

Bericht

Koordinationsgruppen für die Schwall/Sunk-Sanierungen am Vorder-, Hinter- & Alpenrhein

Variantenstudium Schwall/Sunk-Sanierungen Vorder-, Hinter- & Alpenrhein

Hauptbericht Variantenstudium



Ursin Caduff HTU-W,
Daniel Baier HTU-U,
Rafael Greter HTU-W

29. Juni 2023 / 5. Oktober 2023

Ref.-Nr. H 18401

Details zum Dokument

Titelbild	Rheinschlucht bei Versam (Foto: Axpo/graf, März 2023)	
Dokumentart/ -klasse	Bericht	
Nummer	H 18401	
Auftraggeber	Koordinationsgruppen für die Schwall/Sunk-Sanierungen am Vorder-, Hinter- & Alpenrhein	
Titel	Variantenstudium Schwall/Sunk-Sanierungen Vorder-, Hinter- & Alpenrhein	
Betreff	Hauptbericht Variantenstudium	
	Ursin Caduff HTU-W, <i>li Caduff R. Greter</i> <i>D. Baier</i>	
	Daniel Baier HTU-U,	
Erstellt	23.06.2023	Rafael Greter HTU-W
Geprüft	26.06.2023	Roger Pfammatter HTU-W <i>Pfammatter</i>
Freigegeben	29.06.2023	Nadia Semadeni HTU <i>N. Semadeni</i>
Datei	SSR 2023.10.05_H-18401_Hauptbericht Variantenstudium Rev.01_überarbeitet.docx	
Attribute	Bericht --- --- Ökologie Schwall/Sunk	

Verteiler

Name	Institution	Form
David Schmid	Kanton Graubünden, Amt für Natur und Umwelt	Digital (pdf)
Andreas Meraner	Kanton Graubünden, Amt für Jagd und Fischerei	Digital (pdf)
Beat Hunger	Kanton Graubünden, Amt für Energie und Verkehr	Digital (pdf)
Lucie Lundsgaard-Hansen	Bundesamt für Umwelt	Digital (pdf)
Urs Arnold	Kanton St. Gallen, Amt für Wasser und Energie	Digital (pdf)
Roland Jehle	Liechtenstein, Amt für Umwelt Fischerei	Digital (pdf)
Dominique Durot	Koord.gruppe c/o Kraftwerke Hinterrhein AG	Digital (pdf)
Andreas Siegfried	Koord.gruppe c/o Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Digital (pdf)
Lucien Stern	Koord.gruppe c/o Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Digital (pdf)
Milo Beeli	Koord.gruppe c/o Kraftwerke Zervreila AG	Digital (pdf)
Luregn Caspescha	Koord.gruppe c/o Axpo Hydro Surselva AG	Digital (pdf)
Rudolf Büchi	Koord.gruppe c/o Axpo Hydro Surselva AG	Digital (pdf)
Marco Cortesi	Koord.gruppe c/o Repower AG	Digital (pdf)
Alle Mitglieder	Begleitgruppe S/S VR, HR, AR	Digital (pdf)
Gemeindeverwaltungen	Alle betroffenen Gemeinden	Digital (pdf)
Isabella Pfingstl	Axpo Power AG (Archiv HT)	Digital (pdf, docx)

Änderungsindex

Revision	Beschreibung	Datum
00	Erstausgabe	30.06.2023
01	Ergänzung der nachträglich untersuchten Massnahmen «Ausgleichsbecken Rhäzüns» (Hinterrhein, Raum Rothenbrunnen) und «Stauanlage Albulaschlucht» (Hinterrhein, Raum Sils); konkrete Anpassungen: ergänzte Zusammenfassung, neues Kapitel 7.6.9, ergänzte Kapitel 2.2, 4.3, 4.4, 7, 8.3, 8.4, 8.5	05.10.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Zusammenfassung	6
1. Einleitung	9
2. Projektorganisation	11
2.1 Konsortien Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein	11
2.2 Organisation Variantenstudium	12
3. Grundlagen und Randbedingungen	13
3.1 Ziele der Teilphase IV «Variantenstudium»	13
3.2 Projektperimeter	13
4. Bisherige Abklärungen Vorstudie	15
4.1 Grobzusammenfassung Teilphasen I und III	15
4.2 Grobzusammenfassung Stand Teilphase II	16
4.3 Grobzusammenfassung Vorauswahl Massnahmen und im Variantenstudium betrachtete Massnahmen	17
4.4 Betrachtete Kombinationen / Szenarien	20
5. Vorgehen Variantenstudium	22
5.1 Abklärungen Teilprojekt Technik	22
5.2 Abklärungen Teilprojekt Umwelt und Umfeld	22
5.3 Abklärungen Teilprojekt Schwall/Sunk	22
5.4 Kosten/Nutzen-Analyse	23
5.5 Verhältnismässigkeit des Aufwandes	24
5.6 Interessenabwägungen unter Einbezug aller Interessen	25
5.7 Vorschlag Bestvarianten	28
6. Ergebnisse Variantenstudium Vorderrhein	29
6.1 Fazit TP Technik Vorderrhein	29
6.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Vorderrhein	30
6.3 Fazit TP Schwall/Sunk Vorderrhein	32
6.4 Auswahl Massnahmenvarianten Vorderrhein	32
6.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Vorderrhein	33
6.6 Interessenabwägung Vorderrhein	34
6.7 Vorschlag Bestvarianten Vorderrhein	39
7. Ergebnisse Variantenstudium Hinterrhein	41
7.1 Fazit TP Technik Hinterrhein	41
7.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Hinterrhein	43
7.3 Fazit TP Schwall/Sunk Hinterrhein	47
7.4 Auswahl Massnahmenvarianten Hinterrhein	48
7.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Hinterrhein	49
7.6 Interessenabwägung Hinterrhein	51
7.7 Vorschlag Bestvarianten Hinterrhein	62
8. Alpenrhein	65
8.1 Fazit TP Technik Alpenrhein	65
8.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Alpenrhein	65
8.3 Fazit TP Schwall/Sunk Alpenrhein und Szenario-Kombinationen	67
8.4 Auswahl Massnahmenvarianten Alpenrhein	68
8.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Alpenrhein	69
8.6 Interessenabwägung Alpenrhein	73
8.7 Vorschlag Bestvarianten Alpenrhein	75

9. Weiteres Vorgehen und Planungsverfahren	77
9.1 Massnahmenentscheid durch Kanton	77
9.2 Weiteres Planungsverfahren	77
Glossar – Fachbegriffe	79
Literaturverzeichnis	80
Abbildungsverzeichnis	81
Tabellenverzeichnis	82
Beilagenverzeichnis	84

Zusammenfassung

Auftrag

Im Rahmen des Variantenstudiums der Schwall/Sunk-Sanierungen am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein wurden im Auftrag der entsprechenden Koordinationsgruppen die bewilligungsfähigen und umsetzbaren Massnahmen am Vorder-, Hinter- & Alpenrhein auf Stufe Vorstudie (Kosten $\pm 30\%$) erarbeitet. Im vorliegenden «Hauptbericht Variantenstudium» sind das Vorgehen und die Ergebnisse der drei Teilprojekte (Technik, Umwelt und Umfeld sowie Schwall/Sunk) zusammenfassend beschrieben sowie die konkretisierten Varianten anhand einer Kosten/Nutzen-Analyse und einer Interessenabwägung beurteilt. Schlussendlich wird unter Berücksichtigung aller Ergebnisse ein Vorschlag für Bestvarianten gemacht. Das Gesamtdossier zur Schwall/Sunk Sanierung, bestehend aus dem vorliegenden Hauptbericht und den drei Teilberichten in der Beilage, dient der zuständigen Behörde des Kantons Graubünden als Beurteilungsgrundlage für den Entscheid über die durchzuführende(n) Sanierungsmassnahme(n).

Abgrenzung

Im Vordergrund des vorliegenden Hauptberichts liegt das Darlegen der wichtigsten Ergebnisse aus den drei Teilprojekten. Anhand der im Teilprojekt Technik (vgl. Beilage 1) ermittelten Kosten ($\pm 30\%$) aller Massnahmen und dem im Teilprojekt Schwall/Sunk (vgl. Beilage 3) ermitteltem ökologischen Nutzen Schwall/Sunk einzelner oder von Kombinationen von Massnahmen wird eine Kosten/Nutzen-Analyse durchgeführt und eine Einschätzung zur Verhältnismässigkeit der Massnahmen gemacht. Anhand der im Teilprojekt Umwelt und Umfeld (vgl. Beilage 2) ermittelten und bewerteten Interessenkonflikten, wird anschliessend eine Abwägung aller kritischen Interessenkonflikte durchgeführt. Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse wird schlussendlich ein Vorschlag der Bestvarianten für die Schwall/Sunk-Sanierung des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins gemacht.

Ergebnisse Vorderrhein

Anhand der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich für den Vorderrhein das grosse Becken am Standort F VR-AGB-3 (Volumen 300'000 m³) als Bestvariante ab.

Um den Zielkonflikt zwischen der Schwall/Sunk-Sanierung und der Landwirtschaft zu reduzieren ist auch die kleinere und deutlich weniger kosteneffiziente Variante an diesem Standort VR-AGB-3a (Volumen 100'000 m³) eine Option. Hierzu gilt es in der nächsten Planungsphase, sofern möglich, das notwendige Volumen für ein Becken an diesem Standort hinsichtlich ökologischem Nutzen Schwall/Sunk und Verlust an Fruchtfolgeflächen zu optimieren.

Für eine komplette Beseitigung der Schwall/Sunk-Problematik kommt nur die Ausleitung des Schwallabflusses von Ilanz nach Bonaduz VR-AKA in Frage. Aufgrund der hohen Kosten ist eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Für den Vorderrhein werden daher diese drei Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Becken VR-AGB-3 am Standort F, Volumen 300'000 m³,
Gesamtkosten 102 MCHF exkl. MWST**

- Kleiner ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Becken VR-AGB-3a am Standort F, Volumen 100'000 m³,
Gesamtkosten 83 MCHF exkl. MWST**
- Maximaler ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Ausleitung Ilanz-Bonaduz VR-AKA mit Wasserkraftnutzung (188 GWh/a)
Gesamtkosten 633 MCHF exkl. MWST ¹**

Ergebnisse Hinterrhein

Für die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins gilt es immer eine Kombination von Massnahmen für die Standorte Sils und Rothenbrunnen zusammen zu betrachten. Anhand der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich keine klare Bestvariante ab. Die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins kann in Bezug auf eine verhältnismässige Sanierung der wesentlichen Beeinträchtigung als sehr schwierig beurteilt werden.

Die einzige Massnahme, welche die wesentliche Beeinträchtigung Schwall/Sunk komplett beseitigen kann, ist die betrachtete Kombination von Ausleitungen bis Domat/Ems (HR/S-AKA-1 mit HR/R-AKA-1). Aufgrund der Kosten ist dabei nur für die Ausleitung ab Sils eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Als knapp noch im Bereich verhältnismässiger Massnahmen beurteilt wird die Kombination eines grossen Ausgleichsbeckens am Standort H im Raum Sils HR/S-AGB-1 (Volumen 1 Mio. m³) oder – falls bewilligungsfähig – der Stauanlage Albula HR/S-STAU-2C (1.6 Mio. m³) mit zwei grossen Speicherstollen bei Rothenbrunnen HR/R-KAV-1/2 (Verdopplung, 400'000 m³) oder – falls bewilligungsfähig – mit dem grossen Becken in Rhäzüns HR/R-AGB-4 (400'000 m³).

Um den Zielkonflikt zwischen der Schwall/Sunk-Sanierung und der Landwirtschaft zu reduzieren sowie die ökologischen Ziele vollumfänglich zu erreichen, soll für den Standort Sils statt eines Beckens die Ausleitung nach Domat/Ems zusammen mit den grossen Speicherstollen HR/R-KAV-1/2 (Verdopplung) oder sofern bewilligungsfähig dem Becken in Rhäzüns HR/R-AGB-4 betrachtet werden.

Für den Hinterrhein werden daher diese drei Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Maximaler ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Ausleitung Sils-Rothenbrunnen-Domat/Ems HR/S-AKA-1 mit WK
(137 GWh/a) und HR/R-AKA-1 ohne WK
Gesamtkosten 1'013 MCHF exkl. MWST ²**
- Mittlerer ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Becken HR/S-AGB-1 am Standort H, Volumen 1 Mio. m³ und Speicherstollen HR/R-KAV-1/2 (Verdopplung)
Gesamtkosten 516 MCHF exkl. MWST
oder falls bewilligungsfähig: Stauanlage Albula HR/S-STAU-2C (1.6 Mio m³) und Becken HR/R-AGB-4 am Standort A1 (400'000 m³)
Gesamtkosten 299 MCHF exkl. MWST**

¹ Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

² Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

- Mittlerer ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Ausleitung Sils-Domat/Ems HR/S-AKA-1 mit WK (137 GWh/a) und Speicherstollen HR/R-KAV-1/2 (Verdopplung) oder sofern bewilligungsfähig: Becken HR/R-AGB-4 am Standort A1 (400'000 m³)
Gesamtkosten 861 MCHF exkl. MWST (Variante Speicherstollen)
Gesamtkosten 650 MCHF exkl. MWST (Variante Becken Rhäzüns)

Ergebnisse Alpenrhein

Anhand der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich für die ergänzenden Massnahmen am Alpenrhein die Erhöhung des Stauwehrs der KWR um 1 m AR-KWR (Volumen 300'000 m³) als Bestvariante ab. Aufgrund des sehr guten Kosten/Nutzen-Verhältnisses dieser Massnahme, sollte diese auch unabhängig der Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein zur Umsetzung geprüft werden.

Eine Ausleitung Ems-Mastrils AR-AKA kann aufgrund des grossen Speichervolumens im Stollen (Volumen 775'000 m³) und in Abhängigkeit der getroffenen Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein eine sinnvolle Ergänzung sein. Eine alleinige Realisierung dieser Ausleitung, ohne Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein, erscheint jedoch nicht sinnvoll. Aufgrund der hohen Kosten ist dabei eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Für den Alpenrhein werden ergänzend zu den vorgeschlagenen Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein daher folgende Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Erhöhung Stauwehr KWR um 1 m AR-KWR, Volumen 300'000 m³, Gesamtkosten 16 MCHF exkl. MWST
- Sehr grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Ausleitung Ems-Mastrils AR-AKA mit Wasserkraftnutzung (280 GWh/a)
Gesamtkosten 762 MCHF exkl. MWST³

Für die Beurteilung der Schwall/Sunk-Sanierung am Alpenrhein gilt es nebst den hier vorgeschlagenen Massnahmen, mögliche Kombinationen mit den Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein zu prüfen.

³ Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

1. Einleitung

Das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG) schreibt vor, dass kurzfristige, künstliche Änderungen des Wasserabflusses in einem Gewässer (Schwall/Sunk), welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigen, von den Inhabern von Wasserkraftwerken mit baulichen Massnahmen oder auf Antrag des Betreibers durch betriebliche Massnahmen verhindert oder beseitigt werden müssen. Mit der Umsetzung der Sanierungsmassnahmen muss bis 2030 begonnen werden.

Gemäss strategischer Planung des Kantons Graubünden ist der Hinterrhein wie auch die Albula durch die Anlagen der Kraftwerke Hinterrhein AG (KHR), der Kraftwerke Zervreila AG (KWZ) sowie des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) wesentlich durch Schwall und Sunk beeinträchtigt. Seit Ende November 2017 sind die drei Kraftwerksgesellschaften rechtskräftig zur Sanierung ihrer Anlagen hinsichtlich Schwall/Sunk verpflichtet.

Auch der Vorderrhein ist gemäss strategischer Planung des Kantons Graubünden durch die Anlagen der Kraftwerke Vorderrhein AG (KVR) und der Kraftwerke Ilanz AG (KWI) wesentlich durch Schwall und Sunk beeinträchtigt. Seit April 2018 sind die zwei Kraftwerksgesellschaften ebenfalls rechtskräftig zur Sanierung ihrer Anlagen hinsichtlich Schwall/Sunk verpflichtet.

Die erwähnten Kraftwerksgesellschaften haben primär Massnahmen für die direkt betroffenen Gewässer Vorder- und Hinterrhein zu treffen. Es gilt jedoch, die Massnahmen so abzustimmen, dass auch die Schwall/Sunk-Beeinträchtigung am Alpenrhein behoben wird. Grundsätzlich wird angenommen, dass mit der Erfüllung der Sanierungsziele am Vorder- und Hinterrhein gleichzeitig auch die Sanierungsanforderungen hinsichtlich Schwall/Sunk am Alpenrhein erreicht werden.

Die Projektierung der Vorstudie der Schwall/Sunk-Sanierung orientiert sich am Modul «Schwall/Sunk-Massnahmen» der Vollzugshilfe (VZH) Renaturierung der Gewässer [1] und wird in zwei Hauptschritte mit unterschiedlichen Teilphasen eingeteilt:

Hauptschritt 1:

- Teilphase I: Defizit- und Ursachenanalyse (TP I)
- Teilphase II: Definition repräsentativer Abflussganglinien (TP II)
- Teilphase III: Zieldefinition und Vorauswahl Massnahmen (TP III)

Hauptschritt 2:

- Teilphase IV: Variantenstudium (TP IV)

Die Bearbeitung der «Defizit- und Ursachenanalyse» (Teilphase I) [3] [4] [5] sowie der «Zieldefinition & Vorauswahl Massnahmen» (Teilphase III) [2] ist bereits abgeschlossen. Die «Definition der repräsentativen Abflussganglinien» (Teilphase II) wurde grösstenteils zusammen mit der Teilphase III bearbeitet und wird mit vorliegendem Variantenstudium abgeschlossen (Beilage 3). Die Methodik und die ersten Resultate der Teilphasen II sowie die abschliessenden Ergebnisse der Teilphase III sind im Bericht H18236 [2] festgehalten. Die Berichte des Hauptschritt 1 bilden die Grundlage für das vorliegende Variantenstudium (Hauptschritt 2) und für die Wahl der auszuarbeitenden Sanierungsmassnahmen.

Der vorliegende Hauptbericht des Variantenstudiums der Schwall/Sunk-Sanierung am Rhein (Vorder-, Hinter- & Alpenrhein) stellt einen Synthesebericht der drei Teilberichte «Technik» (H18374)» (Beilage 1), «Umwelt und Umfeld» (H18399)» (Beilage 2), sowie «Schwall/Sunk» (H18400)» (Beilage 3) dar. Mit der aufgezeigten Kosten/Nutzen-Analyse und Interessenabwägung bildet der Bericht die Grundlage für die Beurteilung der bewilligungsfähigen und umsetzbaren Massnahmen. Er ermöglicht damit den Variantenentscheid über die durchzuführende(n) Sanierungsmassnahme(n) seitens der zuständigen Behörde des Kantons Graubünden.

2. Projektorganisation

2.1 Konsortien Vorderrhein, Hinterrhein und Alpenrhein

Zur Gewährleistung der Abstimmung und Koordination der Schwall/Sunk-Sanierungen der einzelnen Einzugsgebiete am Rhein wurden unter den jeweils betroffenen Kraftwerksgesellschaften für die Durchführung und Bearbeitung der Teilphase IV «Variantenstudium» Koordinationsgruppen in der Form von Konsortien gebildet.

Die Sanierungsmassnahmen am Vorderrhein müssen unter Einbezug der zwei Kraftwerksgesellschaften KVR und KWI koordiniert und aufeinander abgestimmt erarbeitet werden. Für die Teilphase IV Variantenstudium haben die KVR und KWI, in Abstimmung mit dem Kanton Graubünden und BAFU, die Koordinationsgruppe Schwall/Sunk Vorderrhein gegründet. Der Zusammenschluss der zwei Kraftwerksgesellschaften zur Koordinationsgruppe Schwall/Sunk Vorderrhein ist als stille Gesellschaft organisiert und wurde mit dem Konsortialvertrag vom April 2022 geregelt. Gegen aussen tritt allein die federführende Gesellschafterin KVR auf.

Die Schwall/Sunk-Problematik am Hinterrhein betrifft ebenfalls verschiedene Kraftwerksgesellschaften. Da eine einheitliche Ausarbeitung des Variantenstudiums den betroffenen Kraftwerksgesellschaften wichtig war, wurden die durchzuführenden Arbeiten folglich gemeinsam beauftragt. Zur Koordination der Arbeiten haben sich KHR, KWZ sowie ewz betreffend der Schwall/Sunk-Problematik am Hinterrhein zu einer gemeinsamen Koordinationsgruppe zusammengeschlossen. Der Zusammenschluss der drei Kraftwerksgesellschaften zur Koordinationsgruppe Schwall/Sunk Hinterrhein ist als stille Gesellschaft organisiert und wurde mit dem Konsortialvertrag vom April 2022 für die Teilphase IV Variantenstudium geregelt. Gegen aussen tritt allein die federführende Gesellschafterin KHR auf.

Die im Alpenrhein vorgefundenen Schwall/Sunk Beeinträchtigungen sind eine Kombination der einzelnen Einflüsse aller Schwallverursacher im Einzugsgebiet. Zu den Schwallverursachern im Bündner Abschnitt des Alpenrheins gehören die vom Kanton Graubünden zur Sanierung Schwall/Sunk verpflichteten Kraftwerksgesellschaften im Einzugsgebiet des Alpenrheins, namentlich sind dies die zuvor aufgelisteten Kraftwerke am Vorder- und Hinterrhein. Eine weitere Koordination hinsichtlich Alpenrhein findet mit dem Ausbauprojekt Chlus der Repower AG (Repower) statt. Die Kraftwerke an der Plessur wie auch weitere kleinere Wasserkraftwerke, insbesondere am Vorderrhein wurden hinsichtlich Schwall/Sunk im Alpenrhein von den Behörden als nicht relevant eingestuft.

In Rücksprache mit den Behörden haben sich die sechs Kraftwerksgesellschaften (KVR, KWI, KHR, KWZ, ewz und Repower) zur Koordinationsgruppe Alpenrhein zusammengeschlossen und koordinieren die Schwall/Sunk-Sanierung im Bündner Abschnitt des Alpenrheins. Der Zusammenschluss der sechs Kraftwerksgesellschaften zur Koordinationsgruppe Alpenrhein ist als stille Gesellschaft organisiert und wurde mit dem Konsortialvertrag vom Mai 2022 für die Teilphase IV geregelt. Gegen aussen tritt allein die federführende Gesellschafterin KVR auf.

Die federführenden Gesellschafterinnen der drei Konsortien haben jeweils mit der Axpo Power AG (Axpo) einen Vertrag über verschiedene Planerleistungen abgeschlossen. Die Abteilung Umwelt des Engineerings Hydroenergie & Biomasse der Axpo (HTU) übernimmt bei den genannten Schwall/Sunk-Sanierungen eine Dienstleisterrolle, hat die Gesamtleitung dieser aufeinander abzustimmenden Schwall/Sunk-Sanierungen inne, leitet in dieser Rolle die Koordinationsgruppen und

erbringt verschiedene Planerleistungen. Hierdurch lässt sich die Koordination der Schwall/Sunk-Sanierungen der einzelnen Einzugsgebiete gewährleisten und Synergien in den Projekten nutzen.

2.2 Organisation Variantenstudium

Aufgrund der Grösse, der fachlichen Vielfalt und der Komplexität des Variantenstudiums für die Schwall/Sunk-Sanierungen am Rhein, wurde das Projekt in folgende Teilprojekte unterteilt und durch verschiedene Auftragnehmer bearbeitet:

Projektleitung und Koordination

- Leitung und Bearbeitung: Axpo

Teilprojekt Technik

- Leitung Teilprojekt: Axpo
- Bearbeitung Ausgleichsbecken: IM Maggia Engineering SA, Locarno
- Bearbeitung Stauanlage Albula: IM Maggia Engineering SA, Locarno
- Bearbeitung Ausleitungen und Speicherstollen: Gruner Stucky AG, Zürich
- Bearbeitung Stauwehrrhöhung Kraftwerk Reichenau: Axpo
- Bearbeitung betriebliche Massnahmen: Axpo
- Bearbeitung betriebliche Massnahmen mit Batterie: Axpo und Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden (EWN).

Teilprojekt Umwelt und Umfeld

- Leitung und Bearbeitung Teilprojekt: Axpo

Teilprojekt Schwall/Sunk

- Leitung und Bearbeitung Teilprojekt: Axpo
- Experteneinschätzung: WFN AG, Bern und Hydra AG, Konstanz

Für die Bearbeitung des Projekts stand Axpo als Gesamtprojektleiterin in regelmässigem Austausch mit den Behörden des Kantons Graubünden (ANU, AEV, AJF), dem BAFU, sowie den Vertretern der Unterlieger am Alpenrhein, konkret des Kantons St. Gallen und der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA). Das Vorgehen wurde stets eng mit diesen Vertretern abgestimmt. Das bisherige Vorgehen wurde zudem auch einer Begleitgruppe, bestehend aus den Vertretern der Behörden des Kantons Graubünden (ANU, AEV, AJF), der betroffenen Kraftwerksgesellschaften sowie der Umweltschutzorganisationen WWF, Pro Natura und dem kantonalen Fischereiverband vorgestellt. Der WWF vertritt dabei weitere Umweltschutzorganisationen. Zuletzt fand auch eine erste Information über die Schwall/Sunk-Sanierungen am Rhein bei den durch Sanierungsmassnahmen betroffenen Gemeinden statt.

3. Grundlagen und Randbedingungen

3.1 Ziele der Teilphase IV «Variantenstudium»

Im Rahmen der vorliegenden Teilphase IV «Variantenstudium» werden für die in der Teilphase III vorausgewählten Massnahmen (vgl. Kapitel 4.3) folgende Ziele verfolgt:

- Beurteilung der technischen Machbarkeit inkl. Kostenschätzung («Teilprojekt Technik»),
- Aufzeigen und Beurteilen allfälliger Zielkonflikte und Bewilligungsfähigkeit («Teilprojekt Umwelt und Umfeld») sowie
- Abschätzen des ökologischen Nutzens in Bezug auf Schwall/Sunk («Teilprojekt Schwall/Sunk»).

Zusammenfassend geht es im Variantenstudium um die Erarbeitung und Bewertung der vorausgewählten Sanierungsmassnahmen bezüglich deren Eignung zur Erreichung der definierten ökologischen Ziele im Gewässer (vgl. Kapitel 4.1.2) und der damit einhergehenden Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk.

Dabei richten sich die baulichen Massnahmen nach den in Artikel 39a Absatz 2 GSchG genannten Kriterien:

- dem Grad der Beeinträchtigung des Gewässers;
- dem ökologischen Potenzial des Gewässers;
- der Verhältnismässigkeit des Aufwandes;
- den Interessen des Hochwasserschutzes und
- den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien.

Im vorliegenden Hauptbericht «Variantenstudium», werden unter Einbezug der Ergebnisse der drei genannten Teilprojekte, umsetzbare Massnahmen erarbeitet und beurteilt. Anschliessend werden anhand einer Kosten/Nutzen-Analyse sowie einer Abwägung aller Interessen Bestvarianten vorgeschlagen.

3.2 Projektperimeter

Der gesamte Projektperimeter der Schwall/Sunk-Sanierungen des Vorder-, Hinter- und Alpenrhein ist in Abb. 3.1 dargestellt. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Projektperimeter können in den Berichten der Teilphase I – Ursachen- & Defizitanalyse entnommen werden [3], [4] und [5]. Detaillierte Informationen zu den Untersuchungsstrecken können dem Bericht zur TP III [2] entnommen werden.

Die technische, umwelt- und umfeldtechnische Beurteilung der verschiedenen Sanierungsmassnahmen erfolgt für den konkreten Standort einer Massnahme und ihrer Zielkonflikte. Die Beurteilung des ökologischen Nutzens hinsichtlich der Sanierung Schwall/Sunk erfolgt für gemeinsam mit den beteiligten Gewässerökologiebüros ausgewählte Gewässerabschnitte (Untersuchungsstrecken) des Vorderrheins (VR3), des Hinterrheins (HR5) und des Alpenrheins (AR2). Die Lage dieser Untersuchungsstrecken ist in Abb. 3.1 ersichtlich.

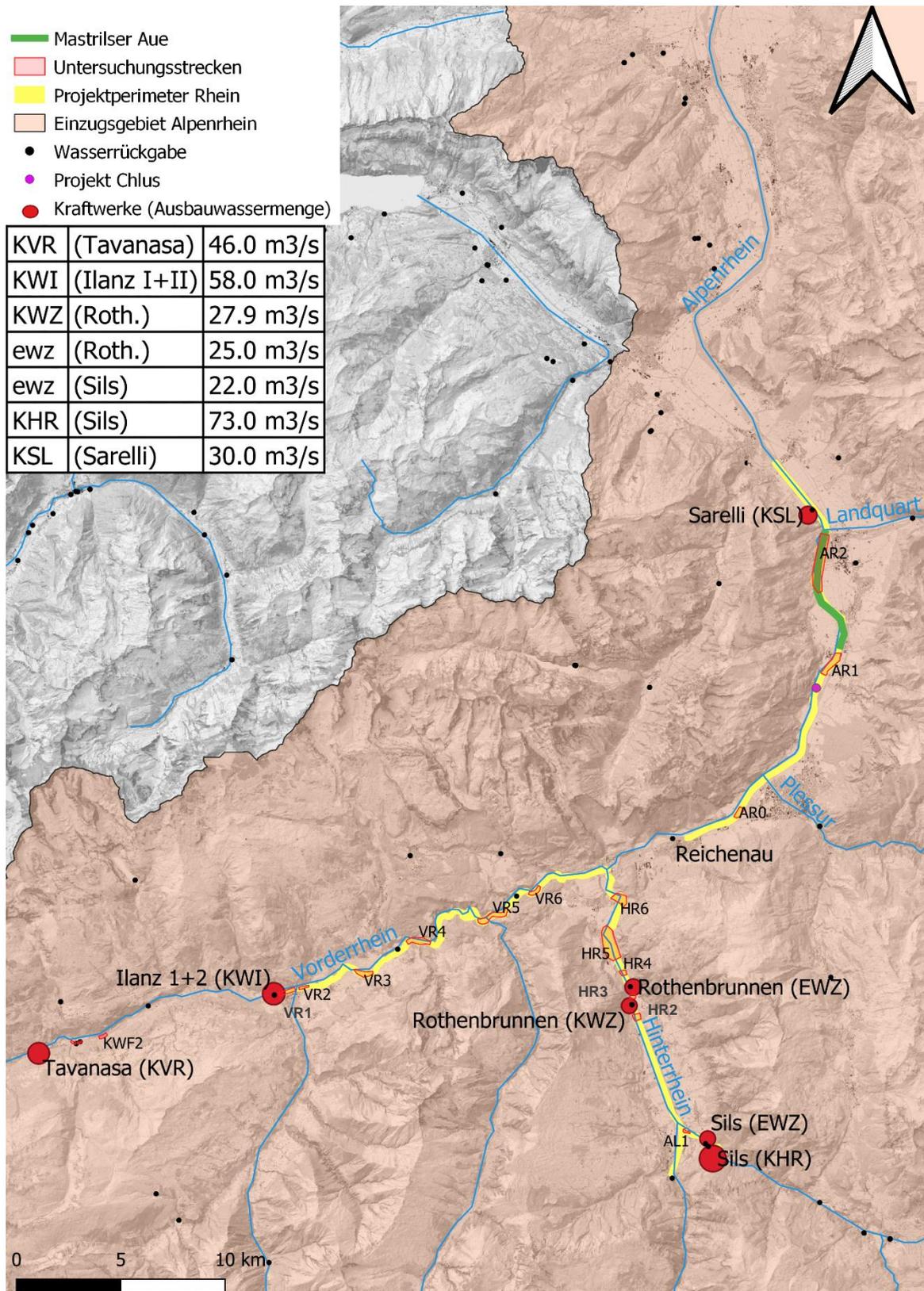


Abb. 3.1 Projektperimeter Schwall/Sunk-Sanierung Rhein (Vorder-, Hinter- und Alpenrhein) mit den Schwall/Sunk verursachenden Kraftwerkszentralen in rot und den Untersuchungsstrecken in orange mit roter Umrandung (Hintergrund: Swisstopo, 2023).

