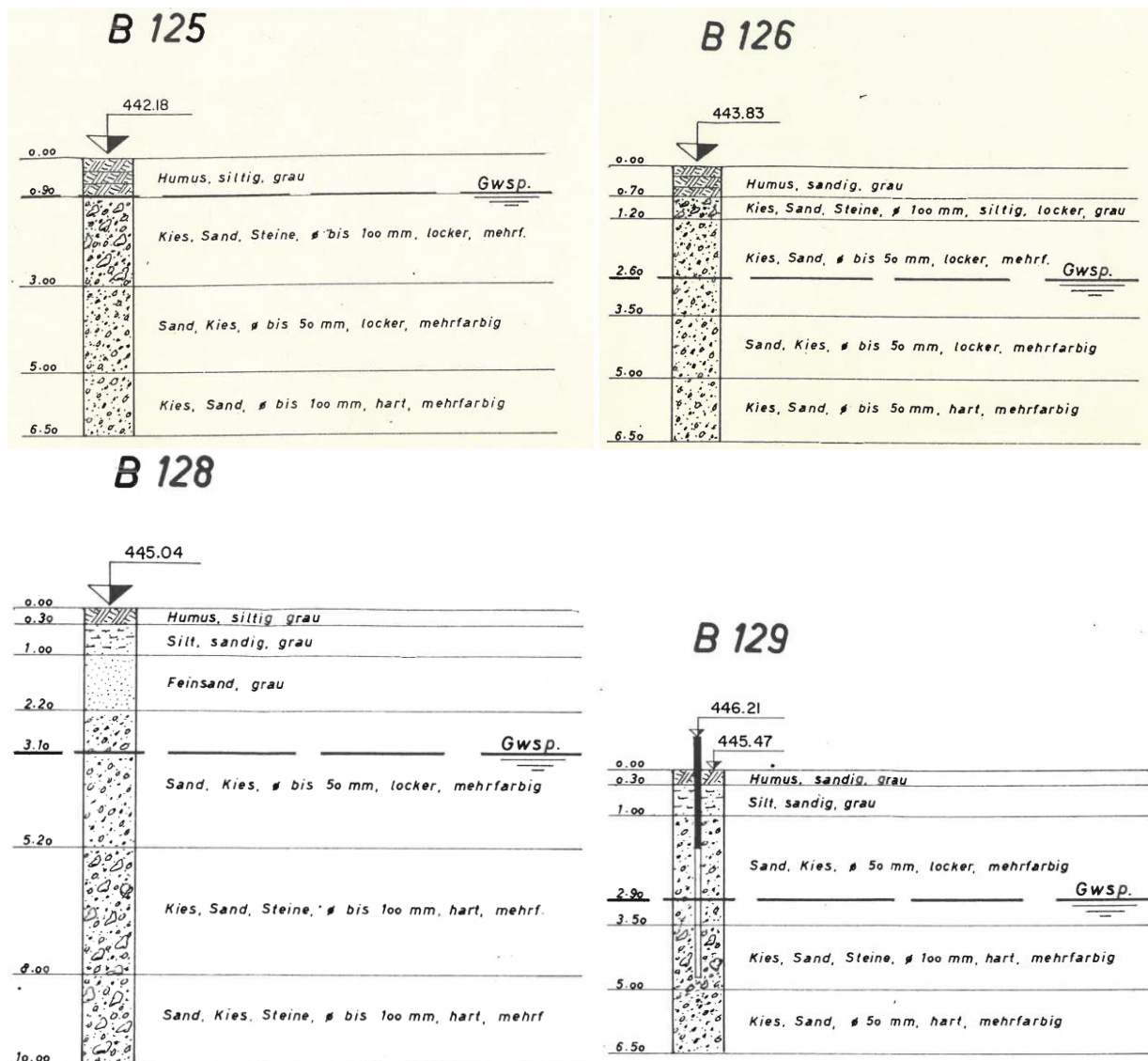


Abbildung 8: Bohrprofile B125, B126, B128, B129 auf Schweizer Seite, welche 1964 für den Bau der Autobahn erstellt wurden.

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------|--|
| Stabilitätsprüfung Rheindämme km 34 – 40 und 50 – 61.5 | | | | Bericht : 8060-2 | |
| | | | | Beilage: 4.3 | |
| Bauherrschaft: | | Bohrunternehmung: | | Bauleitung: | |
| Tiefbauamt des Fürstentums Liechtenstein, Vaduz | | Jet Injectobohr AG, Bäch SZ | | Dr. von Moos AG, Zürich | |
| SONDIERBOHRUNG NR. B12/06 (km 51.180) | | Bohrprofil Massstab 1 : 100 | | Aufnahme: Dr. M. von Moos, Bauingenieur | |
| Höhenlage: 453.45 m ü.M. | | Neigung: vertikal | | Zürich, den 28. August 2006 | |
| Koordinaten: 755'258.09 / 227'906.10 | | Richtung: ---- | | Gezeichnet: MM/BJ/BN Format: 30 x 33 | |
| Bohrart: Kernbohrung | | Bohrmeister: B. Crepulja | | | |
| Verrohrung | | | | Koten | |
| Kronen-Typ | | | | Ø [mm] | |
| Höhen [m ü.M.] | | | | Tiefen ab OKT | |
| Profil | | | | Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes | |
| | | | | Geologische Identifikation | |
| | | | | Bemerkungen | |
| | | | | 4.5"-Piezo: OKR – 453.31 | |
| | | | | Dammerschüttung grobkörnig | |
| | | | | Damm feinkörnig | |
| | | | | Überschw.-u. Verlabl.* | |
| | | | | Rheinschotter | |
| | | | | Pumpversuch im Piezometer: k = 1.2 x 10 ⁻² m/s | |
| | | | | 10 m Vollrohr | |
| | | | | 5 m Filterrohr | |
| | | | | n voll | |

Abbildung 9: Bohrprofil Nr. B12/06, rechte Uferseite (Fürstentum Liechtenstein).


