TEKO Schweizerische Fachschule

Diplomarbeit

Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke – Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen



Diplomand:	Robin Flück
Schule:	Teko Olten
Klasse:	O-TEU-23-T-a
Ausbildung:	Dipl. Energie und Umwelttechniker HF
Jahr:	2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
1 Management Summary 4
1.1 Vorgehen 4
1.2 Ergebnis 5
1.3 Ausblick 5
2 Kurzer beruflicher Lebenslauf 6
3 Qualifikationsprofil 7
4 Einleitung 10
5 Projektinitialisierung 12
5.1 Themeneingabe 12
5.2 Projektauftrag 13
5.3 Pflichtenheft 13
5.4 Analyse der Ausgangslage 26
5.5 Expertenbefragungen 28
5.5.1 Interview und Besichtigung mit Herrn Thomas Fürst, Alpiq Hydro Aare AG 28
5.5.2 Fragebogen mit Herrn Andreas Stettler, Hydro-Suisse AG 29
5.6 Zielscheibe 30
6 Projektplanung 31
6.1 Projektstrukturplanung 31
6.2 Projektablaufplanung 32
6.3 Meilensteine 33
6.4 Kommunikationsplanung 33
7 Projektrealisierung 34
7.1 Kreativitätsmethode – Brainstorming & Mindmap 34
7.2 Variantenbildung 36
7.2.1 Kurzbeschreibung der Variante 1: Partieller Leitrechen mit Bypass 36
7.2.2 Kurzbeschreibung der Variante 2: Optimiertes Umgehungsgewässer 37
7.2.3 Kurzbeschreibung der Variante 3: BAFF mit Bypass 38
7.3 Evaluation der geeignetsten Variante 39
7.3.1 Kriterien festlegen 39
7.3.2 Präferenzmatrix 39
7.4 Bewertung der Varianten 39
7.4.1 Nutzwertanalyse 39
7.4.2 Sensitivitätsanalyse 40
7.4.3 Resultat der Variantenevaluation 40
7.4.4 SWOT-Analyse 40
7.4.5 Auswertung 40
8 Ausarbeitung der Variante «Optimiertes Umgehungsgewässer» 41
8.1 Wasserkraftwerk Ruppoldingen – Geschichte und Ausgangslage 41
8.1.1 Geschichte und Entwicklung des Kraftwerks 41

8.1.2 Fischwanderhilfen und ökologische Infrastruktur 42
8.1.3 Technische Kenndaten und Stromproduktion 44
8.2 Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen 45
8.2.1 Heutige Möglichkeiten für den Fischabstieg 45
8.2.2 Risiken und Handlungsbedarf 46
8.3 Technische Ausarbeitung des Optimierungskonzepts 48
8.3.1 Das optimierte Umgehungsgewässer im Überblick 48
8.3.2 Oberwassereinstieg und gezielte Lockströmung 49
8.3.3 Gewässeraufweitungen und naturnahe Strukturen 51
8.3.4 Erweiterung und Aufwertung der Auenlandschaft 53
8.3.5 Gestaltung des Unterwasserausstiegs 55
8.3.6 Bauliche Umsetzung und technische Machbarkeit 56
8.3.7 Gesetzliche Vorgaben und Umweltschutz 57
8.4 Wirtschaftlichkeit und Auswirkungen auf die Stromproduktion 58
8.4.1 Investitions- und Unterhaltskosten 58
8.4.2 Finanzierung und mögliche Förderbeiträge 59
8.4.3 Berechnung der Energieverluste 60
8.4.4 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung 62
8.5 Vergleich zwischen Ist-Zustand und Optimierungskonzept 63
8.6 Endprodukt – A3-Merkblatt zum Optimierungskonzept 64
8.6.1 Ziel, Gestaltung und Verwendung des Merkblatts 64
8.6.2 Darstellung des entwickelten Optimierungskonzepts 65
8.6.3 Expertenfeedback zum Optimierungskonzept und Endprodukt 66
8.7 Herausforderungen und Grenzen des Konzepts 67
8.7.1 Ökologische Auswirkungen und Unsicherheiten 67
8.7.2 Grenzen der Umsetzung 67
8.8 Fazit 68
9 Projektabschluss 69
9.1 Soll-Ist-Vergleich 70
9.2 Reflexion und Ausblick 71
10 Redlichkeitserklärung 72
11 Deklaration des KI-Einsatzes 73
12 Danksagung 73
13 Verzeichnisse 74
13.1 Abkürzungsverzeichnis 74
13.2 Abbildungsverzeichnis 74
13.3 Tabellenverzeichnis 75
13.4 Literatur und Quellenverzeichnis 76
14 Anhang 78
14.1 Projektstatusberichte 78
14.2 Übersicht über den KI-Einsatz 80
14.3 Interviewprotokoll Alpiq Hydro Aare AG 81
14.4 Expertenfragebogen Hydro-Suisse AG 83

1 Management Summary

Die Wasserkraft ist ein wichtiger Bestandteil der erneuerbaren Stromproduktion in der Schweiz. Gleichzeitig beeinträchtigen Wasserkraftwerke die natürlichen Wanderbewegungen von Fischen. Während an vielen Anlagen bereits Fischaufstiegshilfen vorhanden sind, stellt der sichere Fischabstieg weiterhin eine technische und ökologische Herausforderung dar. Besonders Jungfische und wandernde Fischarten sind auf geeignete Wanderwege angewiesen, um Wasserkraftwerke möglichst sicher passieren zu können.
In dieser Diplomarbeit wurde untersucht, wie der Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen an der Aare verbessert werden könnte. Das Kraftwerk verfügt bereits über ein Umgehungsgewässer, das hauptsächlich dem Fischaufstieg dient. Ziel war es, drei unterschiedliche Lösungsansätze zu entwickeln und hinsichtlich ihrer ökologischen Wirksamkeit, technischen Umsetzbarkeit und wirtschaftlichen Auswirkungen zu vergleichen. Die bevorzugte Variante sollte anschliessend vertieft untersucht werden, wobei die bestehende Infrastruktur und die Stromproduktion möglichst wenig beeinträchtigt werden sollten.

1.1 Vorgehen



Zur systematischen Bearbeitung der Diplomarbeit wurde das 4-Phasen-Modell mit den Phasen Projektinitialisierung, Projektplanung, Projektrealisierung und Projektabschluss angewendet. Nach der Auftragsklärung wurden die Problemstellung, die Zielsetzung und die Rahmenbedingungen des Projekts definiert. Anschliessend wurde eine Projektstrukturplanung erstellt, aus welcher die Projektablaufplanung mit den einzelnen Arbeitsschritten und zeitlichen Vorgaben abgeleitet wurde.
Im Rahmen der Projektrealisierung wurde zunächst die bestehende Situation am Wasserkraftwerk Ruppoldingen untersucht. Mithilfe einer umfassenden Literaturrecherche, einer Anlagenbesichtigung und Experteninterviews mit Fachpersonen von Alpiq Hydro Aare AG und Hydro-Suisse AG konnten die technischen Gegebenheiten, die bestehenden Fischwanderhilfen sowie die ökologischen Herausforderungen analysiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Entwicklung möglicher Lösungsansätze.
Mithilfe der Kreativitätstechniken Brainstorming und Mindmap wurden verschiedene Ideen zur Verbesserung des Fischabstiegs gesammelt und zu drei konkreten Varianten weiterentwickelt. Diese umfassten einen partiellen Leitrechen mit Bypass, die Optimierung des bestehenden Umgehungsgewässers sowie ein Bio-Acoustic Fish Fence (BAFF). Anschliessend wurden die Bewertungskriterien mithilfe einer Präferenzmatrix gewichtet und die drei Varianten anhand einer Nutzwertanalyse systematisch miteinander verglichen. Die bevorzugte Variante wurde daraufhin hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit, ökologischen Auswirkungen und Wirtschaftlichkeit vertieft ausgearbeitet.
Zum Projektabschluss wurden die Ergebnisse zusammengeführt und die Zielerreichung überprüft. Mithilfe eines Soll-Ist-Vergleichs zwischen der ursprünglichen Projektablaufplanung und dem tatsächlichen Projektverlauf konnten Abweichungen festgestellt und beurteilt werden. Eine abschliessende Reflexion diente dazu, die gewonnenen Erkenntnisse sowie mögliche Verbesserungspotenziale für zukünftige Projekte festzuhalten.

1.2 Ergebnis

Die durchgeführte Nutzwertanalyse ergab, dass die Optimierung des bestehenden Umgehungsgewässers unter den festgelegten Bewertungskriterien die geeignetste Lösung für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen darstellt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Variante besteht darin, dass eine bereits vorhandene Infrastruktur weiterentwickelt werden kann. Gleichzeitig bietet das Konzept die Möglichkeit, die Verbesserung des Fischabstiegs mit einer ökologischen Aufwertung des angrenzenden Gewässerraums zu verbinden.
Das erarbeitete Konzept sieht vor, den Oberwassereinstieg des bestehenden Umgehungsgewässers zu vergrössern und durch eine gezielte Lockströmung für abwandernde Fische besser auffindbar zu machen. Dadurch soll die Nutzung des Umgehungsgewässers als zusätzlicher Abstiegsweg gefördert werden. Die bestehende Funktion für den Fischaufstieg soll dabei erhalten bleiben. Ergänzend ist eine ökologische Aufwertung und Erweiterung der angrenzenden Auenlandschaft vorgesehen. Durch naturnahe Strukturen könnten zusätzliche Lebensräume für Fische sowie weitere wassergebundene Tier- und Pflanzenarten entstehen.
Für die wirtschaftliche Beurteilung wurden die voraussichtlichen Investitionskosten und die Auswirkungen auf die Stromproduktion überschlägig abgeschätzt. Die Investitionskosten betragen gemäss der durchgeführten Berechnung rund 2,16 Millionen Franken. Für die verbesserte Lockströmung wurde ein zusätzlicher Wasserbedarf angenommen, wodurch ein Teil des Wassers nicht mehr für die Stromproduktion zur Verfügung steht. Daraus ergibt sich ein rechnerisch ermittelter Minderertrag von rund 1,18 GWh pro Jahr, was ungefähr 1 % der jährlichen Stromproduktion des Kraftwerks entspricht. Diese Werte beruhen auf vereinfachten Annahmen und stellen keine abschliessende Projektierung dar. Sie dienen dazu, die wirtschaftlichen und betrieblichen Auswirkungen der vorgeschlagenen Massnahmen in einer ersten Grössenordnung einzuordnen.
Der Variantenvergleich verdeutlicht zudem die unterschiedlichen Herausforderungen der untersuchten Systeme. Ein partieller Leitrechen mit Bypass ermöglicht grundsätzlich eine gezielte Fischlenkung, erfordert jedoch zusätzliche bauliche Massnahmen und muss mit den betrieblichen Anforderungen des Kraftwerks vereinbar sein. Das BAFF-System stellt einen alternativen Ansatz dar, dessen Wirksamkeit unter den Bedingungen am Standort Ruppoldingen noch untersucht werden müsste. Die Optimierung des bestehenden Umgehungsgewässers bietet dagegen die Möglichkeit, vorhandene Strukturen zu nutzen und zusätzliche ökologische Vorteile anzustreben.

1.3 Ausblick

Das entwickelte Konzept stellt eine mögliche Grundlage für die zukünftige Verbesserung des Fischabstiegs am Wasserkraftwerk Ruppoldingen dar. Vor einer Umsetzung wären jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig. Insbesondere müsste überprüft werden, in welchem Umfang abwandernde Fische das bestehende Umgehungsgewässer bereits nutzen und wie sich die geplante Anpassung des Oberwassereinstiegs auf das Wanderverhalten auswirken würde. Zusätzlich müssten die hydraulischen Verhältnisse, die bauliche Machbarkeit sowie die tatsächlichen Investitions- und Betriebskosten genauer untersucht werden. Eine spätere Wirkungskontrolle wäre erforderlich, um die ökologische Wirksamkeit der Massnahmen nachzuweisen.
Die Diplomarbeit zeigt, dass die Verbesserung des Fischabstiegs eine sorgfältige Abstimmung zwischen ökologischen Anforderungen, technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erfordert. Das untersuchte Optimierungskonzept bietet hierfür einen möglichen Lösungsansatz, dessen tatsächliche Eignung im Rahmen einer weiterführenden Projektierung bestätigt werden müsste.