4. Bisherige Abklärungen Vorstudie

4.1 Grobzusammenfassung Teilphasen I und III

4.1.1 Teilphase I – Defizit- / Ursachenanalyse

Im Rahmen der TP I wurden umfassende Untersuchungen zur Defizit- und Ursachenanalyse am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein durchgeführt. Diese richteten sich massgebend nach der VZH [1] und beinhalten insbesondere die Kern- und Schwall/Sunk-sensitiven Indikatoren. Es konnten in allen Flussabschnitten deutliche Defizite hinsichtlich Schwall/Sunk festgestellt werden. Insbesondere der Indikator F2*, also das Stranden von Fischen, in der larvalen Phase wurde als Hauptdefizit erkannt. Eine zusammenfassende Übersicht über die Beurteilung der Indikatoren, die im Rahmen der Defizit- und Ursachenanalyse durchgeführt wurde, kann im Bericht zur Zieldefinition [2] entnommen werden. Detailliertere Infos sind direkt den Hauptberichten zur Defizit- / Ursachenanalyse zu entnehmen [3], [4] und [5].

4.1.2 Teilphase III – Ökologische Zieldefinition

Die Sanierungsziele sind im Bericht zur Teilphase III [2] im Detail hergeleitet und aufgezeigt und im Teilbericht Schwall/Sunk (Beilage 3) für jeden Flussabschnitt (Vorder-, Hinter- und Alpenrhein) zusammenfassend dargestellt. Grundsätzlich gibt es für ein Schwall/Sunk-Regime folgende vier Kenngrössen, um die hydraulische Belastung durch Schwall/Sunk zu minimieren:

- Dämpfung des Schwallabflusses,
- Anhebung des Sunkabflusses,
- Reduktion der Pegelanstiegsrate und
- Reduktion der Pegelrückgangsrate.

Ziele (hydrologische Kenngrössen) wurden für die Indikatoren F2* (Stranden von Fischen), F3* (Laichareale der Fische) und Q1* (Wassertemperatur) definiert. Diese Indikatoren zeigen zusammen das Hauptdefizit auf und beinhalten Zielvorgaben für alle vier hydrologischen Kenngrössen.

Der Indikator F2* berücksichtigt das Stranden von Fischen, welches am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein das grösste ökologische Defizit darstellt. Mit einer starken Dämpfung der Pegelrückgangsraten kann das Strandungsrisiko minimiert werden.

Der Indikator F3* berücksichtigt die Reproduktion der Fische und beurteilt den Verlust an Laichhabitaten durch Schwall/Sunk. Durch Anhebung des Sunks oder Dämpfung des Schwalls, kann das Trockenfallen und Erodieren von Laichsubstrat sowie Laichgruben reduziert werden. Dabei können die Ziele des Indikators F3* durch eine Vielzahl an Kombinationen von Schwalldämpfung und Sunkanhebung erfüllt werden. Im Rahmen der bisherigen Untersuchungen hat sich aus ökologischer Sicht keine Präferenz für eine der beiden genannten Optionen zur Minimierung von Schwall/Sunk ergeben. Für die Zieldefinition wurde entsprechend die effizienteste Kombination von Dämpfung des Schwallabflusses und Anhebung des Sunkabflusses als Zielgrösse ausgewählt. Mit Effizienz wird in diesem Kontext ein möglichst kleiner Sanierungsumfang verstanden.

Der Indikator Q1* beurteilt die Änderung der Wassertemperatur, wobei der Einfluss dieser raschen Änderungen auf die Gewässerorganismen nach heutigem Wissenstand noch nicht abschliessend geklärt ist. Trotzdem stellt der Indikator eine Grundlage für Ziele der Pegelanstiegs- und/oder Pegelrückgangsrate dar, da mitunter eine rasche

Temperaturänderung beim Anstieg und beim Rückgang eines Schwallereignisses stattfindet.

Mithilfe der definierten Ziele und deren hydrologischen Kenngrössen wurde der Sanierungsumfang für die zu sanierenden Kraftwerke bestimmt. Ausgehend von den Abflussganglinien der Jahre 2016 – 2021 wurden die Ausgleichsvolumina berechnet, mit denen die Sanierungsziele von Indikator F2*, F3* und Q1* nach VZH [1] vollständig eingehalten werden können. Die Berechnungen ergaben folgende notwendige Ausgleichsvolumina:

- Wasserrückgabe in Ilanz (KWI): 100'000 m³
- Wasserrückgaben in Rothenbrunnen (KWZ & ewz): 425'000 m³
- Wasserrückgaben in Sils (KHR & ewz): 1'000'000 m³

Der Sanierungsumfang für die Erfüllung der ökologischen Ziele im Gewässer hängt nicht allein von diesen ab, sondern ist auch massgebend abhängig von der verwendeten Ganglinie und entsprechend vom Betrieb der Kraftwerke. Ändert sich der Kraftwerksbetrieb und mit ihm die Ganglinie im Gewässer kann eine ganz andere Kombination von Sunk- und Schwallabflüssen die effizienteste Kombination zur Erfüllung der ökologischen Ziele sein. In Perioden mit sehr viel Kraftwerksbetrieb ist eine Erhöhung des Sunkabflusses effizienter. In Perioden mit wenig Kraftwerksbetrieb stellt dagegen die Dämpfung des Schwallabflusses die effizienteste Massnahme dar.

Im Einzugsgebiet des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins mit einer Vielzahl an sehr grossen Speicherkraftwerken, können die Kraftwerke im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten und Konzessionen ihren Betrieb fast beliebig anpassen und damit die Abflussverhältnisse im Gewässer sehr stark ändern. Es ist daher nicht möglich bzw. nicht sinnvoll, fixe Zielvorgaben für den Schwall- und Sunkabfluss im Gewässer festzuhalten, welche mit den baulichen Massnahmen zu erfüllen sind. Die Ziele für die hydrologischen Kennwerte sind immer im Zusammenhang mit der betrachteten Ganglinie zu verstehen. Ändert sich die Ganglinie massgeblich, ändern sich auch die ökologisch sinnvollsten hydrologischen Kennwerte. Ziel der Sanierung muss daher ein möglichst ökologischer Betrieb der Sanierungsmassnahme (z.B. des Ausgleichsbeckens) mit einer möglichst starken Dämpfung des Schwall und/oder Anhebung des Sunkabflusses sein. Ob eine Anpassung der hydrologischen Kenngrösse des Schwall oder des Sunks die effizientere Lösung darstellt, ist je nach Ganglinie unterschiedlich und darf daher nicht fix vorgegeben sein.

Um fixe Vorgaben aller hydrologischen Kennwerte im Gewässer mit baulichen Massnahmen zu erfüllen, wären bei Betrachtung der Variationsmöglichkeiten des Kraftwerksbetriebs unweigerlich extrem grosse Sanierungsumfänge und damit kaum verhältnismässigen Sanierungsmassnahmen notwendig.

4.2 Grobzusammenfassung Stand Teilphase II

Die Bestimmung der für die Zukunft repräsentativen Abflussganglinien stellt für die Auslegung der Schwall/Sunk-Sanierungsmassnahme(n) ein zentrales Element dar. Anhand der Gegenüberstellung der hydrologischen Anforderungen im Gewässer (Teilphase III - Zieldefinition) mit den repräsentativen Abflussganglinien der Kraftwerke (Teilphase II) erfolgt die Dimensionierung der Sanierungsmassnahmen [2]. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse konnten im Teilbericht Schwall/Sunk (Beilage 3) die repräsentativen Abflussganglinien für den Betrieb und den Basisabfluss am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein festgelegt werden.

Die Untersuchungen der TP II zeigen, dass am Vorderrhein ein Sanierungsumfang von 100'000 m³ zu knapp bemessen ist und deshalb im vorliegenden Variantenstudium auch grössere Sanierungsmassnahmen beurteilt werden sollen. Am Hinterrhein ist der in der Teilphase III aufgezeigte Sanierungsumfang (vgl. Kapitel 4.1.2) allerdings so gross, dass bereits die Erreichung dieses Umfangs technisch sehr herausfordernd ist und kaum grössere Massnahmen möglich sind.

Alle im Variantenstudium gemachten Aussagen zu ökologischem Nutzen, ökologischer Zielerreichung oder zu den zukünftigen hydrologischen Kenngrössen haben ihre Gültigkeit nur für die betrachteten Abflussganglinien. Bei grossen Änderungen des Kraftwerksbetriebs, insbesondere hinsichtlich der Dauer der Schwallereignisse und der Dauer von Betriebsunterbrüchen gilt es die Situation neu zu beurteilen. Kleinere Änderungen im Betrieb haben hingegen kaum Auswirkungen.

4.3 Grobzusammenfassung Vorauswahl Massnahmen und im Variantenstudium betrachtete Massnahmen

Axpo hat den Behörden, basierend auf den durchgeführten Abklärungen der Teilphase III, eine im Rahmen des Variantenstudiums weiter zu verfolgende Massnahmenauswahl empfohlen [6]. Die Behörden haben, basierend auf den zur Verfügung gestellten Grundlagen und der Empfehlung für die Massnahmenvorauswahl, die in Tab. 4.1 dargestellte Auswahl der weiter zu prüfenden Massnahmen festgelegt.

Massnahmentyp	Vorderrhein	Hinterrhein Rothenbrunnen	Hinterrhein Sils	Alpenrhein
Ausgleichsbecken (AGB)	AGB <ul style="list-style-type: none"> • Standort F • Standort F' 	AGB <ul style="list-style-type: none"> • Standort B • Standort C <i>Optional:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Standort A1 	AGB <ul style="list-style-type: none"> • Standort H • Standort L • Standort M <i>Optional:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Standort F/G 	
Kaverne/Speicherstollen		Kaverne/Speicherstollen (Standort offen)		
Ausleitungen	Ilanz-Bonaduz	Rothenbrunnen-Domat/Ems	Sils-Domat/Ems	Domat/Ems-Mastrils (Sarelli)
Betriebliche Massnahmen	Zentrale Ilanz			
Batterien	KW Ilanz	KW Rothenbrunnen (KWZ, ewz)	KW Sils (ewz, KHR)	
Stauanlagen	<i>Optional:</i> Wehr Standort E		<i>Optional:</i> Staumauer Standort K	Erhöhung Wehr Reichenau

Tab. 4.1 Vorauswahl der Massnahmen.

Die vorausgewählten Massnahmen und ihre Standorte können Abb. 4.1 entnommen werden.

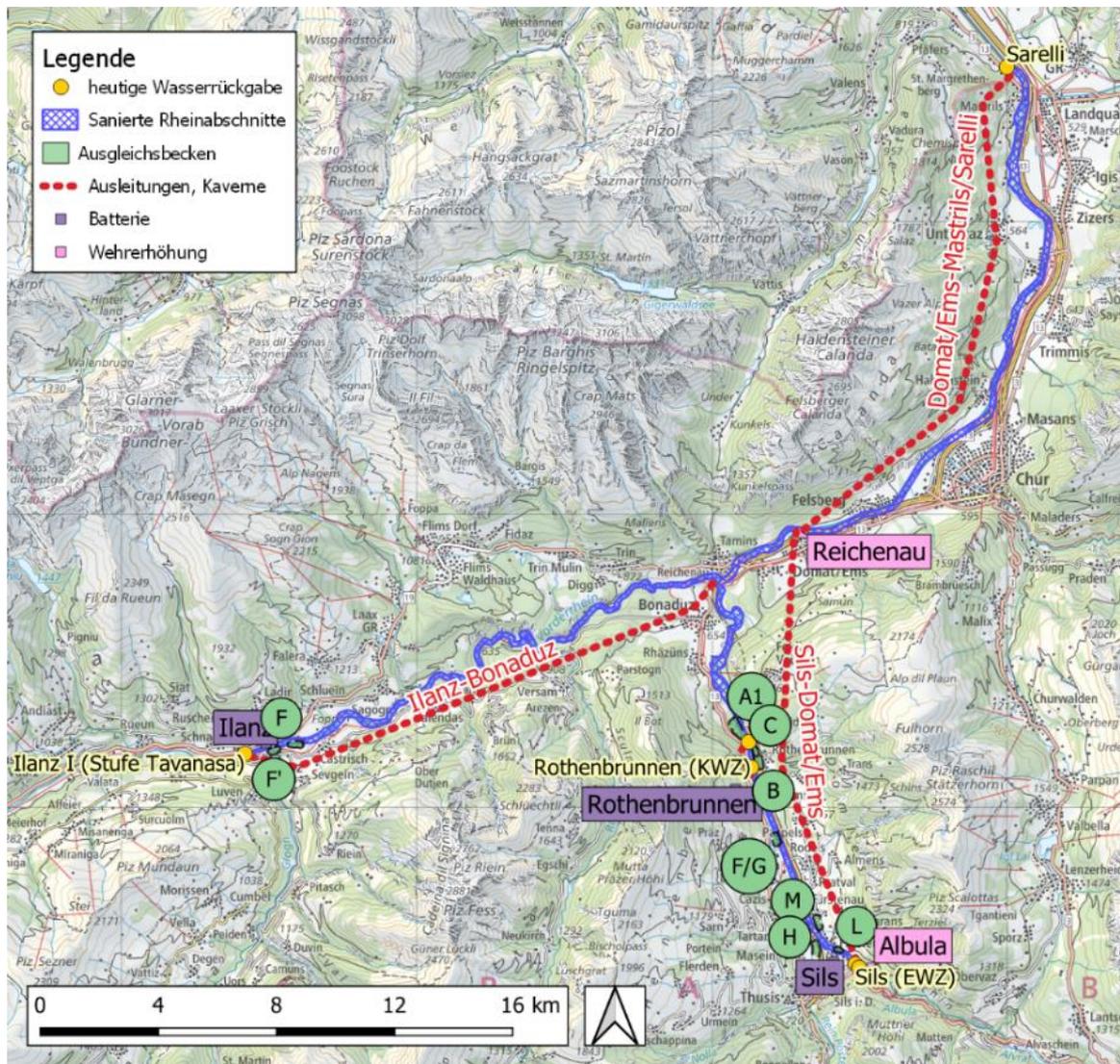


Abb. 4.1 Übersichtskarte mit den vorausgewählten Massnahmen und ihren Standorten am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein (Quelle Hintergrundkarte: Swisstopo, 2023)

Auf Grundlage dieser Auswahl wurden im Variantenstudium folgende Massnahmenvarianten detailliert hinsichtlich den Aspekten Technik, Umwelt und Umfeld geprüft:

Massnahme / Variante	Beschrieb
Vorderrhein	
VR-AGB-1	Becken Standort F, Zuleitung 1, Volumen: 333'000 m ³
VR-AGB-2	Becken Standort F, Zuleitung 2, Volumen: 332'000 m ³
VR-AGB-3	Becken Standort F, Zuleitung 3, Volumen: 314'000 m ³
VR-AGB-3a	Becken Standort F, Zuleitung 3, klein, Volumen: 100'000 m ³
VR-AGB-4	Becken Standort F', Zuleitung 1, klein, Volumen: 90'000 m ³
VR-AKA mit WK	Ausleitkraftwerk Ilanz-Bonaduz, Volumen: 450'000 m ³

Massnahme / Variante	Beschrieb
VR-AKA ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Ilanz–Bonaduz, Volumen: 450'000 m ³
VR-BET	Betriebliche Massnahmen KWI
VR-BAT	Betriebliche Massnahmen mit Batterie für KWI Tavanasa und Panix
Hinterrhein Sils	
HR/S-AGB-1	Becken Standort H, Volumen: 903'000 m ³
HR/S-AGB-1a	Becken Standort H, klein, Volumen: 300'000 m ³
HR/S-AGB-1b	Becken Standort H, Gewässerzone, Volumen: 906'000 m ³
HR/S-AGB-2	Becken Standort H und L, Volumen: 950'000 m ³
HR/S-AGB-2b	Becken Standort H und L, GW-Schutzzone, Volumen: 955'000 m ³
HR/S-AGB-3	Becken Standort M und L, Volumen: 635'000 m ³
HR/S-AGB-4	Becken Standort F und G, Volumen: 810'000 m ³
HR/S-AKA-1 mit WK	Ausleitkraftwerk Sils–Domat/Ems, Volumen 475'000 m ³
HR/S-AKA-1 ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Sils–Domat/Ems, Volumen 475'000 m ³
HR/S-AKA-2 mit WK	Ausleitkraftwerk Sils–Isla Bella, Volumen 425'000 m ³
HR/S-AKA-2 ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Sils–Isla Bella, Volumen 425'000 m ³
HR/S-STAU ⁴	Stauwehr in der Albula oberhalb der Wasserrückgaben Sils
Hinterrhein Rothenbrunnen / Rhäzüns	
HR/R-AGB-1	Becken Standort B und C, überdeckt, Volumen: 243'000 m ³
HR/R-AGB-2	Becken Standort B und C, naturnah, Volumen: 285'000 m ³
HR/R-AGB-3	Becken Standort B und C, befestigt, Volumen: 249'000 m ³
HR/R-AGB-3a	Becken Standort B und C, befestigt, klein, Volumen: 140'000 m ³
HR/R-AGB-4 ⁴	Becken Standort A1, Auenwald Rhäzüns, Volumen 400'000 m ³
HR/R-KAV-1	Speicherstollen links, Volumen 105'000 m ³
HR/R-KAV-2	Speicherstollen rechts, Volumen 94'500 m ³
HR/R-KAV-1	Speicherstollen links, Verdoppelung, Volumen 210'000 m ³
HR/R-KAV-2	Speicherstollen rechts, Verdoppelung, Volumen 190'000 m ³
HR/R-AKA-1 mit WK	Ausleitkraftwerk Rothenbrunnen–Domat/Ems, Volumen 250'000 m ³
HR/R-AKA-1 ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Rothenbrunnen–Domat/Ems, Volumen 250'000 m ³
HR/R-AKA-2 mit WK	Ausleitkraftwerk Rothenbrunnen–Isla Bella, Volumen 200'000 m ³
HR/R-AKA-2 ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Rothenbrunnen–Isla Bella, Volumen 200'000 m ³

⁴ Diese als Optionen vorgesehenen Massnahmen wurden in einem Nachtrag auf Wunsch der betroffenen Kraftwerksgesellschaften /Auftraggeber noch ausgearbeitet und mit der Revision 01 in vorliegenden Bericht integriert.

Massnahme / Variante	Beschrieb
Alpenrhein	
AR-KWR	Erhöhung Stauwehr Kraftwerk Reichenau, Volumen 292'000 m ³
AR-AKA mit WK	Ausleitkraftwerk Domat/Ems-Mastrils, Volumen 775'000 m ³
AR-AKA ohne WK	Ausleitung ohne Nutzung Domat/Ems-Mastrils, Volumen 775'000 m ³

Tab. 4.2 Definierte Massnahmenvarianten der Schwall/Sunk-Sanierung Vorder-, Hinter- und Alpenrhein. WK = Wasserkraftnutzung.

Aufgrund erster Ergebnisse des Variantenstudiums hat das Konsortium für die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins im Frühling 2023 zwei weitere, optional vorgesehene Massnahmen in Auftrag gegeben (vgl. auch Kapitel 7.7). So wurde für den Standort Sils eine Stauanlage oberhalb der Wasserrückgaben in der Albula (HR/S STAU) und für den Raum Rothenbrunnen ein Becken am Standort A1 auf einer zum Inventar der Rhäzünser Rheinaue gehörenden, jedoch aus ökologischer Sicht nicht als Aue zu bezeichnenden Fläche (HR/R-AGB-4) zusätzlich geprüft. Diese Massnahmen wurden in die vorliegende erste Revision des Variantenstudiums integriert.

4.4 Betrachtete Kombinationen / Szenarien

Aus den in Tab. 4.2 aufgelisteten Massnahmenvarianten wurden für Vorder-, Hinter- und Alpenrhein einzelne Szenarien gebildet, welche für den jeweiligen Standort ähnliche Massnahmenvarianten zusammenfassen. Die Bildung der Szenarien diente schlussendlich der Beurteilung des ökologischen Nutzens. Hierzu werden für Hinter- und Alpenrhein auch Szenarien mit verschiedenen Kombinationen von Massnahmenvarianten gebildet. Nur so lässt sich der ökologische Nutzen für Gewässer mit mehreren Schwall verursachenden Wasserrückgaben beurteilen.

Für den Vorderrhein wurden folgende vier Szenarien (Sz.) definiert. In Klammer werden jeweils die Massnahmenvarianten aufgelistet, welche durch dieses Szenario abgedeckt werden:

- Sz. 1: Ausgleichsbecken 100'000 m³ (VR-AGB-3a, 4)
- Sz. 2: Ausgleichsbecken 300'000 m³ (VR-AGB-1, 2, 3)
- Sz. 3: Betriebliche Massnahme (VR-BET, VR-BAT)
- Sz. 4: Ausleitung Ilanz-Bonaduz (VR-AKA, mit/ohne WK)

Am Hinterrhein müssen immer Massnahmenvarianten für die Wasserrückgaben in Sils und Rothenbrunnen zusammen betrachtet werden. Nur so kann ein ökologischer Nutzen betreffend Schwall/Sunk erwirkt werden. Entsprechend ergeben sich Szenarien mit verschiedenen Kombinationen von Massnahmenvarianten. Die Anzahl an Kombinationen und damit auch die Anzahl Szenarien wurde aus Aufwandsgründen begrenzt. Es wurde versucht mit den ausgewählten Kombinationen die Bandbreite von kleinen zu grossen Sanierungsmassnahmen aufzuzeigen. Insgesamt wurden folgende neun Szenarien für den Hinterrhein definiert (Szenario 5a – 10):

- Sz. 5a: Ausgleichsbecken 1'000'000 m³ Sils und Ausgleichsbecken oder Speicherstollen 400'000 m³ Rothenbrunnen (HR/S-AGB-1, 1b, 2, 2b, 3, 4 und HR/R-KAV-1+2 (Verdoppelung) oder Becken Rhäzüns (HR/R-AGB-4)

- Sz. 5b: Ausgleichsbecken 1'000'000 m³ Sils und Ausgleichsbecken oder Speicherstollen 250'000 m³ Rothenbrunnen (HR/S-AGB-1, 1b, 2, 2b, 3, 4 und HR/R-AGB-1, 2, 3, HR/R-KAV-1+2)
- Sz. 5c: Stauanlage Albula Sils 1'600'000 m³ und Ausgleichsbecken oder Kaverne Rothenbrunnen 400'000 m³ (HR/S-STAU-2C und HR/R-KAV-1 (Verdoppelung), HR/R-KAV-2 (Verdoppelung) oder Becken Rhäzüns (HR/R-AGB-4)
- Sz. 6: Ausgleichsbecken 300'000 m³ Sils und 100'000 m³ Rothenbrunnen (HR/S-AGB-1a und HR/R-AGB-3a)
- Sz. 7: Ausleitung Sils–Rothenbrunnen–Domat/Ems (HR/S+R-AKA-1)
- Sz. 8: Ausleitung Sils–Rothenbrunnen–Isla Bella (HR/S+R-AKA-2)
- Sz. 9a: Ausleitung Sils–Domat/Ems und Ausgleichsbecken 100'000 m³ Rothenbrunnen (HR/S-AKA-1 und HR/R-AGB-3a)
- Sz. 9b: Ausleitung Sils–Domat/Ems und Ausgleichsbecken oder Kaverne 400'000 m³ Rothenbrunnen (HR/S-AKA-1 und HR/R-KAV-1 (Verdoppelung), HR/R-KAV-2 (Verdoppelung) oder Becken Rhäzüns (HR/R-AGB-4)
- Sz. 10: Ausgleichsbecken 300'000 m³ Sils und Ausleitung Rothenbrunnen – Domat/Ems (HR/S-AGB-1a und HR/R-AKA-1)

Für eine Sanierung des Alpenrheins liegen zwei Massnahmenvarianten vor, aus denen zwei Szenarien definiert wurden (Szenario 11 – 12):

- Sz. 11: Stauwehrrhöhung beim Kraftwerk Reichenau (AR-KWR)
- Sz. 12: Ausleitkraftwerk Domat/Ems–Mastrils (AR-AKA)

Ziel dieser Schwall/Sunk-Sanierung ist es, die wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk im Vorder-, Hinter- wie auch Alpenrhein zu beseitigen. Insbesondere für den Alpenrhein ist es zentral, welche Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein betrachtet werden und welchen Nutzen diese auch für den Alpenrhein aufweisen. Ohne geeignete Massnahmen an der Quelle der Schwallbeeinträchtigung, nämlich bei den Wasserrückgaben am Vorder- und Hinterrhein, kann die Beeinträchtigung Schwall/Sunk des Alpenrheins nicht beseitigt werden. Aus diesem Grund wurden die Szenarien aus den einzelnen Flussabschnitten nicht nur isoliert betrachtet, sondern ebenfalls kombiniert. Szenario 13 – 20 bilden sogenannte Szenario-Kombinationen und kombinieren dabei die Szenarien 1 – 12 und die darin enthaltenen Massnahmenvarianten miteinander. Folgende Szenario-Kombinationen wurden betrachtet:

- Sz. 13a: Kombination der Szenarien 2, 5a und 11
- Sz. 13b: Kombination der Szenarien 2, 5c und 11
- Sz. 14a: Kombination der Szenarien 2 und 5a
- Sz. 14b: Kombination der Szenarien 2 und 5b
- Sz. 15: Kombination der Szenarien 1, 6 und 11
- Sz. 16: Kombination der Szenarien 1 und 6
- Sz. 17: Kombination der Szenarien 4 und 7
- Sz. 18: Kombination der Szenarien 4, 7 und 11
- Sz. 19: Kombination der Szenarien 4, 7 und 12
- Sz. 20: Kombination der Szenarien 2, 9b und 11

Auch für den Alpenrhein könnte eine deutlich grössere Anzahl an Kombinationen untersucht werden. Mit der Auswahl der Szenario-Kombinationen soll vor allem die Bandbreite von kleinen zu grossen Sanierungsmassnahmen aufgezeigt werden.

5. Vorgehen Variantenstudium

5.1 Abklärungen Teilprojekt Technik

Im Teilprojekt Technik erfolgte für die in Teilphase III vorausgewählten Massnahmen Typen und Standorte (vgl. [2]):

- die konzeptionelle Auslegung in Anlehnung an den ebenfalls in Teilphase III abgeschätzten Sanierungsumfang,
- eine Prüfung der jeweiligen technischen Machbarkeit auf Stufe Vorstudie (unter Beachtung der standortbedingten Randbedingungen) und
- eine Abschätzung der jeweiligen Kosten mit einer Genauigkeit von +/- 30% (Ausnahme geologische Risiken).

Alle im Teilprojekt ausgewiesenen konkreten Massnahmenvarianten sind grundsätzlich technisch machbar. Zwar bestehen entsprechend der Planungsstufe noch erhebliche Unsicherheiten und Risiken. Die für die spezifischen Standorte ermittelten Grundkonzepte und Kosten sind aber belastbar und stellen eine gute Grundlage für die notwendigen Entscheidungen im weiteren Projektverlauf dar. Die Kosten wurden dabei als Gesamtkosten inkl. Betrieb, Unterhalt und Instandhaltung (Barwertmethode) ermittelt und sind exkl. MWST ausgewiesen.

Für detailliertere Angaben zum Vorgehen und zu den Ergebnissen wird auf den Teilbericht Technik in Beilage 1 verwiesen.

5.2 Abklärungen Teilprojekt Umwelt und Umfeld

Im Teilprojekt Umwelt und Umfeld erfolgte für die in der Machbarkeitsstudie des Teilprojekts Technik erarbeiteten Massnahmenvarianten und der entsprechenden technischen Auslegung die Beurteilung (vgl. Beilage 1):

- der Zielkonflikte im Bereich Umwelt/Naturschutz,
- der Zielkonflikte im Bereich Raumplanung sowie
- der weiteren Zielkonflikte mit bereits vorhandenen Nutzungen.

Die Beurteilung erfolgt dabei ähnlich wie in der Vorauswahl der Massnahmen anhand eines Ampel-Systems von «grün» (kein oder ein sehr geringfügiger Konflikt), über «gelb» (wesentlicher jedoch mit geeigneten Massnahmen oder Anpassungen lösbarer Konflikt) bis «rot» (kritischer, in Interessenabwägung zu beurteilender Konflikt). Aufgrund des gegenüber der Vorauswahl Massnahmen höheren Detaillierungsgrads seitens des Teilprojekts Technik konnte nun auch die Beurteilung der Zielkonflikte im Teilprojekt Umwelt und Umfeld detaillierter durchgeführt werden. Weiter wurde die Bewilligungsfähigkeit aller im Variantenstudium betrachteten Massnahmen beurteilt, um nicht bewilligungsfähige Massnahmen ausschliessen zu können.

Für detailliertere Angaben zum Vorgehen und zu den Ergebnissen wird auf den Teilbericht Umwelt und Umfeld in Beilage 2 verwiesen.

5.3 Abklärungen Teilprojekt Schwall/Sunk

Im Teilprojekt Schwall/Sunk wurden die in der Machbarkeitsstudie des Teilprojekts Technik erarbeiteten Massnahmenvarianten für die einzelnen Standorte (vgl. Beilage 1) zu Sanierungsszenarien für die jeweiligen Gewässerabschnitte des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins zusammengefasst und schlussendlich auch Kombinationen

der Szenarien für das Gesamtprojekt betrachtet. Für alle Szenarien werden im Teilprojekt Schwall/Sunk:

- die entsprechenden gedämpften Abflussganglinien für die verschiedenen Gewässerabschnitte modelliert und
- anhand der neuen Abflussganglinie der ökologische Nutzen Schwall/Sunk beurteilt.

Die Beurteilung des ökologischen Nutzens der Sanierungsszenarien erfolgt anhand:

- einer Neubeurteilung der Indikatoren F2*, F3* und Q1* gemäss VZH [1] für die gedämpften Ganglinien jedes Szenarios in den jeweils relevanten Untersuchungstrecken des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins,
- der sich einstellenden hydrologischen Kennwerte für jedes Szenario (Schwall-, Sunkabfluss, Pegeländerungsraten, etc.),
- einer gutachterlichen Einschätzung des ökologischen Nutzens jedes Szenarios,
- des Vergleichs all dieser Angaben und Bewertungen zwischen dem Zustand jedes Szenarios mit dem Ist-Zustand und schlussendlich
- anhand der Kombination der rechnerischen Beurteilung der Indikatoren nach VZH [1] und der gutachterlichen Einschätzung des ökologischen Nutzens mit Berücksichtigung der Zielerfüllung.

Für detailliertere Angaben zum Vorgehen und zu den Ergebnissen wird auf den Teilbericht Schwall/Sunk in Beilage 3 verwiesen.

5.4 Kosten/Nutzen-Analyse

Im Rahmen der Kosten/Nutzen-Analyse wird die ökologische Gesamtwirkung (ökologischer Nutzen) der Sanierungsszenarien mit der Summe der Gesamtkosten der im jeweiligen Szenario berücksichtigten technischen Massnahmenvarianten in Bezug gesetzt. Die Gesamtkosten jeder Massnahmenvariante werden im Teilbericht Technik (Beilage 1) ausgewiesen. Damit die in den einzelnen Machbarkeitsstudien abgeschätzten Kosten miteinander vergleichbar sind, wurden seitens Axpo einheitliche Vorgaben sowohl für die Kostenstruktur, die Kostengenauigkeit, die anzuwendenden Zuschläge bei den Anlagekosten wie auch für die Betriebs-, Unterhalts- und Instandhaltungskosten definiert (vgl. Kapitel 2.3. in Beilage 1).