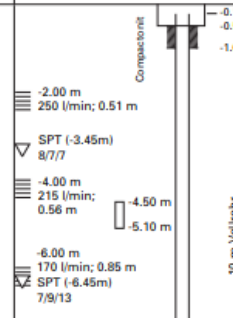




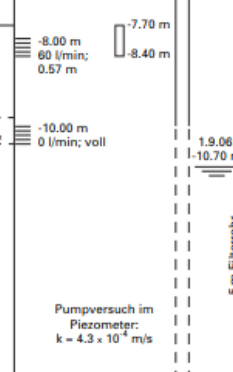





| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Stabilitätsprüfung Rheindämme km 34 – 40 und 50 – 61.5 | | | | Bericht : 8060-2 | | |
| | | | | Beilage: 4.4 | | |
| Bauherrschaft: | | | Bohrunternehmung: | | Bauleitung: | |
| Tiefbauamt des Fürstentums Liechtenstein, Vaduz | | | Jet Injectobohr AG, Bäch SZ | | Dr. von Moos AG, Zürich | |
| SONDIERBOHRUNG NR. B13/06 (km 52.000) | | | Bohrprofil Massstab 1 : 100 | | Aufnahme: Dr. M. von Moos, Bauingenieur | |
| Höhenlage: 451.84 m ü.M. | | Neigung: vertikal | Ausführungsdatum: 18. ÷ 19.07.2006 | | Zürich, den 28. August 2006 | |
| Koordinaten: 755'374.04 / 228'714.23 | | Richtung: ---- | Bohrmeister: B. Crepulja | | Gezeichnet: MM/BJ/BN Format: 30 x 33 | |
| Bohrart: Kernbohrung | | | | | | |
| | | | | | | |
| Verrohrung | | Koten | | Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes | Geologische Identifikation | Bemerkungen |
| Kronen-Typ Ø [mm] | Höhen [m ü.M.] | Tiefen ab OKT | Profil | | | |
| | | 0.30 |  | Schwarzbelag 10 cm, Strassenkoffer | Dammschüttung |  |
| | | |  | Kies mit viel Sand, abschnittsweise ganz leicht siltig, mit vielen Steinen bis ø 13 cm (v.a. oben), kantengerundet bis angerundet, trocken, grau | | |
| | 4.50 | |  | Kies mit viel Sand, stark siltig und vereinzelt Steine bis ø 12 cm, vollständig verbohrt, trocken, hellgrau | | |
| | 5.40 | |  | Kies mit viel Sand und mässig Steinen bis ø 11 cm, kantengerundet bis gerundet, vorherrschend angerundet, leicht siltig, trocken, grau ab 7.00 m wenig bis mässig Sand | | |
| | 7.70 | |  | Kies mit mässig Sand und vereinzelt Steinen bis ø 10 cm, stark siltig, trocken, grau | Rheinschotter |  |
| | 8.80 | |  | Kies mit viel Fein- bis Mittelsand und vereinzelt Steinen bis ø 10 cm, +/- sauber, trocken bis feucht, grau | | |
| | 9.80 | |  | Silt/Feinsand, verbohrt, trocken, grau | | |
| | 10.05 | |  | Mittelsand, +/- sauber, feucht, grau | | |
| | 10.40 | |  | Kies mit mässig bis viel Sand und mässig Steinen bis ø 11 cm, angerundet, z.T. leicht siltig, trocken, ab 11.40 m nass, grau | | |
| | 16.00 | |  | | | |

Abbildung 10: Bohrprofil Nr. B13/06, rechte Uferseite (Fürstentum Liechtenstein).

3.4 Interventionspiste am Rheindammfuss, Schaan – Eschen – Bendorf Gamprin, 2009/2010 [9]

Vor dem Bau der neuen Interventionspisten am luftseitigen Dammfuss auf Seite Fürstentum Liechtenstein wurden Sondagen alle 50 m durchgeführt, damit die Tragfähigkeit und Stabilitätssicherheiten infolge Sickerströmungen im Damm(fuss)bereich sowie die Eignung zur Verwendung von anstehendem Material als Koffierung beurteilt werden konnten. Die Resultate wurden graphisch in einem Längsprofil aufbereitet.

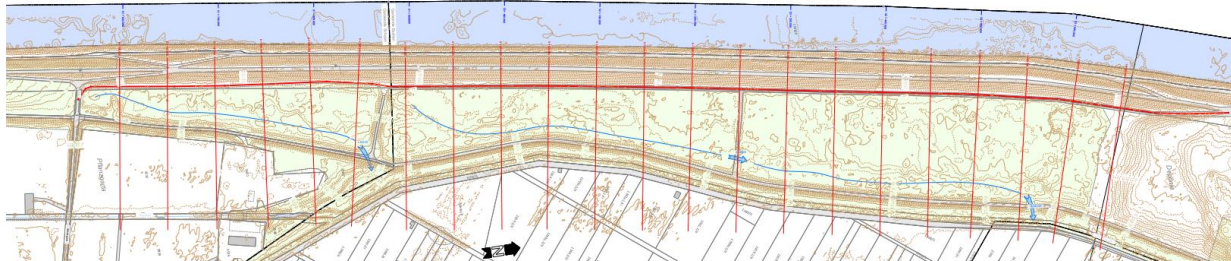


Abbildung 11: Situation Interventionspiste Schaan Eschen, Rhein km 51.6 – 52.6 [9].

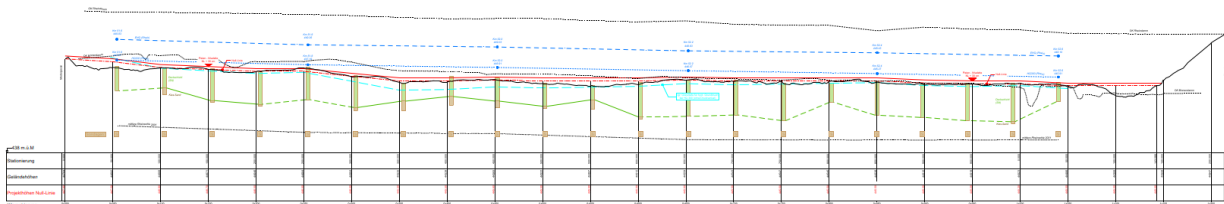


Abbildung 12: Schnitt Interventionspiste Schaan Eschen, Rhein km 51.6 – 52.6 [9].

3.5 Deponiedamm Eschen

Die Schüttetappen des Deponiedamms und die Schüttmaterialien sind in Abbildung 13 dargestellt [11]. Weiter sind folgende Angaben bekannt (Angaben S. Bürzle, AfU FL, vom 10.05.2022):

- Schüttmaterial wurde weder schichtweise noch verdichtet eingebracht
- Kulturerdschicht wurde vor dem Schütten nicht entfernt. Erst seit 2021 ab nördlichem Ende Schüttetappe 1A durchgeführt (Voraushub mit einer Tiefe von ca. 2 – 3 m).

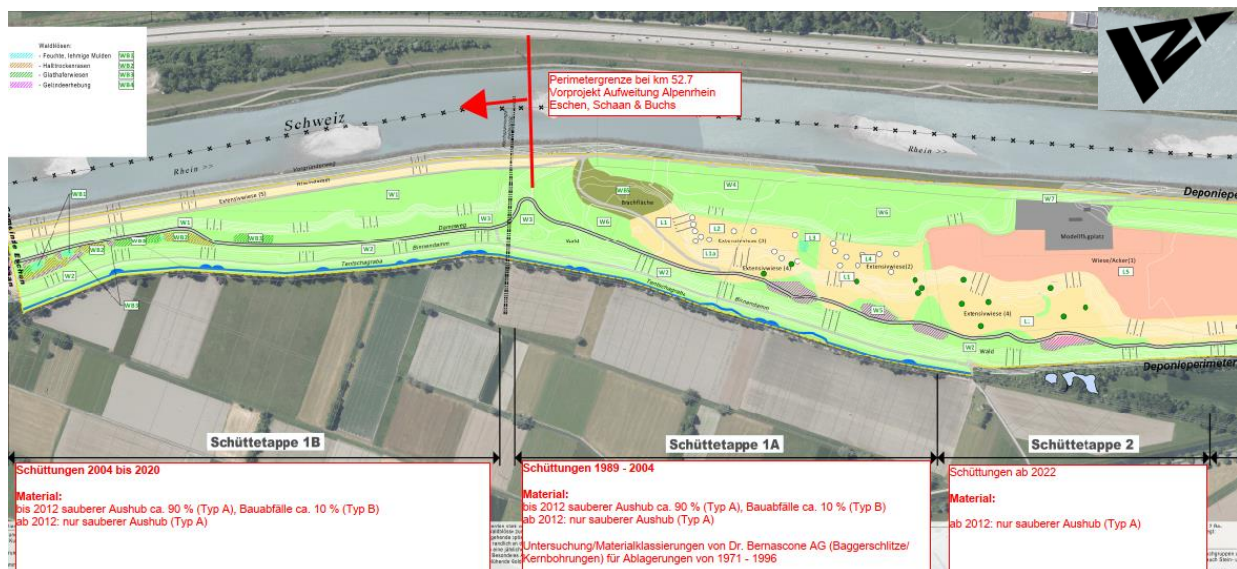


Abbildung 13: Bekannte Grundlagen zum Deponiedamm [11].