2 Kurzer beruflicher Lebenslauf



Berufserfahrung

2025 – heute | **Hitachi Energy, Lenzburg**
Senior Maintenance Technician – Testing Area Frontend

- Instandhaltung und Reparatur von Produktions- und Testanlagen
- Planung und Durchführung von Wartungsarbeiten und Jahreswartungen
- Fehleranalyse und Störungsbehebung
- Koordination mit Produktion und externen Servicetechnikern
- Erstellung und Pflege von Wartungsanweisungen
- Unterstützung und Einführung neuer Mitarbeitender

2018 – 2025 | **ABB / Hitachi Energy, Lenzburg**
Maintenance Technician – Testing Area Frontend

- Instandhaltung und Reparatur von Produktions und Testanlagen
- Durchführung von Wartungsarbeiten
- Störungsanalyse und technische Fehlerbehebung
- Mitarbeit bei Optimierungen und Umbauten

Berufliche Grundbildung

2014 – 2018 | **libs Industrielle Berufslehren, Baden/ ABB, Lenzburg**
Automatiker EFZ

- Vierjährige berufliche Grundbildung zum Automatiker EFZ
- 1. und 2. Lehrjahr bei libs Industrielle Berufslehren in Baden
- 3. und 4. Lehrjahr bei ABB in Lenzburg (Metal Area Frontend)
- Ausbildung in den Bereichen Elektrotechnik, Automation und Mechanik

Weiterbildung

2023 – 2026 | **TEKO Schweizerische Fachschule, Olten**
Dipl. Energie- und Umwelttechniker HF

Sprachkenntnisse

Deutsch	Englisch	Französisch
Muttersprache	Cambridge English C1	Schulkenntnisse

3 Qualifikationsprofil

Dipl. Energie- und Umwelttechniker/in HF

A 1 **Unternehmens- und Führungsprozesse gestalten und verantworten**	• Unternehmens und Arbeitsprozesse verantwortungsvoll organisiert, unter anderem Ferien, Abwesenheiten und Pikettplanung koordiniert und dadurch die personelle Verfügbarkeit des Maintenance Teams sichergestellt. • Betriebliche Prozesse unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten analysiert, Verbesserungspotenziale ermittelt und begründete Optimierungsvorschläge ausgearbeitet. • Ersatzteilmanagement anhand technischer Kritikalität, Lieferzeit, Ausfallwahrscheinlichkeit und Kosten mitgestaltet und dadurch Anlagenverfügbarkeit und wirtschaftliche Lagerhaltung berücksichtigt. • Als Senior Maintenance Technician neue Mitarbeitende und Operatoren praxisnah instruiert, Verantwortung im Team übernommen sowie Konfliktsituationen konstruktiv begleitet. • Zusammenarbeit mit Fachpersonen unterschiedlicher kultureller Hintergründe gestaltet sowie als erweiterter Kapitän jüngere Spieler gezielt integriert und die Motivation innerhalb der Mannschaft gefördert.
A 2 **Kommunikation situationsangepasst und wirkungsvoll gestalten**	• Technische Informationen, Störungsmeldungen und Arbeitsabläufe gegenüber Mitarbeitenden, Produktion und externen Fachpersonen sachlich, strukturiert und adressatengerecht kommuniziert. • Arbeitsergebnisse aus Schule und Beruf verständlich aufbereitet und mit geeigneten Präsentations und Kommunikationsmitteln zielgruppengerecht vermittelt. • Wartungs und Arbeitsanweisungen mit technischen Informationen und Bildern erstellt und dadurch komplexe Arbeitsabläufe für Mitarbeitende verständlich dokumentiert. • Im internationalen Arbeitsumfeld regelmässig auf Englisch mit externen Servicetechnikern kommuniziert sowie durch einen Sprachaufenthalt und das erfolgreich abgeschlossene Cambridge C1 Niveau die englische Kommunikation vertieft.
A 3 **Die persönliche Entwicklung reflektieren und vorantreiben**	• Eigenen fachlichen Entwicklungsbedarf erkannt und durch Weiterbildungen sowie ein Herstellertraining im Bereich Waferhandling, Robotik und Anlagenwartung gezielt Fachwissen aufgebaut. • Neue Technologien wie Microsoft Copilot im Rahmen eines Predictive Maintenance Pilotprojekts praktisch getestet, Ergebnisse kritisch bewertet und Erkenntnisse für die weitere Entwicklung dokumentiert. • Erlerntes Wissen aus Schulungen systematisch dokumentiert und anschliessend bei Wartungen, Teachings und Störungsbehebungen im beruflichen Alltag angewendet. • Fachliche, digitale und sprachliche Kompetenzen kontinuierlich erweitert und neue Kenntnisse gezielt in den beruflichen Alltag übertragen.

B 4 **Entwicklungsmethoden zur Problemlösung und Innovationsentwicklung in der Umwelttechnik zielführend einsetzen**	• Technische und umweltbezogene Problemstellungen systematisch analysiert, Ursachen eingegrenzt und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussgrössen berücksichtigt. • Für komplexe Aufgabenstellungen unterschiedliche Lösungsvarianten entwickelt und technische, ökologische sowie wirtschaftliche Auswirkungen miteinander verglichen. • Entscheidungen mithilfe von Präferenzmatrix, Nutzwertanalyse und Sensitivitätsanalyse nachvollziehbar bewertet und Vorzugsvarianten fundiert ausgewählt. • Kreativitäts-, Analyse- und Bewertungsmethoden aus dem Studium auf konkrete technische und umweltbezogene Aufgabenstellungen übertragen.
B 5 **Projekte planen, leiten und evaluieren**	• Projektleitung für die Semesterarbeit zum nachhaltigen Wassermanagement übernommen, Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Termine geplant sowie den Projektfortschritt laufend kontrolliert. • Zusammenarbeit mit dem Projektpartner und externen Fachpersonen koordiniert und Expertenwissen aus Wasserversorgung und Siedlungsentwässerung in die Projektarbeit integriert. • Projektkommunikation über regelmässige Besprechungen und digitale Kommunikationsmittel transparent organisiert und Aufgaben ohne Doppelspurigkeiten termingerecht bearbeitet. • Initiative bei der Gestaltung von Projektarbeiten gezeigt, Ergebnisse verständlich präsentiert und Projekte erfolgreich abgeschlossen. Die Schwammstadt Semesterarbeit wurde mit der Note 5.4 bewertet.
B 6 **Anlagen entwickeln**	• Gesetzliche, sicherheitstechnische und qualitätsrelevante Anforderungen beim Betrieb technischer Anlagen berücksichtigt und die fristgerechte Kalibrierung sämtlicher Messgeräte im eigenen Bereich sichergestellt. • Technische Lösungsvarianten für die Optimierung eines Laufwasserkraftwerks entwickelt und hinsichtlich technischer Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit bewertet. • Varianten mithilfe strukturierter Entwicklungs und Bewertungsmethoden verglichen und eine begründete Vorzugsvariante detailliert ausgearbeitet.
B 7 **Projektierung von Anlagen beauftragen**	• Technische Dokumentationen und Herstellerunterlagen zur Analyse von Anlagen und Störungen selbstständig eingesetzt. • Maintenance Manuals und Troubleshooting Unterlagen systematisch ausgewertet, mögliche Fehlerursachen beurteilt und geeignete Massnahmen daraus abgeleitet. • Neue oder unbekannte Fehlermeldungen anhand technischer Dokumentationen selbstständig analysiert und Störungen ohne zusätzliche Herstellerunterstützung behoben.
B 8 **Daten erfassen und auswerten**	• Mess-, Anlagen- und Prozessdaten systematisch erfasst, ausgewertet und für technische Analysen verwendet. • SPC Daten von IPTEST Anlagen mit Cornerstone visualisiert und Messparameter zwischen Anlagen und Zeiträumen miteinander verglichen. • Trends, Prozessverschiebungen und Abweichungen anhand von Spezifikationsgrenzen erkannt und die Ergebnisse zur Eingrenzung von Qualitätsproblemen sowie als Grundlage für weitere Massnahmen verwendet.

B 9 **Realisierung von Anlagen planen und begleiten**	• Aufbau und Inbetriebnahme eines neuen Accretech Waferprobers gemeinsam mit einem externen Servicetechniker begleitet und auftretende technische Probleme während der Installation gelöst. • Anlage aufgrund eines unebenen Hallenbodens präzise nivelliert, anschliessend das Waferhandling geprüft und den Waferprober innerhalb von zwei Tagen erfolgreich für die Produktion freigegeben. • Roboterbewegungen und eingeteachte Positionen an einer Onto Inspektionsanlage analysiert und korrigiert sowie die Funktion durch Testläufe überprüft und die neue Konfiguration gespeichert und gesichert.
B 10 **Wartung sicherstellen und Verfügbarkeit der Anlagen garantieren**	• Störungen an Produktionsanlagen logisch und systematisch eingegrenzt, unter anderem mithilfe von Checker Tests und Logfile Analysen eine defekte Analog Card an einer IPTEST Anlage identifiziert und die Anlage innerhalb von 30 Minuten wieder betriebsbereit gemacht. • Bei einem Roboter Handling Fehler an einem Accretech Waferprober die Situation sicher beurteilt, einen heruntergefallenen Wafer unter Beachtung der Interlocks entfernt und die Anlage innerhalb von 20 Minuten wieder in Betrieb genommen. • Präventive Wartungsarbeiten unter Einhaltung der Sicherheitsvorgaben durchgeführt und Anlagen mittels Lockout Tagout gegen unbeabsichtigte Wiederinbetriebnahme gesichert. • Wartungsarbeiten, Ersatzteile und externe Serviceeinsätze vorausschauend organisiert, um die Anlagenverfügbarkeit sicherzustellen und Produktionsunterbrüche möglichst gering zu halten.
B 11 **Prozesse analysieren und optimieren**	• Energie- und umweltrelevante Prozesse am eigenen Arbeitsstandort analysiert und für sechs Bereiche konkrete Verbesserungspotenziale und nachhaltigere Lösungsansätze erarbeitet. • Energieverbrauch, Elektronikschrott, Chemikalien, Verpackungs- und Schutzmaterialien sowie Verpflegung und Mitarbeitermobilität hinsichtlich Umweltwirkung und Ressourcenverbrauch untersucht. • Konzept zur Kombination von Photovoltaik und bidirektionalem Laden entwickelt, Energieflüsse und Einsparpotenziale berechnet und Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs sowie zur Reduktion des Netzbezugs aufgezeigt.
B 12 **Anlagen optimieren**	• Messergebnisse von Prüfkarten analysiert und gemeinsam mit dem Prozessverantwortlichen eine Anpassung des Wartungsintervalls von einmal auf zweimal pro Woche definiert und umgesetzt. • Wirksamkeit der Optimierung durch kontinuierliche Überwachung der Messergebnisse kontrolliert. Aufgrund stabilerer Messwerte und geringerer Qualitätsabweichungen wurde das neue Wartungsintervall dauerhaft übernommen. • Nachhaltige und umweltschonende Lösungsansätze wie Rigolen, Versickerung, Zisternen und Begrünungsmassnahmen untersucht und hinsichtlich technischer Umsetzung, Umweltwirkung und langfristiger Nachhaltigkeit bewertet.