Der ökologische Nutzen stammt aus dem Teilbericht Schwall/Sunk (Beilage 3). Aus der Kombination der Bewertung der Indikatoren der VZH [1] und der gutachterlichen Einschätzung wurde anhand einer gewichteten Aggregation der ökologische Nutzen in einer Punktzahl generiert. Die Punkte geben dabei an, um wie viel sich die Situation mit Massnahme gegenüber dem Ist-Zustand im betrachteten Szenario verbessert. Mithilfe der Kosten/Nutzen-Analyse kann daher aufgezeigt werden, wie das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen ist und welches Szenario damit das kosteneffizienteste darstellt (geringste Kosten pro ökologischer Punkt).

Der ökologische Nutzen wird jeweils für ein Szenario angegeben. Ein Szenario kann aber mehrere technische Massnahmenvarianten, welche z.T. unterschiedliche Gesamtkosten aufweisen, abdecken. Aus diesem Grund wurde für die Kosten/Nutzen-Analyse anhand der Beurteilung aller Massnahmenvarianten im Teilprojekt Technik und Umwelt und Umfeld eine Vorauswahl getroffen. In der Kosten/Nutzen-Analyse wird für jedes Szenario jeweils nur die gemeinsam, aus den Abklärungen Technik, Umwelt und Umfeld, favorisierte Massnahmenvariante betrachtet. Aufgrund der grossen Anzahl an verschiedenen, z.T. nur leicht unterschiedlichen Massnahmenvarianten, ergeben sich z.B. am Hinterrhein aus allen geprüften Massnahmenvarianten und

den sieben geprüften Szenarien über 60 mögliche Kombinationen von Massnahmenvarianten zu Szenarien. Das Eingrenzen dieser Auswahl war daher unumgänglich.

5.5 Verhältnismässigkeit des Aufwandes

Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit des Aufwandes ist Aufgabe der Behörden. Entsprechend kann im vorliegenden Dossier keine abschliessende Aussage zu der Verhältnismässigkeit der verschiedenen Massnahmen bzw. Szenarien getroffen werden. Auf Basis bekannter, bisheriger Einschätzungen und Aussagen der Behörden wird ein Richtwert für die Verhältnismässigkeit der Schwall/Sunk-Sanierungen am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein angegeben. Der Entscheid zur Verhältnismässigkeit des Aufwandes erfolgt jedoch immer im Einzelfall unter Abwägung der Kosten und des Nutzens der Sanierung sowie aller weiteren relevanten Aspekte nach denen sich die Massnahmen richten (Art. 39a Abs. 2 GSchG):

- a. dem Grad der Beeinträchtigung des Gewässers;
- b. dem ökologischen Potenzial des Gewässers;
- c. der Verhältnismässigkeit des Aufwandes;
- d. den Interessen des Hochwasserschutzes;
- e. den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien.

Seitens BAFU werden in der Methodik zur Bestimmung der Finanzierung von Ausleitkraftwerken als Schwall/Sunk-Sanierungsmassnahmen [7] Angaben zur Verhältnismässigkeit gemacht:

«Aus den gesetzlichen Grundlagen lässt sich keine scharfe Grenze für die Verhältnismässigkeit in Mio. CHF/km ableiten. Gestützt auf bisher bekannte Sanierungsprojekte werfen spezifische Kosten grösser als 6 Mio. CHF/km Fragen zur Verhältnismässigkeit auf. Sanierungsmassnahmen an kleinen Gewässern oder an Gewässern mit geringem ökologischem Potenzial können bereits bei Kosten kleiner als 6 Mio./km unverhältnismässig sein. Für Gewässerabschnitte mit übergeordneter ökologischer Bedeutung für das gesamte Einzugsgebiet können jedoch Kosten über 6 Mio. CHF/km verhältnismässig sein» [7].

Als Richtwert zur Einordnung der Verhältnismässigkeit wird im vorliegenden Dossier daher auf den Wert von 6 Mio. CHF pro saniertem km Gewässer abgestützt.

Entsprechend gilt es festzulegen, welche Gewässerstrecken durch die Schwall/Sunk-Sanierungen des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins saniert werden. Aufgrund der Grösse und der Komplexität des Einzugsgebiets mit einer Vielzahl an Schwall-Verursachern ist dies nicht eindeutig festzustellen. Während die Gewässerstrecken des Vorder- und Hinterrheins eindeutig den jeweiligen Sanierungen zugeordnet werden können, muss die Gewässerstrecke des Alpenrheins sinnvoll aufgeteilt werden.

Der eigentliche Anteil der einzelnen Kraftwerke bzw. deren Anteil an der Sanierung der Gewässerstrecke des Alpenrheins wurde vereinfacht hergeleitet. Als Mass für den Anteil der Beeinträchtigung Schwall/Sunk und damit auch als Mass für den Anteil der Sanierung wird die Ausbauwassermenge der jeweiligen Kraftwerke verwendet. Je grösser die Ausbauwassermenge eines Speicherkraftwerks ist, je grösser ist – sehr vereinfacht betrachtet – oftmals auch die Schwall/Sunk-Beeinträchtigung. Demzufolge hat die Sanierung eines Kraftwerks mit einer grossen Ausbauwassermenge einen grösseren Anteil an der Sanierung der Gewässerstrecke des Alpenrheins zur Folge. Da die verschiedenen Schwall/Sunk-Beeinträchtigungen am Alpenrhein auf

verschiedenen Abschnitten erfolgen, wurde die Gewässerstrecke in drei Abschnitte unterteilt (Reichenau bis Mastrils, Mastrils bis Illmündung, Illmündung bis Bodensee).

Tab. 5.1 enthält alle relevanten Informationen zur Aufteilung der Gewässerstrecken. Es ist klar, dass die Gewässerstrecken des Vorder- und Hinterrheins vollständig der jeweiligen Sanierung bzw. deren Verursacher zuzuordnen sind. Von den 90 km Gewässerstrecke des Alpenrheins von Reichenau bis in den Bodensee entfallen anhand der aufgezeigten Methodik ca. 22 km auf die Sanierung des Vorderrheins, 54 km auf die Sanierung des Hinterrheins und ca. 14 km auf die Sanierung der weiteren Kraftwerke am Alpenrhein und an der Ill.

Gewässer / Gewässerabschnitt	Länge [km]	Q_{Ausbau KW} [m³/s]	Anteil KW VR	Anteil KW HR	Anteil KW AR
Vorderrhein	21	58	100%	-	-
Hinterrhein	16	148	-	100%	-
Alpenrhein Reichenau - Mastrils	25	0	28%	72%	0%
Alpenrhein Mastrils - Illmündung	40	30	25%	63%	13%
Alpenrhein Illmündung - Bodensee	25	~90	18%	45%	37%
Sanierte Gewässerstrecke [km]	127	-	43	70	14

Tab. 5.1 Anteil der einzelnen Schwall/Sunk-Sanierungen Vorder-, Hinter- und Alpenrhein an der Gesamtsanierung im Einzugsgebiet des Alpenrheins und Herleitung der sanierten Gewässerstrecke für die einzelnen Sanierungen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.

Gesamthaft führt damit die Schwall/Sunk-Sanierung am Vorderrhein zur Sanierung von 43 km Gewässerstrecke und die Schwall/Sunk-Sanierung am Hinterrhein zur Sanierung von 70 km Gewässerstrecke. Entsprechend werden für diese zwei Sanierungen Kosten bis zu folgenden Gesamtbeträgen als verhältnismässig eingeschätzt:

- **Vorderrhein: 260 Mio. CHF**
- **Hinterrhein: 420 Mio. CHF**

Wie bereits erwähnt, stellen diese Beträge eine Grössenordnung und keine scharfe Grenze dar. Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit erfolgt für den Einzelfall unter Berücksichtigung aller relevanter Aspekte. Weiter gilt zu beachten, dass die in diesem Variantenstudium betrachteten Sanierungsmassnahmen am Alpenrhein ergänzende Massnahmen der Sanierungen am Vorder- und Hinterrhein darstellen und entsprechend auch diesen zwei Sanierungen zuzuordnen sind.

5.6 Interessenabwägungen unter Einbezug aller Interessen

5.6.1 Allgemeines

Die Schwall/Sunk-Problematik in den betrachteten Gewässern des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins ist sehr gross. Die Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung

durch Schwall/Sunk verlangt entsprechend auch nach sehr grossen Sanierungsmassnahmen mit den entsprechenden Auswirkungen auf Raum und Umwelt. Gemäss Art. 8 Abs. 2 RPG bedürfen Vorhaben mit gewichtigen Auswirkungen auf Raum und Umwelt einer Grundlage im Richtplan. Eine solche benötigt eine umfassende Abwägung der verschiedenen Interessen auf dieser Ebene.

Im Teilprojekt Umwelt und Umfeld wurden als erster Schritt der Interessenabwägung (Art. 3 Abs. 1 lit. a RPV) alle mit den verschiedenen Sanierungsmassnahmen einhergehenden Interessenkonflikte ermittelt und dokumentiert. Als zweiter Schritt (Art. 3 Abs. 1 lit. b RPV) wurden die ermittelten Zielkonflikte beurteilt und gewichtet. Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, wurden die Zielkonflikte zur Bewertung in drei Kategorien eingeteilt:

- **Kategorie grün:** Es liegt kein oder ein sehr geringfügiger und lösbarer Interessenkonflikt mit der betrachteten Sanierungsmassnahme vor.
- **Kategorie gelb:** Es besteht ein wesentlicher jedoch mit geeigneten Massnahmen immer noch lösbarer Interessenkonflikt mit der betrachteten Sanierungsmassnahme vor oder es kann davon ausgegangen werden, dass das Interesse an der Schwall/Sunk-Sanierung in einer Interessenabwägung klar überwiegt.
- **Kategorie rot:** Es besteht ein kritischer Interessenkonflikt, welcher eine fundierte Interessenabwägung verlangt. Der Interessenkonflikt ist potenziell bewilligungsrelevant und muss in einer nächsten Planungsphase im Detail abgeklärt werden. Eine Bewilligung ist jedoch nicht per se ausgeschlossen.

Die im Teilprojekt Umwelt und Umfeld als «grün» oder «gelb» ausgewiesenen Interessenkonflikte werden nachfolgend nicht weiter betrachtet. Für alle betrachteten Sanierungsmassnahmen bestehen jedoch auch kritische Interessenkonflikte (Kategorie rot). Bereits im Teilbericht Umwelt und Umfeld wurden mögliche Optimierungen der widerstreitenden Interessen aufgezeigt (3. Schritt der Interessenabwägung Art. 3 Abs. 1 lit. c RPV). Nicht immer lassen sich die gegenläufigen Interessen optimieren, weshalb im vorliegenden Bericht eine weitere Abwägung zwischen den als kritisch eingestuften Interessen und dem Interesse der Schwall/Sunk-Sanierung vorgenommen wird.

Dabei wird einerseits festgelegt, welche Massnahmenvarianten aufgrund überwiegender Interessenkonflikte als nicht bewilligungsfähig zu beurteilen sind und entsprechend aus dem Variantenstudium ausscheiden. Andererseits wird beurteilt für welche Massnahmenvarianten die Interessen der Schwall/Sunk-Sanierung trotz der kritischen Zielkonflikte überwiegen.

Dabei gilt es zu beachten, dass auf der vorliegenden Planungsstufe der Machbarkeit bzw. auf Richtplanebene nicht alle Interessenkonflikte abschliessend fachlich beurteilt werden können. Detailliertere Abklärungen erfolgen erst in der Umweltverträglichkeitsprüfung auf Stufe der Nutzungsplanung. Die vorliegende Interessenabwägung wird jedoch als stufengerecht beurteilt.

5.6.2 Schwall/Sunk-Sanierung Einzugsgebiet Alpenrhein

Um die gesamten, durch die Massnahmen zur Schwall/Sunk-Sanierung betroffenen Interessen gegenüber dem Interesse der Schwall/Sunk-Sanierung abwägen zu können, gilt es die Schwall/Sunk-Sanierung des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins in ihrer Bedeutung einzuordnen.

Die Sanierung von Schwall und Sunk ist nach Art. 39a GSchG eine im Bundesrecht verankerte gesetzliche Pflicht. Der Kanton Graubünden hat im Rahmen der strategischen Planung Schwall/Sunk für das ganze Kantonsgebiet definiert, welche Anlagen eine wesentliche Beeinträchtigung Schwall/Sunk verursachen. Mit den Verfügungen vom 26. September 2017 und dem 24. April 2018 wurde den betroffenen Kraftwerksgesellschaften am Vorder- und Hinterrhein die Sanierungspflicht auferlegt.

Der Alpenrhein und seine Zubringer bilden eines der grössten Fliessgewässer der Schweiz, das Einzugsgebiet beträgt mit über 6'000 km² in etwa 1/7 der Fläche der Schweiz. Die bisherigen Abklärungen im Rahmen des vorliegenden Projekts zur Schwall/Sunk-Sanierung des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins [2], [3], [4], [5], [6] wie auch Abklärungen Dritter [12] zeigen, dass die ökologische Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk in diesen Gewässern sehr gross ist. So zeigt auch das von der IRKA regelmässig durchgeführte Gewässerökologische Monitoring des Alpenrheins eine zunehmende Verschlechterung des Fischbestandes [11], die teilweise auf die Schwall/Sunk-Problematik zurückgeführt wird. Der Alpenrhein ist grundsätzlich immer noch als artenreiches Gewässer zu beurteilen, auch wenn historisch deutlich mehr Fischarten im Alpenrhein vorgekommen sind. So wurden im Monitoring 2019 noch 18 Fischarten nachgewiesen [11]. Aufgrund des abnehmenden und mittlerweile sehr geringen Vorkommens vieler Fischarten kann bei den meisten Fischarten jedoch nicht mehr von einer sich selbst erhaltenden, stabilen Population ausgegangen werden [11]. Die Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk spielt nebst der Morphologie und dem Geschiebehalt dabei eine zentrale Rolle. Sanierungsmassnahmen sind in allen Bereichen dringend notwendig.

Der Alpenrhein ist zudem ein wichtiges Gewässer für die Seeforelle, welche gemäss roter Liste der Fische und Rundmäuler als stark gefährdete Art gilt [10]. Sie wandert vom Bodensee in den Alpenrhein ein und weiter bis in die wichtigen Reproduktionsgebiete im Vorder- und Hinterrhein. Wie im vorliegenden Projekt und mehreren Studien aufgezeigt, hat Schwall/Sunk auch einen grossen Einfluss auf die Laichwanderung und die Reproduktion der Seeforelle [8], [9].

In der durch Schwall/Sunk beeinträchtigten Strecke des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins kommen überdies eine grosse Zahl an Auengebieten von nationaler Bedeutung vor:

- Aue Cauma, Nr. 29
- Aue Ruinaulta, Nr. 385
- Aue Cumparduns, Nr. 28
- Rhäzünser Rheinauen, Nr. 27
- Trimmiser Rodauen, Nr. 25
- Aue Zizers – Mastrils, Nr. 22
- Aue Sarelli – Rosenbergli, Nr. 376

Gemäss Art. 8 Auenverordnung sind bestehende Beeinträchtigungen, insbesondere der natürlichen Dynamik bei jeder sich bietenden Gelegenheit soweit als möglich zu beseitigen. Mit der Schwall/Sunk-Sanierung besteht in diesem Sinne eine Gelegenheit, ein grosses Defizit für diese Lebensräume zu verbessern. Nebst den nationalen Auen-Inventaren bestehen auf der betroffenen Strecke auch verschiedene Auen von regionaler und lokaler wie auch weitere Biotope und Inventare von lokaler bis nationaler Bedeutung, welche z.T. ebenfalls direkt oder indirekt vom beeinträchtigten Gewässer abhängen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die ökologische Beeinträchtigung Schwall/Sunk des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins sehr gross ist. Nebst der

Schwall/Sunk-Sanierung der Rhone im Wallis, ist die hier beurteilte Schwall/Sunk-Sanierung schweizweit die grösste. Das ökologische Potenzial der betroffenen Gewässer ist zudem sehr gross und wird deutlich höher eingeschätzt als an der Rhone. Die Schwall/Sunk-Sanierung Vorder-, Hinter- und Alpenrhein kann deshalb schweizweit wohl als die wichtigste Schwall/Sunk-Sanierung beurteilt werden.

Aufgrund der schweizweiten Bedeutung dieser Schwall/Sunk-Sanierung, der Beeinträchtigung eines sehr grossen, ca. 130 km langen Lebensraums einer Vielzahl an Gewässerlebewesen (auch von solchen, die stark von Aussterben bedroht sind) sowie der Beeinträchtigung mehrerer nationaler Auengebiete wird der Schwall/Sunk-Sanierung von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein klar nationales Interesse zugeordnet. Entsprechend hat diese Schwall/Sunk-Sanierung ein sehr hohes, mit nationalen Schutzinventaren oder anderweitigen nationalen Interessen gleichwertiges Interesse.

5.7 Vorschlag Bestvarianten

Auf Grundlage der gesamten Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte dieses Variantenstudiums und insbesondere basierend auf der Kosten/Nutzen-Analyse und der Interessenabwägung, wird im vorliegenden Bericht ein Vorschlag für Bestvarianten gemacht.

Die Wahl der Bestvariante ist Aufgabe der Behörden. Verschiedene Aspekte wie z.B. die Einschätzung der Verhältnismässigkeit des Aufwandes und eine abschliessende Interessenabwägung liegen nicht im Ermessen des Projektanten. In Absprache mit den Behörden wird im vorliegenden Variantenstudium daher eine Auswahl an Bestvarianten vorgeschlagen. Diese sollen den möglichen Umfang von einer kleinen bis zu einer sehr grossen Sanierung aufzeigen.

6. Ergebnisse Variantenstudium Vorderrhein

6.1 Fazit TP Technik Vorderrhein

Die Tab. 6.1 fasst die wichtigsten Kennzahlen zu Speichervolumen, Gesamtkosten und spezifischen Kosten pro m³ Speichervolumen für die untersuchten Massnahmen bzw. Varianten am Vorderrhein zusammen:

Massn./ Variante	Wichtigste Elemente	Speicher- volumen [m ³]	Gesamtkosten [MCHF, exkl. MWST)	Spez. Kosten [CHF/m ³ Speicher]
Vorderrhein				
VR-AGB-1	Standort F, Zuleitung 1	333'000	121	363
VR-AGB-2	Standort F, Zuleitung 2	332'000	124	385
VR-AGB-3	Standort F, Zuleitung 3	314'000	102	324
VR-AGB-3a	Standort F, Zuleitung 3, klein	100'000	83	826
VR-AGB-4	Standort F', Zuleitung 1	90'000	84	931
VR-AKA	Ausleitung Ilanz-Bonaduz <u>ohne WK</u>	450'000	749	1'664
VR-AKA	Ausleitung Ilanz-Bonaduz <u>mit WK</u>	450'000	633	1'407
VR-BET	Betriebliche Msn. KWI	184'000	109	592
VR-BAT	Batterie KWI Tav., KWI Panix	184'000	145	788

Tab. 6.1 **Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Vorderrhein;** Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen (bei BET/BAT äquivalentes Volumen gemäss Zieldefinition); Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Wasserkraft) (Preisszenario 80 CHF/MWh)

Im Quervergleich der Massnahmentypen sind am Vorderrhein die Ausgleichsbecken klar am kosteneffizientesten. Die spezifischen Kosten pro m³ Speichervolumen liegen bei den entsprechenden Maximalvarianten je nach Zuleitung zwischen 324 und 385 CHF/m³, wobei die Variante mit bergmännischer Zuleitung (VR-AGB-3) am kosteneffizientesten ist. Die Variante mit kleinerem Volumen (VR-AGB-3a) weist rund doppelt so hohe spezifische Kosten auf, was auf den hohen Kostenanteil der praktisch volumenunabhängigen Zuleitung zurückzuführen ist. Die Ausleitung (VR-AKA) ist gegenüber dem günstigsten Ausgleichsbecken um den Faktor 4-5 teurer und sowohl ohne wie auch mit Berücksichtigung der Wasserkraft mit spezifischen Kosten von 1'664 CHF/m³ bzw. 1'407 CHF/m³ (Szenario 80 CHF/MWh) nicht konkurrenzfähig. Das Ausleitkraftwerk am Vorderrhein mit einer Bruttojahresproduktion von 188 GWh wird gegenüber den Ausgleichsbecken erst konkurrenzfähig, wenn zusätzlich zu einem optimistischen mittleren Strompreis von 110 CHF/MWh ein Investitionsbeitrag von 50% angenommen wird; dann reduzieren sich die Gesamtkosten deutlich auf 146 MCHF. Bei den betrieblichen Massnahmen hat die Variante ohne Batterie (VR-BET) bis zu einem mittleren Strompreis von 120 CHF/MWh Kostenvorteile gegenüber der Variante mit Batterie (VR-BAT); erst bei höherem Preis würden die Erlöseinbussen eine Batterie rechtfertigen, sofern der Betreiber dieser Variante zustimmt (betriebliche Massnahme mit Entschädigung in Form Batterie).

6.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Vorderrhein

Der nachfolgenden Abb. 6.1 ist eine Übersicht über die Bewertungen der Massnahmen in den verschiedenen Bereichen zu entnehmen.

Das Becken am Standort F' (VR-AGB-4) weist grosse Konflikte aufgrund seiner Lage in der Stadt Ilanz sowie im Ortsbild von nationaler Bedeutung auf und unterscheidet sich in dieser Hinsicht negativ zu den am Standort F geprüften Becken VR-AGB-1/2/3 und VR-AGB-3a. Aufgrund des vorhandenen, mit wenigeren Konflikten behafteten Alternativstandorts F, scheint der Standort F' für ein Becken kaum bewilligungsfähig, da die für verschiedene Zielkonflikte erforderliche Standortgebundenheit nicht gegeben ist.

Der für alle Beckenlösungen relevante Konflikt entsteht aufgrund der vorliegenden landwirtschaftlichen Nutzung bzw. der Beanspruchung von Fruchtfolgeflächen. Grössere Ausgleichsbecken haben einen grösseren Flächenbedarf und führen zu einer stärkeren Einschränkung der bestehenden Nutzung. Im Vergleich der Ausgleichsbecken wird aus Umwelt-/Umfeld-Sicht das kleinere Becken mit bergmännischer Zuleitung VR-AGB-3a aufgrund des geringsten Flächenbedarfs favorisiert.

Die Ausleitung VR-AKA am Vorderrhein führt zu einer verlängerten bzw. neuen Restwasserstrecke. Dieser Abschnitt ist Bestandteil einer Vielzahl an Schutzgebieten mit nationaler Bedeutung. Durch den Restwasserabfluss entstehen entsprechend verschiedene bewilligungstechnisch relevante Zielkonflikte. Eine abschliessende Beurteilung dieser Zielkonflikte ist auf dieser Planungsstufe nicht möglich und muss in einer allfälligen weiteren Planungsphase untersucht werden. Die Bewilligungsfähigkeit eines solch grossen Projekts wird aufgrund der Restwasserthematik als kritisch beurteilt. Diese Massnahme würde jedoch einen wesentlichen Beitrag an den gemäss Energiestrategie geforderten Ausbau der Wasserkraftproduktion leisten.

Die betrieblichen Massnahmen wie auch die betrieblichen Massnahmen in Kombination mit den Batterien haben nur einen kleinen Flächenbedarf im Bereich der bestehenden Zentrale in Ilanz. Sie schneiden aus Sicht Umwelt sehr gut ab, weil in diesen Bereichen keine Nutzungskonflikte vorliegen. Es besteht aber ein sehr grosser Konflikt zur Energieproduktion, insbesondere hinsichtlich der Einschränkung der Flexibilität, was Auswirkungen bis hin zur Versorgungssicherheit mit Strom nach sich ziehen kann. Zudem liegt die gesetzlich erforderliche Zustimmung seitens des Kraftwerkbetreibers für die betrieblichen Massnahmen nicht vor.

		Ausgleichsbecken Ilanz Standort F V = 300'000 m ³	Ausgleichsbecken Ilanz Standort F Klein V = 100'000 m ³	Ausgleichsbecken Ilanz Standort F' V = 100'000 m ³	Ausleitung Ilanz – Bonaduz V = 450'000 m ³	Betriebliche Massnahmen Zentrale Ilanz	Betriebliche Massnahmen mit Batterien Kraftwerk Ilanz
		VR-AGB-1 VR-AGB-2 VR-AGB-3	VR-AGB-3a	VR-AGB-4	VR-AKA	VR-BET	VR-BAT
Zielkonflikte Naturschutz	Auen	Yellow	Green	Yellow	Red	Green	Green
	Landschaften	Green	Green	Red	Red	Green	Green
	Moore	Yellow	Green	Yellow	Red	Green	Green
	Biotope	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Wald	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green
Zielkonflikte Weitere Nutzungen	Landwirtschaft	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green
	Grund- und Quellwasser	Red	Red	Red	Red	Green	Green
	Schützenswerte Ortsbilder	Green	Green	Red	Yellow	Green	Green
	Historische Verkehrswege	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Belastete Standorte	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
	Tourismus	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Strategische Planung Revitalisierung	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
	Strategische Planung Fischwanderung und Gewässerlebensraum	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green
	Gewässerraum	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
	Naturgefahren	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green	Green
Bestehende Infrastruktur	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	
Energie	Produktionsverluste	Green	Green	Green	Green	Green	Red
	Einschränkung Flexibilität	Green	Green	Green	Green	Red	Yellow
	Energiepolitische Ziele	n.r.	n.r.	n.r.	Green	Green	Green
Akzeptanz, Bewilligungsfähigkeit, Erfüllung Sanierungspflicht bis 2030	Politische gesellschaftliche Akzeptanz	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow
	Bewilligungsfähigkeit	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Erfüllung der Sanierungspflicht bis 2030 (Zeitplan)	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow

Abb. 6.1 Vergleich Bewertung Massnahmen Vorderrhein.

6.3 Fazit TP Schwall/Sunk Vorderrhein

Am Vorderrhein hat das Ausleitkraftwerk (Sz. 4) den besten ökologischen Nutzen, gefolgt vom grossen Ausgleichsbecken (Sz. 2). Zuletzt folgen das kleine Ausgleichsbecken (Sz. 1) und die betrieblichen Massnahmen (Sz.3, Tab. 6.2).

Sz.	Beschreibung (Variante)	Ökologischer Nutzen
4	Ausleitkraftwerk Ilanz–Bonaduz (VR-AKA)	26.3 Punkte
2	AGB 300'000 m ³ für Ilanz (VR-AGB-1-3)	20.3 Punkte
1	AGB 100'000 m ³ für Ilanz (VR AGB-3a & 4)	10.3 Punkte
3	Betriebliche Massnahme KWI mit/ohne Batterie (VR-BAT/BET)	4.3 Punkte

Tab. 6.2 Rangliste nach ökologischem Nutzen der Szenarien (Sz.) am Vorderrhein.

Die Szenarien 2 und 4 erfüllen die ökologischen Ziele sowohl rechnerisch nach der Bewertung der VZH wie auch nach der gutachterlichen Beurteilung des Expertenbüros. Für die zwei Szenarien kann daher sowohl formal wie auch fachlich davon ausgegangen werden, dass die wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk des Vorderrheins beseitigt werden kann. Die Szenarien 1 und 3 erfüllen die ökologischen Ziele nur rechnerisch, nach Bewertung der VZH. Die Sanierungsziele werden zwar formal erfüllt, aufgrund der fachlichen Defizite der VZH wird gutachterlich jedoch davon ausgegangen, dass mit diesen zwei Szenarien eine gewisse Beeinträchtigung Schwall/Sunk weiterhin bestehen bleibt. Aus gutachterlicher Sicht ist insbesondere der Nutzen der betrieblichen Massnahmen in der jetzigen Auslegung (Szenario 3) fraglich. Werden die Ziele nach VZH und gutachterlich erreicht sind die Szenarien in Abb. 6.2 grün markiert, werden die Ziele nur von der VZH erfüllt oder knapp erfüllt sind sie gelb und werden die Ziele gar nicht erfüllt sind sie rot markiert.

6.4 Auswahl Massnahmenvarianten Vorderrhein

Wie in Kapitel 5.4 erwähnt, folgt aus den Ergebnissen der Teilprojekte Technik und Umwelt und Umfeld eine Auswahl der Massnahmenvarianten, um die möglichen Kombinationen für Kosten/Nutzen-Analyse auf ein vernünftiges Mass zu reduzieren.

In Tab. 6.3 ist die getroffene Auswahl für die Kosten/Nutzen-Analyse zusammengefasst. Von allen betrachteten Ausgleichsbecken wird die Variante VR-AGB-3 für das grosse Volumen und VR-AGB-3a für das kleine Volumen am Standort F verwendet. Die Varianten wurden sowohl aus technischer wie auch aus Umwelt-/Umfeldsicht als Beste der betrachteten Ausgleichsbecken beurteilt.

Beschreibung	Ökologischer Nutzen Verwendetes Szenario	Kosten Verwendete Variante
AGB 100'000 m ³ für Ilanz	Szenario 1	VR-AGB-3a
AGB 300'000 m ³ für Ilanz	Szenario 2	VR-AGB-3
Betriebliche Massnahme KWI ohne Batterie	Szenario 3	VR- BET
Betriebliche Massnahme KWI mit Batterie	Szenario 3	VR- BAT
Ausleitkraftwerk Ilanz–Bonaduz	Szenario 4	VR-AKA (mit WK)

Tab. 6.3 Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Vorderrhein.

Von den betrachteten Ausleitungen wird aufgrund der tieferen Kosten die Variante mit Wasserkraftnutzung VR-AKA (mit WK) ausgewählt. Von den anderen Massnahmenvarianten wurden keine Varianten betrachtet, weshalb keine Auswahl notwendig ist.

6.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Vorderrhein

Tab. 6.4 zeigt den ökologischen Nutzen, die Kosten und das Kosten/Nutzen-Verhältnis für die geprüften Szenarien am Vorderrhein. In Abb. 6.2 werden die entsprechenden Ergebnisse graphisch einander gegenübergestellt.

Szenario	Variante	Ökologischer Nutzen	Gesamtkosten ([MCHF], exkl. MWST)	Kosten/Nutzen-Verhältnis
2	VR-AGB-3	20.3	102	5.0
1	VR-AGB-3a	10.3	83	8.1
4	VR-AKA mit WK	26.3	633	24.1
3	VR-BET	4.3	109	25.3
3	VR-BAT	4.3	145	33.7

Tab. 6.4 Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmen am Vorderrhein.

Der Vergleich von Kosten und Nutzen ergibt am Vorderrhein ein relativ eindeutiges Bild. Ein Grossteil der Massnahmen (Szenarien 1 bis 3) weist Kosten im Bereich um die 100 MCHF auf. Einzig die Ausleitung (Szenario 4) liegt hinsichtlich Kosten um Faktoren höher.