4 Projektbeschreibung

Das vorliegende Baugrunduntersuchungskonzept wird parallel zum Variantenstudium des Vorprojektes erstellt. Der genaue Umfang der Aufweitung ist demnach noch nicht bekannt. Für die Beurteilung der zusätzlich zu erhebenden Baugrunduntersuchungen wird die maximal mögliche Aufweitung angenommen. Auf Schweizer Seite bedeutet dies eine Dammverlegung bis zur Autobahn (vgl. Abbildung 14 sowie Abbildung 17). Auf Seite Fürstentum Liechtenstein sollen zwei Optionen geprüft werden:

1. Integration des Deponiekörpers (vgl. Abbildung 14 oben sowie Abbildung 15).
2. Reduktion des Deponiekörpers (vgl. Abbildung 14 unten sowie Abbildung 16)

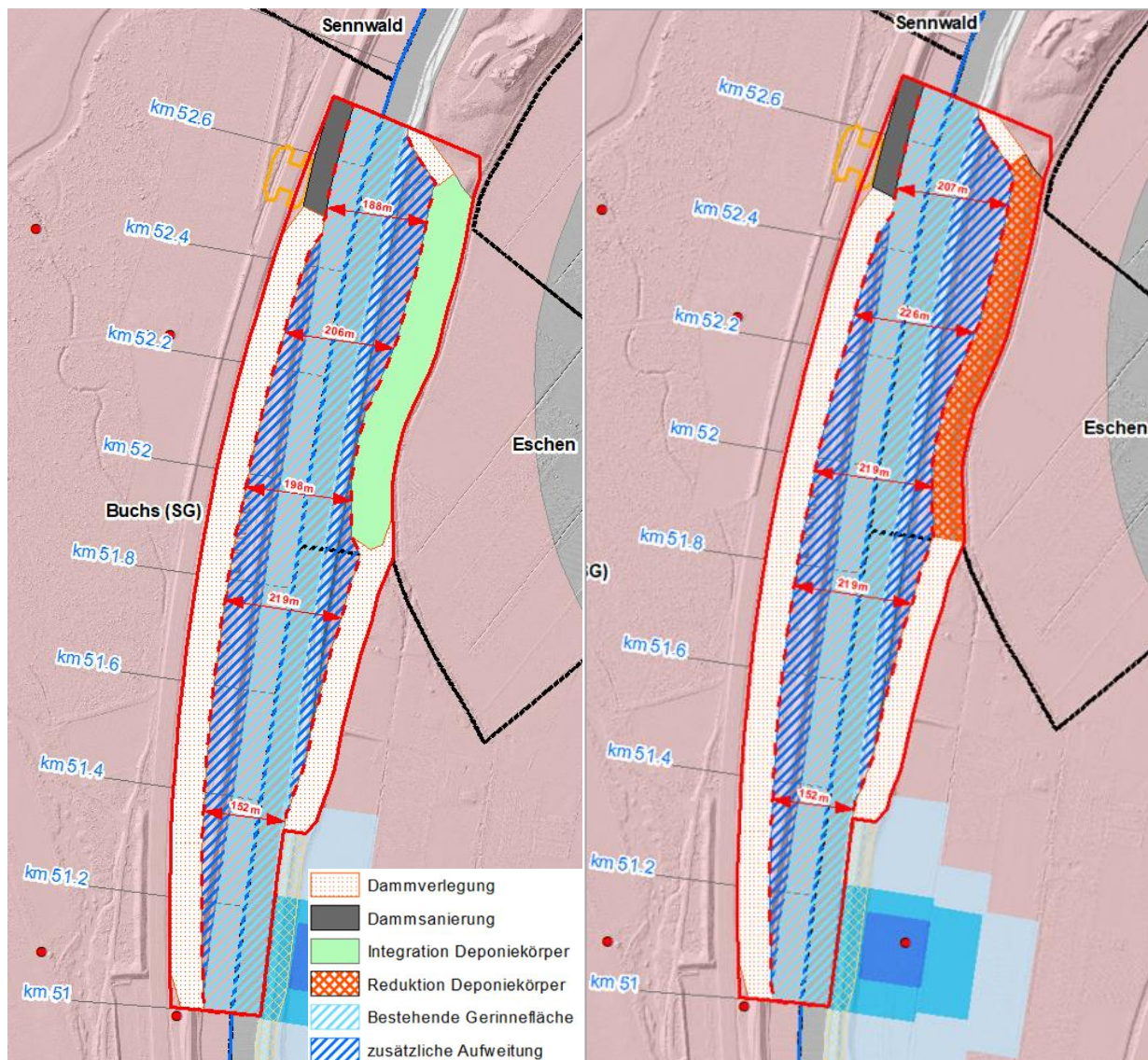


Abbildung 14: Aufweitung Alpenrhein. Links: mit Integration des «Deponiedamms» auf Seite Fürstentum Liechtenstein. Rechts: mit einer Reduktion des «Deponiedamms» auf Seite Fürstentum Liechtenstein.

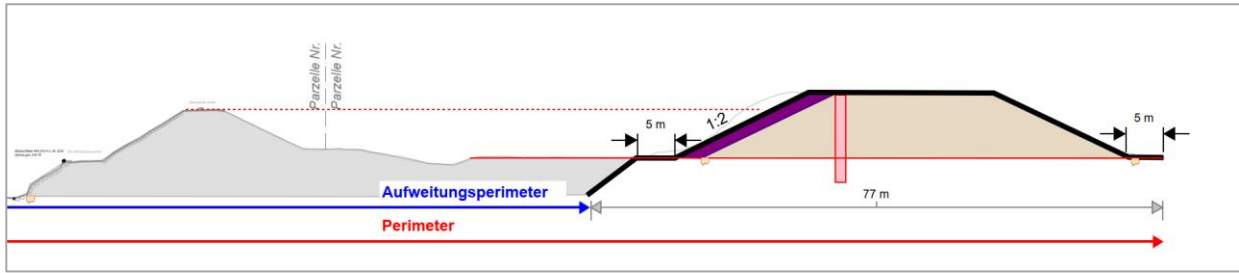


Abbildung 15: Charakteristisches Querprofil - Integration des bestehenden Deponiekörpers rechtsufrig Seite Fürstentum Liechtenstein.

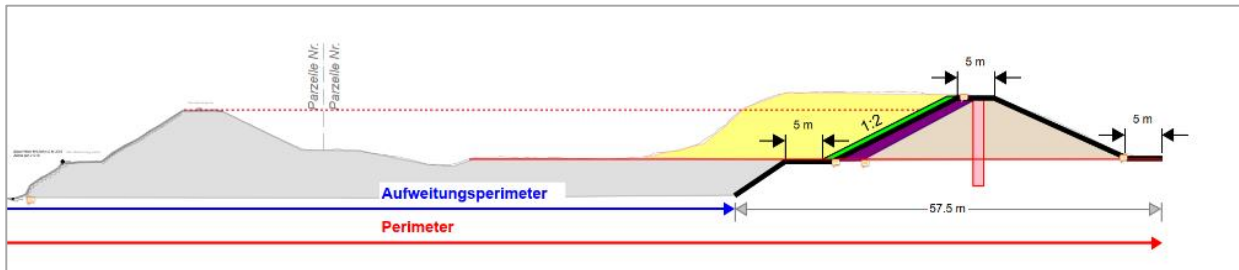


Abbildung 16: Charakteristisches Querprofil - Reduktion des bestehenden Deponiekörpers rechtsufrig Seite Fürstentum Liechtenstein.