Tabelle 1 Qualifikationsprofil

4 Einleitung

Die Wasserkraft ist ein zentraler Bestandteil der Schweizer Stromversorgung und die bedeutendste einheimische erneuerbare Energiequelle. In den vergangenen zehn Jahren wurden durchschnittlich rund 58,5 % der Schweizer Stromproduktion durch Wasserkraft erzeugt [1]. Damit trägt sie wesentlich zur erneuerbaren Stromproduktion und zur Energieversorgung der Schweiz bei. Neben einer zuverlässigen und möglichst effizienten Stromproduktion gewinnen jedoch auch die ökologischen Auswirkungen von Wasserkraftwerken zunehmend an Bedeutung. Durch Wehre, Turbinen und weitere bauliche Anlagen werden Fliessgewässer verändert, wodurch insbesondere die natürliche Wanderung von Fischen beeinflusst werden kann. Viele Fischarten sind während ihres Lebens auf Wanderungen innerhalb eines Gewässers angewiesen [2]. Diese erfolgen sowohl flussaufwärts als auch flussabwärts und dienen unter anderem dem Erreichen geeigneter Lebensräume und Fortpflanzungsgebiete. Während bei vielen Wasserkraftwerken bereits Massnahmen für den Fischaufstieg umgesetzt wurden, stellt der Fischabstieg insbesondere bei bestehenden Anlagen weiterhin eine Herausforderung dar [3]. Das Wissen über das Wanderverhalten der Fische und die Anforderungen an die Fischgängigkeit hat sich über die vergangenen Jahre weiterentwickelt.



Abbildung 1 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.aare-strom.ch)

Eine besondere Problematik beim Fischabstieg besteht darin, dass sich abwandernde Fische häufig an der Hauptströmung orientieren. Bei einem Laufwasserkraftwerk kann diese in Richtung der Turbineneinläufe führen. Gelangen Fische in den Turbinenbereich, besteht die Gefahr von Verletzungen oder tödlichen Folgen [4]. Für einen funktionierenden Fischabstieg reicht es deshalb nicht aus, lediglich einen Weg vom Oberwasser in das Unterwasser bereitzustellen. Die Fische müssen einen geeigneten Abstiegsweg auch auffinden und sicher passieren können. Für den Fischschutz und Fischabstieg stehen unterschiedliche technische und naturnahe Lösungsansätze zur Verfügung.

Besonders bei bestehenden Wasserkraftwerken ist deren nachträgliche Umsetzung jedoch anspruchsvoll. Bereits vorhandene Bauwerke und Fischwanderhilfen müssen berücksichtigt und mögliche neue Massnahmen in das bestehende System integriert werden. Gleichzeitig können Massnahmen zum Fischabstieg Auswirkungen auf den Kraftwerksbetrieb, die Energieproduktion und die Wirtschaftlichkeit haben. Eine geeignete Lösung muss deshalb ökologische, technische, betriebliche, energierelevante und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen.

Als Fallbeispiel dieser Diplomarbeit dient das Wasserkraftwerk Ruppoldingen an der Aare. Das heutige Laufwasserkraftwerk sowie das naturnahe Umgehungsgewässer wurden Anfang der 2000er Jahre erstellt [5]. Am Standort bestehen somit bereits umfangreiche Einrichtungen für die Fischwanderung. Gleichzeitig bietet sich die Möglichkeit, die damals umgesetzten Massnahmen mit den heutigen Erkenntnissen und Anforderungen zu vergleichen und mögliche Verbesserungspotenziale beim Fischabstieg zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird zunächst die bestehende Situation der Fischwanderung am Wasserkraftwerk Ruppoldingen untersucht und der Fischabstieg aus heutiger Sicht beurteilt. Dabei werden die vorhandenen Einrichtungen, deren Funktion sowie mögliche Schwachstellen und Verbesserungspotenziale betrachtet. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden verschiedene Lösungsvarianten entwickelt und miteinander verglichen. Die Bewertung berücksichtigt die ökologische Wirksamkeit, die technische Umsetzbarkeit, wirtschaftliche Aspekte sowie mögliche Auswirkungen auf den Kraftwerksbetrieb und die Energieproduktion. Daraus wird eine für die Gegebenheiten am Wasserkraftwerk Ruppoldingen geeignete Variante abgeleitet und vertieft ausgearbeitet.

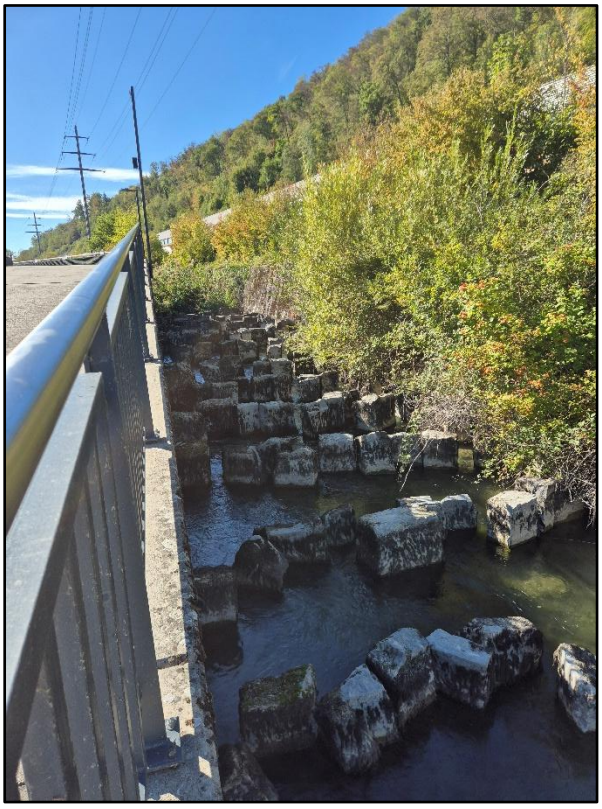


Abbildung 3 Fischaufstiegshilfe (Eigene Aufnahme)



Abbildung 2 Umgehungsgewässer (Eigene Aufnahme)

5 Projektinitialisierung

5.1 Themeneingabe

Vorschlag Diplomarbeit:

Thema	Die Nutzung der Wasserkraft spielt in der Schweiz eine wichtige Rolle bei der erneuerbaren Energieproduktion. Gleichzeitig stellen Wasserkraftwerke Hindernisse für die natürliche Fischwanderung dar. Während in den vergangenen Jahren bei vielen Anlagen Fischaufstiegshilfen realisiert wurden, bestehen beim Fischabstieg weiterhin Herausforderungen. Insbesondere Jungfische sowie Wanderfische wie der Atlantische Lachs und der Europäische Aal sind auf eine sichere Wanderung flussabwärts angewiesen. Beim Abstieg folgen viele Fische der Hauptströmung und gelangen dadurch in Turbinen, was zu Verletzungen oder zum Tod der Tiere führen kann. In dieser Diplomarbeit werden verschiedene Fischabstiegssysteme untersucht und am Beispiel des Wasserkraftwerks Ruppoldingen hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit, ökologischen Wirksamkeit und Auswirkungen auf die Energieproduktion bewertet.
Ziel	Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Problematik des Fischabstiegs bei bestehenden Wasserkraftwerken zu analysieren und verschiedene technische sowie naturnahe Lösungsansätze miteinander zu vergleichen. Am Beispiel des Wasserkraftwerks Ruppoldingen sollen mehrere Varianten für den Fischabstieg ausgearbeitet und anhand definierter Kriterien bewertet werden. Daraus soll eine fundierte Empfehlung für eine geeignete Lösung abgeleitet werden.
⇒ Kunde	Auftraggeber beziehungsweise Zielgruppe dieser Arbeit sind die Betreiber des Wasserkraftwerks Ruppoldingen. Darüber hinaus richtet sich die Arbeit an Fachpersonen aus den Bereichen Energie und Umwelttechnik sowie an Behörden und Organisationen, die sich mit Fischgängigkeit und Gewässerschutz befassen.
⇒ Sinn und Zweck	Die Arbeit soll die Bedeutung des Fischabstiegs bei Wasserkraftwerken im Zusammenhang mit Gewässerschutz und erneuerbarer Energieproduktion aufzeigen. Obwohl in den vergangenen Jahren zahlreiche Massnahmen zur Verbesserung der Fischgängigkeit umgesetzt wurden, bestehen beim sicheren Fischabstieg weiterhin Herausforderungen. Die Arbeit soll das Verständnis für diese Problematik fördern und die Notwendigkeit geeigneter Lösungen verdeutlichen.
⇒ Endergebnis	Am Ende der Diplomarbeit liegt eine umfassende Analyse der Fischabstiegsproblematik am Wasserkraftwerk Ruppoldingen vor. Dabei werden die bestehenden Verhältnisse des Kraftwerks sowie die Anforderungen an einen sicheren Fischabstieg untersucht. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden verschiedene mögliche Fischabstiegssysteme erarbeitet und hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit, ökologischen Wirksamkeit, Auswirkungen auf die Energieproduktion sowie weiterer relevanter Kriterien bewertet. Die Ergebnisse werden in Form eines Variantenvergleichs und einer Nutzwertanalyse dargestellt. Abschliessend wird eine fundierte Empfehlung für die aus Sicht der Arbeit geeignetste Fischabstiegslösung abgegeben. Die Arbeit soll damit als Vorstudie dienen und eine nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung möglicher Fischabstiegsmassnahmen liefern.
⇒ Erfolgskriterien	Die Diplomarbeit gilt als erfolgreich, wenn die Ausgangslage des Wasserkraftwerks Ruppoldingen hinsichtlich der Fischgängigkeit und insbesondere des Fischabstiegs nachvollziehbar analysiert und dokumentiert wird. Auf Basis der erarbeiteten Grundlagen sollen drei mögliche Fischabstiegssysteme entwickelt und anhand definierter technischer, ökologischer, wirtschaftlicher und energierelevanter Kriterien bewertet werden. Die Bewertung soll mittels eines strukturierten Variantenvergleichs sowie einer nachvollziehbaren Nutzwertanalyse erfolgen. Auf Grundlage dieser Bewertung soll die geeignetste Variante ausgewählt und vertieft betrachtet werden. Die Wahl der Vorzugsvariante soll fachlich begründet sowie anhand der definierten Kriterien nachvollziehbar hergeleitet werden. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen nach Möglichkeit mit dem Fachexperten oder weiteren Fachpersonen diskutiert und auf ihre fachliche Plausibilität überprüft werden. Das Endresultat der Arbeit soll eine fundierte Vorzugsvariante für den Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen darstellen, welche auf einer systematischen Analyse und Bewertung verschiedener Lösungsansätze basiert. .

Tabelle 2 Themeneingabe

5.2 Projektauftrag

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die bestehende Situation der Fischwanderung am Wasserkraftwerk Ruppoldingen analysiert. Darauf aufbauend werden drei Lösungsvarianten zur Verbesserung des Fischabstiegs entwickelt und anhand ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Kriterien miteinander verglichen. Die bevorzugte Variante wird anschliessend vertieft ausgearbeitet und hinsichtlich ihrer technischen Umsetzbarkeit und wirtschaftlichen Auswirkungen am Standort Ruppoldingen beurteilt.

Disclaimer Alpiq Hydro Aare AG:
Diese Diplomarbeit wurde unabhängig und nicht im Auftrag der Alpiq Hydro Aare AG erstellt. Die dargestellten Varianten, Bewertungen, Kostenschätzungen und Empfehlungen geben die Einschätzung des Autors wieder und stellen keine Planung, Projektierungsabsicht oder fachliche Beurteilung der Alpiq Hydro Aare AG dar.

5.3 Pflichtenheft

Das Pflichtenheft bildet die Grundlage für die Bearbeitung der Diplomarbeit und definiert die wesentlichen Ziele, Anforderungen und Rahmenbedingungen.