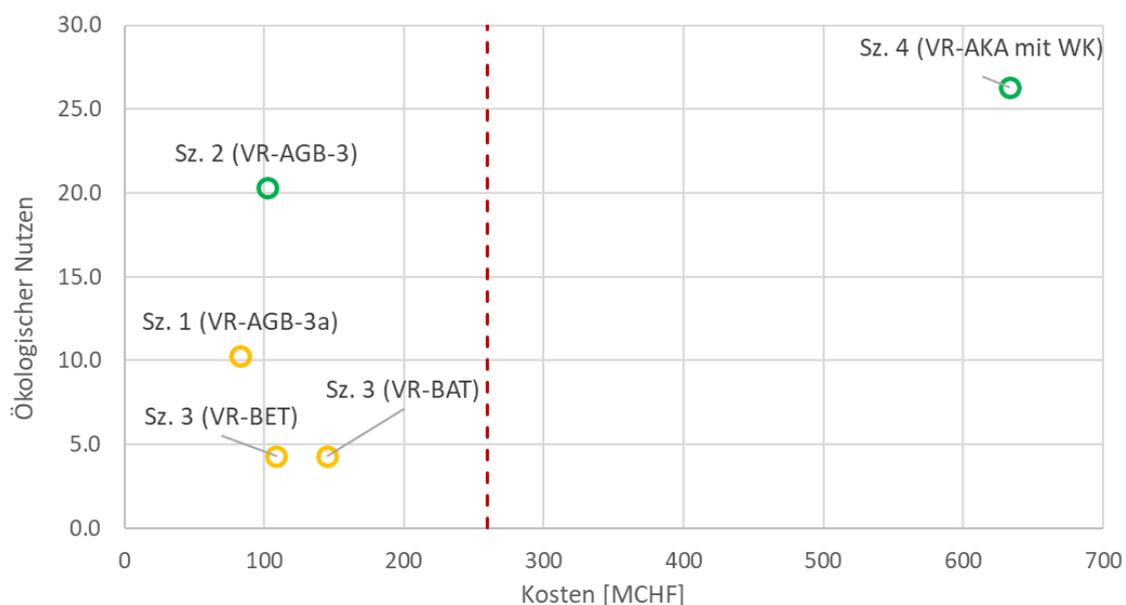


Abb. 6.2 Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmenauswahl am Vorderrhein. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.

Das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis hat das grosse Ausgleichsbecken (Szenario 2, Variante VR-AGB-3) gefolgt vom kleinen Ausgleichsbecken (Szenario 1, Variante VR-AGB-3a). Ein grosser Teil der Kosten der Ausgleichsbecken betrifft die Zuleitung des Wassers ab Zentrale bis zum Becken und ist daher unabhängig vom Volumen. Entsprechend nimmt der ökologische Nutzen mit zunehmendem Volumen stärker zu als die Kosten und es lohnt sich das Ausgleichsbecken so gross wie möglich zu wählen. Im Vergleich zu dem in Kapitel 5.5 angegebenen Richtwert für die Verhältnismässigkeit des Aufwandes von Sanierungsmassnahmen am Vorderrhein, werden beide Beckenlösungen mit 1.9 MCHF/km (Szenario 1) und 2.4 MCHF/km (Szenario 2) als klar verhältnismässig beurteilt.

Die Ausleitung (Szenario 4) weist einen noch höheren ökologischen Nutzen als das grosse Becken auf, liegt jedoch bei den Kosten um Faktoren höher. Entsprechend ist das Kosten/Nutzen-Verhältnis der Ausleitung deutlich schlechter und die Gesamtkosten werden im Vergleich zum Richtwert aus Kapitel 5.5 mit 14.7 MCHF/km klar als nicht verhältnismässig beurteilt. Nur wenn für die Ausleitung sehr optimistische Annahmen getroffen werden und zusätzlich ein Investitionsbeitrag von 50% sowie das höchste Strompreisszenario (110 CHF/MWh) angenommen werden, reduzieren sich die Gesamtkosten auf einen mit den Becken vergleichbaren Betrag von 146 MCHF, und diese werden konkurrenzfähig.

Die zwei mit Szenario 3 geprüften betrieblichen Varianten (VR-BET und VR-BAT) weisen das schlechteste Kosten/Nutzen-Verhältnis auf. Die Massnahmen sind teurer als ein Ausgleichsbecken und weisen einen deutlich tieferen ökologischen Nutzen auf. Die Gesamtkosten liegen zwar mit 2.5 MCHF/km (Szenario 3 – VR-BET) und mit 3.4 MCHF/km (Szenario 3 – VR-BAT) noch im Rahmen des in Kapitel 5.5 definierten Richtwerts für die Verhältnismässigkeit. Aufgrund des doch sehr tiefen ökologischen Nutzens und des schlechten Kosten/Nutzen-Verhältnis, werden diese Massnahmen hinsichtlich Verhältnismässigkeit in Frage gestellt. Wie bereits erläutert, fehlt zudem die gesetzlich erforderliche Zustimmung seitens Kraftwerksbetreibers.

6.6 Interessenabwägung Vorderrhein

Nachfolgend wird auf die im Bericht Umwelt und Umfeld (vgl. Beilage 2) für die Sanierungsmassnahmen am Vorderrhein identifizierten kritischen Interessenkonflikte eingegangen und eine Abwägung gemacht.

6.6.1 Landschaften und schützenswerte Ortsbilder

Ausgleichsbecken

Das Ausgleichsbecken am Standort F' (VR-AGB-4) befindet sich am Rand der Stadt Ilanz, deren Ortsbild von nationaler Bedeutung ist. Das Ausgleichsbecken liegt im Ortsbildteil V «Gelände nördlich des Bahnhofs (Pendas)», für welchen das Erhaltungsziel A definiert ist. Dieses besagt, dass die Beschaffenheit der betroffenen Ortsbildteile resp. das Kulturland oder die Freifläche erhalten werden soll. Die Wasserrückgabe des Ausgleichsbeckens befindet sich am Ufer des Vorderrheins und damit im Ortsbildteil VI «Flussbett und Uferbereich des Rheins», für welchen ebenfalls das Erhaltungsziel A gilt. Die durch das Ausgleichsbecken tangierte Fläche des Ortsbildes umfasst ca. 13'900 m².

Grundsätzlich widerspricht der Bau eines Ausgleichsbeckens am Standort F' dem Erhaltungsziel der beiden betroffenen Ortsbildteile. Insbesondere die Überbauung und Umnutzung der Freifläche «Pendas» führt zu einer schwerwiegenden Beeinträchtigung des Ortsbildteiles V.

Mit Landschaftsschutzgebieten liegt für den Standort F' (VR-AGB-4) kein Konflikt vor. Der Standort wird jedoch hinsichtlich der landschaftlichen Gesamtwirkung, aufgrund der Lage im nationalen Ortsbild der Stadt Ilanz und der guten Sichtbarkeit des Beckens vom Siedlungsrand her negativ beurteilt. Es wird davon ausgegangen, dass allein mit der Gestaltung und Einbettung des Beckens in die Umgebung der Konflikt nicht behoben werden kann.

Da mit dem Standort F (VR-AGB-1,2,3,3a) eine geeignete, von diesen Konflikten nicht betroffene Alternative besteht, überwiegt für den Standort F' (VR-AGB-4) das Interesse des Ortsbildschutzes und des allgemeinen Landschaftsbilds. Das Becken am Standort F' (VR-AGB-4) wird unter diesem Aspekt als nicht bewilligungsfähig betrachtet.

Ausleitung

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung mit oder ohne Wasserkraft (VR-AKA mit/ohne WK) liegt das nationale Landschaftsschutzgebiet Ruinaulta. Der Grad der Beeinträchtigung ist bei den Landschaften stark abhängig von den Restwassermengen bzw. von der Art und Weise wie eine solche Ausleitung in Zukunft betrieben werden soll. Grundsätzlich ist es denkbar, dass in den Sommermonaten nicht die gesamte Wassermenge (Schwall) ausgeleitet wird, um das Landschaftsbild aufzuwerten.

Der Aspekt Landschaft wird in der Festlegung der Restwassermengen nach Art. 31 ff. GSchG berücksichtigt, jedoch nicht im Pflichtteil von Art. 31 GSchG «Mindestrestwassermengen», sondern unter Art. 33 GSchG «Erhöhung der Mindestrestwassermengen». Entsprechend kann eine Abwägung der Interessen für (z.B. Schwall/Sunk-Sanierung, Energieproduktion) und gegen (Landschaftsschutz) die Ausleitung erfolgen, was den Ermessensspielraum der Behörden etwas erhöht. Da eine Schwall-Ausleitung ohne direkte Wasserentnahme im Gewässer nur bei Betrieb des Oberliegigers Wasser für die Erhöhung der Restwassermengen zur Verfügung hat, stellt die Erfüllung der Restwassermengen jedoch eine grosse Herausforderung dar und geht auch immer mit gewissen Abflussschwankungen in der zukünftigen Restwasserstrecke einher. Am Vorderrhein wird für den durch eine Ausleitung betroffenen Aspekt Landschaft eine Lösung hinsichtlich Restwasser als möglich und damit die Massnahme als potenziell bewilligungsfähig betrachtet.

6.6.2 Landwirtschaft

Am Vorderrhein bei Ilanz wurden grundsätzlich zwei Beckenstandorte und zwei unterschiedliche Volumina von Becken geprüft. Ein kritischer Konflikt mit der Landwirtschaft besteht insbesondere für das grosse Becken am Standort F (VR-AGB-1,2,3), mit einem Bedarf an Fruchtfolgeflächen von 6.4 ha. Das kleine Becken am Standort F (VR-AGB-3a) beansprucht noch Fruchtfolgeflächen von 2.5 ha, das Becken am Standort F' (VR-AGB-4) landwirtschaftliche Nutzfläche von knapp 1.4 ha. Für diese zwei zuletzt erwähnten Varianten wurden im Teilprojekt Umwelt der Konflikt mit der Landwirtschaft als wesentlich, jedoch lösbar eingeschätzt.

Die drei für das grosse Becken am Standort F geprüften Varianten (VR-AGB-1,2,3) unterscheiden sich nur im Bereich der Zuleitung, welche keine Auswirkungen auf die Interessen der Landwirtschaft hat. Nachfolgend wird daher nur noch die Variante mit der bergmännischen Zuleitungsvariante 3 (VR-AGB-3) für das grosse Becken am Standort F betrachtet. Diese Variante ist technisch wie auch im Hinblick auf den Interessenkonflikt Grundwasser die Beste der drei.

Grundsätzlich wäre aus Sicht Landwirtschaft das Becken am Standort F' zu bevorzugen, da es keine Fruchtfolgeflächen und nur eine kleine Landwirtschaftsfläche beansprucht. Dieser Standort wird jedoch aufgrund anderweitiger Interessenkonflikte als nicht bewilligungsfähig beurteilt (vgl. Kapitel 6.6.1), weshalb der Standort F' keine mögliche Alternative darstellt.

Eine Optimierung des Interessenkonflikts mit der Landwirtschaft kann auch durch die deutlich kleinere Variante VR-AGB-3a erreicht werden. Der ökologische Bedarf für die Schwall/Sunk-Sanierung am Vorderrhein zeigt jedoch klar auf, dass das Becken so gross wie möglich gewählt werden sollte und die wesentliche Beeinträchtigung Schwall/Sunk nur mit einem Becken der Grössenordnung von Variante VR-AGB-3 beseitigt werden kann. Aufgrund der hohen Kosten für die Zuleitung zum Becken hat die grosse Beckenvariante das deutlich bessere Kosten/Nutzen-Verhältnis. Die Variante VR-AGB-3 hat sogar von allen in diesem Variantenstudium geprüften Massnahmen das zweitbeste Kosten/Nutzen-Verhältnis und kann als sehr effiziente Massnahme betrachtet werden. Sie ist aus Sicht Schwall/Sunk daher der Variante VR-AGB-3a klar zu bevorzugen.

Grundsätzlich kann ein Ausgleichsvolumen auch unterirdisch angeordnet werden. Im Teilprojekt Technik wurden, basierend auf der Kostenschätzung der bergmännischen Zuleitung 3 zum Ausgleichsbecken am Standort F, die Kosten für einen Speicherstollen der gleichen Grössenordnung von 300'000 m³ grob abgeschätzt. Die Kosten eines solchen Speicherstollens liegen mit ca. 400 Mio. CHF um den Faktor 4 über denjenigen des favorisierten Beckens. Damit übersteigen die Kosten ein noch als verhältnismässig einzuschätzendes Mass deutlich (vgl. Kapitel 5.5). Eine Sanierung mit einem grossen Speicherstollen scheint am Vorderrhein bei Ilanz daher nicht verhältnismässig.

Als weitere unterirdische Sanierungsmassnahme wurde im Variantenstudium die Ausleitung von Ilanz nach Bonaduz (VR-AKA) geprüft. Auch diese weist eine Vielzahl an kritischen Interessenkonflikten auf und die Bewilligungsfähigkeit muss in einer nächsten Planungsphase erst aufgezeigt werden. Die Kosten dieser Massnahmen liegen zudem um Faktoren höher als beim Ausgleichsbecken VR-AGB-3 und das Kosten/Nutzen-Verhältnis ist deutlich schlechter. Werden für die Ausleitung VR-AKA, aufgrund des Zusatznutzens der Energieproduktion, nicht im grossen Mass anderweitige Mittel (Förderbeiträge) zur Verfügung gestellt, ist sie hinsichtlich Sanierung Schwall/Sunk nicht verhältnismässig.

Als letzte Massnahmen wurden am Vorderrhein noch die betrieblichen Massnahmen geprüft. Betriebliche Massnahmen sind vom Gesetzgeber aufgrund der grossen energiewirtschaftlichen Einschränkung nur freiwillig möglich und im heutigen Energiepolitischen Umfeld nicht bewilligungsfähig.

Fruchtfolgeflächen sind die wertvollsten Landwirtschaftsflächen der Schweiz, welche durch den Sachplan Fruchtfolgeflächen geschützt werden. Damit soll der schweizweite Mindestumfang an Fruchtfolgeflächen von heute 438'460 Hektaren bewahrt werden. Nach Art. 30 Abs. 1^{bis} RPV dürfen Fruchtfolgeflächen nur eingezont werden, wenn:

- ein auch aus Sicht des Kantons wichtiges Ziel ohne die Beanspruchung von Fruchtfolgeflächen nicht sinnvoll erreicht werden kann;
- und sichergestellt wird, dass die beanspruchten Flächen nach dem Stand der Erkenntnisse optimal genutzt werden.

Wie das vorliegende Variantenstudium aufzeigt, sind aus heutiger Sicht kaum Alternativen zu einem Ausgleichsbecken am Standort F (VR-AGB-3) vorhanden. Die Schwall/Sunk-Sanierung am Vorderrhein wird als wichtiges Ziel von nationaler Bedeutung beurteilt. Das Becken am beanspruchten Standort hat eines der besten Kosten/Nutzen-Verhältnisse aller geprüften Massnahmen, weshalb von einer optimalen Nutzung dieser Fläche für die Dämpfung von Schwall/Sunk am Vorderrhein und anteilmässig am Alpenrhein gesprochen werden kann.

Der Interessenkonflikt zwischen dem Verlust an Landwirtschaftsfläche bzw. Fruchtfolgeflächen und der Schwall/Sunk-Sanierung lässt sich nicht vermeiden. Aus heutiger Sicht wird das Interesse der Schwall/Sunk-Sanierung, aufgrund der schweizweiten Bedeutung und der über eine sehr weite Strecke wirkende Verbesserung des Lebensraums der aquatischen Flora und Fauna, insbesondere des Lebensraums der stark gefährdeten Seeforelle und der Vielzahl an Auenlebensräumen, höher gewichtet. Der Verlust an Fruchtfolgeflächen ist lokal begrenzt und muss adäquat ersetzt werden. Ein Ersatz für die ökologische Wirkung der Schwall/Sunk-Sanierung ist kaum möglich. In der weiteren Planungsphase kann der Bedarf an Fläche für das Ausgleichsbecken VR-AGB-3 allenfalls optimiert werden, in dem ein Optimum zwischen dem absolut notwendigen ökologischen Nutzen der Schwall/Sunk-Sanierung und der beanspruchten Fruchtfolgefläche gesucht wird.

6.6.3 Grund- und Quellwasser

Ausgleichsbecken

Die Zuleitung, das Ausgleichsbecken selbst und die Ableitung des Ausgleichsbeckens am Standort F' (VR-AGB-4) befinden sich im Gewässerschutzbereich A_u. Es ist davon auszugehen, dass sich die gesamte Zuleitung unter dem mittleren Grundwasserspiegel befindet. Die Sohle des Beckens liegt knapp (0.2 m) unterhalb des vermuteten mittleren Grundwasserspiegels.

Bei den vier für den Standort F geprüften Varianten für ein Ausgleichsbecken (VR-AGB-1,2,3,3a) liegen ebenfalls verschiedene Anlagenteile im Gewässerschutzbereich A_u. So befinden sich die ganzen Zuleitungsvarianten 1 und 2 sowie bei der Zuleitungsvariante 3 mit Stollen der Bereich der Unterquerung des Vorderrheins darin. Das Ausgleichsbecken und die Ableitung befinden sich ebenfalls im Gewässerschutzbereich A_u. Weiter ist davon auszugehen, dass die Zuleitungen 1 und 2 über weite Strecken und die Zuleitung 3 zumindest im Bereich der Unterquerung des Vorderrheins unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen. Der Beckenboden befindet sich voraussichtlich über dem mittleren Grundwasserspiegel, während das Auslaufbauwerk unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegt.

Für die Bauwerke unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels ist für deren Umsetzung eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG erforderlich. Unter anderem gilt es nachzuweisen, dass die Durchflusskapazität gegenüber dem unbeeinflussten Zustand durch den geplanten Einbau unter dem mittleren Grundwasserspiegel um maximal 10% abnimmt. Da bezüglich Grundwasser am Vorderrhein nur sehr wenig Daten vorliegen, kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht abschliessend beurteilt werden, inwiefern die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG erbracht werden können. Eine Grobabschätzung im Rahmen des Teilprojekts Technik kommt jedoch zum Schluss, dass alle Zuleitungsvarianten in diesem Punkt kritisch sind und allenfalls Ersatzmassnahmen zur Erfüllung der Nachweise erforderlich werden. In einer nächsten Planungsphase sind daher die hydrogeologischen Auswirkungen im Detail zu überprüfen. Von den betrachteten Varianten für ein Ausgleichsbecken kann jedoch die Variante 3 und damit der Standort F bezüglich

Grundwasser deutlich als die beste beurteilt werden, da sie nur teilweise im Gewässerschutzbereich A_u liegt. Von dieser Variante wird einzig die Unterquerung des Vorderrheins als kritisch beurteilt.

Ausleitung

Die gesamte Ausleitung vom Düker bei Ilanz bis zum Unterwasserkanal liegt abschnittsweise im Gewässerschutzbereich A_u oder auch in Gewässerschutzzonen von Trinkwasserfassungen. Es ist davon auszugehen, dass verschiedene Anlagenteile unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen und voraussichtlich Ausnahmegewilligungen nach Art. 19 Abs. 2 GSchG notwendig sind.

Auf der aktuellen Planungsstufe konnten keine Detailabklärungen im Bereich Grundwasser gemacht werden. Entsprechend ist eine abschliessende Beurteilung dieses Interessenkonflikts nicht möglich. Auch eine gutachterliche Einschätzung ist aufgrund der sehr spärlich vorhandenen Informationen sehr schwierig. In einer nächsten Planungsphase sind daher die hydrgeologischen Auswirkungen infolge der reduzierten Wasserführung im Vorderrhein zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen.

6.6.4 Auen

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung mit oder ohne Wasserkraft (VR-AKA mit/ohne WK) liegen die zwei Auen von nationaler Bedeutung:

- Aue Cauma
- Aue Ruinaulta

Aus Sicht des Auenschutzes ist eine möglichst naturnahe Wasserführung, sowohl hinsichtlich Wassermenge wie auch Abflussregime anzustreben, was ganz grundsätzlich dem Vorhaben einer Ausleitung entgegensteht. Es gilt jedoch zu erwähnen, dass auch das heutige, durch Schwall/Sunk beeinflusste Abflussregime, eine Beeinträchtigung der Auenlebensräume darstellt und entsprechend eine Abwägung zwischen den negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk und Restwasser erfolgen muss. Der Grad der Beeinträchtigung durch die Ausleitung ist stark abhängig von den Restwassermengen. Diese Frage konnte in der vorliegenden Planungsphase nicht abschliessend beurteilt werden.

Die Festlegung der erforderlichen Restwassermengen nach Art. 31 ff GSchG ist Gegenstand der nächsten Planungsphase. Grundsätzlich müssen die Anforderungen von Art. 31 ff GSchG an die Restwassermengen erfüllt werden. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Auengebiete durch die betrachteten Ausleitungen nicht wesentlich beeinträchtigt werden oder sonst die Massnahme nicht bewilligungsfähig ist und nicht umgesetzt werden kann.

Für die am Vorderrhein betrachtete Ausleitung wird aufgrund des grossen Zwischeneinzugsgebiets, der verschiedenen Zuflüsse in der Restwasserstrecke, sowie des hohen Laufwasseranteils der KWI, welcher für eine temporäre Erhöhung der Restwassermengen genutzt werden könnte, eine Lösung hinsichtlich Restwasser als möglich und damit die Massnahme hinsichtlich Auen als potenziell bewilligungsfähig betrachtet.

Da eine Schwall-Ausleitung ohne direkte Wasserentnahme im Gewässer nur bei Betrieb des Oberliegigers Wasser für die Erhöhung der Restwassermengen zur Verfügung hat, stellt die Erfüllung der Restwassermengen jedoch eine grosse Herausforderung dar und geht auch immer mit gewissen Abflussschwankungen einher.

6.6.5 Moore

Angrenzend an die neue Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung (VR-AKA mit/ohne WK), liegt das Flachmoor von nationaler Bedeutung Isla Sut. Das Flachmoor wird nicht direkt, sondern über den Einfluss auf das Grundwasser und nur falls das Flachmoor durch Grundwasser gespiesen wird, beeinträchtigt. Detailabklärungen zu den Auswirkungen einer Ausleitung auf den Grundwasserspiegel waren nicht Gegenstand der vorliegenden Planungsstufe. Die Beeinträchtigung kann entsprechend nicht beurteilt und auch nicht ausgeschlossen werden. Sollte sich eine Beeinträchtigung abzeichnen, die durch eine Anpassung der Restwassermengen nicht behoben werden kann, ist die Ausleitung nicht bewilligungsfähig.

6.6.6 Einfluss auf die Energieproduktion

Die als Pilotfall betrachteten betrieblichen Massnahmen Schwall/Sunk für die KWI (VR-BET) stehen einzig im Konflikt zur flexiblen, erneuerbaren Energieproduktion. Dabei betreffen die Einschränkungen nicht allein die KWI, sondern die ganze Kraftwerkskaskade am Vorderrhein von den Zentralen Sedrun und Tavanasa der KVR bis zur Zentrale Ilanz der KWI. Hochflexible Speicherkraftwerke wie die KVR und KWI werden im Energiesystem der Zukunft, mit einem deutlich höheren Anteil an kaum regelbarer Photovoltaik und Windkraft, einen noch grösseren Beitrag zum Ausgleich der Energieproduktion leisten müssen.

Daher ist die Einschränkung der Flexibilität bei der KWI und KVR durch eine betriebliche Schwall/Sunk-Sanierung aus energiewirtschaftlicher Sicht als schwerwiegend zu beurteilen. Der energiewirtschaftliche Schaden wird als sehr gross und der Verlust von Flexibilität für die Versorgungssicherheit als kritisch beurteilt. Betriebliche Massnahmen sind gerade aus diesem Grund vom Gesetzgeber explizit nur als freiwillige Massnahmen vorgesehen. Im aktuellen energiepolitischen Umfeld wird die Bewilligung solcher Massnahmen als nicht realistisch angesehen.

Die als Sonderfall der betrieblichen Massnahmen betrachtete Variante mit einem Ausgleich der Verluste an Flexibilität durch einen Grossbatteriespeicher (VR-BAT), kann diesen Zielkonflikt mit der Energieproduktion stark reduzieren. Inwiefern die Kombination aus Wasserkraftwerk und Grossbatteriespeicher hinsichtlich Flexibilität und Einsatz gleichwertig mit den heutigen Anlagen ist, müsste in einer weiteren Planungsphase abgeklärt werden.

Zu beachten gilt, dass ein Grossbatteriespeicher aufgrund der Wirkungsgradverluste und des Eigenbedarfs zu Energieverlusten führt und der Konflikt mit der Energieproduktion in dem Sinn nicht behoben werden kann. Die für die Stufen Tavanasa und Panix der KWI dimensionierten Grossbatteriespeicher führen unter Betrachtung des Betriebs der Jahre 2016 – 2021 zu durchschnittlichen Energieverlusten in der Grössenordnung von 4 GWh/a oder 1.5% der Jahresproduktion der KWI. Da auch diese Verluste der KWI zu entschädigen sind, wird dieser Konflikt nicht als massgebend betrachtet.

6.7 Vorschlag Bestvarianten Vorderrhein

Anhand der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich für den Vorderrhein das grosse Becken am Standort F VR-AGB-3 (Volumen 300'000 m³) als Bestvariante ab.

Um den Zielkonflikt zwischen der Schwall/Sunk-Sanierung und der Landwirtschaft zu reduzieren, soll auch die kleinere Variante an diesem Standort VR-AGB-3a (Volumen 100'000 m³) betrachtet werden. Hierzu gilt es in der nächsten Planungsphase, sofern möglich, das notwendige Volumen für ein Becken an diesem Standort hinsichtlich ökologischem Nutzen Schwall/Sunk und Verlust an Fruchtfolgefleichen zu optimieren.

Für eine mehr oder weniger komplette Beseitigung der Schwall/Sunk-Problematik kommt nur die Ausleitung von Ilanz nach Bonaduz VR-AKA in Frage. Aufgrund der Kosten ist dabei eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Für den Vorderrhein werden daher diese drei Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Becken VR-AGB-3 am Standort F, Volumen 300'000 m³
Gesamtkosten 102 MCHF exkl. MWST
- Kleiner ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Becken VR-AGB-3a am Standort F, Volumen 100'000 m³
Gesamtkosten 83 MCHF exkl. MWST
- Maximaler ökologische Nutzen Schwall/Sunk:
Ausleitung Ilanz-Bonaduz VR-AKA mit Wasserkraft
Gesamtkosten 633 MCHF exkl. MWST⁵

⁵ Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

7. Ergebnisse Variantenstudium Hinterrhein

7.1 Fazit TP Technik Hinterrhein

Die nachfolgenden Tabellen Tab. 7.1 und Tab. 7.2 fassen die wichtigsten Kennzahlen zu Speichervolumen, Gesamtkosten und spezifischen Kosten für die untersuchten Massnahmen bzw. Varianten am Hinterrhein (getrennt nach Raum Sils und Raum Rothenbrunnen) zusammen:

Massnahme/ Variante	Wichtigste Elemente	Speicher- volumen [m ³]	Gesamt- kosten [MCHF, exkl. MWST)	Spez. Kosten [CHF/m ³ Speicher]
Hinterrhein Sils				
HR/S-AGB-1	Standort H, Sils	903'000	224	248
HR/S-AGB-1a	Standort H, Sils, klein	300'000	161	537
HR/S-AGB-1b	Standort H, Sils, GW-Zone	906'000	223	246
HR/S-AGB-2	Standort H und L, Sils	950'000	247	260
HR/S-AGB-2b	Standort H und L, Sils, GW-Zone	955'000	225	236
HR/S-AGB-3	Standort M und L, Sils	635'000	197	310
HR/S-AGB-4	Standort F und G, Sils	810'000	324	400
HR/S-AKA-1	Ausltg. Domat/Ems, Stufe Sils <u>ohne WK</u>	475'000	631	1'328
HR/S-AKA-1	Ausltg. Domat/Ems, Stufe Sils <u>mit WK</u>	475'000	569	1'198
HR/S-AKA-2	Ausltg. Isla Bella, Stufe Sils <u>ohne WK</u>	425'000	603	1'420
HR/S-AKA-2	Ausltg. Isla Bella, Stufe Sils <u>mit WK</u>	425'000	533	1'254
HR/S-STAU-2B	Stauanlage mit Pumpzentrale ⁶	1'600'000	227	142
HR/S-STAU-2C	Stauanlage mit Gegendruck	1'600'000	218	136
HR/S-STAU-2D	Stauanlage mit Gegendruck, neue MG ⁶	1'600'000	248	155

Tab. 7.1 Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Hinterrhein, Raum Sils; Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).

Im Quervergleich der Massnahmentypen im Raum Sils ist die neue Stauanlage in der Albulaschlucht trotz Berücksichtigung der Energieeinbussen (Szenario 80 CHF/MWh) klar am kosteneffizientesten mit spezifischen Kosten von 136 bis 155 CHF/m³. Dabei ist die Variante mit vollständiger Zuleitung der Ausbauwassermenge mittels Gegendrucks (HR/S-STAU-2C) gegenüber den anderen beiden Varianten klar zu bevorzugen, da letztere in der ausgearbeiteten Konkretisierung betriebliche Einschränkungen zur Folge haben würden. Die Ausgleichsbecken sind im Vergleich zur Stauanlage um mindestens 50% teurer mit spezifischen Kosten für die Maximalvarianten von 236 bis 400 CHF/m³. Unter Berücksichtigung der technischen Herausforderungen ist von den

⁶ Die Erlöseinbussen der betrieblichen Einschränkung der Varianten HR/S-STAU-2B und -2D können in der jetzigen Planungsstufe nicht zuverlässig quantifiziert werden und sind daher nicht berücksichtigt.

geprüften AGB die Variante mit Becken am Standort H (Viamala) mit grossem Volumen (HR/S-AGB-1) zu favorisieren. Auch hier weist die Variante mit kleinerem Volumen (HR/S-AGB-1a) rund doppelt so hohe spezifische Kosten auf, was auf die praktisch volumenunabhängigen Kosten der Zuleitung zurückzuführen ist. Die Ausleitungen (HR/S-AKA-1/2) sind gegenüber den Ausgleichsbecken um den Faktor 3-4 teurer und auch mit Berücksichtigung der Erträge aus der Wasserkraftproduktion mit spezifischen Kosten von 1'198 CHF/m³ bzw. 1'254 CHF/m³ (Szenario 80 CHF/MWh) nicht konkurrenzfähig. Ein Ausleitkraftwerk bei Sils mit einer Bruttojahresproduktion von je nach Variante 137 GWh bis 144 GWh wird gegenüber den Ausgleichsbecken erst konkurrenzfähig, wenn neben einem optimistischen mittleren Strompreisszenario von 110 CHF/MWh zusätzlich ein Investitionsbeitrag von 50% angenommen wird; dann reduzieren sich die Gesamtkosten je nach Variante auf 168 MCHF bzw. 139 MCHF.

Massnahme/ Variante	Wichtigste Elemente	Speicher- volumen [m ³]	Gesamt- kosten [MCHF, exkl. MWST)	Spez. Kosten [CHF/m ³ Speicher]
Hinterrhein Rothenbrunnen				
HR/R-AGB-1	Standort B und C, überdeckt	243'000	299	1'213
HR/R-AGB-2	Standort B und C, naturnah	285'000	136	478
HR/R-AGB-3	Standort B und C, befestigt	249'000	149	599
HR/R-AGB-3a	Standort B und C, befestigt, klein	140'000	109	776
HR/R-AGB-4a	Standort A1, befestigt, kompakt	400'000	73	183
HR/R-AGB-4b	Standort A1, befestigt, länglich	400'000	81	203
HR/R-KAV-1	Speicherstollen links	105'000	72	648
HR/R-KAV-2	Speicherstollen rechts	94'500	100	1'063
HR/R-KAV-1	Speicherstollen links (Verdopplung)	210'000	122	571
HR/R-KAV-2	Speicherstollen rechts (Verdopplung)	190'000	170	895
HR/R-AKA-1	Ausltg. Domat/Ems, Stufe Roth. <u>ohne WK</u>	250'000	444	1'775
HR/R-AKA-1	Ausltg. Domat/Ems, Stufe Roth. <u>mit WK</u>	250'000	468	1'872
HR/R-AKA-2	Ausltg. Isla Bella, Stufe Roth. <u>ohne WK</u>	200'000	338	1'689
HR/R-AKA-2	Ausltg. Isla Bella, Stufe Roth. <u>mit WK</u>	200'000	365	1'825

Tab. 7.2 Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Hinterrhein, Raum Rothenbrunnen; Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).