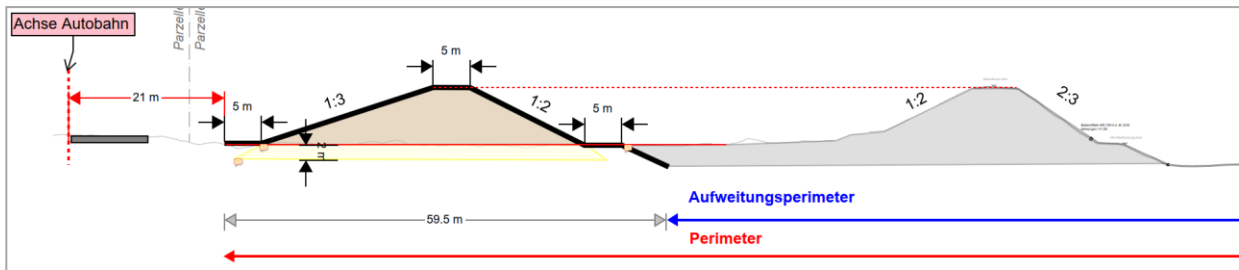


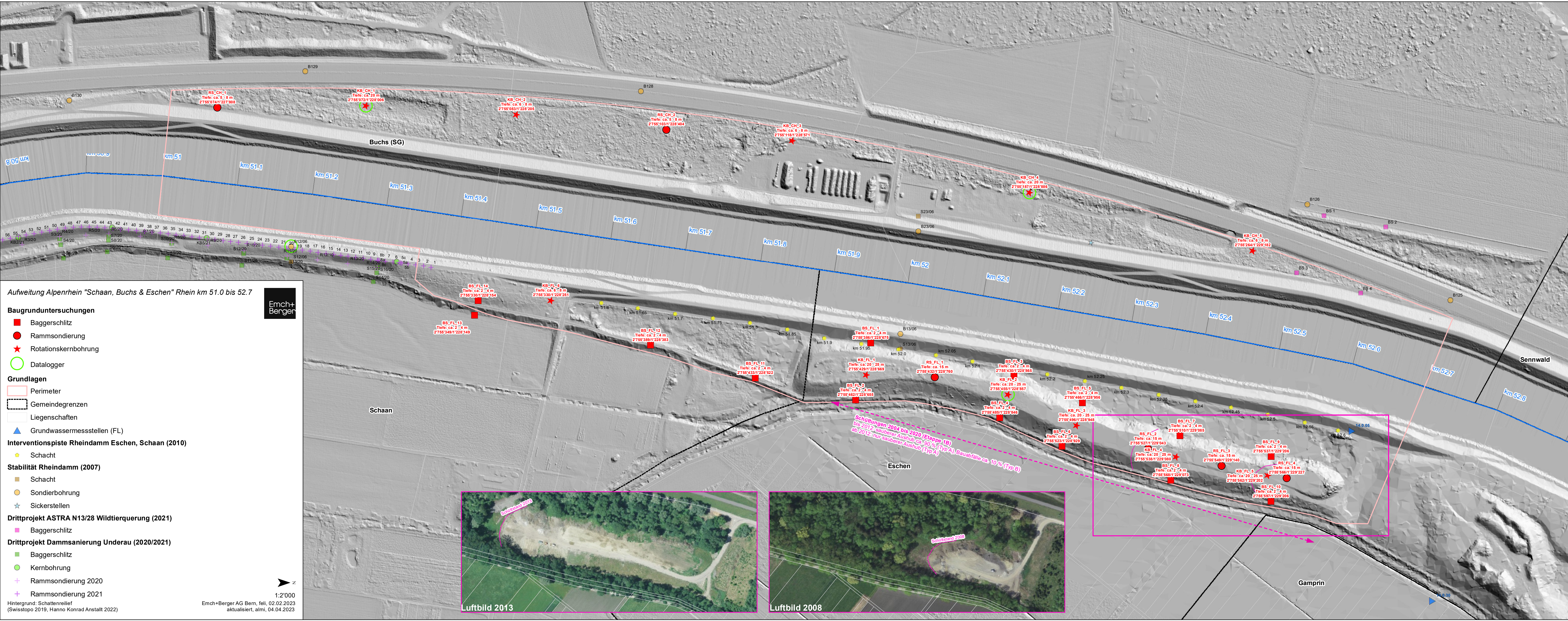
Abbildung 17: Charakteristisches Querprofil - linksufrig Seite St. Gallen.

5 Zu erhebende Grundlagen

Für die Erarbeitung des Vorprojektes werden zusätzliche Baugrunduntersuchungen benötigt, damit die folgenden Fragestellungen beurteilt werden können:

1. Mächtigkeit der setzungsempfindlichen Schichten sowie deren Lagerungsdichte auf Schweizer Seite im Bereich der geplanten Dammverlegung (Prognose der Setzungen im Dammbereich für die naheliegende Autobahn).
2. Materialzusammensetzung/Lagerungsdichte und Lage der Schotterschicht beim bestehenden Deponiedamm, damit eine Beurteilung über die Notwendigkeit einer Schmalschlitzwand durchgeführt werden kann.

| Seite Schweiz | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichnung | Beschrieb | Sondierziel |
| Rotationskernbohrung KB_CH_1 | Lage: 2'755'072 / 1'228'006 Tiefe: 20 m, min. 3 m in Schotter | Ermittlung der Deckschichtmächtigkeit. Ermittlung der Lagerungsdichte: SPT-Versuche alle 3 m Ausbau mit 4.5'' Piezometern Flowmetermessungen Einbau Datalogger in KB_CH_1 und KB_CH_4 |
| Rotationskernbohrung KB_CH_2 | Lage: 2'755'083/ 1'228'205 Tiefe: 6 – 8 m, min. 3 m in Schotter | |
| Rotationskernbohrung KB_CH_3 | Lage: 2'755'118/ 1'228'571 Tiefe: 6 – 8 m, min. 3 m in Schotter | |
| Rotationskernbohrung KB_CH_4 | Lage: 2'755'187 / 1'228'886 Tiefe: 20 m, min. 3 m in Schotter | |
| Rotationskernbohrung KB_CH_5 | Lage: 2'755'264/ 1'229'182 Tiefe: 6 – 8 m, min. 3 m in Schotter | |
| Rammsondierungen RS_CH_1 – RS_CH_2 | Lage: gemäss Plan Tiefe: 5 – 8 m | Ermittlung der Lagerungsdichte zur Beurteilung des Setzungsverhaltens |
| Seite Fürstentum Liechtenstein | | |
| Bezeichnung | Beschrieb | Sondierziel |
| Rotationskernbohrung KB_FL 1 | Lage: 2'755'429 / 1'228'669 Tiefe: 20 - 25 m | Ermittlung Lage/Übergang Schotterschicht für Erstellung Dichtwand. Kenntnis über Materialzusammensetzung (inert Bauschutt vs. Aushubmaterial), SPT-Versuche, Infiltrationsversuche zur Beurteilung der Durchlässigkeit des Dammes Ausbau mit 4.5''-Piezometern Flowmetermessungen Einbau Datalogger in KB_FL_2 und B12/06 (bestehende Sondierung) |
| Rotationskernbohrung KB_FL 2 | Lage: 2'755'455 / 1'228'857 Tiefe: 20 - 25 m | |
| Rotationskernbohrung KB_FL 3 | Lage: 2'755'496 / 1'228'948 Tiefe: 20 - 25 m | |
| Rotationskernbohrung KB_FL 4 | Lage: 2'755'538 / 1'229'080 Tiefe: 20 - 25 m | |
| Rotationskernbohrung KB_FL 5 | Lage: 2'755'562 / 1'229'202 Tiefe: 20 - 25 m | |
| Rotationskernbohrung KB_FL 6 | Lage: 2'755'330/1'228'251 Tiefe: 6 - 8 m | |
| Rammsondierungen RS_FL_1 – RS_FL_4 | Lage gemäss Plan Tiefe: 15 m | Ermittlung der Lagerungsdichte zur Beurteilung des Setzungsverhaltens sowie dem Vorhandensein von Blöcken |
| Baggerschlitze BS_FL_1 – BS_FL_14 | Lage gemäss Plan Tiefe: 2 – 4 m | Verifikation Lage/Übergang Schotterschicht als Ergänzung zu den Rotationskernbohrungen |