Pflichtenheft Diplomarbeit

Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke -
Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen



Abbildung 4 Fischtreppe Ruppoldingen (Pflichtenheft)

Diplomand:	Robin Flück
Schule:	Teko Olten
Studiengang:	Dipl. Energie- und Umwelttechniker HF
Klasse:	O-TEU-23-T-a
Diplomlehrer:	Manuel Walde
Fachexperte:	Manuel Schüle
Abgabedatum:	15. August 2026

Inhaltsverzeichnis:

1 Einleitung 15
1.1 Ausgangslage 15
1.2 Entstehung des Diplomarbeitsthemas 15
1.3 Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen 16
2 Fachexperte 16
3 Richtziel 17
4 Ziele und Anforderungen 18
4.1 Endergebnisse und Erfolgskriterien 18
4.2 Funktionalitäten und technische Anforderungen 20
5 Systemabgrenzung und Schnittstellen 21
5.1 System und Teilsysteme 21
5.2 Umsystem 22
5.3 Schnittstellen 23
6 Weitere Angaben 24
7 Kenntnisnahme durch den Fachexperten 25

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Wasserkraft spielt in der Schweiz eine wichtige Rolle bei der Produktion von erneuerbarer Energie. Gleichzeitig können Wasserkraftwerke die natürliche Wanderung von Fischen beeinträchtigen. Viele Fischarten sind während ihres Lebens auf Wanderungen angewiesen, beispielsweise zur Fortpflanzung oder zum Erreichen geeigneter Lebensräume. Dabei ist neben dem Fischaufstieg auch die Bewegung flussabwärts von grosser Bedeutung. Dies betrifft beispielsweise Jungfische sowie Wanderfische wie den Atlantischen Lachs. Junglachse wandern nach ihrer Entwicklung im Süsswasser in Richtung Meer.
Bei vielen bestehenden Wasserkraftwerken wurden bereits Massnahmen für den Fischaufstieg umgesetzt, während der Fischabstieg lange weniger stark berücksichtigt wurde. Gleichzeitig haben sich das Wissen über das Wanderverhalten der Fische und die Anforderungen an die Fischgängigkeit weiterentwickelt. Beim Fischabstieg besteht insbesondere die Herausforderung, dass sich abwandernde Fische häufig an der Hauptströmung orientieren, welche bei einem Wasserkraftwerk in Richtung der Turbinen führen kann. Dadurch besteht die Gefahr, dass Fische in den Turbinenbereich gelangen und verletzt oder getötet werden. Ein vorhandener Weg ins Unterwasser bedeutet deshalb nicht automatisch, dass ein sicherer Fischabstieg gewährleistet ist. Entscheidend ist auch, ob die Fische einen geeigneten Abstiegsweg auffinden und nutzen können.
Für einen sicheren Fischabstieg bestehen verschiedene technische und naturnahe Lösungsansätze. Besonders bei bestehenden Wasserkraftwerken ist deren Umsetzung anspruchsvoll, da vorhandene Anlagen und Fischwanderhilfen berücksichtigt werden müssen. Eine mögliche Verbesserung muss deshalb auf den bestehenden Gegebenheiten aufbauen und sowohl ökologische als auch technische, betriebliche, energierelevante und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen.

1.2 Entstehung des Diplomarbeitsthemas

Die Idee für diese Diplomarbeit entstand während meiner Ausbildung an der TEKO Olten. Im Rahmen einer Exkursion besuchten wir das Wasserkraftwerk Hagneck. Dort konnte ich erstmals eine moderne und umfangreiche Fischwanderhilfe direkt vor Ort betrachten, welche sowohl den Fischaufstieg als auch den Fischabstieg berücksichtigt. Zusätzlich wurden im Bereich des Kraftwerks verschiedene Renaturierungsmassnahmen umgesetzt. Während der Exkursion wurde ausführlich erklärt, wie die verschiedenen Massnahmen funktionieren und welche Bedeutung sie für die Fischgängigkeit haben. Die Grösse und der technische Aufwand der Anlage haben mich besonders beeindruckt und mein Interesse an diesem Thema geweckt. Da die Fischgängigkeit auch im Unterricht angesprochen wurde, begann ich mich anschliessend selbstständig intensiver damit auseinanderzusetzen. Besonders interessant fand ich dabei den Fischabstieg und die Frage, wie dieser bei bereits bestehenden Wasserkraftwerken umgesetzt beziehungsweise verbessert werden kann.
Aus dieser Fragestellung entstand schliesslich die Idee, meine Diplomarbeit dem Fischabstieg bei bestehenden Wasserkraftwerken zu widmen. Anhand eines konkreten Fallbeispiels soll untersucht werden, welche Möglichkeiten für einen sicheren Fischabstieg bestehen und wie bereits vorhandene Lösungen verbessert, ergänzt oder an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden können.

1.3 Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen

Als Fallbeispiel für die Diplomarbeit wird das Wasserkraftwerk Ruppoldingen betrachtet. Das Laufwasserkraftwerk befindet sich an der Aare in Boningen im Kanton Solothurn und wird von der Alpiq Hydro Aare AG betrieben. Durch die Nähe zu meinem aktuellen Wohnort Hägendorf sowie zur TEKO Olten ist die Anlage gut erreichbar und bietet einen direkten regionalen und praktischen Bezug zur Diplomarbeit. Besonders interessant ist die Entwicklung des Standorts. Das heutige Wasserkraftwerk Ruppoldingen sowie das naturnahe Umgehungsgewässer wurden Anfang der 2000er Jahre erstellt. Das frühere Kraftwerk befand sich rund einen Kilometer weiter östlich auf der Fläche des heutigen Auenwaldes. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die damalige Planung und die umgesetzten Massnahmen zur Fischwanderung mit den heutigen Erkenntnissen und Anforderungen zu vergleichen und mögliche Verbesserungspotenziale zu untersuchen. Mit Alpiq Hydro Aare AG wurde bereits Kontakt aufgenommen und die Verwendung des Wasserkraftwerks Ruppoldingen als Fallbeispiel bestätigt. Zudem besteht die Möglichkeit eines fachlichen Austauschs sowie einer Besichtigung der Anlage, wodurch weitere Informationen über die bestehenden Gegebenheiten und die Fischwanderung gewonnen werden können.

2 Fachexperte

Manuel Schüle begleitet meine Diplomarbeit als Fachexperte. Er arbeitet gemeinsam mit mir bei Hitachi Energy in Lenzburg als Prozessingenieur und verfügt über einen Masterabschluss im Bereich Umwelttechnik und Erneuerbare Energien. Aufgrund seiner Ausbildung verfügt er über allgemeine fachliche Grundlagen in den Bereichen Energie und Umwelt. Themen im Zusammenhang mit Wasserkraft und deren Umweltauswirkungen waren ebenfalls Bestandteil seiner Ausbildung. Seine berufliche Tätigkeit liegt jedoch nicht direkt im Bereich Wasserkraft oder Fischmigration. Das spezifische Fachwissen zu Fischabstiegssystemen ist daher begrenzt. Für Fragestellungen, welche vertiefte Kenntnisse zur Fischmigration, zu Fischabstiegssystemen oder zur Gewässerökologie erfordern, soll ergänzend eine Fachperson oder ein Fachinstitut aus diesem Bereich beigezogen werden. Während der Bearbeitung steht mir Manuel Schüle bei fachlichen Fragestellungen zur Seite und unterstützt mich bei der Plausibilisierung der erarbeiteten Ergebnisse. Durch seine Kenntnisse im Bereich Energie und Umwelt kann er die Arbeit insbesondere aus einer übergeordneten technischen und umweltbezogenen Sicht begleiten.

Name:	Manuel Schüle
Beruf:	Prozessingenieur
Ausbildung:	M.Sc. Umwelttechnik / Erneuerbare Energien
Institut:	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
Unternehmen:	Hitachi Energy, Lenzburg
Adresse:	Gumpenwiesenstrasse 25, 8157 Dielsdorf
E-Mail:	manuel.schuele@mail.de
Telefon:	076 498 58 01

3 Richtziel

Ziel der Diplomarbeit ist es, die bestehende Situation der Fischwanderung am Wasserkraftwerk Ruppoldingen zu untersuchen und insbesondere den Fischabstieg aus heutiger Sicht zu beurteilen. Dabei werden die bereits vorhandenen Einrichtungen und deren Funktion betrachtet. Es soll untersucht werden, wie die Abwärtswanderung der Fische heute ermöglicht wird, wo mögliche Schwachstellen bestehen und in welchen Bereichen Verbesserungspotenzial vorhanden ist. Dabei soll nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das bestehende System ersetzt werden muss, sondern zunächst dessen heutige Eignung beurteilt werden.
Auf Grundlage dieser Untersuchung sollen verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung des Fischabstiegs erarbeitet und miteinander verglichen werden. Je nach festgestelltem Verbesserungspotenzial können bestehende Einrichtungen optimiert oder ergänzt sowie neue Lösungsansätze entwickelt werden. Die verschiedenen Möglichkeiten werden hinsichtlich ihrer ökologischen Wirksamkeit, technischen Umsetzbarkeit, wirtschaftlichen Auswirkungen sowie ihres Einflusses auf den Kraftwerksbetrieb und die Energieproduktion beurteilt. Daraus soll eine für die Gegebenheiten am Wasserkraftwerk Ruppoldingen geeignete Lösung abgeleitet und weiter ausgearbeitet werden.
Ergänzend soll, soweit geeignete Informationen verfügbar sind, betrachtet werden, wie sich die technischen und ökologischen Erkenntnisse sowie die Anforderungen an die Fischwanderung seit dem Bau des heutigen Kraftwerks entwickelt haben. Dadurch kann beurteilt werden, wie die damals umgesetzten Massnahmen aus heutiger Sicht einzuordnen sind und ob neuere Erkenntnisse zu anderen oder zusätzlichen Lösungsansätzen führen.

4 Ziele und Anforderungen

Für die Diplomarbeit werden konkrete Endergebnisse definiert. Zu jedem Endergebnis wird ein entsprechendes Erfolgskriterium festgelegt. Dadurch kann am Ende der Arbeit nachvollziehbar überprüft werden, ob die gesetzten Ziele erreicht wurden.

4.1 Endergebnisse und Erfolgskriterien

1. Analyse des bestehenden Systems:
Endergebnis:
Die relevanten Grundlagen und Anforderungen zum Fischabstieg sind erarbeitet. Die bestehende Situation der Fischwanderung am Wasserkraftwerk Ruppoldingen ist analysiert und aus heutiger Sicht beurteilt. Dabei sind die vorhandenen Einrichtungen, deren Funktion sowie mögliche Schwachstellen und Verbesserungspotenziale aufgezeigt.

Erfolgskriterium:
Die Analyse ist so umfassend durchgeführt, dass die bestehende Situation nachvollziehbar beurteilt und daraus mögliche Verbesserungspotenziale für den Fischabstieg abgeleitet werden können.

2. Entwicklung von Varianten:
Endergebnis:
Auf Grundlage der Analyse des bestehenden Systems sind mindestens drei Varianten zur Verbesserung des Fischabstiegs am Wasserkraftwerk Ruppoldingen entwickelt. Die Varianten können bestehende Einrichtungen optimieren oder ergänzen sowie neue Massnahmen beinhalten.

Erfolgskriterium:
Es liegen mindestens drei nachvollziehbar entwickelte Varianten vor, welche auf den Erkenntnissen der Bestandsanalyse aufbauen und für die Gegebenheiten am Wasserkraftwerk Ruppoldingen grundsätzlich umsetzbar sind.

3. Bewertung und Ausarbeitung der favorisierten Variante:
Endergebnis:
Die entwickelten Varianten sind anhand festgelegter und gewichteter Kriterien miteinander verglichen und bewertet. Auf Grundlage der Bewertung ist eine favorisierte Variante ausgewählt, begründet und für die Gegebenheiten am Wasserkraftwerk Ruppoldingen weiter ausgearbeitet.

Erfolgskriterium:
Die Varianten sind anhand einheitlicher Kriterien unter Berücksichtigung ökologischer, technischer, wirtschaftlicher und energierelevanter Aspekte nachvollziehbar bewertet. Die Auswahl und Ausarbeitung der favorisierten Variante ist aus den Ergebnissen der Bewertung schlüssig abgeleitet.

4. Endprodukt und Empfehlung:
Endergebnis:
Die Ergebnisse der Arbeit und die favorisierte Variante sind in einem übersichtlichen Merkblatt dargestellt. Dieses enthält eine standortbezogene Skizze der vorgeschlagenen Lösung, die wichtigsten Fakten sowie eine abschliessende Empfehlung für den Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen.

Erfolgskriterium:
Das Merkblatt stellt die favorisierte Lösung und die wesentlichen Ergebnisse verständlich und übersichtlich dar. Die Skizze zeigt die mögliche Integration der Lösung am Wasserkraftwerk Ruppoldingen und die Empfehlung ist aus den Ergebnissen der Arbeit nachvollziehbar abgeleitet.