Im Quervergleich der Massnahmen im Raum Rothenbrunnen ist das Ausgleichsbecken Rhäzüns (HR/R-AGB-4a/b) mit spezifischen Kosten von je nach Anordnung 183 bzw. 203 CHF/m³ und grossem Speichervolumen die mit grossem Abstand kosteneffizienteste Massnahme. Die weiteren Ausgleichsbecken sind mit spezifischen Kosten für die Maximalvarianten von 599 CHF/m³ (HR/S-AGB-3, befestigt) bzw. 478 CHF/m³ (HR/S-AGB-2, naturnah) um mindestens den Faktor 3 teurer, was vor allem an den schlechteren standortbedingten Randbedingungen liegt (hoher Grundwasserspiegel, knappe Höhenverhältnisse). Mit einer überdeckten Ausgestaltung (HR/R-AGB-1) würden die spezifischen Kosten auf 1'213 CHF/m³ ansteigen und sich also nochmals

mehr als verdoppeln. Auch die Ausleitung der Stufe Rothenbrunnen ist in beiden Varianten (HR/R-AKA-1 und -2) vergleichsweise ungünstig mit sehr hohen spezifischen Kosten von 1'689 bis 1'872 CHF/m³ (ohne bzw. mit Wasserkraft); aufgrund der geringen Fallhöhen mit entsprechend geringem Energiepotenzial ist bei dieser Ausleitung die Variante mit Wasserkraftproduktion sogar teurer (selbst bei optimistischem Preisszenario von 110 CHF/MWh) und damit keine valable Alternative. Interessant sind deshalb vor allem die Speicherstollen. Diese liegen mit spezifischen Kosten von gemittelt rund 850 CHF/m³ für die konzipierten Volumen zwischen den Standardausgleichsbecken und den Ausleitungen. Sie sind zudem praktisch beliebig vergrösserbar und werden mit steigendem Volumen immer kosteneffizienter: eine Verdopplung des Speichervolumens auf beispielsweise total 400'000 m³ würde die Kosten um rund den Faktor 1.7 erhöhen und die spezifischen Kosten auf gemittelt rund 730 CHF/m³ reduzieren.

7.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Hinterrhein

Standort Sils

Der nachfolgenden Abb. 7.1 ist eine Übersicht über die Bewertungen der Massnahmen im Raum Sils hinsichtlich der verschiedenen Interessenkonflikte zu entnehmen. Alle für die Kraftwerke in Sils geprüften Ausgleichsbecken haben einen sehr grossen Bedarf an Kulturland und benötigen eine Ausnahmegewilligung für Einbauten von Bauwerken unter dem mittleren Grundwasserspiegel im Gewässerschutzbereich Au.

Die Ausgleichsbecken verfügen je nach Umfang über einen unterschiedlich grossen Flächenbedarf. Das im Variantenstudium betrachtete kleinere Ausgleichsbecken HR/S-AGB-1a schneidet entsprechend im Umwelt-/Umfeldbereich besser ab als die grossen, da die Konflikte geringer ausfallen.

Unter den grossen Becken wird die Variante HR/S-AGB-3 aufgrund der Lage im Ortsbild von Fürstenu (nationale Bedeutung) sowie direkt vor dem Siedlungsgebiet und innerhalb eines Grundwasserschutzareals als nicht bewilligungsfähig eingeschätzt. Bei Betrachtung der drei übrigen Standorte schneiden die Becken HR/S-AGB-1 und HR/S-AGB-4 aus Umwelt-/Umfeldsicht ähnlich gut ab.

Die Ausleitungen HR/S-AKA-1/2 führen zu einer verlängerten bzw. neuen Restwasserstrecke. Diese liegt in verschiedenen Schutzgebieten mit nationaler Bedeutung. Durch den Restwasserabfluss entstehen entsprechend verschiedene bewilligungstechnisch relevante Zielkonflikte. Eine abschliessende Beurteilung dieser Zielkonflikte ist auf dieser Planungsstufe nicht möglich und muss in einer allfälligen weiteren Planungsphase untersucht werden. Die Bewilligungsfähigkeit eines solch grossen Projekts wird aufgrund der Restwasserthematik als sehr kritisch beurteilt. Diese Massnahme würde jedoch einen wesentlichen Beitrag an den gemäss Energiestrategie geforderten Ausbau der Wasserkraftproduktion leisten. Unter den beiden Ausleitungen wird die Ausleitung mit Wasserrückgabe in Domat/Ems klar favorisiert, da die Ausleitung HR/S-AKA-2 mit Wasserrückgabe am Standort Isla Bella diverse zusätzliche Zielkonflikte aufweist.

Die Stauanlage Albula stellt ein Querbauwerk dar, welches zu einer Unterbrechung des Längskontinuums der Albula und zu einem Einstau der Albula führt. Der grösste und nur eingeschränkt lösbare Konflikt ergibt sich im Bereich Fischwanderung und Gewässerlebensraum. Einerseits kann die Fischwanderung mit entsprechenden Fischauf- und -abstiegsanlagen nur teilweise wiederhergestellt werden. Andererseits gehen wertvoller fliessgewässerlebensraum und bedeutende Laichhabitate u.a. von Seeforellen durch den Aufstau der Albula in ihrem Mittellauf verloren.

		Ausgleichsbecken Sils Standort H V = 1'000'000 m ³	Ausgleichsbecken Sils Standort H klein V = 300'000 m ³	Ausgleichsbecken Sils Standort H und L V = 1'000'000	Ausgleichsbecken Sils Standort M und L V = 570'000 m ³	Ausgleichsbecken Sils Standort F/G V = 730'000 m ³	Ausleitung Sils - Domat/Enns V = 475'000 m ³	Ausleitung Sils - Isia Bella V = 425'000 m ³	Stauanlage Albulaschlucht V = 1'600'000 m ³
		HR/S-AGB-1 HR/S-AGB-1b	HR/S-AGB-1a	HR/S-AGB-2 HR/S-AGB-2b	HR/S-AGB-3	HR/S-AGB-4	HR/S-AKA-1	HR/S-AKA-2	HR/S-STAU-2C
Zielkonflikte Naturschutz	Auen								
	Landschaften								
	Moore								
	Biotop								
	Wald								
Zielkonflikte Weitere Nutzungen	Landwirtschaft								
	Grund- und Quellwasser								
	Schützenswerte Ortsbilder								
	Historische Verkehrswege								
	Belastete Standorte								
	Tourismus								
	Strategische Planung Revitalisierung								
	Strategische Planung Fischwanderung und Gewässerlebensraum								
	Gewässerraum								
	Naturgefahren								
Bestehende Infrastruktur									
Energie	Produktionsverluste								
	Einschränkung Flexibilität								
	Energiepolitische Ziele	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.
Akzeptanz, Bewilligungsfähigkeit, Erfüllung Sanierungspflicht bis 2030	Politische gesellschaftliche Akzeptanz								
	Bewilligungsfähigkeit								
	Erfüllung der Sanierungspflicht bis 2030 (Zeitplan)								

Abb. 7.1 Vergleich Bewertung Massnahmen Hinterrhein Sils

Raum Rothenbrunnen

Der nachfolgenden Abb. 7.2 ist eine Übersicht über die Bewertungen der Massnahmen im Raum Rothenbrunnen hinsichtlich der verschiedenen Interessenkonflikte zu entnehmen. Für alle betrachteten Varianten und Standorte für Ausgleichsbecken ergeben sich Zielkonflikte im Bereich Grundwasser. So sind bei allen betrachteten Varianten für die Einbauten im Gewässerschutzbereich A_u und unter dem mittleren Grundwasserspiegel Ersatzmassnahmen und eine Ausnahmegewilligung erforderlich.

Am Standort B+C wurden drei verschiedene Beckentypen geprüft (HR/R-AGB-1 überdeckt, HR/R-AGB-2 naturnah, HR/R-AGB-3 technisch). Sie verfügen alle über einen grossen Flächenbedarf und liegen direkt vor dem Siedlungsgebiet von Rothenbrunnen. Mit der Variante HR/S-AGB-3a wurde noch ein deutlich kleineres, etwas seitlich vom Dorf Rothenbrunnen liegendes Ausgleichsbecken untersucht. Im Vergleich weist das kleinste Becken HR/S-AGB-3a entsprechend den kleinsten Flächenbedarf und die geringsten Konflikte auf. Aus Umwelt-/Umfeldsicht wird dieses unter den Beckenvarianten favorisiert. Durch die Überdeckung des Beckens in Variante HR/R-AGB-1 können die Konflikte dieser Variante stark reduziert werden, weshalb sie aus Umwelt-/Umfeldsicht am zweitbesten der Beckenvarianten abschneidet. Die Bewilligungsfähigkeit dieses Beckens bleibt aufgrund der Lage dennoch kritisch. Die zwei Ausgleichsbecken HR/R-AGB-2 (naturnah) und HR/R-AGB-3 (technisch) werden an diesem Standort aufgrund der Konflikte mit Landschaft, Grundwasser und Landwirtschaft und der allgemeinen politischen Akzeptanz als kaum bewilligungsfähig betrachtet.

Nebst dem Standort B+C vor dem Dorf Rothenbrunnen kommt auch der nachträglich geprüfte Standort A1 in den Rhäzünser Rheinauen als potentieller Beckenstandort in Frage. Bei diesem Becken ergibt sich der grösste Konflikt aufgrund der Lage des Beckens im Perimeter der Aue von nationaler Bedeutung. Die Aue weist im heutigen Zustand keine atypischen Eigenschaften auf. Für die Realisierung des Beckens an diesem Standort ist eine umfassende Interessenabwägung, die zugunsten des Ausgleichsbeckens ausfällt, erforderlich. Die Bewilligungsfähigkeit wird entsprechend als sehr kritisch erachtet. Wie bei den am Standort B+C geprüften Ausgleichsbecken ist auch für das Ausgleichsbecken am Standort A1 eine Ausnahmebewilligung für Einbauten unter den mittleren Grundwasserspiegel im Gewässerschutzbereich A_u erforderlich. Zudem muss für das Grundwasserschutzareal der Gemeinde Rhäzüns ein Ersatz gefunden werden. Der Konflikt mit der Revitalisierung der Rhäzünser Aue und des Hinterrheins am Standort A1 konnte bereits im Rahmen der Machbarkeitsstudie entschärft werden. Das Becken kann länglich so angeordnet werden, dass parallel dazu die Revitalisierung erfolgen kann. Wie bei den Ausgleichsbecken am Standort B+C entstehen auch beim Becken am Standort A1 Erlöseinbussen aufgrund zeitweise auftretenden Einstaus der Zentrale von ewz. Im Vergleich zu den anderen Becken am Standort B+C ist an diesem Standort keine landwirtschaftliche Nutzfläche betroffen.

Alternativ wurde für den Standort Rothenbrunnen auch ein unterirdisches Volumen in Form von Speicherstollen geprüft. Trotz der unterirdischen Anordnung des grössten Teils dieser Anlage, sind auch diese nicht ohne Konflikte. Die Wasserrückgabe der Speicherstollen HR/R-KAV-1/2 führen durch die Rhäzünser Auen, deren Revitalisierungen z.T. bereits in Planung sind. Dieser Konflikt ist gerade am orographisch linken Ufer unausweichlich, wird aufgrund der geringen Beeinträchtigung jedoch als lösbar betrachtet. In der vorgesehenen Ausgestaltung der Speicherstollen werden verschiedene Grund- und Quellwasserschutzszonen tangiert, welche eine Bewilligung in Frage stellen. Dieser Konflikt sollte jedoch mit einer technischen Optimierung umgangen werden können. Mit Ausnahme der Konflikte bei den Wasserrückgaben, schneiden die Speicherstollen für den Standort Rothenbrunnen unter allen geprüften Massnahmenvarianten deutlich am besten ab.

Die Ausleitungen HR/R-AKA-1/2 führen zu einer verlängerten bzw. neuen Restwasserstrecke. Diese liegt in verschiedenen Schutzgebieten mit nationaler Bedeutung. Durch den Restwasserabfluss entstehen entsprechend verschiedene bewilligungstechnisch relevante Zielkonflikte. Eine abschliessende Beurteilung dieser Zielkonflikte war auf dieser Planungsstufe nicht möglich und muss in einer allfälligen weiteren Pla-

nungsphase untersucht werden. Die Bewilligungsfähigkeit wird aufgrund der Restwasserthematik als sehr kritisch beurteilt. Unter den beiden Ausleitungen wird die Ausleitung mit Wasserrückgabe in Domat/Ems klar favorisiert, da die Ausleitung HR/S-AKA-2 diverse zusätzliche Zielkonflikte aufweist.

		Ausgleichsbecken Rothenbrunnen Standort B+C (überdeckt) V = 243'000 m ³	Ausgleichsbecken Rothenbrunnen Standort B+C (naturnah) V = 285'000 m ³	Ausgleichsbecken Rothenbrunnen Standort B+C (offen, asphaltiert) V = 249'000 m ³	Ausgleichsbecken Rothenbrunnen Standort B+C (offen, asphaltiert, klein) V = 140'000 m ³	Speicherstollen Rothenbrunnen V = 100'000 m ³	Ausleitung Rothenbrunnen - Domat/Ems V = 250'000 m ³	Ausleitung Rothenbrunnen - Isia Bella V = 200'000 m ³	Ausgleichsbecken Rothenbrunnen Standort A (Rhäzüns) V = 400'000 m ³
		HR/R-AGB-1	HR/R-AGB-2	HR/R-AGB-3	HR/R-AGB-3a	HR/R-KAV-1 HR/R-KAV-2	HR/R-AKA-1	HR/R-AKA-2	HR/R-AGB-4
Zielkonflikte Naturschutz	Auen	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red
	Landschaften	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Yellow
	Moore	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Biotope	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Green
	Wald	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow
Zielkonflikte Weitere Nutzungen	Landwirtschaft	Green	Red	Red	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
	Grund- und Quellwasser	Red	Red	Red	Yellow	Green	Red	Red	Red
	Schützenswerte Ortsbilder	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
	Historische Verkehrswege	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Yellow	Yellow
	Belastete Standorte	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green
	Tourismus	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green
	Strategische Planung Revitalisierung	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Yellow
	Strategische Planung Fischwanderung und Gewässerlebensraum	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
	Gewässerraum	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	Naturgefahren	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Bestehende Infrastruktur	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	
Energie	Produktionsverluste	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Red
	Einschränkung Flexibilität	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	Energiepolitische Ziele	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	Green	Green	n.r.
Akzeptanz, Bewilligungsfähigkeit, Erfüllung Sanierungspflicht bis 2030	Politische gesellschaftliche Akzeptanz	Yellow	Red	Red	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	Bewilligungsfähigkeit	Red	Red	Red	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Erfüllung der Sanierungspflicht bis 2030 (Zeitplan)	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Yellow

Abb. 7.2 Vergleich Bewertung Massnahmen Hinterrhein Rothenbrunnen

7.3 Fazit TP Schwall/Sunk Hinterrhein

Am Hinterrhein führt die Ausleitung des Schwalls aller Wasserrückgaben bis nach Domat/Ems (Sz. 7) deutlich zum grössten ökologischen Nutzen. Gefolgt von der Ausleitung bis zum Standort Isla Bella (Sz. 8) und der Variante mit einer Teilausleitung der Wasserrückgaben in Sils in Kombination mit einem grossen oder kleinen Ausgleichsbecken in Rhäzüns bzw. in Rothenbrunnen (Sz. 9b und Sz. 9a). Diese Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl rechnerisch nach der Bewertung der VZH wie auch nach der gutachterlichen Beurteilung des Expertenbüros. Für die vier Szenarien kann daher sowohl formal wie auch fachlich davon ausgegangen werden, dass die wesentliche Beeinträchtigung Schwall/Sunk des Hinterrheins beseitigt werden kann. Zwischen den beiden Sz. 9 erzielt Sz. 5c den vierthöchsten Nutzen. Dieses Szenario bietet insgesamt das grösste Ausgleichsvolumen, erfüllt im Hinterrhein die Ziele aber nur nach VZH und gutachterlich knapp nicht. Das grössere Ausgleichsvolumen wirkt sich dafür positiv auf den Alpenrhein aus.

Sz.	Beschreibung (Variante)	Ökologischer Nutzen
7	Ausleitkraftwerk Sils–Roth.–Domat/Ems (HR/S & R-AKA-1)	25.3 Punkte
8	Ausleitkraftwerk Sils–Roth.–Isla Bella (HR/S & R-AKA-2)	21.5 Punkte
9b	Ausleitkraftwerk Sils–Domat/Ems und AGB / KAV 400'000 m ³ für Roth. (HR/S-AKA-1 & HR/R-KAV-1 & 2 (Verdoppelung) oder Becken Rhäzüns (HR/R-AGB-4)	19.2 Punkte
5c	STAU 1'600'000 m ³ für Sils und 400'000 m ³ für Roth. (HR/S-STAU-2C & HR/R-KAV-1 & 2 (Verdoppelung) oder HR/R-AGB-4	15.5 Punkte
9a	Ausleitkraftwerk Sils–Domat/Ems und AGB 100'000 m ³ für Roth. (HR/S-AKA-1 & HR/R-AGB-3a)	15.1 Punkte
5a	AGB 1'000'000 m ³ für Sils und 400'000 m ³ für Roth. (HR/S-AGB-1-4 (ohne 1a) & HR/R-KAV-1 & 2 (Verdoppelung)	12.8 Punkte
5b	AGB 1'000'000 m ³ für Sils und 250'000 m ³ für Roth. (HR/S-AGB-1-4 (ohne 1a) & HR/R-AGB-1-3 oder HR/R-KAV-1 & 2	11.2 Punkte
10	AGB 300'000 m ³ für Sils & Ausleitkraftwerk Roth.–Domat/Ems (HR/S-AGB-1a & HR/R-AKA-1)	9.7 Punkte
6	AGB 300'000 m ³ für Sils und 100'000 m ³ für Roth. (HR/S-AGB-1a & HR/R-AGB-3a)	5.0 Punkte

Tab. 7.3 Rangliste nach ökologischem Nutzen der Szenarien (Sz.) am Hinterrhein.

Im Mittelfeld hinsichtlich des ökologischen Nutzens befinden sich die grossen Ausgleichsbecken in Kombination mit den Speicherstollen (Sz. 5a und 5b). Sie erfüllen die rechnerischen Zielvorgaben nach der Bewertung der VZH knapp. Gutachterlich wird jedoch davon ausgegangen, dass eine gewisse Beeinträchtigung Schwall/Sunk verbleibt und die ökologischen Ziele entsprechend nicht komplett erreicht werden. Den kleinsten ökologischen Nutzen haben die Teilausleitungen ab Rothenbrunnen in Kombination mit einem kleinen Ausgleichsbecken in Sils (Sz. 10) sowie das Szenario mit kleinen Ausgleichsbecken an beiden Standorten (Sz. 6, Tab. 7.3). Diese Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl rechnerisch nach der Bewertung der VZH wie auch nach der gutachterlichen Beurteilung nicht. Der ökologische Nutzen dieser Szenarien muss daher als sehr begrenzt betrachtet werden. Werden die Ziele nach VZH und gutachterlich erreicht sind die Szenarien in Abb. 7.3 grün markiert, werden

die Ziele nur von der VZH erfüllt sind sie gelb und werden die Ziele gar nicht erfüllt sind sie rot markiert.

7.4 Auswahl Massnahmenvarianten Hinterrhein

Für die Kosten/Nutzen-Analyse am Hinterrhein werden von allen betrachteten Ausgleichsbecken für die Sanierung am Standort Sils die Variante HR-AGB-1 für das grosse Volumen und HR-AGB-1a für das kleine Volumen am Standort H verwendet. Diese Varianten wurden sowohl aus technischer wie auch aus Umwelt-/Umfeldsicht als beste der betrachteten Ausgleichsbecken beurteilt. Sz. 5c hingegen berücksichtigt die zusätzlich geprüfte Stauanlage in der Albulaschlucht.

Für den Standort Rothenbrunnen werden je nach Volumen unterschiedliche Massnahmenvarianten ausgewählt. Die grossen Volumina können technisch in den zwei betrachteten Speicherstollen bereitgestellt werden oder mit dem Becken in Rhäzüns (HR/R-AGB-4). Da die links- und rechtsufrigen Speicherstollen nicht verbunden sind, werden immer beide benötigt und damit auch beide Varianten HR/R-KAV-1 (Verdoppelung) und HR/R-KAV-2 (Verdoppelung) für die Kosten/Nutzen-Analyse ausgewählt. Für die mittleren Volumina werden ebenfalls die beiden Speicherstollen ausgewählt, jedoch in einer kleineren Variante HR/R-KAV-1 und HR/R-KAV-2. Nur für die kleinen Volumina erscheint ein oberirdisches Ausgleichsbecken ausserhalb Rhäzüns am Standort B+C in Rothenbrunnen bewilligungsfähig, weshalb für dieses Szenario die Variante HR/R-AGB-3a ausgewählt wurde.

Bei den Ausleitungen werden in der Kosten/Nutzen-Analyse sowohl die Varianten mit einer Ausleitung bis Domat/Ems wie auch diejenigen mit einer Ausleitung bis Isla Bella betrachtet. Für den Standort Sils werden dabei aufgrund der Kosten die Varianten mit Wasserkraftnutzung HR/S -AKA-1/2 (mit WK) und für den Standort Rothenbrunnen die günstigere Variante ohne Wasserkraftnutzung HR/R -AKA-1/2 (ohne WK) ausgewählt. In Tab. 6.3 ist die getroffene Auswahl für die Kosten/Nutzen-Analyse zusammengefasst.

Beschreibung	Ökologischer Nutzen Verwendetes Szenario	Kosten Verwendete Variante
AGB 1'000'000 m ³ Sils und 400'000 m ³ Rothenbrunnen	Szenario 5a	HR/S-AGB-1 und HR/R-KAV-1+2 (Verdoppelung) oder HR/R-AGB-4
AGB 1'000'000 m ³ Sils und 250'000 m ³ Rothenbrunnen	Szenario 5b	HR/S-AGB-1 und HR/R-KAV-1+2
STAU 1'600'000 m ³ Sils und 400'000 m ³ Rothenbrunnen	Szenario 5c	HR/S-STAU-2C und HR/R-KAV-1+2 (Verdoppelung) oder HR/R-AGB-4
AGB 300'000 m ³ Sils und 100'000 m ³ Rothenbrunnen	Szenario 6	HR/S-AGB-1a und HR/R-AGB-3a
Ausleitung Sils–Rothenbrunnen–Domat/Ems	Szenario 7	HR/S-AKA-1+HR/R-AKA-1
Ausleitung Sils–Rothenbrunnen–Isla Bella	Szenario 8	HR/S-AKA-2+HR/R-AKA-2
Ausleitung Sils–Domat/Ems und AGB 100'000 m ³	Szenario 9	HR/S-AKA-1+ HR/R-AGB-3a

Rothenbrunnen

Ausleitung Sils-Domat/Ems und AGB 400'000 m ³ Rothenbrunnen	Szenario 9b	HR/S-AKA-1+ HR/R-AGB-4 oder HR/R-KAV-1+2 (Verdopplung)
AGB 300'000 m ³ Sils und Ausleitung Rothenbrunnen-Domat/Ems	Szenario 10	HR/S-AGB-1a und HR/R-AKA-1

Tab. 7.4 Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Hinterrhein.

7.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Hinterrhein

Tab. 7.5 zeigt den ökologischen Nutzen, die Kosten und das Kosten/Nutzen-Verhältnis für die geprüften Szenarien am Hinterrhein. In Abb. 7.3 werden die entsprechenden Ergebnisse graphisch einander gegenübergestellt.

Am Hinterrhein ergibt die Kosten/Nutzen-Analyse kein eindeutiges Ergebnis. Für die geprüften Szenarien stehen Kosten und Nutzen fast in einem linearen Verhältnis. Je höher die Kosten einer Massnahme ausfallen, umso grösser ist auch der ökologische Nutzen. Entsprechend haben viele der betrachteten Szenarien in etwa das gleiche Kosten/Nutzen-Verhältnis. Einzig die Szenarien, welche für den Standort Sils die Stauanlage Albula und/oder für den Raum Rothenbrunnen das Ausgleichsbecken Rhäzüns berücksichtigen, zeigen ein deutlich besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis, sind jedoch bewilligungstechnisch als schwierig einzuordnen.

Szenario	Variante		Ökologischer Nutzen	Gesamtkosten ([MCHF], exkl. MWST)			Kosten/Nutzen - Verhältnis
	Sils	Roth.		Sils	Roth.	Gesamt	
5a - Kaverne	HR/S-AGB-1	HR/R-KAV-1 (Verdoppelung) + HR/R-KAV-2 (Verdoppelung)	12.8	224	292	516	40.3
5a - Becken	HR/S-AGB-1	HR/R-AGB-4	12.8	224	81	305	23.8
5b	HR/S-AGB-1	HR/R-KAV-1 + HR/R-KAV-2	11.2	224	172	396	35.4
5c - Kaverne	HR/S-STAU-2C	HR/R-KAV-1 (Verdoppelung) + HR/R-KAV-2 (Verdoppelung)	15.5	218	292	510	32.9
5c - Becken	HR/S-STAU-2C	HR/R-AGB-4	15.5	218	81	299	19.3
6	HR/S-AGB-1a	HR/R-AGB-3a	5.0	161	109	270	54.0
7	HR/S-AKA-1 mit WK	HR/R-AKA-1 ohne WK	25.3	569	444	1'013	40.0
8	HR/S-AKA-2 mit WK	HR/R-AKA-2 ohne WK	21.6	533	338	871	40.3
9a	HR/S-AKA-1 mit WK	HR/R-AGB-3a	15.1	569	109	678	44.9
Sz. 9b - Kaverne	HR/S-AKA-1 mit WK	HR/R-KAV-1 (Verdoppelung) + HR/R-KAV-2 (Verdoppelung)	19.2	569	292	861	44.8
Sz. 9b - Becken	HR/S-AKA-1 mit WK	HR/R-AGB-4	19.2	569	81	650	33.9
10	HR/S-AGB-1a	HR/R-AKA-1 ohne WK	9.7	161	444	605	62.4

Tab. 7.5 Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmenauswahl am Hinterrhein.

Am Hinterrhein wird entsprechend die Beurteilung der Verhältnismässigkeit für die Wahl der Massnahmen sehr entscheidend sein.

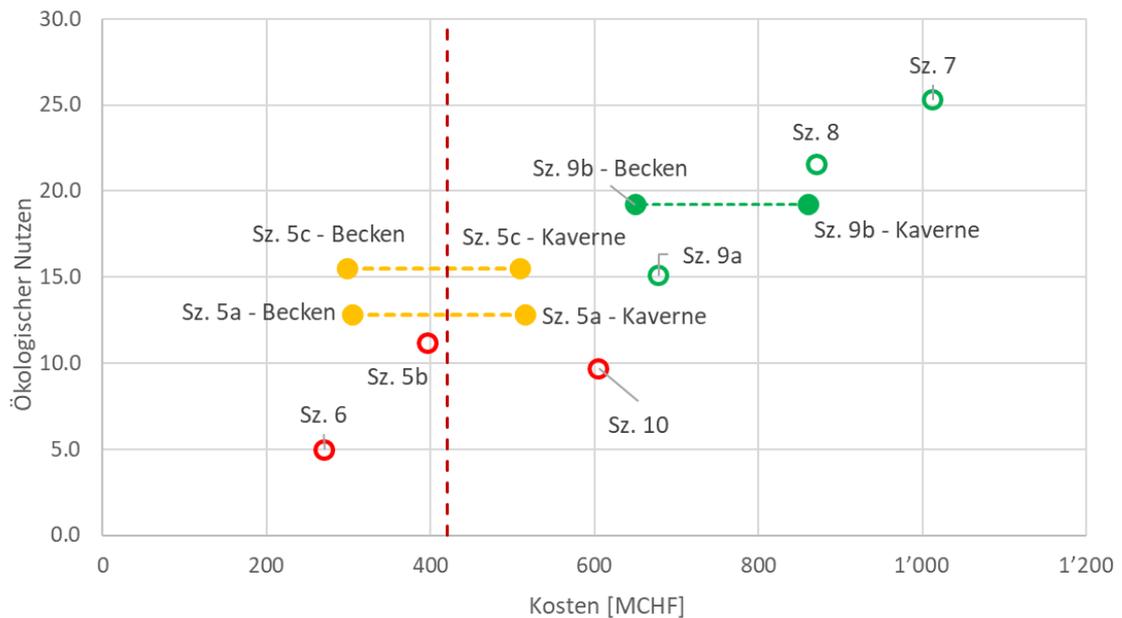


Abb. 7.3 Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmenauswahl am Hinterrhein. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.

Den in Kapitel 5.5 hergeleiteten Richtwert der Verhältnismässigkeit des Aufwandes können nur die Szenarien 5a-Becken mit 4.2 MCHF/km, 5b mit 5.7 MCHF/km, 5c-Becken mit 4.1 MCHF/km und 6 mit 3.9 MCHF/km einhalten. Gerade Szenario 6 weist jedoch einen begrenzten ökologischen Nutzen auf, was die Verhältnismässigkeit dieses Szenarios in Frage stellt. Die Szenarien 5a-Kaverne und 5c-Kaverne liegen mit einer Überschreitung des Richtwerts um ca. 10% nur knapp oberhalb. Alle Szenarien mit einer Ausleitung oder Teilausleitung liegen deutlich oberhalb des in Kapitel 5.5 definierten Richtwerts und sind als nicht verhältnismässig zu beurteilen.

Auch hier soll noch erwähnt werden, dass bei den Szenarien mit Ausleitungen bei Annahme sehr optimistischer Randbedingungen mit Investitionsbeiträgen von 50% sowie dem höchsten betrachteten Strompreisszenario (110 CHF/MWh) die Kosten zumindest für die Ausleitungen ab Sils deutlich reduziert werden können und diese Varianten dadurch konkurrenzfähig werden.

7.6 Interessenabwägung Hinterrhein

7.6.1 Landschaften und Schützenswerte Ortsbilder

Ausgleichsbecken Sils

Das Ausgleichsbecken am Standort M im Raum Sils (HR/S-AGB-3) befindet sich direkt vor der Stadt Fürstenu, deren Ortsbild von nationaler Bedeutung ist. Das Becken liegt im Ortsbildteil 5, für welchen das Erhaltungsziel A definiert ist. Dieses besagt, dass die Beschaffenheit des Ortsbildteiles 5 resp. das Kulturland oder die Freifläche erhalten werden soll.

Der Bau eines Ausgleichsbeckens am Standort M widerspricht dem Erhaltungsziel des betroffenen Ortsbildteiles. Da sich das Becken direkt vor dem Siedlungsgebiet von

Fürstenau befindet und das Ausgleichsbecken gross ist, wird die Beeinträchtigung des Ortsbildteiles 5 und der angrenzenden Ortsbildteile als schwerwiegend eingeschätzt.

Das Becken am Standort M grenzt weiter an ein regionales Landschaftsschutzgebiet. Ansonsten besteht kein direkter Konflikt mit Landschaftsschutzgebieten. Der Standort wird jedoch hinsichtlich der landschaftlichen Gesamtwirkung, aufgrund der Lage im Ortsbild von nationaler Bedeutung der Stadt Fürstenau und der guten Sichtbarkeit des Beckens negativ beurteilt. Es wird davon ausgegangen, dass allein mit der Gestaltung und Einbettung des Beckens in die Umgebung der Konflikt nicht behoben werden kann.