Aufweitung Alpenrhein "Schaan, Buchs & Eschen" Rhein km 51.0 bis 52.7

Baugrunduntersuchungen

- Baggerschlitz
- Rammsondierung
- ★ Rotationskernbohrung
- Datalogger

Grundlagen

- Perimeter
- Gemeindegrenzen
- Liegenschaften
- ▲ Grundwassermessstellen (FL)

Interventionspiste Rheindamm Eschen, Schaan (2010)

- Schacht

Stabilität Rheindamm (2007)

- Schacht
- Sondierbohrung
- ★ Sickerstellen

Drittprojekt ASTRA N13/28 Wildtierquerung (2021)

- Baggerschlitz

Drittprojekt Dammsanierung Underau (2020/2021)

- Baggerschlitz
- Kernbohrung
- ✦ Rammsondierung 2020
- ✦ Rammsondierung 2021

Hintergrund: Schattenrelief
(Swiss topo 2019, Hanno Konrad Anstalt 2022)

1:2'000
Emch+Berger AG Bern, feli, 02.02.2023
aktualisiert, almi, 04.04.2023

Emch+
Bergen



Anhang D Dimensionierung

Die nachfolgend in den Abbildung 43 und Abbildung 44 dargestellten Berechnungen der Kolkiefen wurden von Hunziker, Zarn & Partner AG im Rahmen der Geschiebemodellierungen erstellt und sind in der Berichtbeilage 72 beschrieben.

Morphologische Kolkiefen

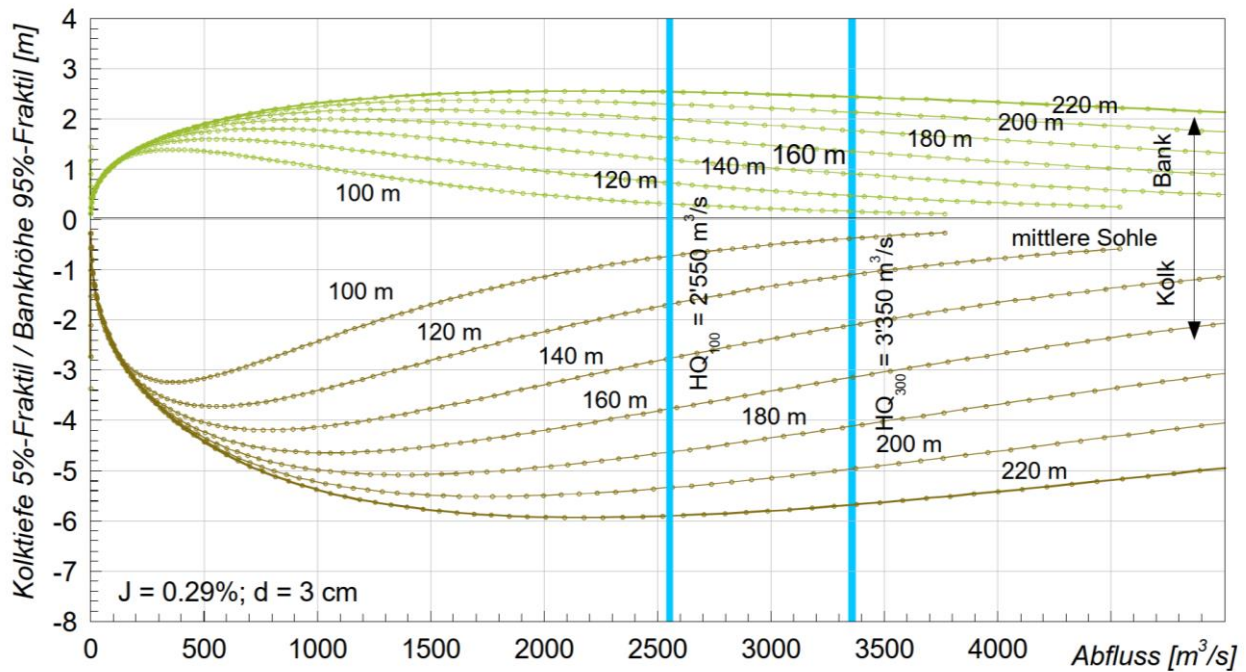


Abbildung 43: Abschätzung Kolkiefen (Quelle: Hunziker, Zarn & Partner AG, Beilage 72)