5. Präsentation:
Endergebnis:
Die Diplomarbeit wird mit ihren wesentlichen Erkenntnissen, Ergebnissen und der favorisierten Variante in einer Präsentation vorgestellt.

Erfolgskriterium:
Die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Diplomarbeit werden verständlich und übersichtlich präsentiert. Die Vorgaben der TEKO zur Diplomarbeitspräsentation werden berücksichtigt und eingehalten.

4.2 Funktionalitäten und technische Anforderungen

Die untersuchten Möglichkeiten zur Verbesserung des Fischabstiegs sollen auf die bestehenden Gegebenheiten am Wasserkraftwerk Ruppoldingen abgestimmt sein. Dabei wird berücksichtigt, dass bereits Einrichtungen für die Fischwanderung vorhanden sind und mögliche Verbesserungen in das bestehende System integriert werden sollen.
Für die Entwicklung und Beurteilung der Varianten werden insbesondere folgende wesentliche Anforderungen berücksichtigt:

- Schutz vor dem Turbinenbereich: Abwandernde Fische sollen möglichst wirksam daran gehindert werden, in den Turbinenbereich zu gelangen.
- Führung zum Abstiegsweg: Die Fische sollen zu einem geeigneten und auffindbaren Abstiegsweg geführt werden.
- Sichere Passage ins Unterwasser: Der Abstiegsweg soll eine möglichst sichere Passage vom Oberwasser in das Unterwasser ermöglichen.
- Integration in die bestehende Anlage: Die Lösung soll unter Berücksichtigung der vorhandenen baulichen Gegebenheiten und der bestehenden Fischwanderhilfen in das Wasserkraftwerk Ruppoldingen integrierbar sein.

Die Anforderungen werden im Verlauf der Diplomarbeit anhand der Bestandsaufnahme und der verfügbaren Informationen zum Wasserkraftwerk Ruppoldingen weiter konkretisiert. Dadurch können die Varianten gezielt auf die tatsächlichen Gegebenheiten der Anlage abgestimmt werden.

5 Systemabgrenzung und Schnittstellen

5.1 System und Teilsysteme

Als betrachtetes System wird das Wasserkraftwerk Ruppoldingen mit den für den Fischabstieg relevanten Anlagenteilen definiert.

Zu den relevanten Teilsystemen gehören insbesondere:

- Oberwasser und Wasserzuführung
- Rechenanlage
- Turbinenbereich
- Wehrbereich
- bestehende Fischwanderhilfe
- möglicher Fischabstieg beziehungsweise Bypass
- Unterwasser

Im Mittelpunkt der Diplomarbeit steht die Untersuchung des bestehenden Fischabstiegssystems sowie die Entwicklung möglicher Optimierungen und Ergänzungen.

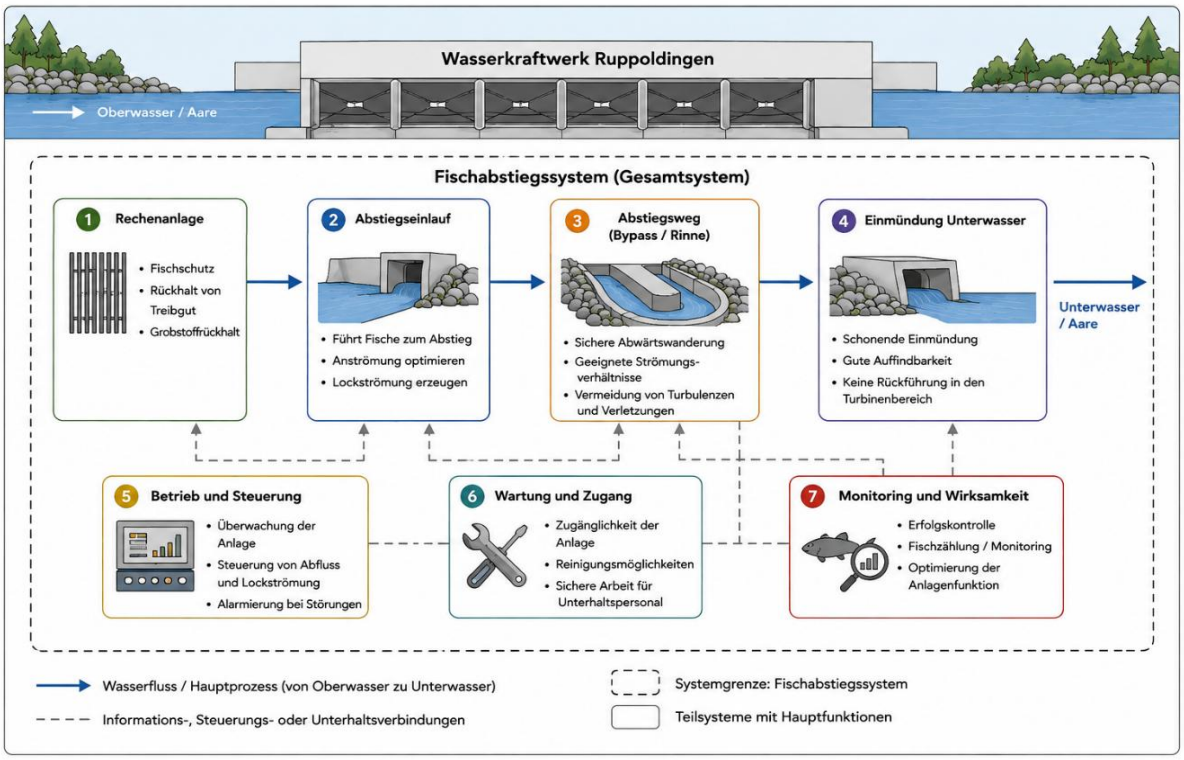


Abbildung 5 System und Teilsysteme (Pflichtenheft)

5.2 Umsystem

Das Umsystem umfasst die äusseren Einflüsse und Rahmenbedingungen, welche für die Auswahl und Bewertung einer Fischabstiegslösung relevant sind.

Dazu gehören insbesondere:

- Aare als Gewässer
- Fischpopulationen und relevante Fischarten
- ökologische Anforderungen
- gesetzliche Rahmenbedingungen
- Betreiber und Kraftwerksbetrieb
- Energieproduktion

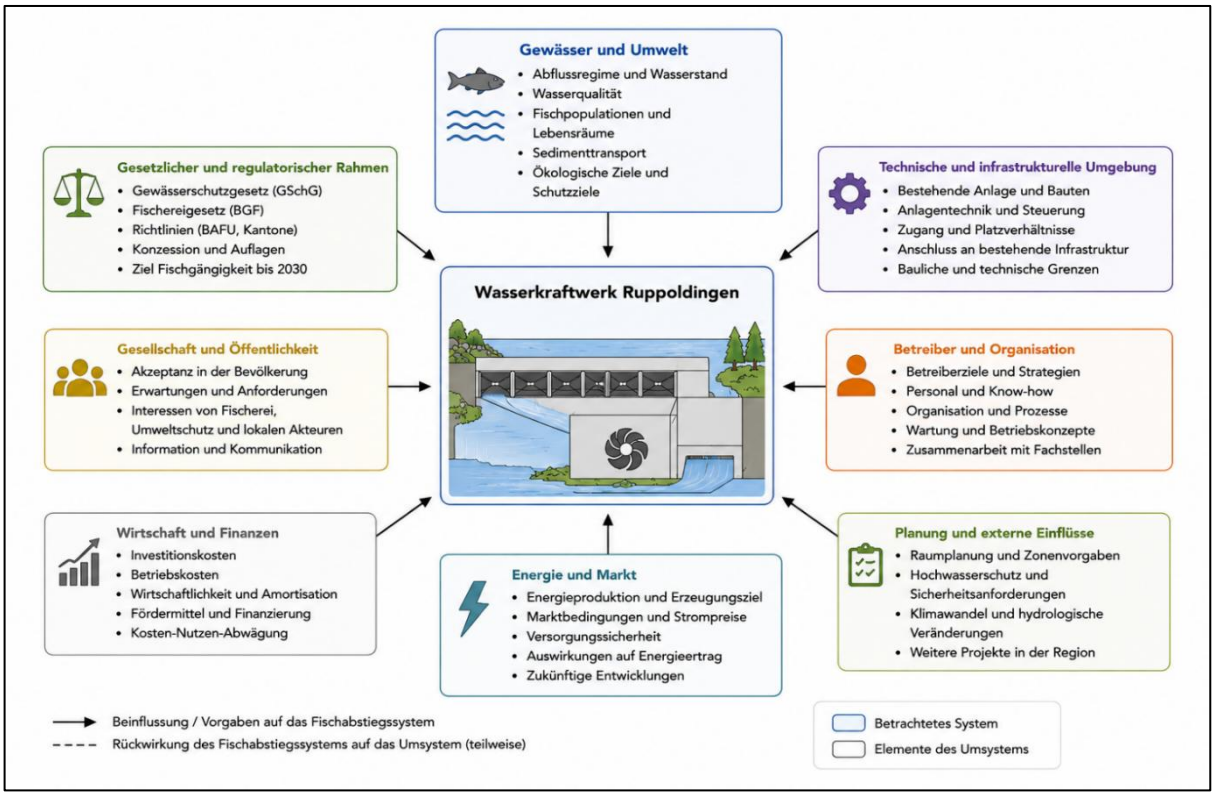


Abbildung 6 Umsystem (Pflichtenheft)

5.3 Schnittstellen

Fischabstieg – Gewässer
Der Fischabstieg muss für abwandernde Fische auffindbar sein und eine sichere Rückführung in das Unterwasser ermöglichen.

Fischabstieg – Rechen und Turbinenbereich
Die Fische sollen möglichst vom Eintritt in die Turbinen abgehalten und zu einem sicheren Abstiegsweg geführt werden.

Fischabstieg – bestehende Kraftwerksanlage
Die mögliche Lösung muss unter Berücksichtigung der bestehenden baulichen Gegebenheiten in die Anlage integrierbar sein.

Fischabstieg – Kraftwerksbetrieb
Auswirkungen auf Betrieb, Wartung, Reinigung und Betriebssicherheit werden bei der Bewertung berücksichtigt.

Fischabstieg – Energieproduktion
Ein möglicher zusätzlicher Wasserbedarf für den Fischabstieg und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Energieproduktion werden berücksichtigt.