Da im Raum Sils verschiedene geeignete, von diesen Konflikten nicht betroffene Alternativen bestehen, überwiegt für den Standort M (HR/S-AGB-3) das Interesse des Ortsbildschutzes und des allgemeinen Landschaftsbilds. Das Becken am Standort M (HR/S-AGB-3) wird unter diesem Aspekt als nicht bewilligungsfähig betrachtet.

Ausgleichsbecken Rothenbrunnen

Das Ausgleichsbecken am Standort B+C in Rothenbrunnen tangiert das Landschaftsschutzgebiet «BLN 1906 Trockengebiet im vorderen Domleschg» von nationaler Bedeutung bei der Zentrale des ewz. Es befindet sich am äusseren, westlichen Rand des Landschaftsschutzgebietes und betrifft je nach betrachteter Variante eine Fläche von ca. 5'700 m² bis 7'300 m² dieses 3'304'200 m² grossen BLN-Gebiets. Die Beeinträchtigung dieses Landschaftsschutzgebietes wird als geringfügig und damit das Interesse an der Schwall/Sunk-Sanierung als wichtiger eingeschätzt.

Die landschaftliche Gesamtwirkung der geprüften Becken am Standort B+C wird aufgrund der Lage direkt angrenzend an das Dorf Rothenbrunnen als sehr kritisch beurteilt. Einzig für die kleinste der geprüften Varianten (HR/R-AGB-3a), welche nur die nördliche Fläche vor der Zentrale des ewz betrifft und vom Dorf Rothenbrunnen nicht direkt einsehbar ist, kann der Interessenkonflikt Landschaft zugunsten der Schwall/Sunk-Sanierung ausgelegt werden. Die zwei offenen Varianten (HR/R-AGB-2, 3) werden aus Sicht Landschaft als kaum bewilligungsfähig beurteilt. Einzig eine überdeckte Lösung (HR/R-AGB-1) wäre allenfalls denkbar, wird aus bewilligungstechnischer Sicht jedoch auch als kritisch beurteilt.

Ausleitungen

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitungen mit oder ohne Wasserkraft (HR/S-AKA-1/2 und HR/R-AKA-1/2 jeweils mit oder ohne WK) liegt das nationale Landschaftsschutzgebiet Auenlandschaft am Unterlauf des Hinterrheins. Der Grad der Beeinträchtigung ist bei den Landschaften stark abhängig von den Restwassermengen bzw. von der Art und Weise wie eine solche Ausleitung in Zukunft betrieben werden soll. Grundsätzlich ist auch denkbar, dass in den Sommermonaten nicht die gesamte Wassermenge ausgeleitet wird, um das Landschaftsbild aufzuwerten.

Der Aspekt Landschaft wird in der Festlegung der Restwassermengen nach Art. 31 ff. GSchG berücksichtigt, jedoch nicht im Pflichtteil von Art. 31 GSchG «Mindestrestwassermengen», sondern unter Art. 33 GSchG «Erhöhung der Mindestrestwassermengen». Entsprechend kann eine Abwägung der Interessen für (z.B. Schwall/Sunk-Sanierung, Energieproduktion) und gegen (Landschaftsschutz) die Ausleitung erfolgen, was den Ermessensspielraum der Behörden etwas erhöht. Da eine Schwall-Ausleitung ohne direkte Wasserentnahme im Gewässer nur bei Betrieb des/r Oberlieger(s)

Wasser für die Erhöhung der Restwassermengen zur Verfügung hat, stellt die Erfüllung der Restwassermengen jedoch eine grosse Herausforderung dar und geht auch immer mit gewissen Abflussschwankungen einher. Am Hinterrhein wird für den Aspekt Landschaft eine Lösung hinsichtlich Restwasser als sehr schwierig erachtet.

7.6.2 Landwirtschaft

Ausgleichsbecken Sils

Für eine Sanierung Schwall/Sunk der zwei Wasserrückgaben in Sils wurden verschiedene Ausgleichsbecken, an drei Standorten und für unterschiedliche Volumina geprüft. Aufgrund der Grösse der geprüften Becken und der beanspruchten Fruchtfolgefläche besteht für alle Varianten ein kritischer Interessenkonflikt mit der Landwirtschaft.

Der Standort M (HR/S-AGB-3) wird bereits aufgrund anderweitiger Interessenkonflikte als nicht bewilligungsfähig beurteilt, weshalb der Standort M nachfolgend nicht weiter betrachtet wird. So verbleiben der Standort H, bei welchem für das grosse Becken (HR/S-AGB-1) eine Fruchtfolgefläche von knapp 9.9 ha, und für die kleine Variante (HR/S-AGB-1a) von 5 ha beansprucht wird. Als zweiter verbleibt noch der Standort F/G (HR/S-AGB-4), welcher für das betrachtete Volumen eine Fruchtfolgefläche von 10.5 ha benötigt. Das Becken am Standort F/G beansprucht für ein etwas kleineres Volumen (-100'000 m³) eine etwas grössere Fruchtfolgefläche als das Becken am Standort H. Von den geprüften Ausgleichsbecken ist daher auch aus Sicht Landwirtschaft das Becken am Standort H das effizientere und daher das besser geeignete.

Eine Reduktion des Interessenkonflikts mit der Landwirtschaft kann durch die deutlich kleinere Variante HR/S-AGB-1a erreicht werden. Der ökologische Bedarf für die Schwall/Sunk-Sanierung am Hinterrhein zeigt jedoch klar auf, dass das Becken so gross wie möglich gewählt werden sollte. Grundsätzlich liegt der ökologische Bedarf für die komplette Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung Schwall/Sunk am Hinterrhein sogar noch höher als beim geprüften Volumen für die Wasserrückgaben in Sils von ca. 1 Mio. m³. Aufgrund der hohen Kosten für die Zuleitung zum Becken, hat die grosse Beckenvariante zudem das deutlich bessere Kosten/Nutzen-Verhältnis. Die Variante HR/S-AGB-1 gehört zu den kosteneffizientesten Massnahmen des Variantenstudiums. Sie ist aus Sicht Schwall/Sunk daher gegenüber der Variante HR/S-AGB-1a klar zu bevorzugen.

Stauanlage Albula

Für die Wasserrückgaben in Sils wurde nachträglich eine Stauanlage in der Albula (HR/S-STAU-2C) geprüft. Mit der Stauanlage wird ein Puffervolumen im Gewässer geschaffen. Durch diese Massnahme sind keine landwirtschaftlichen Flächen betroffen und es besteht kein Konflikt mit der Landwirtschaft. Auch die geprüfte Stauanlage weist jedoch eine Vielzahl an kritischen Interessenkonflikten auf und die Bewilligungsfähigkeit muss in einer nächsten Planungsphase erst aufgezeigt werden (vgl. Kapitel 7.6.9). Aus heutiger Sicht erscheint die Bewilligungsfähigkeit der Stauanlage in der Albula sehr schwierig und die Stauanlage ist nur bedingt eine Alternative für ein Becken am Standort H.

Ausgleichsbecken Rothenbrunnen

Es ist offensichtlich, dass die geprüften Ausgleichsbecken im Raum Rothenbrunnen in einem grossen Interessenkonflikt mit der Landwirtschaft stehen. Die offenen Beckenvarianten (HR/R-AGB-2, 3) haben einen Flächenbedarf an Fruchtfolgeflächen von bis zu 11.4 ha und weiteren ca. 2 ha ebenfalls landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Von den geprüften Becken hat einzig die überdeckte Variante (HR/R-AGB-1) keinen Konflikt mit der Landwirtschaft, da die Überdeckung so ausgelegt wird, dass diese Fläche wiederum als Fruchtfolgefläche bewirtschaftet werden kann. Auch für das kleine Becken am Standort B+C (HR/R-AGB-3a) kann der Konflikt mit der Landwirtschaft stark reduziert werden, so dass noch 1.4 ha Fruchtfolgeflächen und 1.7 ha ebenfalls landwirtschaftlich genutzten Flächen betroffen sind.

Der Standort B+C ist aufgrund des hohen Grundwasserspiegels und der knappen Höhenverhältnisse für den Bau von Ausgleichsbecken sehr schwierig, was sich im grossen Flächenbedarf pro m³ gespeichertem Wasser zeigt. So wird für das Ausgleichsbecken am Standort B+C in Rothenbrunnen mit nur einem Viertel des Volumens des grossen Ausgleichsbeckens im Raum Sils am Standort H in etwa die gleiche Fläche benötigt. Die Becken am Standort B+C in Rothenbrunnen müssen daher als sehr ineffizient bezeichnet werden. So weisen sie auch von allen betrachteten Beckenvarianten das schlechteste Kosten/Nutzen-Verhältnis auf. Das ökologisch für die Schwall/Sunk-Sanierung am Standort Rothenbrunnen grundsätzlich notwendige Volumen von 400'000 m³ ist am Standort B+C mit einem oberirdischen Becken technisch gar nicht machbar.

Ausgleichsbecken Rhäzüns

Als Alternative für die Becken am Standort B+C in Rothenbrunnen wurde nachträglich noch die Variante mit einem Becken am Standort A1 in Rhäzüns geprüft. An diesem Standort ist aufgrund der besseren Randbedingungen ein grosses Becken zu deutlich tieferen Kosten technisch machbar. Der Standort A1 in Rhäzüns betrifft keine landwirtschaftlichen Flächen und es besteht kein Konflikt mit der Landwirtschaft. Der Standort liegt jedoch mitten in einem Auengebiet von nationaler Bedeutung, was die Bewilligungsfähigkeit stark in Frage stellt (vgl. Kapitel 7.6.4).

Ausleitungen

Als unterirdische Alternative zu einem Ausgleichsbecken wurden für die Wasserrückgaben in Sils und Rothenbrunnen Ausleitungen von Sils bzw. Rothenbrunnen nach Domat/Ems (HR/S-AKA 1 und HR/R-AKA 1) und Sils bzw. Rothenbrunnen nach Isabella geprüft (HR/S-AKA 2 und HR/R-AKA 2). Auch die geprüften Ausleitungen weisen eine Vielzahl an kritischen Interessenkonflikten auf und die Bewilligungsfähigkeit muss in einer nächsten Planungsphase erst aufgezeigt werden. Aus heutiger Sicht erscheint die Bewilligungsfähigkeit der Ausleitungen sehr schwierig. Die Kosten dieser Massnahmen liegen zudem um Faktoren höher als bei den Ausgleichsbecken. Werden für die Ausleitung HR/S-AKA-1/2, aufgrund des Zusatznutzens der Energieproduktion, nicht im grossen Mass anderweitige Mittel (Förderbeiträge) zur Verfügung gestellt, sind sie hinsichtlich Sanierung Schwall/Sunk nicht verhältnismässig.

Speicherstollen

Für den Standort Sils wurde die Prüfung einer Kaverne oder eines Speicherstollens von Seiten der Behörden bereits in der Vorauswahl der Massnahmen als sicher nicht verhältnismässige Massnahme ausgeschlossen und kommt daher nicht mehr in Frage. Im Raum Rothenbrunnen wurden, aufgrund der schwierigen Ausgangslage, jedoch Speicherstollen als Alternativen zu den Ausgleichsbecken geprüft (HR/R-KAV-

1, 2). Anders als an anderen Standorten sind die spezifischen Kosten der Speicherstollen, je nach betrachteter Variante und Volumen nicht viel grösser als bei den Becken am Standort B+C (kleiner Faktor 2), weshalb Speicherstollen für diesen speziellen Standort als Alternative zu den Ausgleichsbecken dienen können.

Fruchtfolgeflächen sind die wertvollsten Landwirtschaftsflächen der Schweiz, welche durch den Sachplan Fruchtfolgeflächen geschützt werden. Damit soll der schweizweite Mindestumfang an Fruchtfolgeflächen von heute 438'460 Hektaren bewahrt werden. Nach Art. 30 Abs. 1^{bis} RPV dürfen Fruchtfolgeflächen nur eingezont werden, wenn:

- ein auch aus Sicht des Kantons wichtiges Ziel ohne die Beanspruchung von Fruchtfolgeflächen nicht sinnvoll erreicht werden kann;
- und sichergestellt wird, dass die beanspruchten Flächen nach dem Stand der Erkenntnisse optimal genutzt werden.

Wie das vorliegende Variantenstudium aufzeigt, sind aus heutiger Sicht für den Raum Sils kaum Alternativen zu einem Ausgleichsbecken am Standort H (HR/S-AGB-1) vorhanden. Einzig die Stauanlage in der Albula kann unter Umständen als Alternative betrachtet werden. Hier gilt es in einer nächsten Planungsphase die bewilligungsfähig dieser Massnahmen aufzuzeigen. Solange diese nicht bestätigt ist, muss das Becken am Standort H (HR/S-AGB-1) bevorzugt werden.

Die Schwall/Sunk-Sanierung am Hinterrhein wird als wichtiges Ziel von nationaler Bedeutung beurteilt. Das Becken am beanspruchten Standort H hat eines der besten Kosten/Nutzen-Verhältnisse aller geprüften Massnahmen, weshalb von einer optimalen Nutzung dieser Fläche für die Dämpfung von Schwall/Sunk gesprochen werden kann. Der Interessenkonflikt zwischen dem Verlust an Landwirtschaftsfläche bzw. Fruchtfolgeflächen und der Schwall/Sunk-Sanierung lässt sich nicht vermeiden, ausser die Stauanlage in der Albula würde sich als bewilligungsfähig erweisen.

Aus heutiger Sicht wird das Interesse der Schwall/Sunk-Sanierung, aufgrund der schweizweiten Bedeutung und der über eine sehr weite Strecke wirkenden Verbesserung des Lebensraums der aquatischen Flora und Fauna, insbesondere des Lebensraums der stark gefährdeten Seeforelle und der Vielzahl an Auenlebensräumen, höher gewichtet. Der Verlust an Fruchtfolgeflächen ist lokal begrenzt und muss adäquat ersetzt werden. Ein Ersatz für die ökologische Wirkung der Schwall/Sunk-Sanierung ist kaum möglich. In der weiteren Planungsphase kann der Bedarf an Fläche allenfalls optimiert werden, in dem ein Optimum zwischen dem absolut notwendigen ökologischen Nutzen der Schwall/Sunk-Sanierung und der beanspruchten Fruchtfolgefläche gesucht wird.

Für den Standort B+C in Rothenbrunnen bestehen mit den Speicherstollen sinnvolle Alternativen und die beanspruchten Flächen werden ineffizient und daher nicht optimal genutzt. Die Interessen der Landwirtschaft überwiegen gegenüber den nicht überdeckten Varianten (HR/R-AGB-2, 3). Bei einem kleinen oder einem überdeckten Becken wäre eine Abwägung der Interessen zugunsten der Schwall/Sunk-Sanierung grundsätzlich möglich.

7.6.3 Grund- und Quellwasser

Ausgleichsbecken Sils

Im Raum Sils wurden vier verschiedene Ausgleichsbecken und eine Vielzahl an unterschiedlichen Zuleitungsvarianten zu diesen Becken geprüft. Der ganze Domleschger

Talboden liegt im Gewässerschutzbereich A_u. Im Rahmen der technischen Machbarkeit wurden Einbauten unter den mittleren Grundwasserspiegel zwar möglichst vermieden, was bei den Becken auch grossmehrheitlich gelungen ist. Bei allen konkretisierten Zuleitungen sind auf grösseren oder kleineren Abschnitten Einbauten unter dem mittleren Grundwasserspiegel aber nicht zu vermeiden. Die Zuleitungsvarianten HR/S-AGB-1b und HR/S-AGB-2b tangieren im Norden der Zentral des ewz zudem eine Schutzzone S2 des Trinkwasserpumpwerks der Gemeinde Sils und das untersuchte Becken am Standort M (HR/S-AGB-3) liegt mitten in einem Grundwasserschutzareal, was im Rahmen des Teilprojekts Technik als lösbare Konflikte angenommen wurde.

Aufgrund der vorhandenen Alternativen sind die Varianten der Zuleitungen, welche die Schutzzone S2 tangieren (HR/S-AGB-1b und HR/S-AGB-2b), aber auszuschliessen. Weiter kann auch der Beckenstandort M (HR/S-AGB-3) aufgrund des grossen Konflikts mit dem Grundwasserschutzareal und der hinsichtlich Grundwasser besseren Varianten als nicht bewilligungsfähig ausgeschlossen werden.

Bei den verbleibenden Varianten (HR/S-AGB 1, 1a, 2, 4) erfolgt eine weitere Eingrenzung aufgrund der Einbauten unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels. Für diese Bauwerke ist für die Umsetzung eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG erforderlich. Unter anderem gilt es daher nachzuweisen, dass die Durchflusskapazität gegenüber dem unbeeinflussten Zustand durch den geplanten Einbau unter dem mittleren Grundwasserspiegel um maximal 10% abnimmt.

Eine Grobabschätzung im Rahmen des Teilprojekts Technik kommt zum Schluss, dass alle Zuleitungsvarianten in diesem Punkt kritisch sind und allenfalls Ersatzmassnahmen zur Erfüllung der Nachweise erforderlich werden. Es zeigt sich jedoch auch, dass die Variante 2 der Zuleitung entlang der Albula (HR/S-AGB-2/3) deutlich kritischer einzuschätzen ist. Der Grundwasserleiter unterhalb der Albula ist aufgrund des Taleinschnittes sehr eng, was die Einhaltung der 10%-Regel stark erschwert. Aufgrund der alternativen Zuleitungsvariante 1 werden daher auch diese Massnahmenvarianten (HR/S-AGB-2/3) ausgeschlossen.

Da das Becken am Standort F/G (HR/S-AGB-4) eine deutlich längere Zuleitung hat, und entsprechend mehr Einbauten unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels benötigt, wird aus Sicht Grundwasser schlussendlich ein Becken am Standort H mit den Zuleitungsvariante 1 (HR/S-AGB-1, 1a) klar als Bestvariante beurteilt. In einer nächsten Planungsphase sind die hydrgeologischen Auswirkungen jedoch im Detail zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen.

Stauanlage Albula

Die vorgesehene Zuleitung von den beiden Zentralen von KHR und ewz zum Staubecken HR/S-STAU-2C führt durch den Grundwasserschutzbereich A_u und gemäss Planungsstand auf einer kurzen Strecke auch durch die provisorische Schutzzone S₃ des Pumpwerkes der Gemeinde Sils. In einer nächsten Planungsphase ist zu prüfen, ob die Zuleitung ausserhalb dieser Schutzzone gebaut werden kann.

Die Einbautiefen der verschiedenen Bauwerke sind noch nicht bekannt. Deshalb kann aufgrund des aktuellen Planungsstandes noch nicht ausgeschlossen werden, dass für die Zuleitung und die Dotierzentrale, eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG erforderlich wird.

In der jetzigen Planungsstufe liegen auch noch keine detaillierten hydrogeologischen Abklärungen vor. Es wird davon ausgegangen, dass die temporäre Erhöhung des Pegels in der Albula durch den stark schwankenden Staupegel der Stauanlage, zu einem zumindest bei Vollstau des Beckens erhöhten Grundwasserspiegel im Nahbereich des Staubeckens führt. Aufgrund der grossen Distanz und des Höhenunterschieds wird nicht mit Auswirkungen auf die umliegenden Grundwasserfassungen gerechnet.

Eine abschliessende Beurteilung des Zielkonflikts Grundwasser ist in der jetzigen Planungsstufe jedoch nicht möglich. In der vorliegenden Abschätzung wird davon ausgegangen, dass der Zielkonflikt Grundwasser mit geeigneten technischen Massnahmen zugunsten einer Schwall/Sunk-Sanierung gelöst werden kann.

Ausgleichsbecken Rothenbrunnen

Auch im Bereich Rothenbrunnen wurden verschiedene mögliche Beckenvarianten geprüft. Dabei befinden sich alle Becken am gleichen Standort B+C und auch die Zuleitungen erfolgen mehr oder weniger gleich. Es wurden aber die Bauart des Beckens sowie die Beckengrösse variiert.

Die Grundwassersituation im Raum Rothenbrunnen ist, aufgrund des sehr hohen mittleren Grundwasserspiegels und der vorgegebenen Höhenkoten der Wasserrückgaben, sehr schwierig. Keine der geprüften Ausgleichsbecken kann dadurch das grundsätzlich aus ökologischer Sicht geforderte Volumen von 400'000 m³ erfüllen. Die Becken könnten nur durch Einbauten unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels vergrössert werden. Im Rahmen der Projektierung wurden diese Varianten jedoch als klar nicht bewilligungsfähig verworfen und die geplanten Ausgleichsbecken mussten redimensioniert werden.

In dem Sinne hat bereits in diesem Variantenstudium eine starke Optimierung hinsichtlich des Interesses des Grundwasserschutzes stattgefunden. Es verbleiben jedoch weiterhin verschiedene Anlagenteile unterhalb des mittleren Grundwasserspiegels, weshalb in einer weiteren Planungsphase die hydrogeologischen Auswirkungen zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine allfällige Ausnahmebewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen sind.

Von den betrachteten Beckenarten ist sicherlich die Variante naturnah (HR/R-AGB-2) aus Sicht des Grundwasserschutzes am kritischsten einzuschätzen. Diese Beckenvariante wird nicht dicht ausgeführt und steht daher im Austausch mit dem darunterliegenden Grundwasser. Einzig seitlich erfolgt eine Abdichtung um ein «Auslaufen» des Grundwasserleiters je nach Beckenstand zu verhindern. Diese Variante wird daher als bewilligungstechnisch kritisch betrachtet. Die überdeckte Variante (HR/R-AGB-2) und die konventionellen Beckenvarianten (HR/R-AGB-3, 3a) werden aus Sicht Grundwasser gleich eingeschätzt.

Ausgleichsbecken Rhäzüns

Nebst den Standorten in Rothenbrunnen wurde auch am Standort A1 in Rhäzüns ein Ausgleichsbecken zur Sanierung der Wasserrückgaben der KWZ und ewz im Raum Rothenbrunnen geprüft. Je nach Anordnung des Beckens an diesem Standort wird das vorhandene Grundwasserschutzareal stark oder am Rande tangiert.

Im Schutzareal ist das Erstellen von Anlagen unzulässig. Ausnahmen sind möglich, wenn wichtige Gründe vorliegen und eine Gefährdung der Trinkwassernutzung ausgeschlossen werden kann. Für das Schutzareal ist ein Ersatz zu finden. Im Rahmen der weiteren Planungsphase ist zunächst zu prüfen, ob in der Gemeinde Rhäzüns Ersatz für ein Schutzareal gefunden werden kann. Falls kein Ersatz gefunden werden kann, dürfte der Standort A1 für ein Ausgleichsbecken kaum bewilligungsfähig sein.

Weiter ist die Unterquerung des Hinterrheins durch die Zuleitung des ewz zum Becken kritisch zu beurteilen. Diese Zuleitung liegt unter dem mittleren Grundwasserspiegel und erfordert entsprechend eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG. Damit die Behörden die Ausnahmegewilligungen erteilen können, muss nachgewiesen werden, dass die Durchflusskapazität gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um maximal 10% abnimmt. Da die Unterquerung des Hinterrheins an einem starken Taleinschnitt liegt und der Grundwasserleiter entsprechend eng sein dürfte, dürfte auch dieser Nachweis schwierig zu erbringen sein.

Eine abschliessende Beurteilung ist in der aktuellen Planungsphase nicht möglich. In der nächsten Planungsphase sind die hydrogeologischen Auswirkungen im Detail zu überprüfen, die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen und der Umgang mit dem Grundwasserschutzareal zu klären.

Speicherstollen Rothenbrunnen

Die Ober- und Unterwasserkanäle wie auch die Rückgabebauwerke der beiden für den Raum Rothenbrunnen geprüften Speicherstollen liegen im Gewässerschutzbereich A_u . Zudem befindet sich der Speicherstollen HR/R-KAV-1 am orographisch linken Ufer des Hinterrheins in den Schutzzonen S2 und S3 der Quelfassung der Rhäzünser Mineralquellen und der Unterwasserkanal führt zwischen der Schutzzone S2 und dem weiter nördlichen liegenden Schutzareal hindurch. Auch das Rückgabebauwerk und der Unterwasserkanal des Speicherstollens HR/R-KAV-2 am rechten Ufer liegt in den Schutzzonen S2 und S3 des nördlich liegenden Grundwasserpumpwerks der Gemeinde Rothenbrunnen. Es ist weiter davon auszugehen, dass die Oberwasser- und Unterwasserkanäle teilweise unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen, weshalb Ausnahmegewilligungen nach Art. 19 Abs. 2 GSchG notwendig werden.

In der jetzigen Ausführung wird der Konflikt der zwei Speicherstollen im Raum Rothenbrunnen mit den Interessen des Grund- und Quellwasserschutzes als sehr gross angesehen. Die Beeinträchtigung der betroffenen Schutzzonen ist in einer weiteren Planungsphase anhand von technischen Optimierungen nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. mindestens stark zu reduzieren. Weiter gilt es in einer nächsten Planungsphase die hydrogeologischen Auswirkungen zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine allfällige Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen.

Ausleitungen

Die gesamte Restwasserstrecke der Ausleitungen führt durch den Gewässerschutzbereich A_0 und teilweise auch durch A_u . Entlang der Restwasserstrecke befinden sich zudem Trinkwasserfassungen (Vertikalbrunnen) mit rechtskräftig ausgeschiedenen Schutzzonen und je ein rechtskräftiges Schutzareal. Es ist weiter davon auszugehen, dass verschiedene Anlagenteile unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen und voraussichtlich Ausnahmegewilligungen nach Art. 19 Abs. 2 GSchG notwendig sind.

Auf der aktuellen Planungsstufe konnten keine Detailabklärungen im Bereich Grundwasser gemacht werden. Entsprechend ist eine abschliessende Beurteilung dieses Interessenkonflikts nicht möglich. In einer nächsten Planungsphase sind daher die hydrgeologischen Auswirkungen infolge der reduzierten Wasserführung im Hinterrhein zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen.

7.6.4 Auen

Ausgleichsbecken Rhäzüns

Das zusätzlich geprüfte Becken Rhäzüns liegt komplett im heutigen Perimeter der Rhäzünser Auen von nationaler Bedeutung. Es besteht somit ein sehr grosser Zielkonflikt mit dem Auenschutz.

Es gilt jedoch zu erwähnen, dass der betroffene Abschnitt der Aue im heutigen Zustand keine besonders natürlichen Eigenschaften und Funktionen aufweist. Der Hinterrhein ist in diesem Bereich mit einem Hochwasserschutzdamm begradigt. Das hinter dem Damm liegende Land ist mit einem «normalen», nicht autotypischen Wald bestockt und ist aus rein ökologischer Sicht nicht als Aue zu bezeichnen.

Daher bestehen seitens Kanton und Gemeinde auch Bestrebungen diesen Abschnitt der Aue zu revitalisieren (vgl. Kapitel 7.6.8). Im vorliegenden Variantenstudium wurde aufgezeigt, dass mit einer geschickten Anordnung des Beckens der Perimeter der geplanten Revitalisierung nicht tangiert werden muss. Durch eine Kombination von Revitalisierung und Ausgleichsbecken, könnte der betroffene Bereich stark aufgewertet und die Aue grösstenteils wiederhergestellt werden. Zusätzlich profitieren alle weiter flussabwärtsliegenden Auenlebensräume von der stark dämpfenden Wirkung eines Ausgleichsbeckens und können hinsichtlich der Schwall/Sunk Beeinträchtigung der Zentralen in Rothenbrunnen saniert werden.

Es ist klar, dass der Bau eines Ausgleichsbeckens in einem nationalen Aueninventar bewilligungstechnisch schwierig ist. Durch die Kombination von Ausgleichsbecken und Revitalisierung würde der Auenlebensraum jedoch doppelt profitieren und stark aufgewertet werden, weshalb die Bewilligungsfähigkeit dieser Massnahmen detaillierter abgeklärt werden soll.

Ausleitungen

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung mit oder ohne Wasserkraft (HR/S-AKA-1/2 und HR/R-AKA-1/2 jeweils mit oder ohne WK) liegen die zwei Auen von nationaler Bedeutung:

- Aue Cumparduns, Nr. 28 (nur Ausleitungen ab Sils)
- Rhäzünser Rheinauen, Nr. 27 (alle Ausleitungen)

Aus Sicht des Auenschutzes ist eine möglichst naturnahe Wasserführung, sowohl hinsichtlich Wassermenge wie auch Abflussregime anzustreben, was ganz grundsätzlich dem Vorhaben einer Ausleitung entgegensteht. Es gilt jedoch zu erwähnen, dass auch das heutige, durch Schwall/Sunk beeinflusste Abflussregime, eine Beeinträchtigung der Auenlebensräume darstellt und entsprechend eine Abwägung zwischen den negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk und Restwasser erfolgen muss. Der Grad der Beeinträchtigung ist stark abhängig von den Restwassermengen. Diese Frage konnte in der vorliegenden Planungsphase nicht abschliessend beurteilt werden. Die im vorliegenden Variantenstudium betrachtete Variante mit der Ausleitung des gesamten Schwalls aller Wasserrückgaben, wird hinsichtlich Restwasser jedoch als kaum bewilligungsfähig eingeschätzt.

Die Festlegung der erforderlichen Restwassermengen nach Art. 31 ff. GSchG ist Gegenstand der nächsten Planungsphase. Grundsätzlich müssen die Anforderungen von Art. 31 ff. GSchG an die Restwassermengen erfüllt werden. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Auengebiete durch die betrachteten Ausleitungen nicht wesentlich beeinträchtigt werden oder sonst die Massnahme nicht bewilligungsfähig ist und nicht umgesetzt werden kann.

Für die am Hinterrhein betrachteten Ausleitungen wird aufgrund des sehr hohen Ausbaugrades der Wasserkraft im Einzugsgebiet und der fehlenden grossen Zuflüsse in der Restwasserstrecke eine Lösung hinsichtlich Restwasser als sehr schwierig erachtet. Da eine Schwall-Ausleitung ohne direkte Wasserentnahme im Gewässer nur bei Betrieb eines Oberlieggers Wasser für die Erhöhung der Restwassermengen zur Verfügung hat, geht eine Erhöhung der Restwassermengen auch immer mit gewissen Abflussschwankungen einher. Es gilt daher in einer nächsten Planungsphase eine Abwägung zwischen einer Erhöhung der Restwassermengen durch eine Teilausleitung und den daraus entstehenden Abflussschwankungen zu machen.

Von den zwei betrachteten Ausleitungsvarianten für Sils und Rothenbrunnen wird aus Sicht Auen eine Variante mit Wasserrückgabe in Domat/Ems klar bevorzugt (HR/S-AKA-1 und HR/R-AKA-1). Die Ausleitungen von Sils und Rothenbrunnen bis zum Standort Isla Bella (HR/S-AKA-2 und HR/R-AKA-2) tangieren durch die Wasserrückgabe und das zu erstellende Rückgabebauwerk bzw. Zentrale die Rhäzünser Rheinauen, was zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung führt.