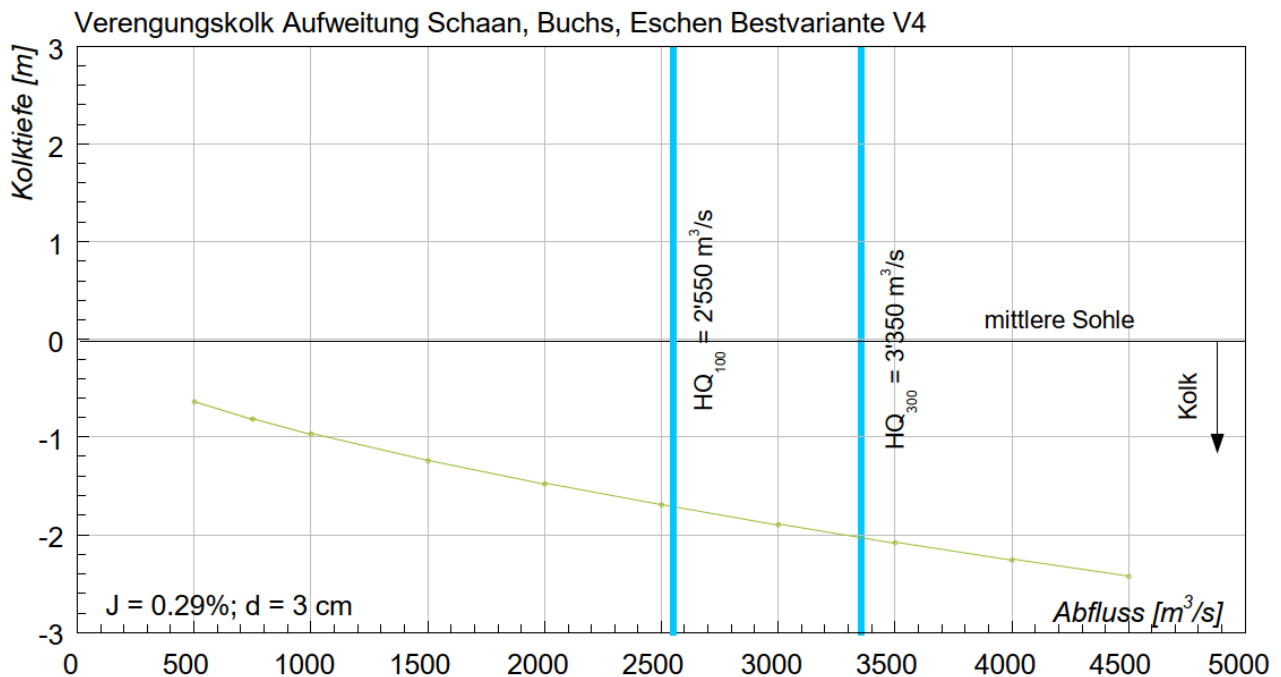


Abbildung 44: Abschätzung Verengungskolkiefen. Diese müssen zu den morphologischen Kolkiefen in Abbildung 43 addiert werden (Quelle: Hunziker, Zarn & Partner AG, Beilage 72).

| | QP | L1 Kies | L2 Sitt | L3 Drain | WSP | Austritts- höhe | H | t | H1 | H2 | H3 | I1 | I2 | I3 | S1 | S2 | S3 | G2 | G3 | FS | OK Schütz luftseitig | UK Soll | UK Ist | Kontrolle | Tiefe Schlitze | | |
|-----------|---------|---------|---------|----------|--------|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------------------------|---------|--------|-----------|----------------|--------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | neu | bisher | Differenz |
| FL Neubau | 252'452 | 57.00 | 7.00 | 1.00 | 448.19 | 442 | 6.19 | 1.00 | 0.05 | 6.14 | 0.00 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 0.50 | 61.39 | 0.01 | 84.00 | 12.00 | 1.56 | 442.95 | 441.95 | 438.00 | ok | 0.05 | 4.00 | -3.95 |
| | 252'651 | 80.00 | 5.00 | 1.00 | 448.29 | 442.6 | 5.69 | 2.00 | 0.09 | 5.60 | 0.00 | 0.00 | 1.12 | 0.00 | 0.90 | 55.99 | 0.01 | 60.00 | 24.00 | 1.50 | 443.55 | 441.55 | 438.60 | ok | 1.05 | 4.00 | -2.95 |
| | 252'851 | 70.00 | 6.00 | 1.00 | 448.39 | 442.5 | 5.89 | 2.50 | 0.07 | 5.82 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 0.00 | 0.68 | 58.21 | 0.01 | 72.00 | 30.00 | 1.75 | 443.45 | 440.95 | 438.50 | ok | 1.55 | 4.00 | -2.45 |
| | 253'050 | 70.00 | 0.10 | 1.00 | 448.36 | 442.5 | 5.86 | 4.50 | 2.40 | 3.43 | 0.03 | 0.03 | 34.27 | 0.03 | 23.99 | 34.27 | 0.34 | 1.20 | 54.00 | 1.59 | 443.45 | 438.95 | 438.50 | ok | 3.55 | 4.00 | -0.45 |
| | 253'250 | 70.00 | 0.10 | 1.00 | 448.56 | 444.5 | 4.06 | 3.00 | 1.66 | 2.37 | 0.02 | 0.02 | 23.74 | 0.02 | 16.62 | 23.74 | 0.24 | 1.20 | 36.00 | 1.55 | 445.45 | 442.45 | 440.50 | ok | 2.05 | 4.00 | -1.95 |
| FL Neubau | 253'451 | 57.00 | 0.20 | 1.00 | 448.16 | 444 | 5.16 | 4.95 | 1.14 | 4.00 | 0.02 | 0.02 | 20.00 | 0.02 | 11.40 | 40.00 | 0.20 | 2.40 | 59.40 | 1.54 | 444.95 | 440.00 | 440.00 | ok | 4.00 | 4.00 | 0.00 |
| | 253'635 | 57.00 | 0.20 | 1.00 | 448.43 | 448.3 | 1.13 | 1.00 | 0.25 | 0.88 | 0.00 | 0.00 | 4.38 | 0.00 | 2.50 | 8.76 | 0.04 | 2.40 | 12.00 | 1.64 | 449.25 | 448.25 | 444.30 | ok | 0.05 | 4.00 | -3.95 |

| Berechnung der Spannungen und Verformungen unter einem Damm | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------|----|------------------|--------|--------------------|--------------|------------------|---------|--------------------|----|------------------|--------|--|
| Eingabe der Bodenparameter | | | | | | | | Projektnr. | | | | |
| Wichten | | | | Steifemoduli | | | | Projekt | | | | |
| γ [kN/m³] | 22 | | | ab y [m] | Es [MN / m²] | | Bauteil | | | | | |
| γ' [kN/m³] | 12 | ab y [m] | 4 | 0.1 | 5 | | | | | | | |
| | | | | 3.65 | 40 | | | | | | | |
| | | | | 15 | 40 | | | | | | | |
| | | | | 45 | 40 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Setzungsberechnung | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Dammmitte | | | | Dammschulter | | | | Dammfuss | | | | |
| Tiefenstufen | | e [‰] | s [mm] | Tiefenstufen | | e [‰] | s [mm] | Tiefenstufen | | e [‰] | s [mm] | |
| 0 | 3 | 31.1 | 93.3 | 0 | 3 | 30.7 | 92.0 | 0 | 3 | 0.0 | 0.0 | |
| 3 | 10 | 3.5 | 24.5 | 3 | 10 | 3.4 | 23.9 | 3 | 10 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 10 | 15 | 2.9 | 14.7 | 10 | 15 | 2.9 | 14.5 | 10 | 15 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 15 | 20 | 2.5 | 12.7 | 15 | 20 | 2.5 | 12.5 | 15 | 20 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 20 | 25 | 2.2 | 10.9 | 20 | 25 | 2.2 | 10.8 | 20 | 25 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 25 | 30 | 1.9 | 9.6 | 25 | 30 | 1.9 | 9.5 | 25 | 30 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 30 | 35 | nztiefe erreicht | 0.0 | 30 | 35 | nztiefe erreicht | 0.0 | 30 | 35 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 35 | 40 | nztiefe erreicht | 0.0 | 35 | 40 | nztiefe erreicht | 0.0 | 35 | 40 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 40 | 45 | nztiefe erreicht | 0.0 | 40 | 45 | nztiefe erreicht | 0.0 | 40 | 45 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| 45 | 50 | nztiefe erreicht | 0.0 | 45 | 50 | nztiefe erreicht | 0.0 | 45 | 50 | nztiefe erreicht | 0.0 | |
| Gesamtsetzung [mm] | | | 165.7 | Gesamtsetzung [mm] | | | 163.2 | Gesamtsetzung [mm] | | | 0.0 | |