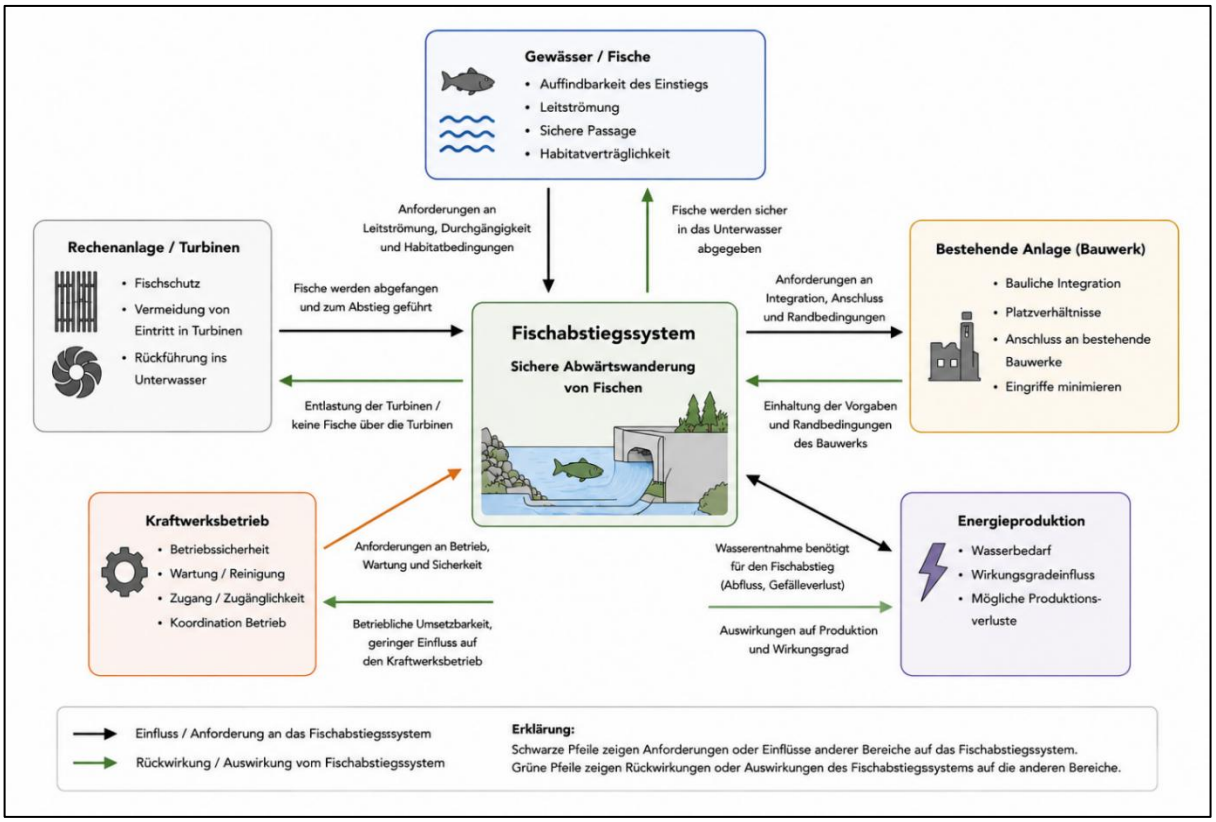


Abbildung 7 Schnittstellen (Pflichtenheft)

6 Weitere Angaben

Als Grundlage für die Bearbeitung werden Fachliteratur, gesetzliche und behördliche Grundlagen sowie verfügbare Informationen zum Wasserkraftwerk Ruppoldingen verwendet. Ergänzend fliessen Erkenntnisse aus einer Besichtigung der Anlage und aus dem fachlichen Austausch mit Alpiq Hydro Aare AG und dem Fachexperten ein. Für spezifische Fragestellungen zur Fischmigration und Gewässerökologie soll nach Möglichkeit zusätzlich eine Fachperson oder ein Fachinstitut beigezogen werden. Zur Betrachtung der Entwicklung des Standorts können zudem historische Karten, Luftbilder und weitere verfügbare Unterlagen verwendet werden. Der Umfang und der Detaillierungsgrad der technischen und wirtschaftlichen Betrachtung richten sich nach den verfügbaren Informationen und dem Rahmen der Diplomarbeit. Als zusätzliches Endprodukt wird ein übersichtliches Merkblatt erstellt, welches die favorisierte Variante mit einer standortbezogenen Skizze und den wichtigsten Erkenntnissen der Arbeit kompakt darstellt. Die Diplomarbeit wird nicht im Auftrag von Alpiq Hydro Aare AG durchgeführt, weshalb keine direkten betrieblichen Vorgaben bestehen. Für die Verwendung des Wasserkraftwerks Ruppoldingen als Fallbeispiel liegt die Zustimmung von Alpiq Hydro Aare AG vor. Vereinbart wurde, Alpiq Hydro Aare AG bei verwendeten Informationen korrekt als Quelle anzugeben und die Arbeit vor einer möglichen Veröffentlichung zur Freigabe vorzulegen.

7 Kenntnisnahme durch den Fachexperten

Der Fachexperte hat das vorliegende Pflichtenheft gelesen und zur Kenntnis genommen.

Ort, Datum: Lenzburg, 14.08.2026

Vorname, Name des Fachexperten: Manuel Schüle

Unterschrift des Fachexperten: M. Schüle

5.4 Analyse der Ausgangslage

Die Anforderungen an Wasserkraftwerke haben sich im Laufe der Zeit verändert. Während früher vor allem die Stromproduktion im Vordergrund stand, haben ökologische Aspekte zunehmend an Bedeutung gewonnen. Lange lag der Schwerpunkt auf dem Fischaufstieg, heute wird auch der Fischabstieg stärker berücksichtigt. Mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes im Jahr 2011 wurde die ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen verstärkt [6]. Anlagen mit wesentlichen Beeinträchtigungen der Fischwanderung müssen saniert werden. Die entsprechenden Massnahmen sollen grundsätzlich bis 2030 umgesetzt werden [7].
Der Fischabstieg stellt insbesondere bei grossen Wasserkraftwerken weiterhin eine Herausforderung dar. Abwandernde Fische können mit der Hauptströmung in Richtung der Turbinen gelangen, wo mechanische Einwirkungen, Scherkräfte und Druckänderungen zu Verletzungen führen können [3]. Deshalb müssen die Fische möglichst vom Turbinenbereich ferngehalten und zu einem auffindbaren und sicheren Abstiegsweg geführt werden. Dies ist auch für Jungfische von Bedeutung. Ein Beispiel ist der Atlantische Lachs: Während ausgewachsene Tiere zum Laichen flussaufwärts wandern, müssen die Junglachse später wieder in Richtung Meer abwandern. Die Schweiz beteiligt sich an der Wiederansiedlung des Atlantischen Lachses im Rheineinzugsgebiet.
Für den Fischschutz und Fischabstieg bestehen verschiedene Lösungsansätze. Dazu gehören Fein und Fischschutzrechen, vollständige oder partielle Leitrechen mit Bypass sowie technische und naturnahe Abstiegswege [11]. Weitere Möglichkeiten sind Seilrechen, Tauchwände und verhaltensbasierte Systeme mit Luftblasen, akustischen Signalen, Licht oder elektrischen Reizen. Dazu gehört auch der BioAcoustic Fish Fence (BAFF), welcher akustische Reize mit einem Blasenschleier kombiniert. Ergänzend kommen betriebliche Massnahmen, eine gezielte Wehrpassage oder fischfreundlichere Turbinen infrage. Bei grossen bestehenden Flusskraftwerken wird die Umsetzung insbesondere durch hohe Durchflussmengen, Schwemmholz und Geschiebe, bauliche Eingriffe sowie mögliche Produktionsverluste erschwert [8].
Untersuchungen von Hydro-Suisse AG an den Wasserkraftwerken Bannwil und Wildegg Brugg liefern wichtige Erkenntnisse zum Fischabstieg bei grossen Flusskraftwerken [10]. Die Ergebnisse zeigen, dass sich viele Fische in Richtung der Turbinenbereiche bewegen, während bestehende Fischaufstiegshilfen nur von einem kleineren Anteil für den Abstieg genutzt werden [9].

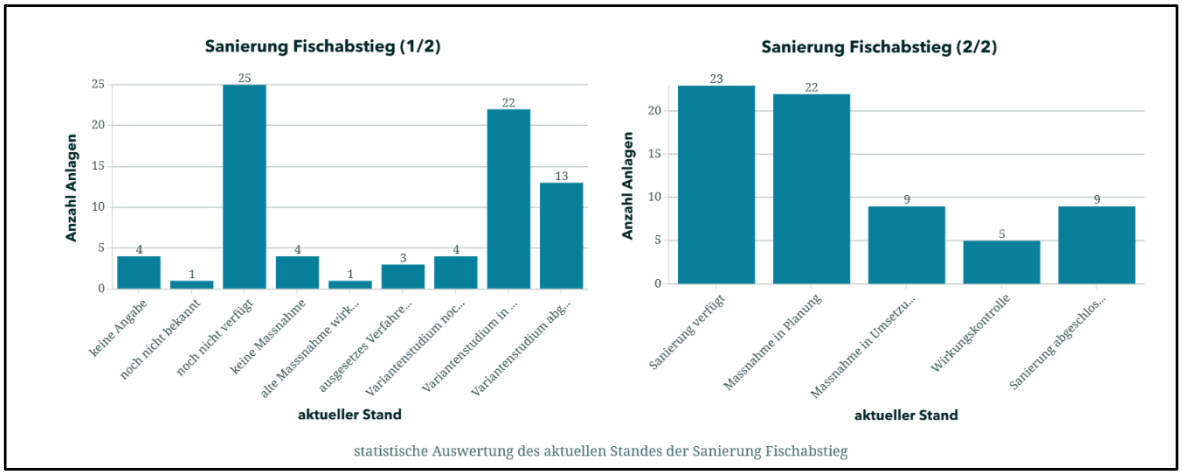


Abbildung 8 Fischabstiegs Sanierungen CH stand 2022 (www.storymaps.arcgis.com)

Für die vorliegende Diplomarbeit wird die Situation am Wasserkraftwerk Ruppoldingen betrachtet. Das Laufwasserkraftwerk an der Aare wurde im Jahr 2000 in Betrieb genommen und verfügt über zwei Kaplan Rohrturbinen [5]. Aufgrund der hohen Durchflussmengen stellt die nachträgliche Integration zusätzlicher Einrichtungen für den Fischabstieg eine technische Herausforderung dar. Gleichzeitig verfügt der Standort bereits über umfangreiche Einrichtungen für die Fischwanderung. Von besonderer Bedeutung ist das rund 1,2 km lange naturnahe Umgehungsgewässer, welches Ober und Unterwasser miteinander verbindet. Zusätzlich befindet sich beim Maschinenhaus eine weitere Fischaufstiegshilfe. Das Umgehungsgewässer kann grundsätzlich auch von abwandernden Fischen genutzt werden. Damit besteht bereits eine Möglichkeit für den Fischabstieg. Offen ist jedoch, wie gut dieser Weg von abwandernden Fischen aufgefunden und tatsächlich genutzt wird.

Bei meiner Anlagenbesichtigung konnten die bestehenden Fischwanderhilfen und verschiedene Bereiche der Kraftwerksanlage direkt betrachtet werden. Dabei wurde auch der bestehende Rechen vor den Turbineneinläufen besichtigt. Dieser ist nicht als moderner Fein beziehungsweise Fischschutzrechen ausgeführt, weshalb kleinere Fische grundsätzlich in Richtung der Turbinen gelangen können. Eine nachträgliche Anpassung des Rechens oder der Einbau zusätzlicher Leiteinrichtungen müsste jedoch in die bestehende Anlage integriert werden und könnte mit erheblichen baulichen und betrieblichen Auswirkungen verbunden sein.

Die Ausgangslage in Ruppoldingen besteht somit nicht darin, dass keine Möglichkeiten für die Fischwanderung vorhanden sind. Vielmehr stellt sich die Frage, wie die bestehenden Einrichtungen für den Fischabstieg verbessert oder durch zusätzliche Massnahmen ergänzt werden können. Die verschiedenen verfügbaren Systeme und die aktuellen Untersuchungen an grossen Schweizer Wasserkraftwerken bilden dafür eine wichtige Grundlage. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden daraus geeignete Lösungsvarianten für Ruppoldingen entwickelt und vertieft untersucht.



Abbildung 9 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.aare-strom.ch)

5.5 Expertenbefragungen

Zur Ergänzung der Literaturrecherche und der verfügbaren technischen Unterlagen wurden zwei Expertenbefragungen durchgeführt. Ziel war es, zusätzliche Informationen zur bestehenden Situation am Wasserkraftwerk Ruppoldingen sowie praktische Erfahrungen und aktuelle Erkenntnisse zum Fischabstieg bei grossen Wasserkraftwerken zu erhalten. Das Fachgespräch mit Thomas Fürst von Alpiq Hydro Aare AG konzentrierte sich auf die standortspezifischen Gegebenheiten des Wasserkraftwerks Ruppoldingen. Die schriftliche Expertenbefragung von Andreas Stettler von Hydro-Suisse AG diente insbesondere dazu, Erkenntnisse aus bisherigen Untersuchungen und Pilotprojekten zum Fischabstieg bei grossen Wasserkraftwerken einzubeziehen. Die wichtigsten Erkenntnisse aus beiden Befragungen werden nachfolgend zusammengefasst. Die vollständigen Gesprächsprotokolle beziehungsweise Fragebögen mit den jeweiligen Fragen und Antworten befinden sich im Anhang.