7.6.5 Moore

Angrenzend an die neue Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung von Sils (HR/S-AKA 1/2 mit/ohne WK), liegen die Flachmoore von regionaler Bedeutung Munté und Pardisla, Tuleu. Die zwei Flachmoore werden nicht direkt, sondern über den Einfluss auf das Grundwasser und nur falls die Flachmoore auch durch Grundwasser gespiesen werden, beeinträchtigt. Detailabklärungen zu den Auswirkungen einer Ausleitung auf den Grundwasserspiegel waren nicht Gegenstand vorliegender Planungsstufe. Die Beeinträchtigung kann entsprechend nicht beurteilt und daher auch nicht ausgeschlossen werden. Eine Beeinträchtigung gilt es durch eine Anpassung der Restwassermengen so weit wie möglich zu verhindern. Kann eine gewisse Beeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden, wird aufgrund der sehr grossen Bedeutung der Schwall/Sunk-Sanierung am Hinterrhein, welche als klar von nationaler Bedeutung eingestuft wird (vgl. Kapitel 5.6.2) und des regionalen Schutzstatus der zwei betroffenen Flachmoore davon ausgegangen, dass das Interesse an der Schwall/Sunk-Sanierung überwiegt. Bei den Ausleitungen ab Rothenbrunnen sind keine Flachmoore betroffen.

7.6.6 Amphibienlaichgebiete

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitungen mit oder ohne Wasserkraft (HR/S-AKA-1/2 und HR/R-AKA-1/2 jeweils mit oder ohne WK) liegt das nationale Amphibienlaichgebiet Bregl.

Die Auswirkungen auf das Amphibienlaichgebiet infolge der reduzierten Wasserführung in der Restwasserstrecke und der voraussichtlichen Absenkung des Grundwasserspiegels im resp. entlang des Hinterrheins ist in einer späteren Planungsphase zu prüfen. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Amphibienlaichgebiet nicht durch

Grundwasser gespiesen wird oder in einer anderen Weise von der Wasserführung abhängig ist. Die Beeinträchtigung dieser Amphibienlaichgebiete durch die Restwasserführung wird ohne detaillierte Abklärungen gering eingeschätzt.

Das Rückgabebauwerk bzw. die Zentrale «Isla Bella» und ihr Unterwasserkanal sowie auch der Installationsplatz der Ausleitungen HR/S-AKA-2 und HR/R-AKA-2 befinden sich z.T. im erwähnten Amphibienlaichgebiet Bregl von nationaler Bedeutung. Die Zentrale und der Unterwasserkanal liegen am nördlichen Rand des Amphibienlaichgebietes. Da für die Umsetzung der genannten Bauwerke nebst dem überwiegenden Eingriffsinteresse auch deren Standortgebundenheit nachgewiesen werden muss und mit den Ausleitungen HR/S -AKA 1 und HR/R-AKA-1 alternativen Varianten möglich sind, werden klar diese bevorzugt.

7.6.7 Historische Verkehrswege

Das Rückgabebauwerk bzw. die Zentrale «Isla Bella» wie auch der Installationsplatz der Ausleitung HR/S-AKA-2 und HR/R-AKA-2 liegen über zwei historischen Verkehrswegen von nationaler Bedeutung. Beide Verkehrswege weisen einen historischen Verlauf mit Substanz auf. Da die Bauwerke der zwei geplanten Ausleitungen bis zum Standort Isla Bella über den Verkehrswegen geplant sind, dadurch nebst der Linienführung auch die Substanz der Verkehrswege beeinträchtigt wird, führt dies zu einer schwerwiegenden Beeinträchtigung. Da mit den Ausleitungen HR/S -AKA 1 und HR/R-AKA-1 alternative Varianten möglich sind, werden klar diese bevorzugt.

7.6.8 Strategische Planung Revitalisierung

Ausgleichsbecken Rhäzüns

Wie bereits in Kapitel 7.6.4 beschrieben, besteht zwischen dem Bau eines Beckens im Perimeter der Rhäzünser Aue und der in diesem Abschnitt bereits geplanten Revitalisierung ein grosser Koordinationsbedarf. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass durch eine geschickte Anordnung des Beckens die geplante Revitalisierung optimal ergänzt werden kann und daher nicht negativ beeinflusst wird. Der Zielkonflikt wird daher als technisch lösbar betrachtet.

Ausleitungen und Speicherstollen

Da Revitalisierungsprojekte mit mittlerer und grosser zeitlicher Priorität in der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitungen (HR/S-AKA-1/2 und HR/R-AKA-1/2 jeweils mit oder ohne WK) bevorstehen und insbesondere angrenzend an die südlichen Rhäzünser Rheinauen bereits in Planung sind, besteht ein dringender Koordinationsbedarf. Gleiches gilt auch für die Wasserrückgaben der geplanten Speicherstollen (HR/R-KAV-1 und 2). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass beide Interessen mit einer Koordination berücksichtigt werden können und kein nennenswerter Konflikt entsteht.

7.6.9 Strategische Planung Fischwanderung / Gewässerlebensraum

Die Stauanlage Albula stellt ein grosses neues Querbauwerk in der Albula dar, welches das Längskontinuum für alle Wasserlebewesen unterbindet. Grundsätzlich ist vorgesehen die Stauanlage mit einem Fischlift auszustatten. Eine solche Massnahme kann die grosse Beeinträchtigung der Fischwanderung jedoch nur reduzieren, nicht vollumfänglich beheben.

Durch die Stauanlage geht zudem ein 1.8 km langer Gewässerabschnitt der Albula als Lebensraum verloren, welcher sich im heutigen Zustand sehr gut als Laichhabitat eignet und auch genutzt wird. Dieses für die Bach- und Seeforellen sehr wertvolle Laichhabitat geht durch den Bau der Stauanlage verloren und kann in dieser Form nicht wieder ersetzt werden. Eine neue Stauanlage verbessert daher auf der einen Seite die Lebens- und Laichbedingungen für die Fische flussabwärts von Sils auf einer sehr langen Strecke bis in den Bodensee. Auf der anderen Seite führt die Massnahme lokal zu einem Verlust an sehr wertvollem Lebensraum für eben diese Fische. Inwiefern der Nutzen der Stauanlage hinsichtlich Schwall/Sunk-Sanierung oder der Verlust dieses Lebensraums für die Fische überwiegt ist sehr schwer abzuschätzen und muss in Rücksprache mit den Behörden und den verschiedenen Experten in den weiteren Planungsphasen abgewogen werden.

Der Einfluss auf den Geschiebehaushalt wird mit einer geeigneten Bewirtschaftung der Stauanlage als gering betrachtet.

7.6.10 Einfluss auf Energieproduktion

Stauanlage Albula

Die Stauanlage Albula liegt flussaufwärts der zwei Wasserrückgaben in Sils und liegt entsprechend höher. Daher fallen gewisse Produktionsverluste für das Hochdrücken oder Hochpumpen der Schwallwassermenge in den Stausee an. Aufgrund der mit Variante HR/S-STAU-2C entwickelten Anlagenkonzeption mit Gegendruckbetrieb und Dotierkraftwerk und dem dadurch möglichen hydraulischen Kurzschluss konnten die Energieeinbussen stark eingegrenzt werden und betragen ungefähr 8.9 GWh/a. Dies entspricht ca. 1.2% der Jahresproduktion der zwei Kraftwerkszentralen der KHR und ewz zusammen.

Ausgleichsbecken Rothenbrunnen

Alle betrachteten Beckenvarianten am Standort B+C führen bei Vollstau im Becken zu einem Einstau des Auslaufs der Zentrale Rothenbrunnen des ewz von 4 m. In einer Grobabschätzung resultiert daraus ein Verlust an Jahresproduktion von ca. 1.3 GWh/a oder 0.7% der durchschnittlichen Jahresproduktion. Bei einem Strompreis von 80 CHF/MWh entstehen Erlöseinbussen von rund CHF 100'000 exkl. MWST pro Jahr. Da auch diese Verluste ewz zu entschädigen sind, wird dieser Konflikt nicht als bewilligungsrelevant betrachtet.

Ausgleichsbecken Rhäzüns

Die betrachteten Beckenvarianten am Standort A1 führen bei Vollstau im Becken zu einem Einstau des Auslaufs der Zentrale Rothenbrunnen des ewz von ca. 3 m. Der Produktionsverlust durch den Einstau der Zentrale Rothenbrunnen (ewz) hängt stark vom Zusammenspiel der Betriebsregime von Becken und Zentrale ab. In einer Grobabschätzung resultiert daraus ein Verlust an Jahresproduktion von ca. 1 GWh. Bei einem Strompreis von 80 CHF/MWh wären das Kosten von rund 0.08 MCHF pro Jahr, was im Vergleich zu den Gesamtkosten von 73 MCHF vernachlässigbar ist.

7.7 Vorschlag Bestvarianten Hinterrhein

Für die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins, gilt es immer eine Kombination von Massnahmen für den Standort Sils und Rothenbrunnen zu betrachten. Anhand

der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich keine klare Bestvariante ab. Die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins kann in Bezug auf eine verhältnismässige Sanierung der wesentlichen Beeinträchtigung als sehr schwierig beurteilt werden.

Die einzige Massnahme, welche die wesentliche Beeinträchtigung Schwall/Sunk komplett beseitigen kann, ist die betrachtete Kombination von Ausleitungen bis Domat/Ems (HR/S-AKA-1 mit HR/R-AKA-1). Aufgrund der Kosten ist dabei nur für die Ausleitung ab Sils eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Als knapp noch im Bereich verhältnismässiger Massnahmen beurteilt wird die Kombination eines grossen Ausgleichsbeckens am Standort H im Raum Sils HR/S-AGB-1 (Volumen 1 Mio. m³) oder falls bewilligungsfähig der Stauanlage Albula HR/S-STAU-2C (1.6 Mio. m³) mit zwei grossen Speicherstollen bei Rothenbrunnen HR/R-KAV-1/2 (Verdoppelung 400'000 m³) oder falls bewilligungsfähig, des Beckens in Rhäzüns HR/R-AGB-4 (400'000 m³).

Um den Zielkonflikt zwischen der Schwall/Sunk-Sanierung und der Landwirtschaft zu reduzieren sowie die ökologischen Ziele vollumfänglich zu erreichen, soll für den Standort Sils statt eines Beckens die Ausleitung nach Domat/Ems zusammen mit den grossen Speicherstollen HR/R-KAV-1/2 (Verdopplung) oder sofern bewilligungsfähig dem Becken in Rhäzüns HR/R-AGB-4 betrachtet werden.

Für den Hinterrhein werden daher diese drei Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Maximaler ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Ausleitung Sils–Rothenbrunnen–Domat/Ems mit/ohne Wasserkraft
 HR/S-AKA-1 mit WK (137 GWh/a) und HR/R-AKA-1 ohne WK
 Gesamtkosten 1'013 MCHF exkl. MWST ⁷**
- Mittlerer ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Becken HR/S-AGB-1 am Standort H, 1 Mio. m³ und Speicherstollen HR/R-KAV-1/2, 400'000 m³
 Gesamtkosten 516 MCHF exkl. MWST**
 oder falls bewilligungsfähig:
**Stauanlage Albula HR/S-STAU-2C, 1.6 Mio m³ und Becken Rhäzüns HR/R-AGB-4, 400'000 m³
 Gesamtkosten 299 MCHF exkl. MWST**

Mittlerer ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
**Ausleitung Sils–Domat/Ems HR/S-AKA-1 mit WK (137 GWh/a) und Speicherstollen HR/R-KAV-1/2, 400'000 m³ oder falls bewilligungsfähig: Becken Rhäzüns HR/R-AGB-4, 400'000 m³
 Gesamtkosten 861 MCHF exkl. MWST (Variante Speicherstollen)
 Gesamtkosten 650 MCHF exkl. MWST (Variante Becken)**

Für das vorliegende Variantenstudium musste die Kombination von Massnahmen eingeschränkt werden und nicht jede erdenkliche Kombination an Massnahmen in Sils und Rothenbrunnen wurde geprüft. Gerade hinsichtlich der Optimierung des Volumens gilt es dies in einer weiteren Planungsphase zu berücksichtigen.

⁷ Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

Wie aufgezeigt, ist eine verhältnismässige Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung Schwall/Sunk am Hinterrhein sehr schwierig, weshalb das Konsortium für die Schwall/Sunk-Sanierung des Hinterrheins diesen Frühling 2023 die zwei weiteren, optional vorgesehene Massnahmen in Auftrag gegeben hat. Gerade das Becken in Rhäzüns vermag die Kosten gegenüber einer Lösung mittels Speicherstollen in der gleichen Grössenordnung um 200 MCHF sehr stark zu reduzieren. Eine Stauanlage in der Albula oberhalb der zwei Wasserrückgaben ins Sils hat ein deutlich besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis, da sie für die gleichen Kosten wie ein grosses Becken fast das doppelte Volumen erreicht. Die Bewilligungsfähigkeit dieser zwei zusätzlich geprüften Massnahmen ist jedoch als schwierig einzuordnen.

Aus technischer Sicht ist insbesondere die Zuleitung des Schwallwassers von den jeweiligen Zentralen zu den Beckenstandorten eine grosse Herausforderung und ein grosser Kostentreiber. Aufgrund der kritischen Verhältnismässigkeit gilt es den von den Behörden im Rahmen der Vorauswahl der Massnahmen getroffenen Grundsatzentscheid gegen jegliche neue Wehrlösung allenfalls zu überdenken. Mit einem neuen Wehr im Hinterrhein könnte zumindest auf einen Teil der Zuleitungen verzichtet werden. Das Schwallwasser würde wie heute von den Wasserrückgaben in die Albula abgegeben und in der Nähe des Beckenstandorts mittels eines neuen Wehrs ausgeleitet (gefasst). Ganz lässt sich eine Zuleitung aufgrund der Höhenverhältnisse dadurch nicht vermeiden. Die Zuleitungsstrecken, die Kosten wie auch verschiedene kritische Konflikte im Bereich Grundwasser könnten dadurch aber deutlich reduziert werden.

Möglich erscheint dies für die Becken HR/S-AGB-1/1a und HR/S-AGB-4. Gleiche Überlegungen wären grundsätzlich auch für das Becken am Vorderrhein bei Ilanz (VR-AGB-3) möglich. Technisch geprüft wurde dies im vorliegenden Variantenstudium jedoch für keine Variante.

8. Alpenrhein

8.1 Fazit TP Technik Alpenrhein

Die nachfolgende Tab. 8.1 fasst die wichtigsten Kennzahlen zu Speichervolumen, Gesamtkosten und spezifischen Kosten für die untersuchten Massnahmen bzw. Varianten am Alpenrhein zusammen:

Massnahme/ Variante	Wichtigste Elemente	Speicher- volumen [m ³]	Gesamt- kosten [MCHF, exkl. MWST)	Spez. Kosten [CHF/m ³ Speicher]
Alpenrhein				
AR-KWR	Erhöhung Stauwehr KWR	292'000	16	55
AR-AKA	Ausleitung Ems-Mastrils <u>ohne WK</u>	775'000	1'054	1'360
AR-AKA	Ausleitung Ems-Mastrils <u>mit WK</u>	775'000	762	983

Tab. 8.1 Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Alpenrhein; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).

Die Erhöhung des Stauwehrs KWR ist mit spezifischen Kosten von 55 CHF/m³ (inkl. Berücksichtigung der Erträge aus der Mehrproduktion) die mit Abstand kosteneffizienteste aller untersuchten Massnahmen an Vorder-, Hinter- und Alpenrhein. Sie kann in Ergänzung zu Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein als günstige Lösung für eine zusätzliche Verbesserung am Alpenrhein dienen, für sich allein genügt sie aber nicht. Die Ausleitung vom Stauraum der KWR bis nach Mastrils entlastet den Abschnitt zwischen KWR und Mastrils teilweise von Schwall/Sunk; sie ist unter Berücksichtigung der möglichen Wasserkraftproduktion (Bruttojahresproduktion 290 GWh) gegenüber den anderen Ausleitungen an Vorder- und Hinterrhein mit spezifischen Kosten von rund 983 CHF/m³ (Szenario 80 CHF/MWh) und entsprechender Strompreisentwicklung eine möglicherweise interessante Alternative. Dies vor allem dann, wenn zusätzlich zum optimistischen Strompreisszenario von 110 CHF/MWh ein Investitionsbeitrag von 50% angenommen wird; dann reduzieren sich die verbleibenden Gesamtkosten auf 101 MCHF, was den Bestwert aller Ausleitkraftwerke darstellt und auch konkurrenzfähig mit Ausgleichsbecken ist.

8.2 Fazit TP Umwelt und Umfeld Alpenrhein

Der nachfolgenden Abb. 8.1 ist eine Übersicht über die Bewertungen der Massnahmen im Raum Reichenau hinsichtlich der verschiedenen Interessenkonflikte zu entnehmen. Die beiden am Alpenrhein untersuchten Massnahmen (Höherstau/Ausleitung) weisen aufgrund ihres Typs unterschiedliche Auswirkungen auf. Bei der Ausleitung liegen die Auswirkungen v.a. in der Restwasserstrecke, während sie bei der Wehrerhöhung durch die Erhöhung des Staubereichs entstehen.

		Erhöhung Wehr Reichenau V = 300'000 m ³	Ausleitung Ems – Mastrils V = 775'000 m ³
		AR-KWR	AR-AKA
Zielkonflikte Naturschutz	Auen	Red	Red
	Landschaften	Green	Green
	Moore	Green	Green
	Biotope	Yellow	Red
	Wald	Green	Green
Zielkonflikte Weitere Nutzungen	Landwirtschaft	Yellow	Green
	Grund- und Quellwasser	Yellow	Red
	Schützenswerte Ortsbilder	Green	Green
	Historische Verkehrswege	Green	Green
	Belastete Standorte	Green	Yellow
	Tourismus	Green	Green
	Strategische Planung Revitalisierung	Yellow	Red
	Strategische Planung Fischwanderung und Gewässerlebensraum	Yellow	Yellow
	Gewässerraum	Yellow	Yellow
	Naturgefahren	Green	Yellow
	Bestehende Infrastruktur	Yellow	Yellow
Energie	Produktionsverluste	Green	Yellow
	Einschränkung Flexibilität	Yellow	Green
	Energiepolitische Ziele	Green	Green
Akzeptanz, Bewilligungsfähigkeit, Erfüllung Sanierungspflicht bis 2030	Politische gesellschaftliche Akzeptanz	Yellow	Yellow
	Bewilligungsfähigkeit	Red	Red
	Erfüllung der Sanierungspflicht bis 2030 (Zeitplan)	Yellow	Red

Abb. 8.1 Vergleich Bewertung Massnahmen Alpenrhein.

Beide Massnahmen wirken sich auf Auen von nationaler Bedeutung aus. Bei der Ausleitung sind zusätzlich Auswirkungen auf Biotope zu erwarten, die auch von den Auswirkungen auf das Grundwasser abhängig sind. Beide Massnahmen scheinen trotz der vielfältigen Konflikte grundsätzlich bewilligungsfähig. Die Wehrerhöhung wird aus Umwelt-/Umfeldsicht bevorzugt. Im Vergleich zur Ausleitung sind die Auswirkungen der Wehrerhöhung sehr lokal und von begrenztem Ausmass. Bei der Ausleitung wird wiederum die Restwasserthematik für die Bewilligungsfähigkeit entscheidend sein. Von allen in diesem Variantenstudium betrachteten Ausleitungen, erscheint die Restwasserproblematik für die Ausleitung Ems-Mastrils am ehesten lösbar.

8.3 Fazit TP Schwall/Sunk Alpenrhein und Szenario-Kombinationen

Wird nur die Bewertung der Untersuchungsstrecke AR2 (Mastrils) und keine weiteren Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein berücksichtigt, dann zeigt die Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 11) leicht den besseren ökologischen Nutzen als das Ausleitkraftwerk am Alpenrhein (Sz. 12; Tab. 8.2).

Sz.	Beschreibung (Variante)	Ökologischer Nutzen
12	Ausleitkraftwerk Domat/Ems-Mastrils (AR-AKA)	6.0 Punkte
11	Stauwehrrhöhung KWR (AR-KWR)	5.0 Punkte

Tab. 8.2 Rangliste nach ökologischem Nutzen, der Einzelszenarien (Sz.) am Alpenrhein.

Szenario 11 erfüllt dabei die rechnerischen Zielvorgaben nach der Bewertung der VZH. Das Szenario 12 erfüllt diese, aufgrund der Teilausleitung, nicht. Durch eine Kombination einer Stauwehrrhöhung mit der Ausleitung oder einer Vergrösserung der Ausleitung bis hin zum Gesamtschwall, könnte der ökologische Nutzen jedoch auch die Kosten deutlich erhöht werden. Gutachterlich wird für beide Szenarien davon ausgegangen, dass eine Beeinträchtigung Schwall/Sunk verbleibt und die ökologischen Ziele entsprechend nicht komplett erreicht werden können. Diese beiden Massnahmen entfalten ihre Wirkung jedoch insbesondere in Kombination mit Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein.

Szenario-Kombinationen

Bei Betrachtung der Szenario-Kombinationen, welche Massnahmen bei allen Wasserrückgaben vorsehen, und alle Flussabschnitte berücksichtigen, erzielt die Kombination mit allen drei Ausleitkraftwerken (Sz. 19) den besten ökologischen Nutzen (vgl. Tab. 8.3).

Sz.	Beschreibung (Kombination)	Ökologischer Nutzen
19	Ausleitkraftwerke Ilanz-Bonaduz, Sils-Roth.-Domat/Ems und Domat/Ems-Mastrils (Sz. 4 + 7 + 12)	22.8 Punkte
18	Ausleitkraftwerke Ilanz-Bonaduz, Sils-Roth.-Domat/Ems und Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 4 + 7 + 11)	21.1 Punkte
17	Ausleitkraftwerke Ilanz-Bonaduz, Sils-Roth.-Domat/Ems (Sz. 4 + 7)	20.7 Punkte
13b	AGB 300'000 m ³ für Ilanz, STAU-Albula 1'600'000 m ³ für Sils, 400'000 m ³ für Roth. und Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 2 + 5c + 11)	18.3 Punkte

Sz.	Beschreibung (Kombination)	Ökologischer Nutzen
20	AGB 300'000 m ³ für Ilanz, Ausleitung Sils-Domat/Ems, 400'000 m ³ für Roth. und Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 2 + 9b + 11)	18.1 Punkte
13	AGB 300'000 m ³ für Ilanz, AGB 1'000'000 m ³ für Sils, 400'000 m ³ für Roth. und Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 2 + 5a + 11)	16.4 Punkte
14a	AGB 300'000 m ³ für Ilanz, AGB 1'000'000 m ³ für Sils und 400'000 m ³ für Roth. (Sz. 2 + 5a)	15.9 Punkte
14b	AGB 300'000 m ³ für Ilanz, AGB 1'000'000 m ³ für Sils und 250'000 m ³ für Roth. (Sz. 2 + 5b)	15.3 Punkte
15	AGB Ilanz 100'000 m ³ , AGB 300'000 m ³ für Sils, 100'000 m ³ für Roth. und Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 1 + 6 + 11)	8.3 Punkte
16	AGB Ilanz 100'000 m ³ , AGB 300'000 m ³ für Sils und 100'000 m ³ für Roth. (Sz. 1 + 6)	7.9 Punkte

Tab. 8.3 Rangliste nach ökologischem Nutzen, der Szenarien-Kombinationen (Sz.) für den Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.

Platz 2 und 3 belegen die weiteren Kombinationen der Ausleitkraftwerke am Vorder- und Hinterrhein, einmal mit (Sz. 18) und einmal ohne die Stauwehrrhöhung KWR (Sz. 17). Es folgt Sz. 13b, welches den Stau in der Albula berücksichtigt und Sz. 20 mit einer Ausleitung von Sils. Beide Szenarien berücksichtigen jeweils ein grosses Becken oder Speicherstollen in Rothenbrunnen und Ilanz sowie die Stauwehrrhöhung KWR. Danach folgen die verschiedenen Kombinationen mit den Ausgleichsbecken. Je grösser das zur Verfügung stehende Ausgleichsvolumen, desto grösser der ökologische Nutzen. Bis auf die Szenarien 15 und 16 erfüllen alle Szenarien die rechnerischen Zielvorgaben nach der Bewertung der VZH – Szenario 14b dabei nur sehr knapp. In der gutachterlichen Bewertung können nur Szenario 19 und Szenario 20 auf allen drei Abschnitten des Vorder-, Hinter- und Alpenrheins die Ziele erfüllen. Die meisten Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gutachterlich auf einzelnen Abschnitten nicht. Die Szenarien 15 und 16 erfüllen auf keinem der gutachterlich betrachteten Abschnitte die ökologischen Anforderungen.

8.4 Auswahl Massnahmenvarianten Alpenrhein

Am Alpenrhein wurden nur zwei direkte Massnahmenvarianten, die Stauwehrrhöhung KWR (AR-KWR) und die Ausleitung Ems-Mastrils betrachtet (AR-AKA). Diese werden beide für die Kosten/Nutzen-Analyse verwendet. Bei der Ausleitung wird dabei aus Kostengründen die Variante mit Wasserkraftnutzung ausgewählt AR-AKA (mit WK). In Tab. 8.4 ist die getroffene Auswahl für die Kosten/Nutzen-Analyse zusammengefasst.

Beschreibung	Ökologischer Nutzen Verwendetes Szenario	Kosten Verwendete Variante
Stauwehrrhöhung beim Kraftwerk Reichenau	Szenario 11	AR-KWR
Ausleitkraftwerk Domat/Ems-Mastrils	Szenario 12	AR-AKA (mit WK)

Tab. 8.4 Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Alpenrhein.

Für die am Alpenrhein ebenfalls betrachteten Szenario-Kombinationen gilt die gleiche Auswahl an Massnahmenvarianten wie für die einzeln betrachteten Szenarien.

8.5 Kosten/Nutzen-Analyse und Verhältnismässigkeit Alpenrhein

8.5.1 Szenarien mit Massnahmen am Alpenrhein

Tab. 8.5 zeigt den ökologischen Nutzen, die Kosten und das Kosten-/Nutzen-Verhältnis für die geprüften Szenarien am Alpenrhein. In Abb. 8.2 werden die entsprechenden Ergebnisse graphisch einander gegenübergestellt.

Szenario	Variante	Ökologischer Nutzen	Gesamtkosten ([MCHF], exkl. MWST)	Kosten/Nutzen-Verhältnis
11	AR-KWR	5.0	16	3.2
12	AR-AKA mit WK	6.0	762	127.0

Tab. 8.5 Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmen am Alpenrhein.

Da die Stauwehrrhöhung im Vergleich zur Ausleitung Ems-Mastrils um einen Faktor 50 tiefere Kosten aufweist, hat sie das deutlich bessere Kosten/Nutzen-Verhältnis. Die Stauwehrrhöhung bei der KWR hat sogar das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis aller in diesem Variantenstudium betrachteten Massnahmen. Diese Massnahme ist daher klar als verhältnismässig zu beurteilen.

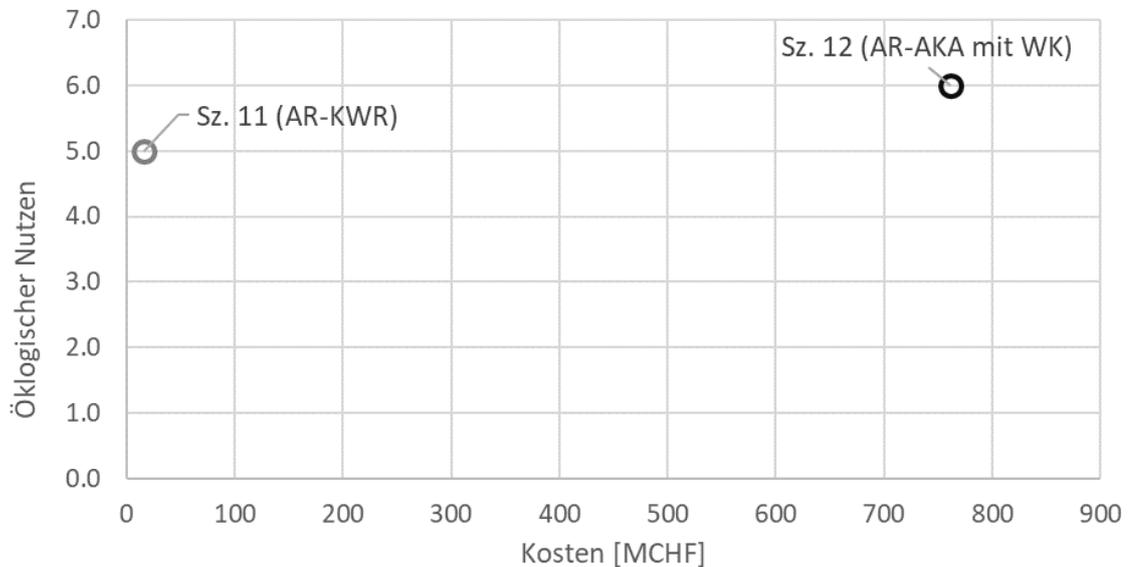


Abb. 8.2 Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmen am Alpenrhein.

Für das Szenario der Ausleitung gilt zu beachten, dass der eher tiefere ökologische Nutzen auch daher kommt, dass nicht die ganze Schwall-Wassermenge ausgeleitet wird. Theoretisch wäre wohl auch dies möglich, diese Variante wurde jedoch nicht geprüft. Die Kosten würden sich wohl annähernd verdoppeln. Auch hier gilt, zu berücksichtigen, dass bei Annahme sehr optimistischer Randbedingungen mit Investitionsbeiträgen von 50% sowie dem höchsten betrachteten Strompreisszenario (110 CHF/MWh) die Kosten deutlich bis auf einen Betrag von ca. 100 MCHF reduziert werden können. Für die Variante der Ausleitung gilt wiederum, dass sie wohl nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig beurteilt werden kann.

8.5.2 Szenario-Kombinationen Gesamtprojekt

Tab. 8.6 zeigt den ökologischen Nutzen, die Kosten und das Kosten/Nutzen-Verhältnis der auserwählten Szenario-Kombinationen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein zusammen. In Abb. 8.3 werden die entsprechenden Ergebnisse graphisch einander gegenübergestellt. Wie am Hinterrhein, zeigt sich auch hier kein eindeutiges Bild. Kosten und Nutzen steigen wiederum relativ proportional, wenn auch nicht ganz so linear wie am Hinterrhein.

In der Kosten/Nutzen-Analyse ergeben sich drei Gruppen von Szenarien. Den höchsten ökologischen Nutzen weisen wiederum die verschiedenen Szenarien der Ausleitungen auf (Szenarien 17 – 19). Die drei Szenarien haben jedoch auch deutlich die höchsten Kosten, weshalb sie das schlechteste Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweisen.

Sze- nario	Variante				Ökologi- scher Nutzen	Gesamtkos- ten ([MCHF], exkl. MWST)	Kosten/ Nutzen - Verhältnis
	VR	HR Sils	HR Roth.	AR			
13a - Ka- verne	VR- AGB-3	HR/S- AGB-1	HR/R-KAV-1 (Verdop- pelung) + HR/R-KAV- 2 (Verdoppelung)	AR- KWR	16.7	634	38.0
13a - Be- cken	VR- AGB-3	HR/S- AGB-1	HR/R-AGB-4	AR- KWR	16.7	423	25.3
13b - Ka- verne	VR- AGB-3	HR/S- STAU- 2c	HR/R-KAV-1 (Verdop- pelung) + HR/R-KAV- 2 (Verdoppelung)	AR- KWR	18.3	628	34.3
13b - Be- cken	VR- AGB-3	HR/S- STAU- 2c	HR/R-AGB-4	AR- KWR	18.3	417	22.8
14a - Ka- verne	VR- AGB-3	HR/S- AGB-1	HR/R-KAV-1 (Verdop- pelung) + HR/R-KAV- 2 (Verdoppelung)	-	15.9	598	37.5
14a - Be- cken	VR- AGB-3	HR/S- AGB-1	HR/R-AGB-4	-	15.9	407	25.6
14b	VR- AGB-3	HR/S- AGB-1	HR/R-KAV-1 + HR/R- KAV-2	-	15.3	498	32.5
15	VR- AGB-3a	HR/S- AGB-1a	HR/R-AGB-3a	AR- KWR	8.3	369	44.6
16	VR- AGB-3a	HR/S- AGB-1a	HR/R-AGB-3a	-	7.9	353	44.9
17	VR-AKA mit WK	HR/S- AKA-1 mit WK	HR/R-AKA-1 ohne WK	-	21.0	1'646	78.4
18	VR-AKA mit WK	HR/S- AKA-1 mit WK	HR/R-AKA-1 ohne WK	AR- KWR	21.5	1'662	77.3
19	VR-AKA mit WK	HR/S- AKA-1 mit WK	HR/R-AKA-1 ohne WK	AR- AKA mit WK	22.7	2'408	106.1
20 - Ka- verne	VR- AGB-3	HR/S- AKA-1 mit WK	HR/R-KAV-1 (Verdop- pelung) + HR/R-KAV- 2 (Verdoppelung)	AR- KWR	18.1	979	54.1
20 - Be- cken	VR- AGB-3	HR/S- AKA-1 mit WK	HR/R-AGB-4	AR- KWR	18.1	768	42.4

Tab. 8.6 Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmenkombinationen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.