Abbildung 46: Setzungen aufgrund der Schüttung ohne Eigensetzungen des Dammes-

Projekt Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen
 Projekt-Nr. UE224001
 Datum 07.02.2024 ergänzt: 10.09.2024
 Verfasser feli

Dimensionierung Blockwurf / -satz

Berechnung der Blockgrössen [Stevens & Simons, 1971] und Filterkriterien [SN 670125a]

Berechnungsgrundlagen

Berechnung für: Blockwurf auf Filterschicht in einem geraden Gerinne

| | | | | |
|------------------------------|------------|---|---------------------------|-------------------|
| maximale Wassertiefe | h | = | 13.00 m | (EHQb inkl. Kolk) |
| maximales Sohlengefälle | J | = | 0.004 m | |
| Böschungsneigung | γ | = | 26.6 ° | (2:5) |
| Innerer Reibungswinkel | ψ | = | 40.0 ° | |
| Dichte Blocksteine | ρ_s | = | 2650.00 kg/m ³ | |
| Sicherheitsfaktor | S | = | 1.20 - | |
| dim. Kritische Schubspannung | Θ_c | = | 0.047 - | |

Resultate

| | | | |
|----------------------------------------|----------------|---|----------------------|
| max. Sohlenschubspannung | $\tau_{s,max}$ | = | 510 N/m ² |
| max. Böschungsschubspannung | $\tau_{b,max}$ | = | 393 N/m ² |
| Höhe $\tau_{b,max}$ ab mittlerer Sohle | h_{tbmax} | = | 3.90 m |
| min. Blockdurchmesser (äq. Kugel) | d_{min} | = | 0.99 m |
| min. Blockmasse | $m_{s,min}$ | = | 1.35 t |

Erklärung:

Die Berechnung erfolgt nach dem Ansatz von Stevens & Simons [1971] und basiert auf den Gleichgewichtsbetrachtungen am Einzelkorn. Es wird angenommen, dass die Blöcke eine relativ einheitliche Korngrösse aufweisen und daher für den Bewegungsbeginn die dimensionslose kritische Schubspannung nach Shields [1936] gilt. Der Durchmesser d des Korns wird so gewählt, dass die dimensionslose kritische Schubspannung des Korns in der Böschung $\Theta_{cy} = f(\Theta_c, \gamma, \psi)$ grösser als die maximale dimensionslose Böschungsschubspannung $\Theta_{B,max} = f(h, J, \rho, d)$ inkl. einem Sicherheitsfaktor S ist. Die Böschungsschubspannung nimmt Richtung Wasserspiegeloberfläche ab.

Projekt Aufweitung Alpenrhein Schaan, Buchs & Eschen
 Projekt-Nr. UE224001
 Datum 07.02.2024 ergänzt: 10.09.2024
 Verfasser feli

Dimensionierung Rollierung

Berechnung der Blockgrössen [Stevens & Simons, 1971] und Filterkriterien [SN 670125a]

Berechnungsgrundlagen

Berechnung für: **Blockwurf auf Filterschicht in einem geraden Gerinne**

| | | | | |
|------------------------------|------------|---|---------------------------|-------------------|
| maximale Wassertiefe | h | = | 13.00 m | (EHQb inkl. Kolk) |
| Höhe Rollierung ab WSP | h_R | = | 3.25 m | |
| maximales Sohlengefälle | J | = | 0.003 | |
| Böschungsneigung | γ | = | 26.6 ° | (2:5) |
| Innerer Reibungswinkel | ψ | = | 40.0 ° | |
| Dichte Blocksteine | ρ_s | = | 2650.00 kg/m ³ | |
| Sicherheitsfaktor | S | = | 1.20 - | |
| dim. Kritische Schubspannung | Θ_c | = | 0.047 - | |

Resultate

| | | | |
|----------------------------------------|-----------------------|---|-------------------------|
| max. Sohlenschubspannung | $\tau_{S,max}$ | = | 382 N/m ² |
| max. Böschungsschubspannung | $\tau_{B,max}$ | = | 295 N/m ² |
| Höhe $\tau_{B,max}$ ab mittlerer Sohle | $h_{\tau_{B,max}}$ | = | 3.90 m |
| Böschungsschubspannung Rollierung | $\tau_{B,Rollierung}$ | = | 105.18 N/m ² |
| min. Blockdurchmesser (äq. Kugel) | d_{min} | = | 0.27 m |
| min. Blockmasse | $m_{s,min}$ | = | 0.03 t |

Erklärung:

Die Berechnung erfolgt nach dem Ansatz von Stevens & Simons [1971] und basiert auf den Gleichgewichtsbetrachtungen am Einzelkorn. Es wird angenommen, dass die Blöcke eine relativ einheitliche Korngrösse aufweisen und daher für den Bewegungsbeginn die dimensionslose kritische Schubspannung nach Shields [1936] gilt. Der Durchmesser d des Korns wird so gewählt, dass die dimensionslose kritische Schubspannung des Korns in der Böschung $\Theta_{cy} = f(\Theta_c, \gamma, \psi)$ grösser als die maximale dimensionslose Böschungsschubspannung $\Theta_{B,max} = f(h_R, J, \rho, d)$ inkl. einem Sicherheitsfaktor S ist. Die Böschungsschubspannung nimmt Richtung Wasserspiegeloberfläche ab.

Anhang E Lebensraumbilanzierung

Tabelle 22: Lebensraumbilanzierung Ist-Zustand gemäss BESB-Methode.

| | | | Kriterium 1 Entwicklungs- zeit | Kriterium 2 Seltenheit | Kriterium 3 Biodiversität | Kriterium 4 Besonderhei- ten | Biotop | Total |
|------|----------------------------------------|----------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------|---------------|
| Typ | Biotoptyp Name | Fläche (ha) | Punkte | Punkte | Punkte | Punkte | Wert | Punkte |
| 111a | Rhein | 17.00 | 1 | 4 | | 2 | 7 | 119.03 |
| 114a | Blocksatz/ Blockbuhne mit Veg | 0.93 | 1 | 1 | | 4 | 6 | 5.60 |
| 114b | Blocksatz/ Blockbuhne | 0.60 | 1 | 1 | | 0 | 2 | 1.20 |
| 115 | Sand-/Kiesufer | 0.31 | 1 | 2 | | 4 | 7 | 2.19 |
| 121a | Forstpflanzungen artenarm | 0.65 | 1 | 1 | | 0 | 2 | 1.31 |
| 122a | Hartholz-Auenwald jung | 0.52 | 2 | 4 | 2 | | 8 | 4.13 |
| 122b | Hartholz-Auenwald artenreich jung | 1.60 | 2 | 4 | 4 | | 10 | 16.00 |
| 122d | Hartholz-Auenwald artenreich alt | 7.48 | 8 | 4 | 4 | | 16 | 119.73 |
| 123 | Lindenmischwald | 0.84 | 16 | 2 | 8 | | 26 | 21.88 |
| 124a | Weichholz-Auenwald | 1.32 | 4 | 8 | | 8 | 20 | 26.44 |
| 124b | Weichholz-Auenwald artenreich | 0.26 | 4 | 8 | 4 | | 16 | 4.17 |
| 125 | Grauerlen-Auenwald | 1.70 | 2 | 4 | 8 | | 14 | 23.80 |
| 128 | Eichen-Hainbuchenwald | 0.64 | 16 | 4 | | 8 | 28 | 18.05 |
| 131a | Stillwasser-Röhricht | 0.31 | 2 | 8 | | 2 | 12 | 3.66 |
| 152a | Kunstwiese | 0.61 | 1 | 1 | 2 | | 4 | 2.44 |
| 152b | Knautgraswiese | 0.64 | 1 | 1 | 2 | | 4 | 2.57 |
| 153b | Mitteuropäischer Halbtrockenra- sen | 3.09 | 8 | 8 | 8 | | 24 | 74.25 |
| 153c | Arrhenateretum | 2.42 | 2 | 2 | 4 | | 8 | 19.37 |
| 153d | Arrhenateretum mit Rhinanthus | 1.97 | 2 | 2 | 4 | | 8 | 15.74 |
| 154 | Daucus melilotion | 0.61 | 1 | 4 | | 16 | 21 | 12.71 |
| 157a | Mesophiles Gebüsch | 0.18 | 2 | 1 | 4 | | 7 | 1.26 |
| 158 | Wiese mit Brombeer | 0.35 | 1 | 1 | 0 | | 2 | 0.71 |
| 161 | Asphalt-, Betonstrasse oder Platz | 1.89 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0.00 |
| 163a | Weg/Platz aus Mergel, Kies | 2.44 | 1 | 1 | 2 | | 4 | 9.77 |
| 163b | Weg/Platz aus Mergel, Kies mit Veg | 0.20 | 1 | 1 | 4 | | 6 | 1.20 |
| 164 | Weitere Bauten/ Privatareale | 1.41 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0.00 |
| | | 49.99 | | | | | | 507.20 |