5.5.1 Interview und Besichtigung mit Herrn Thomas Fürst, Alpiq Hydro Aare AG

Am 15. September 2026 fand eine Anlagenbesichtigung des Wasserkraftwerks Ruppoldingen mit Thomas Fürst, Geschäftsleiter bei Alpiq Hydro Aare AG, statt. Dabei wurden verschiedene Bereiche der Kraftwerksanlage und die bestehenden Einrichtungen zur Fischwanderung betrachtet sowie mögliche Verbesserungsmassnahmen für den Fischabstieg besprochen. Das Fachgespräch zeigte, dass am Standort bereits umfangreiche Einrichtungen für die Fischwanderung vorhanden sind. Dazu gehört insbesondere das naturnahe Umgehungsgewässer, welches grundsätzlich in beide Wanderrichtungen genutzt werden kann. Für einen gezielten und wirksamen Fischabstieg bestehen jedoch weiterhin offene Fragestellungen.
Weiter wurden der bestehende Rechen vor dem Turbineneinlauf sowie mögliche Anpassungen betrachtet. Zusätzliche Fischschutzmassnahmen können bei einem bestehenden grossen Wasserkraftwerk mit hohen Kosten, baulichen Eingriffen und Auswirkungen auf den Kraftwerksbetrieb verbunden sein. Die gewonnenen Erkenntnisse fliessen in die Analyse der Ausgangslage und die Entwicklung der Lösungsvarianten ein. Das vollständige Gesprächsprotokoll befindet sich im *Anhang 14.3*.



Abbildung 10 Turbine während der Trockenlegung in Ruppoldingen (Eigene Aufnahme)

5.5.2 Fragebogen mit Herrn Andreas Stettler, Hydro-Suisse AG

Ergänzend zur Anlagenbesichtigung wurde Andreas Stettler, Geschäftsleiter von Hydro-Suisse AG, schriftlich zum Thema Fischabstieg bei grossen Wasserkraftwerken befragt. Im Mittelpunkt standen bisherige Erfahrungen, aktuelle Untersuchungen sowie mögliche technische Lösungsansätze für bestehende Wasserkraftwerke. Besonders wertvoll für die weitere Bearbeitung waren die Informationen zu den Untersuchungen an den Wasserkraftwerken Bannwil und Wildegg Brugg. Beide Standorte werden im Rahmen von Hydro-Suisse AG Projekten zum Fischabstieg untersucht und weisen aufgrund ihrer Grösse interessante Vergleichsmöglichkeiten mit dem Wasserkraftwerk Ruppoldingen auf. Durch die Expertenbefragung und die zur Verfügung gestellten Projektunterlagen konnten Erkenntnisse zum Wanderverhalten der Fische sowie zu verschiedenen technischen Lösungsansätzen gewonnen werden.
Die bisherigen Untersuchungen zeigen unter anderem, dass sich abwandernde Fische häufig in Richtung der Turbinenbereiche bewegen und ein geeigneter Abstiegsweg deshalb nicht nur vorhanden, sondern für die Fische auch auffindbar sein muss. Thematisiert wurden verschiedene Lösungsansätze wie Leitrechen mit Bypass, verhaltensbasierte Leitsysteme und partielle Leitrechen im Uferbereich. Gleichzeitig bestehen insbesondere bei grossen Flüssen weiterhin offene technische und ökologische Fragestellungen.
Die Erkenntnisse aus der Expertenbefragung sowie den Projekten Bannwil und Wildegg Brugg bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Analyse und die Entwicklung der Lösungsvarianten für Ruppoldingen. Der vollständige Fragebogen mit den schriftlichen Antworten befindet sich im *Anhang 14.4*.



Abbildung 11 Fischabstiegsprojekt Hydro-Suisse AG in Bannwil (www.bernerzeitung.ch)

5.6 Zielscheibe

Richtziel: Ein Konzept zur Verbesserung des Fischabstiegs beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen unter bestehenden Gegebenheiten entwickeln.

1. Die bestehende Situation der Fischwanderung und insbesondere des Fischabstiegs beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen ist analysiert und beschrieben.
2. Es liegen mindestens drei Lösungsvarianten zur Verbesserung des Fischabstiegs vor.
3. Die favorisierte Variante ist konkret ausgearbeitet.
4. Die Ergebnisse und die Empfehlung sind in einem übersichtlichen Merkblatt dargestellt.
5. Die Projektarbeit wird in einer Präsentation vorgestellt.

Endergebnisse

Kunde

- Wasserkraftwerkbetreiber

Sinn und Zweck

- Analyse der bestehenden Einrichtungen zur Fischwanderung und der aktuellen Situation des Fischabstiegs beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen.
- Aufzeigen geeigneter technischer und betrieblicher Verbesserungsmöglichkeiten für den Fischabstieg.
- Vergleich verschiedener Lösungsvarianten unter Berücksichtigung ökologischer, technischer, wirtschaftlicher und energierelevanter Aspekte.
- Erarbeitung einer nachvollziehbaren Empfehlung für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen.

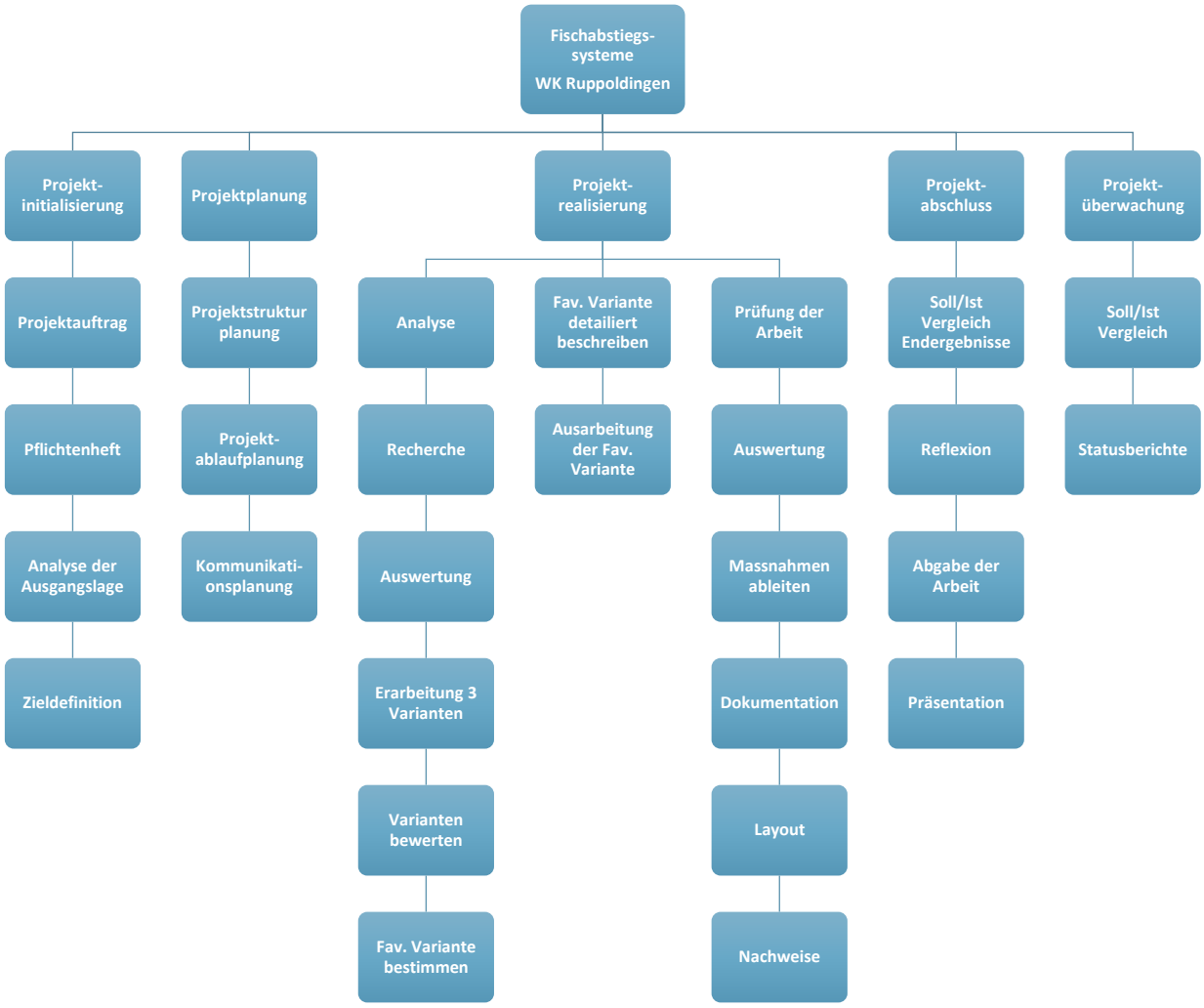
Erfolgskriterien

1. Es können Erkenntnisse zur bestehenden Situation des Fischabstiegs gewonnen werden, welche zur Bildung von Varianten benutzt werden kann.
2. Die Varianten müssen ökologisch wirksam, technisch umsetzbar und wirtschaftlich tragbar sein.
3. Die favorisierte Variante muss so ausgearbeitet sein, dass alle relevanten Aspekte klar beschrieben und nachvollziehbar sind.
4. Das Merkblatt muss auf einer A3-Seite die wichtigsten Fakten sowie eine Skizze der favorisierten Variante enthalten.
5. Sämtliche Vorgaben zu den Inhalten der Präsentation wurden berücksichtigt.

6 Projektplanung

In dieser Phase werden die in diesem Kapitel beschriebenen Schritte, wie die Erstellung des Projektstrukturplans und die Planung des Projektablaufs, durchgeführt. Auch werden in dieser Phase klare Vorgaben und Strukturen festgelegt, die es ermöglichen, die Aufgaben effizient zu bearbeiten.

6.1 Projektstrukturplanung



6.2 Projektablaufplanung

Projektablaufplanung

Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke
Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen

Aufgaben		Start	Ende	Dauer	Status
Vorbereitung Diplomarbeit					
Synthesearbeit	Soll	22.4.26	17.8.26	117 Tage	
	Ist	22.4.26	17.8.26	117 Tage	
Themeneingabe	Soll	22.4.26	22.6.26	61 Tage	
	Ist	22.4.26	22.6.26	61 Tage	
Pflichtenheft	Soll	6.7.26	15.8.26	40 Tage	
	Ist	6.7.26	15.8.26	40 Tage	
Projektinitialisierung					
Projektauftrag	Soll	14.9.26	14.9.26	1 Tag	
	Ist	14.9.26	14.9.26	1 Tag	
Informationsbeschaffung	Soll	15.9.26	20.9.26	6 Tage	
	Ist	15.9.26	22.9.26	8 Tage	
Analyse der Ausgangslage	Soll	23.9.26	29.9.26	7 Tage	
	Ist	23.9.26	30.9.26	8 Tage	
Zielscheibe	Soll	2.10.26	4.10.26	3 Tage	
	Ist	2.10.26	3.10.26	2 Tage	
Projektplanung					
Projektstrukturplanung	Soll	4.10.26	5.10.26	2 Tage	
	Ist	4.10.26	4.10.26	1 Tag	
Projektablaufplanung	Soll	6.10.26	11.10.26	6 Tage	
	Ist	6.10.26	12.10.26	7 Tage	
Kommunkationsplanung	Soll	12.10.26	12.10.26	1 Tag	
	Ist	12.10.26	12.10.26	1 Tag	
Projektrealisierung					
Ideenfindung: Brainstorming & Mind Map	Soll	13.10.26	14.10.26	2 Tage	
Erarbeitung der drei Varianten	Soll	14.10.26	18.10.26	5 Tage	
Hauptvariante evaluieren anhand der Präferenzmatrix	Soll	19.10.26	20.10.26	2 Tage	
Bewertung der Varianten mittles Nutzwert und Sensitivitätsanalyse	Soll	20.10.26	20.10.26	1 Tag	
SWOT-Analyse	Soll	21.10.26	21.10.26	1 Tag	
Hauptvariante ausarbeiten	Soll	21.10.26	30.10.26	10 Tage	
Endprodukt erarbeitet	Soll	31.10.26	3.11.26	4 Tage	
Projektabschluss					
Soll / Ist Vergleich	Soll	3.11.26	4.11.26	2 Tage	
Reflexion und Ausblick	Soll	5.11.26	5.11.26	1 Tag	
Online Publikation	Soll	10.11.26	18.11.26	8 Tage	
Abgabe der Dokumentation	Soll	9.11.26	9.11.26	1 Tag	
Präsentation	Soll	10.11.26	20.11.26	11 Tage	