Die Verhältnismässigkeit der drei Szenarien 17, 18 und 19 mit Gesamtkosten zwischen 1.6 und 2.4 Mrd. CHF ist aus heutiger Sicht nicht gegeben. Die Gesamtkosten überschreiten den heute für alle Sanierungen Wasserkraft verfügbaren Betrag von 1 Mrd. CHF deutlich. Wie in den vorherigen Kapiteln jeweils erläutert, können die Gesamtkosten der Ausleitungen mit optimistischen Annahmen hinsichtlich Beitrags an

die Investitionskosten und des Strompreises deutlich reduziert werden so z.T. konkurrenzfähig. Zu beachten ist zudem, dass der Kanton Graubünden gegenüber dem BAFU bereits 2014/2015 Kosten für die Sanierung Schwall/Sunk im Einzugsgebiet Rhein von rund 1 – 2 Mrd. CHF auswies.

Einen etwas tieferen ökologischen Nutzen, aufgrund der deutlich tieferen Kosten jedoch das beste Kosten/Nutzen-Verhältnis, weisen die Szenarien mit der Kombination grosser Becken, der Stauanlage in der Albula, der Ausleitung Sils-Domat/Ems, Speicherstollen (Kavernen) und der Stauwehrrhöhung KWR (Szenarien 13a, 13b, 14a, 14b und 20) auf. Diese Szenarien erfüllen die Anforderungen an die Sanierung gemäss VZH auf allen Abschnitten, wenn auch z.T. nur knapp. Gutachterlich erfüllt nur Sz. 20 die Ziele, hat aber auch von diesen Szenarien das schlechteste Kosten/Nutzen-Verhältnis. Wie aufgezeigt, können die Becken/Speicherstollen-Lösungen nach gutachterlicher Einschätzung insbesondere die Schwall/Sunk-Problematik am Hinterrhein nicht vollständig lösen. Weiter zeigt sich, dass aus gutachterlicher Sicht nebst den grossen Becken/ Speicherstollen für die Sanierung des Alpenrheins auch noch die Stauwehrrhöhung benötigt wird. So erfüllen von den fünf Szenarien nur Szenario 13a, 13b und 20 die Ziele für den Abschnitt des Alpenrheins vollständig. Alle fünf Szenarien liegen im Rahmen der in Kapitel 5.5 abgeschätzten Richtwerte für die Verhältnismässigkeit.

Die letzte in Abb. 8.3 ersichtliche Gruppe bilden schlussendlich die Szenarien mit den kleinen Becken und mit bzw. ohne Stauwehrrhöhung der KWR (Sz. 15 und 16). Der Nutzen nimmt im Vergleich zu den Szenarien mit den grossen Speicherlösungen stärker ab als die Kosten, weshalb die Szenarien wiederum ein schlechteres Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweisen. Diese zwei Szenarien erfüllen bereits die Ziele der Indikatoren nach VZH grösstenteils nicht und werden gutachterlich als nicht zielführend beurteilt. Der Nutzen dieser Szenarien ist sicherlich in Frage gestellt. Daher scheint auch die Verhältnismässigkeit dieser Massnahmen, trotz der tieferen Kosten unsicher.

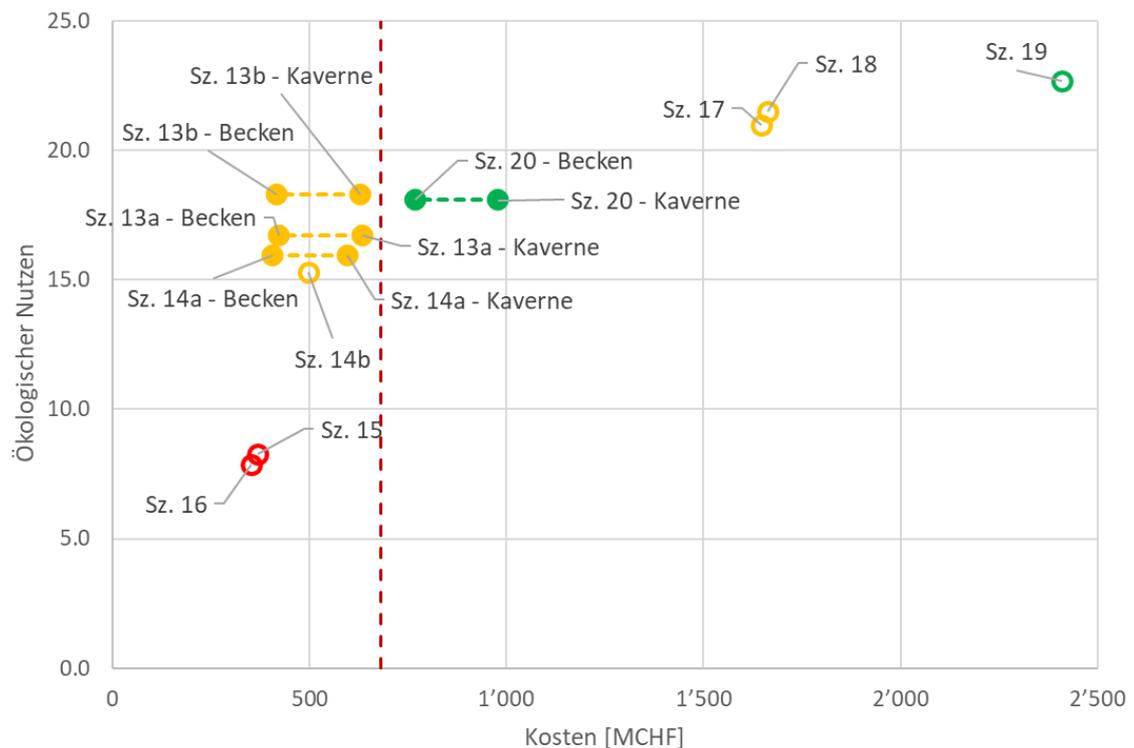


Abb. 8.3 Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der auserwählten Massnahmenkombinationen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, inkl. der Farbgebung der Zielerfüllung. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.

Auch bei Betrachtung des Gesamtprojekts über alle drei Gewässerabschnitte von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein wird die Verhältnismässigkeit des Aufwandes eine zentrale Rolle bei der Wahl der Bestvariante spielen. Je mehr Geld investiert wird, je mehr profitieren die Gewässer. Auch klar ist, dass eine Sanierung der Schwall/Sunk-Problematik im Einzugsgebiet des Alpenrheins nur mit grossen Massnahmen möglich ist.

8.6 Interessenabwägung Alpenrhein

8.6.1 Auen

Ausleitung

In der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung mit oder ohne Wasserkraft (AR-AKA mit/ohne WK) liegen die zwei Auen von nationaler Bedeutung:

- Trimmiser Rodauen, Nr. 25
- Aue Zizers – Mastrils, Nr. 22

Aus Sicht des Auenschutzes ist eine möglichst naturnahe Wasserführung, sowohl hinsichtlich Wassermenge wie auch Abflussregime anzustreben, was ganz grundsätzlich dem Vorhaben einer Ausleitung entgegensteht. Es gilt jedoch zu erwähnen, dass

auch das heutige, durch Schwall/Sunk beeinflusste Abflussregime, eine Beeinträchtigung der Auenlebensräume darstellt und entsprechend eine Abwägung zwischen den negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk und Restwasser erfolgen muss. Der Grad der Beeinträchtigung ist stark abhängig von den Restwassermengen. Diese Frage konnte in der vorliegenden Planungsphase nicht abschliessend beurteilt werden.

Die Festlegung der erforderlichen Restwassermengen nach Art. 31 ff GSchG ist Gegenstand der nächsten Planungsphase. Grundsätzlich müssen die Anforderungen von Art. 31 ff GSchG an die Restwassermengen erfüllt werden. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Auengebiete durch die betrachteten Ausleitungen nicht wesentlich beeinträchtigt werden oder sonst die Massnahme nicht bewilligungsfähig ist und nicht umgesetzt werden kann.

Die am Alpenrhein betrachtete Ausleitung liegt bereits deutlich weiter unten im Einzugsgebiet als die Schwall verursachenden Wasserrückgaben am Vorder- und Hinterrhein. Aufgrund des grossen Zwischeneinzugsgebiets, der verschiedenen Zuflüsse, insbesondere in der Schwallstrecke des Vorderrheins sowie einer gewissen Laufzeitverzögerung der Abflüsse wird die Restwassersituation einer Ausleitung Ems-Mastrils als weniger kritisch beurteilt als bei den Ausleitungen von Vorder- und Hinterrhein. Wird die Ausleitung zudem mit dämpfenden Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein kombiniert, kann der Sunk und damit die Restwassermenge deutlich erhöht werden.

Die geprüfte Ausleitung Ems-Mastrils leitet zudem nicht die ganze Schwallwassermenge aus. So wird gerade im Sommerhalbjahr, in der Periode der Schneeschmelze, der Abfluss in der Restwasserstrecke deutlich erhöht. Ausserhalb dieser Periode verbleiben dadurch jedoch Schwankungen im Gewässer. Für die Ausleitung Ems-Mastrils wird daher die Erfüllung der Restwasseranforderungen von Art. 31 ff. GSchG als realistisch erachtet, und eine Ausleitung in diesem Aspekt als bewilligungsfähig beurteilt.

Stauwehr Erhöhung KWR

Durch die Erhöhung des Stauwehrs der KWR um 1 m reicht die Stauwurzel bei einem Abfluss von 120 m³/s neu auf einer Länge von 150 m in die Rhäzünser Aue, die von nationaler Bedeutung ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Wasserspiegel bei diesem Abfluss in der Aue gegenüber dem Ist-Zustand nur um wenige Zentimeter erhöht ist. Durch den Einstau ist eine Fläche der Aue von ca. 9'000 m² betroffen. Dies entspricht bei einer Gesamtfläche der Aue von 1'569'000 m² weniger als 0.6%. Der Staupegel wird in Zukunft zur Dämpfung von Schwall/Sunk täglich schwanken. Nur bei einem hohen Staupegel und hohen Abflüssen wird die Aue überhaupt leicht eingestaut. Es wird daher davon ausgegangen, dass der Einstau der Aue nur eine geringfügige Beeinträchtigung darstellt, die schon alleine durch die Verbesserung aufgrund der Schwall/Sunk-Dämpfung der ganzen Auenlebensräume flussabwärts der KWR mehr als kompensiert wird. Das Interesse an einer Schwall/Sunk-Sanierung des Alpenrheins mittels der Stauwehrrhöhung KWR überwiegt in diesem Fall klar.

8.6.2 Amphibienlaichgebiete

Direkt angrenzend an die Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung (AR-AKA mit/ohne WK) im Alpenrhein befinden sich die folgenden Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung:

- Zizerser Gumpen
- Isla

Die Auswirkungen auf die zwei Amphibienlaichgebiete infolge der reduzierten Wasserführung in der Restwasserstrecke und der allfälligen Absenkung des Grundwasserspiegels im resp. entlang des Alpenrheins ist in einer späteren Planungsphase zu prüfen. Aufgrund des heute sehr kleinen Flurabstands in diesen Bereichen, muss davon ausgegangen werden, dass diese Amphibienlaichgebiete durch Grundwasser beeinflusst werden. Da nicht die ganze Schwallwassermenge ausgeleitet wird und auch die kleinsten Wassermengen nicht weiter reduziert werden, ist jedoch schwer voraussehbar, wie sich die Ausleitung auf den Grundwasserspiegel und damit auf die Amphibienlaichgebiete auswirkt. Die zwei entgegenstehenden Interessen sind daher in der nächsten Planungsphase zu optimieren.

Kann schlussendlich eine Beeinträchtigung nicht verhindert werden, wird aus heutiger Sicht das Interesse der Schwall/Sunk-Sanierung, aufgrund der schweizweiten Bedeutung und der über eine sehr weite Strecke wirkenden Verbesserung des Lebensraums der aquatischen Flora und Fauna, höher gewichtet. Die Amphibienlaichgebiete sind lokal begrenzt und es wird davon ausgegangen, dass adäquater Ersatz geschaffen werden kann, was bei der Schwall/Sunk-Sanierung nicht möglich ist.

8.6.3 Grund- und Quellwasser

Die gesamte Restwasserstrecke der Ausleitung zwischen Ems und Mastrils (Sarelli) führt durch den Gewässerschutzbereich A_o und A_u. Angrenzend an die Restwasserstrecke der Ausleitung liegen zudem verschiedene Grundwasserfassungen und Schutzareale. Weiter ist davon auszugehen, dass verschiedene Anlagenteile unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen und voraussichtlich Ausnahmegewilligungen nach Art. 19 Abs. 2 GSchG notwendig sind.

Auf der aktuellen Planungsstufe konnten keine Detailabklärungen im Bereich Grundwasser gemacht werden. Entsprechend ist eine abschliessende Beurteilung dieses Interessenkonflikts nicht möglich. Auch eine gutachterliche Einschätzung ist aufgrund der Tatsache, dass nur ein Teil des Schwallwassers ausgeleitet wird, sehr schwierig. In einer nächsten Planungsphase sind daher die hydrgeologischen Auswirkungen infolge der reduzierten Wasserführung im Alpenrhein zu überprüfen und die erforderlichen Nachweise für eine Ausnahmegewilligung nach Art. 19 Abs. 2 GSchG zu erbringen.

8.6.4 Strategische Planung Revitalisierung

Da Revitalisierungsprojekte mit mittlerer und grosser zeitlicher Priorität in der neuen Restwasserstrecke der betrachteten Ausleitung (AR-AKA mit oder ohne WK) bevorzugen und bereits ein Auflageprojekt für die Aufweitung Maienfeld/Bad Ragaz vorliegt, besteht ein dringender Koordinationsbedarf. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass beide Interessen mit einer Koordination berücksichtigt werden können und kein nennenswerter Konflikt entsteht.

8.7 Vorschlag Bestvarianten Alpenrhein

Anhand der Ergebnisse des vorliegenden Variantenstudiums zeichnet sich für die ergänzenden Massnahmen am Alpenrhein die Erhöhung des Stauwehrs der KWR um 1 m AR-KWR (Volumen 300'000 m³) als Bestvariante ab. Aufgrund des sehr guten Kosten/Nutzen-Verhältnisses dieser Massnahme, sollte diese auch unabhängig der Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein geprüft werden.

Eine Ausleitung Ems-Mastrils AR-AKA, kann aufgrund des grossen Speichervolumens im Stollen (Volumen 775'000 m³) und in Abhängigkeit der getroffenen Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein eine sinnvolle Ergänzung sein. Eine alleinige Realisierung dieser Ausleitung, ohne Massnahmen am Vorder- und Hinterrhein, erscheint jedoch nicht sinnvoll. Aufgrund der Kosten ist dabei eine energetische Nutzung vorzusehen. Die Variante ist zudem nur mit grossen zusätzlichen Investitionsbeiträgen als konkurrenzfähig zu beurteilen.

Für den Alpenrhein werden ergänzend zu den vorgeschlagenen Massnahmen am Vorder- (vgl. Kapitel 6.7) und Hinterrhein (vgl. Kapitel 7.7) daher folgende Massnahmenvarianten vorgeschlagen:

- Grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Erhöhung Stauwehr KWR um 1 m AR-KWR, Volumen 300'000 m³
Gesamtkosten 16 MCHF exkl. MWST
- Sehr grosser ökologischer Nutzen Schwall/Sunk:
Ausleitung Ems-Mastrils AR-AKA mit Wasserkraft
Gesamtkosten 762 MCHF exkl. MWST⁸

Für die Beurteilung der Schwall/Sunk-Sanierung am Alpenrhein gilt es nebst den hier vorgeschlagenen Massnahmen, mögliche Kombinationen dieser Massnahmen mit den Massnahmen am Vorder- (vgl. Kapitel 6.7) und Hinterrhein (vgl. Kapitel 7.7) zu prüfen.

⁸ Ohne Berücksichtigung von allfälligen Investitionsbeiträgen gemäss EnG Art. 26

9. Weiteres Vorgehen und Planungsverfahren

9.1 Massnahmenentscheid durch Kanton

Mit der Eingabe des vorliegenden Variantenstudiums per 30. Juni 2023 an die zuständige Behörde, erfüllen die betroffenen Kraftwerksgesellschaften die ihnen mit den Verfügungen vom 26. September 2017 (KHR, ewz, KWZ) und vom 24. April 2018 (KVR, KWI) auferlegte Pflicht.

Im vorliegenden Variantenstudium werden verschiedene bewilligungsfähige und umsetzbare Sanierungsmassnahmen aufgezeigt und die technische und umwelt-/umfeldtechnische Machbarkeit sowie der ökologische Nutzen für die Sanierung Schwall/Sunk dargelegt. Als nächster Schritt liegt es am Kanton Graubünden in Abstimmung mit dem BAFU und den weiteren Stakeholdern wie die Unterlieger am Alpenrhein, die betroffenen Gemeinden, die NGOs in Abwägung aller Interessen und nach dem Prinzip der Verhältnismässigkeit einen Massnahmenentscheid zu treffen.

Beim Massnahmenentscheid geht es um einen Grundsatzentscheid hinsichtlich Art, Standort und Grössenordnung der Massnahmen. So wird der Massnahmenentscheid nicht über alle Details einer Massnahme entscheiden können. Verschiedene Punkte wie z.B. das exakte Speichervolumen eines Ausgleichsbeckens gilt es in den weiteren Planungsphasen weiter zu optimieren. Es ist auch denkbar, dass mehrere Massnahmen oder neue Kombinationen bereits aufgeführter Massnahmen in einer weiteren Planungsphase bearbeitet werden, bevor ein abschliessender Massnahmenentscheid getroffen werden kann. Der aktuell sehr breite Massnahmenfächer muss jedoch deutlich eingegrenzt werden.

Der Massnahmenentscheid erfolgt durch die Regierung des Kantons Graubünden und wird öffentlich aufgelegt. Den betroffenen Kraftwerksgesellschaften wird dabei die Pflicht für die Durchführung der nächsten Planungsphase für die Bestvarianten verfügt. Gleichzeitig mit dem Massnahmenentscheid durch die Regierung gilt es die entsprechenden Massnahmen direkt im Richtplan festzusetzen.

9.2 Weiteres Planungsverfahren

Nach dem Massnahmenentscheid durch die Regierung und Festsetzung der Massnahmen im Richtplan sind wiederum die betroffenen Kraftwerksgesellschaften dazu verpflichtet, die weitere Planung durchzuführen.

Aufgrund der Grösse der Massnahmen, der vielfältigen zu beachtenden und im Detail abzuklärenden Konflikte, ist die weitere Planung wie auch das Bewilligungsverfahren als aufwendig und komplex zu beurteilen. Wichtig zu beachten ist, dass alle geprüften Massnahmen eine Anpassung der Konzession der jeweils betroffenen Kraftwerke erfordern, die Ausleitkraftwerke neue Konzessionen.

Gemäss Art. 23 Abs. 1 lit. b) BWRG (Wasserrechtsgesetz des Kantons Graubünden) ist die Bestimmung des Umfangs des verliehenen Nutzungsrechts obligatorischer Inhalt der Konzessionen. Der Umfang des Nutzungsrechts kommt in den bestehenden Konzessionen durch die gültigen Koten (Wasserrückgabe) sowie oftmals durch die Leistung oder Ausbauwassermenge der untersten Kraftwerksstufe zum Ausdruck.

Alle geprüften Ausgleichsbecken und Speicherstollen führen zu einer Verschiebung der Wasserrückgabe flussabwärts. Einzige Ausnahme bilden die Ausgleichsbecken in Rothenbrunnen in Bezug auf die unveränderte Wasserrückgabe der Zentrale des ewz.

Durch die Verlagerung der Wasserrückgabe dieser direkt an den heutigen Wasserrückgaben der Kraftwerke angeschlossenen Sanierungsmassnahmen, verändert sich in kleinem Umfang das Nutzungsrecht bzw. konkret die Rückgabekote, weshalb eine Anpassung der bestehenden Konzessionen notwendig ist.

Die geprüften betrieblichen Massnahmen für die KWI, benötigen aus technischer Sicht einen umfassenden Umbau der heutigen Zentrale. Nebst Anpassungen an den heutigen Maschinengruppen, müsste auch eine zusätzliche Maschinengruppe eingebaut werden. Es wird davon ausgegangen, dass auch dadurch das Nutzungsrecht im kleinen Umfang anzupassen wäre und entsprechend eine Konzessionsanpassung notwendig wäre. Infolge fehlender Zustimmung der KWI für betriebliche Massnahmen kann diese Massnahmen seitens der Behörden nicht angeordnet werden.

Bei der Erhöhung des heutigen Stauwehrs der KWR wird das Stauziel und damit wiederum der Umfang des Nutzungsrechts tangiert, was auch zu einer Änderung der Konzession führt. Diese Massnahme erfordert die Zustimmung der KWR. Schlussendlich verbleibt noch die Sanierungsmassnahme der Ausleitungen bzw. Ausleitkraftwerke. Diese sind als neue Nutzungen zu werten und benötigen gar eine eigene Konzession.

Aufgrund der fachlichen Nähe der Sanierungsmassnahmen Schwall/Sunk zu konventionellen Kraftwerksprojekten, der Komplexität der Projekte und der Tangierung der bestehenden Konzessionen drängt sich ein Konzessions- und Projektgenehmigungsverfahren mit dem AEV als Leitbehörde auf. Für die meisten Sanierungsmassnahmen wird ein einstufiges Verfahren angestrebt. Im einstufigen Verfahren werden die Projektgenehmigung und die Genehmigung der Anpassung der Konzession im gleichen Verfahren durchgeführt. Mindestens für die Ausleitungen wird davon ausgegangen, dass ein zweistufiges Verfahren notwendig ist. Für letztere Massnahmen ist bereits aus heutiger Sicht klar, dass aufgrund der benötigten Verfahrenszeit ein Start der Umsetzung bis Ende 2030 nicht mehr realistisch ist.

Glossar – Fachbegriffe

Begriff	Beschreibung
Abflussganglinie	Zeitlicher Verlauf der gemessenen Abflussmengen oder Pegelstände
AGB	Ausgleichsbecken: Künstliches Becken, welches ein Volumen zur Verfügung stellt, um den Schwall/Sunk-Betrieb im Gewässer auszugleichen oder zu dämpfen.
Ausleitung	Ausleitung des Betriebswassers, damit es weiter unten ökologisch zurückgegeben werden kann. Dieses Wasser kann auch energetisch genutzt werden (Ausleitkraftwerk). → Kraftwerk, welches unterhalb der aktuellen Wasserrückgabe gebaut wird und genutzt wird, Schwall/Sunk gedämpfter zurückzugeben.
Ausbauwassermenge (QA)	Maximale Wassermenge (Betriebswasser), die in einer Kraftwerkszentrale verarbeitet (turbiniert) werden kann.
Gutachterliche Einschätzung / Beurteilung	Experteneinschätzung zur Bewertung der Sanierungsmaßnahmen ergänzend zur VZH.
KAV	Kaverne/Speicherstollen, unterirdisches Ausgleichsvolumen
(Massnahmen-) Varianten	Verschiedene Varianten von Ausgleichsbecken, Kavernen/Speicherstollen oder Ausleitungen die technisch, umwelt- und umfeldtechnisch geprüft wurden.
Szenarien (auch Massnahmen-szenarien)	Szenarien, die gebildet wurden, um verschiedene Massnahmenvarianten miteinander zu kombinieren, damit ein Flussabschnitt saniert werden kann.
Szenario-Kombination	Eine Kombination von Szenarien (siehe Szenarien) zur Sanierung von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein. Betrachtung des gesamten Projektperimeter.
VZH	Vollzugshilfe Schwall/Sunk-Massnahmen des BAFU.

Literaturverzeichnis

- [1] Tonolla D., Chaix O., Meile T., Zurwerra A., Büsser P., Oppliger S., Essyad K. (2017): Schwall/Sunk - Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.
- [2] Axpo Power AG (2023): Schwall/Sunk-Sanierung Vorder-, Hinter- & Alpenrhein – Definition repräsentative Abflussganglinien, ökologische Zieldefinition & Vorauswahl Massnahmen Axpo Bericht (H18236). Im Auftrag der Kraftwerke Vorderrhein AG, Kraftwerke Ilanz AG, Kraftwerke Hinterrhein AG, Kraftwerke Zervreila AG & Elektrizitätswerke Stadt Zürich, 16. Januar 2023.
- [3] Axpo (2019): Bericht Defizit- / Ursachenanalyse Schwall/Sunk-Sanierung Hinterrhein (H17175).
- [4] Axpo (2020): Bericht Defizit- / Ursachenanalyse Schwall/Sunk-Sanierung Vorderrhein (H16267).
- [5] Axpo (2019): Bericht Schwall/Sunk-Sanierung Alpenrhein, Analyse und Ergänzung vorhandener Untersuchungen am Alpenrhein (H17220).
- [6] Axpo (2022): Schwall/Sunk-Sanierung Vorder-, Hinter-, Alpenrhein, Begleitbericht Vorauswahl Massnahmen (H17902).
- [7] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2019): Methode zur Bestimmung der Finanzierung von Ausleitkraftwerken als Schwall-Sunk Sanierungsmassnahme
- [8] Mendez, R. (2007): Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETH Zürich / EAWAG.
- [9] Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein, R. Caviezel, ETH Zürich, 2006
- [10] BAFU / info fauna 2022: Rote Liste der Fische und Rundmäuler. Gefährdete Arten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU); info fauna (CSCF). Aktualisierte Ausgabe 2022. Umwelt-Vollzug Nr. 2217: 37 S.
- [11] C. Frangez & J. Eberstaller (2020): Fischökologisches Monitoring Alpenrhein 2019. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA), Mautern, Juli 2020.
- [12] Alpenrhein: D6 Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile, Arbeitspakete 1 bis 5, Zukunft Alpenrhein, IRKA Internationale Regierungskommission Alpenrhein, 02. 2012.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Projektperimeter Schwall/Sunk-Sanierung Rhein (Vorder-, Hinter- und Alpen-rhein) mit den Schwall/Sunk verursachenden Kraftwerkszentralen in rot und den Untersuchungsstrecken in orange mit roter Umrandung (Hintergrund: Swisstopo, 2023).....	14
Abb. 4.1	Übersichtskarte mit den vorausgewählten Massnahmen und ihren Standorten am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein (Quelle Hintergrundkarte: Swisstopo, 2023)	18
Abb. 6.1	Vergleich Bewertung Massnahmen Vorderrhein.....	31
Abb. 6.2	Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmenauswahl am Vorderrhein. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.	33
Abb. 7.1	Vergleich Bewertung Massnahmen Hinterrhein Sils.....	44
Abb. 7.2	Vergleich Bewertung Massnahmen Hinterrhein Rothenbrunnen ...	46
Abb. 7.3	Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmenauswahl am Hinterrhein. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.	51
Abb. 8.1	Vergleich Bewertung Massnahmen Alpenrhein.	66
Abb. 8.2	Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der Massnahmen am Alpenrhein.	70
Abb. 8.3	Gegenüberstellung des ökologischen Nutzens und der Kosten der auserwählten Massnahmenkombinationen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, inkl. der Farbgebung der Zielerfüllung. (Grün dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele sowohl nach VZH wie auch gutachterlich, orange dargestellte Szenarien erfüllen die Ziele nur nach VZH und rot dargestellte Szenarien erfüllen die ökologischen Ziele gar nicht.) Die rote Linie zeigt die Grenze der Verhältnismässigkeit, links davon sind die Massnahmen verhältnismässig, rechts nicht.	73

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Vorauswahl der Massnahmen.....	17
Tab. 4.2	Definierte Massnahmenvarianten der Schwall/Sunk-Sanierung Vorder-, Hinter- und Alpenrhein. WK = Wasserkraftnutzung.	20
Tab. 5.1	Anteil der einzelnen Schwall/Sunk-Sanierungen Vorder-, Hinter- und Alpenrhein an der Gesamtsanierung im Einzugsgebiet des Alpenrheins und Herleitung der sanierten Gewässerstrecke für die einzelnen Sanierungen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.	25
Tab. 6.1	Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Vorderrhein; Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen (bei BET/BAT äquivalentes Volumen gemäss Zieldefinition); Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Wasserkraft) (Preisszenario 80 CHF/MWh).....	29
Tab. 6.2	Rangliste nach ökologischem Nutzen der Szenarien (Sz.) am Vorderrhein.....	32
Tab. 6.3	Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Vorderrhein.	33
Tab. 6.4	Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmen am Vorderrhein.	33
Tab. 7.1	Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Hinterrhein, Raum Sils; Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).	41
Tab. 7.2	Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Hinterrhein, Raum Rothenbrunnen; Speichervolumen ohne optionale Vergrösserungen; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).....	42
Tab. 7.3	Rangliste nach ökologischem Nutzen der Szenarien (Sz.) am Hinterrhein.....	47
Tab. 7.4	Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Hinterrhein.	49
Tab. 7.5	Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmenauswahl am Hinterrhein.	50
Tab. 8.1	Kostenvergleich der einzelnen Massnahmen und Varianten am Alpenrhein; Gesamtkosten als Barwert über 40 Jahre (bzw. 60 Jahre für AKA mit WK); Kosten AKA ohne und mit Anrechnung WK (Preisszenario 80 CHF/MWh).....	65
Tab. 8.2	Rangliste nach ökologischem Nutzen, der Einzelszenarien (Sz.) am Alpenrhein.	67
Tab. 8.3	Rangliste nach ökologischem Nutzen, der Szenarien-Kombinationen (Sz.) für den Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.	68

Tab. 8.4	Auswahl der Massnahmenvarianten und ökologischen Szenarien für die Kosten/Nutzen-Analyse am Alpenrhein.	69
Tab. 8.5	Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmen am Alpenrhein.....	69
Tab. 8.6	Kosten/Nutzen-Analyse der Massnahmenkombinationen von Vorder-, Hinter- und Alpenrhein.	71

Beilagenverzeichnis

- Beilage 1 Bericht Schwall/Sunk-Sanierung am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, Variantenstudium, Teilbericht Technik, im Auftrag KVR, KHR, KWZ und ewz (8. Juni 2023, rev01: 21. September 2023), Axpo
- Beilage 2 Bericht Schwall/Sunk-Sanierung am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, Variantenstudium, Teilbericht Umwelt und Umfeld, im Auftrag KVR, KHR, KWZ und ewz (29. Juni 2023, rev01: 27. September 2023), Axpo
- Beilage 3 Bericht Schwall/Sunk-Sanierung am Vorder-, Hinter- und Alpenrhein, Variantenstudium, Teilbericht Schwall/Sunk, im Auftrag KVR, KHR, KWZ und ewz (29. Juni 2023, rev01: 15. September 2023), Axpo