Tabelle 23: Lebensraumbewertung Endzustand gemäss BESB-Methode.

| | | | Kriterium 1 Entwicklungszeit | Kriterium 2 Seltenheit | Kriterium 3 Biodiversität | Kriterium 4 Besonderheiten | Biotop | Total |
|------|----------------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------|---------------|
| Typ | Biotoptyp Name | Fläche (ha) | Punkte | Punkte | Punkte | Punkte | Wert | Punkte |
| 211a | Überflutungsfläche | 30.98 | 2.77 | 5.52 | 1.04 | 5.76 | 15.09 | 439.67 |
| 214a | Blocksatz/ Blockbuhne mit Veg | 0.00 | 1 | 1 | | 4 | 6 | |
| 214b | Blocksatz/ Blockbuhne | 2.68 | 1 | 1 | | 0 | 2 | 5.37 |
| 221 | Forstpflanzungen artenarm | 0.25 | 1 | 1 | | 0 | 2 | 0.50 |
| 222d | Hartholz-Auenwald artenreich alt | 0.82 | 8 | 4 | 4 | | 16 | 12.61 |
| 253b | Mitteuropäischer Halbtrockenra- sen | 5.00 | 8 | 8 | | 8 | 24 | 90.00 |
| 253c | Arrhenateretum | 5.32 | 2 | 2 | 4 | | 8 | 34.02 |
| 261 | Asphalt-, Betonstrasse oder Platz | 3.33 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0.00 |
| 263a | Weg/Platz aus Mergel, Kies | 0.20 | 1 | 1 | 2 | | 4 | 0.80 |
| 263b | Weg/Platz aus Mergel, Kies mit Veg | 1.51 | 1 | 1 | 4 | | 6 | 9.06 |
| 211a | Überflutungsfläche | 30.98 | 2.77 | 5.52 | 1.04 | 5.76 | 15.09 | 439.67 |
| | | 50.09 | | | | | | 592.03 |

Tabelle 24: Der Lebensraum Typ 211a in Tabelle 23 setzt sich aus folgenden Biotopen zusammen.

| Anteil | Bezeichnung | Beschrieb | Schutzstatus | Kriterium 1 Entwicklungszeit | Kriterium 2 Seltenheit | Kriterium 3 Biodiversität | Kriterium 4 Besonderheiten | Biotopwert |
|--------|---------------------------------------|------------------------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------|
| 57% | Wasser | Breites Fliessgewässer des Flachlands | LC | 1 | 4 | | 8 | 13 |
| 8% | Kies-/Sandufer | nackte Sedimente | LC | 1 | 2 | | 4 | 7 |
| 10% | Alluvionen mit Pio- niervegetation | Daucion | VU | 2 | 1 | 4 | | 7 |
| 2% | Röhricht | Phragmitetum | VU | 4 | 8 | | 4 | 16 |
| 10% | Weichholz-Auenwald | Salicion | EN | 8 | 8 | | 8 | 24 |
| 7% | Grauerlen-Auenwald | Alnion | VU | 8 | 4 | 4 | | 16 |
| 3% | Hartholz-Auenwald | Fraxinion | LC | 8 | 4 | 8 | | 20 |
| 3% | Auenwald im Über- gangsstadium | Fraxinion/Fagion | LC | 8 | 4 | 4 | | 16 |

Anhang F Freibordberechnung

Wie in Kapitel 4.2.2 erläutert wurden die neuen Dammhöhen gleich hoch wie die bestehenden Dammhöhen angesetzt. Eine Freibordberechnung nach KOHS wurde trotzdem durchgeführt, um den Hochwasserschutz nachweis sicher erbracht zu haben.

Gemäss den vereinbarten Zielen [25] werden die erforderlichen Freiborde f_e in Anlehnung an die Empfehlung der KOHS [3] wie folgt festgelegt:

- Überströmbare Ufer/Dämme $f_{e,\bar{u}} = f_w$
- Nicht überströmbare Dämme $f_{e,n\bar{u}} = \sqrt{f_w^2 + f_v^2}$

Mit:

f_w = Teilfreibord Unschärfe der Wasserspiegellage = $\sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$ (m)

σ_{wz} = Unschärfe in der Prognose der massgeblichen Sohlenlage (m)

σ_{wh} = mittlerer Fehler der Abflussrechnung = $0.06 + 0.06 h$ (m)

f_v = Teilfreibord Wellen/Rückstau = $\frac{v^2}{2g}$ (m)

v = mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)

h = mittlere Abflusstiefe (m)

g = Erdbeschleunigung (9.81 m/s²)

dabei gilt es zu beachten, dass der Parameter σ_{wz} nicht dazu dient, eventuelle (langfristige) Auflandungen im Freibord zu berücksichtigen. Diese müssen mit einer morphologischen Modellierung abgeschätzt werden. Mit dem Parameter σ_{wz} werden mögliche Sohlenveränderungen im Hochwasserfall (ereignisbasierte Betrachtung) bei der Freiborddefinition berücksichtigt [3]

Massgebendes Freibord Alpenrhein

Für die Berechnung des massgebenden Freibords gemäss den vereinbarten Zielen [25] wird die Unschärfe in der Prognose der massgeblichen Sohlenlage mit $\sigma_{wz} = 0.5$ m berücksichtigt. Die erforderlichen Freibordhöhen wurden mit Hilfe des hydraulischen Staukurvenmodells der Hunziker, Zarn & Partner AG berechnet.

Tabelle 25: Freibordhöhen in Abhängigkeit verschiedener Hochwasserereignisse

| Objekt | HQ ₃₀₀ | EHQ _A | EHQ _B |
|------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Freibord (nicht überströmbare), $f_{n\bar{u}}$ | 1.3 m ¹⁾ | 1.4 m | 1.5 m |
| Freibord (überströmbare), $f_{\bar{u}}$ | 0.7 m | 0.8 m ²⁾ | 0.8 m |

¹⁾ massgebend für Bemessungsereignis [25]

²⁾ massgebend für Überlastfall [25]