Meilensteine	Soll	Ist
Erledigt	In Bearbeitung	Nicht erledigt

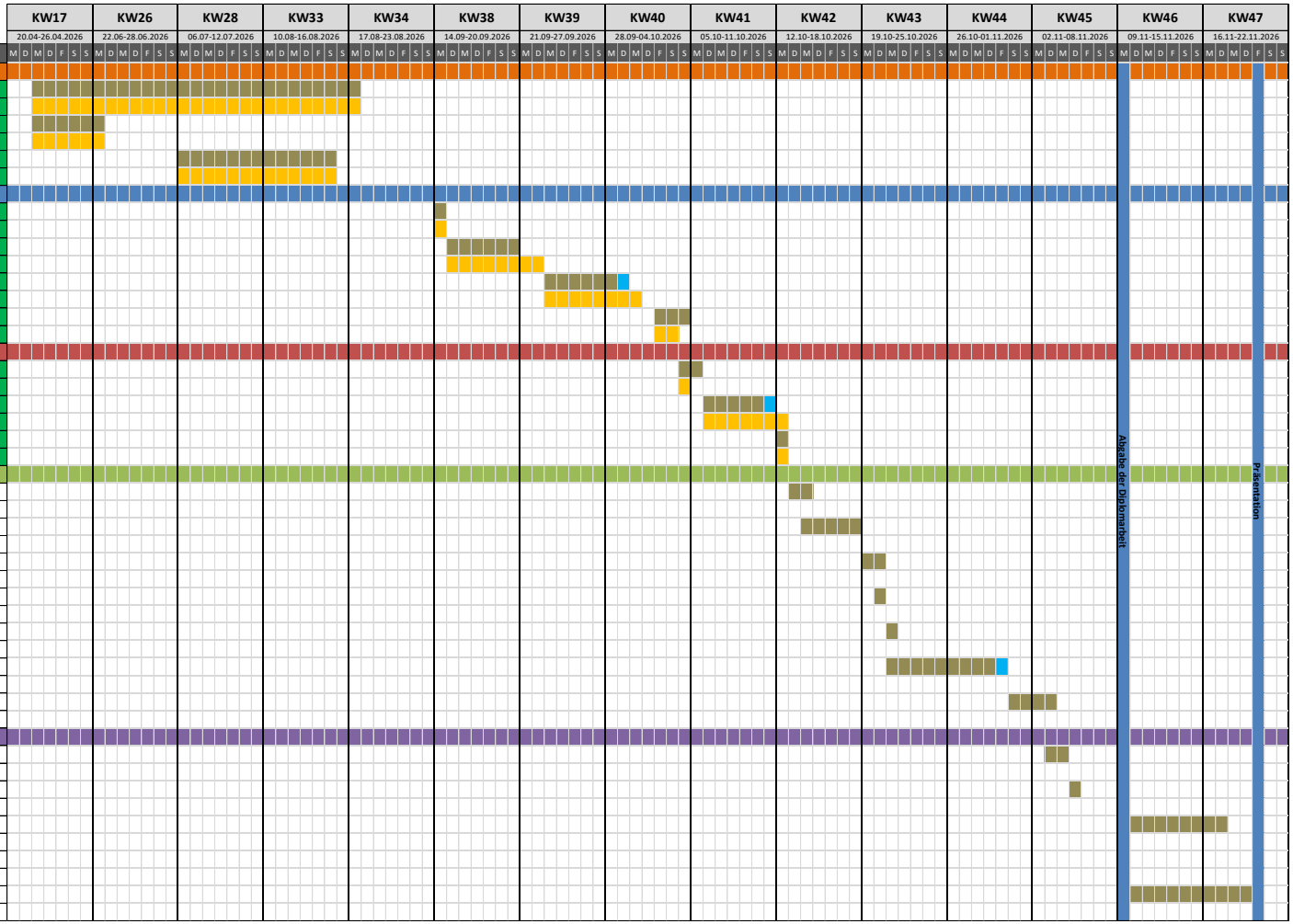


Tabelle 3 Projektablaufplanung

6.3 Meilensteine

Für meine Projektarbeit habe ich folgende Meilensteine erfasst. Die Einhaltung der Meilensteine kann in der Projektüberwachung abgelesen werden.

- Projektinitialisierung Meilenstein 1: Zielscheibe mit definierten Zielen
- Projektplanung Meilenstein 2: Detaillierter Terminplan mit Meilensteinen.
- Projektrealisierung Meilenstein 3: Vollständig ausgearbeitet Hauptvariante
- Projektabschluss Meilenstein 4: Die zeitliche Abgabe der Diplomarbeit.

6.4 Kommunikationsplanung

Ansprechgruppe	Thema	Zeitpunkt	Kanal	Verantwortung
Abteilungsvorstand	Themeneingabe Diplomarbeit	Vor der Diplomarbeit	E-Mail	Diplomand
Diplomlehrer	Einreichung und Besprechung Pflichtenheft	Vor der Diplomarbeit	E-Mail / persönlich	Diplomand
Diplomlehrer	Erster Vorzeigetermin	Während der Diplomarbeit	Microsoft Teams	Diplomand
Diplomlehrer	Statusberichte	Alle 2 Wochen	E-Mail	Diplomand
Fachexperte	Fachliche Begleitung und Plausibilisierung	Bei Bedarf	Persönlich / Microsoft Teams	Diplomand
Kraftwerksbetreiber	Anlagenbesichtigung und Fachgespräch	Analysephase	Persönlich vor Ort	Diplomand
Branchenverband	Expertenbefragung zum Fischabstieg	Analysephase	E-Mail	Diplomand
Diplomlehrer	Zweiter Vorzeigetermin	Während der Diplomarbeit	Persönlich	Diplomand
Fachexperte	Beurteilung Diplomarbeit	Ende der Diplomarbeit	Persönlich	Diplomand

Tabelle 4 Kommunikationsplanung

Die Kommunikationsplanung zeigt die wichtigsten Kontakte während der Vorbereitung und Bearbeitung der Diplomarbeit. Bereits vor dem offiziellen Start erfolgten die Themeneingabe sowie die Einreichung und Besprechung des Pflichtenhefts. Während der Bearbeitungsphase findet ein regelmässiger Austausch mit dem Diplomlehrer und dem Fachexperten statt. Der Projektfortschritt wird zusätzlich alle zwei Wochen mit einem Statusbericht dokumentiert und an den Diplomlehrer übermittelt. Die beiden Vorzeigetermine dienen dazu, den aktuellen Stand zu besprechen und das weitere Vorgehen abzustimmen. Für die fachliche Informationsbeschaffung werden zudem der Kraftwerksbetreiber und ein Branchenverband beigezogen. Die Kommunikation erfolgt je nach Anlass persönlich, per E-Mail oder über Microsoft Teams.

7 Projektrealisierung

Die abgeschlossenen Phasen der Projektinitialisierung und Projektplanung bilden das Fundament für die Projektrealisierung. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden noch keine konkreten Lösungen festgelegt, da die Ziele, Endergebnisse und Erfolgskriterien lösungsneutral formuliert wurden. Der erste Schritt besteht daher darin, geeignete Lösungsansätze zu entwickeln.
Für die Ideenfindung und Strukturierung wurden die Kreativitätsmethoden Brainstorming und Mindmap eingesetzt. Dazu verwendete ich das Online Tool Miro, welches mir durch einen Arbeitskollegen vorgestellt wurde. Miro bietet verschiedene digitale Werkzeuge und Vorlagen zur visuellen Darstellung von Ideen. Besonders hilfreich waren die farbigen Notizzettel für das Brainstorming und die Vorlagen für die Mindmap Darstellung.

7.1 Kreativitätsmethode – Brainstorming & Mindmap

Die Brainstorming Methode eignet sich gut, um innerhalb kurzer Zeit möglichst viele Ideen und Lösungsansätze zu sammeln. Dazu hielt ich auf digitalen Notizzetteln in Miro zunächst alle Gedanken zum Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen fest, ohne diese zu bewerten. Anschliessend gruppierte ich die Ideen mithilfe unterschiedlicher Farben nach zusammengehörenden Themen. Dadurch erhielt ich einen ersten Überblick über mögliche Lösungsansätze und erkannte Gemeinsamkeiten. Diese grobe Einteilung bildete die Grundlage für die anschliessende Mindmap.

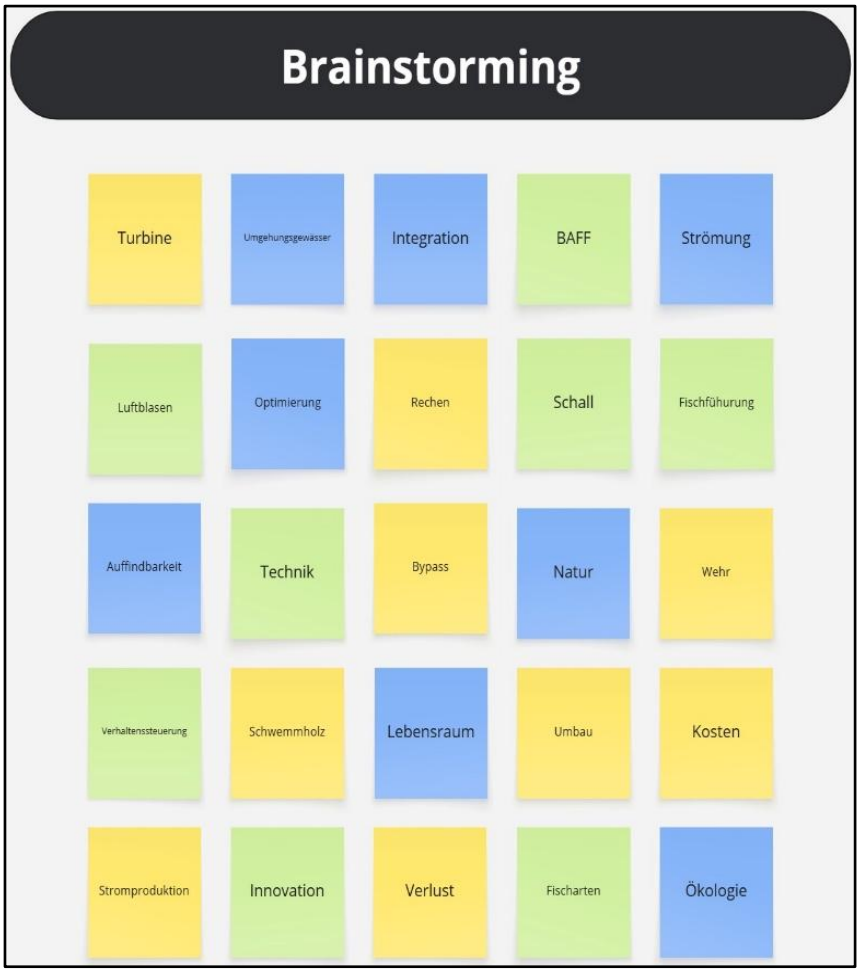


Abbildung 12 Brainstorming (www.miro.com)

Die Mindmap dient dazu, verschiedene Ideen und Themenbereiche übersichtlich darzustellen und miteinander in Verbindung zu bringen. Miro bietet dafür unterschiedliche Vorlagen an, darunter auch die klassische Mindmap. Ich entschied mich jedoch bewusst für eine andere Vorlage, da sich diese besonders gut eignete, um meine drei Lösungsvarianten darzustellen.
Dazu erstellte ich drei Hauptgruppen und ordnete die zuvor im Brainstorming gesammelten Ideen den jeweiligen Varianten zu. Die farbliche Gruppierung erleichterte mir dabei die Zuordnung der einzelnen Themen. Durch diese Darstellung konnte ich die verschiedenen Lösungsansätze besser voneinander abgrenzen und die drei Varianten für die anschliessende Variantenbildung weiterentwickeln.

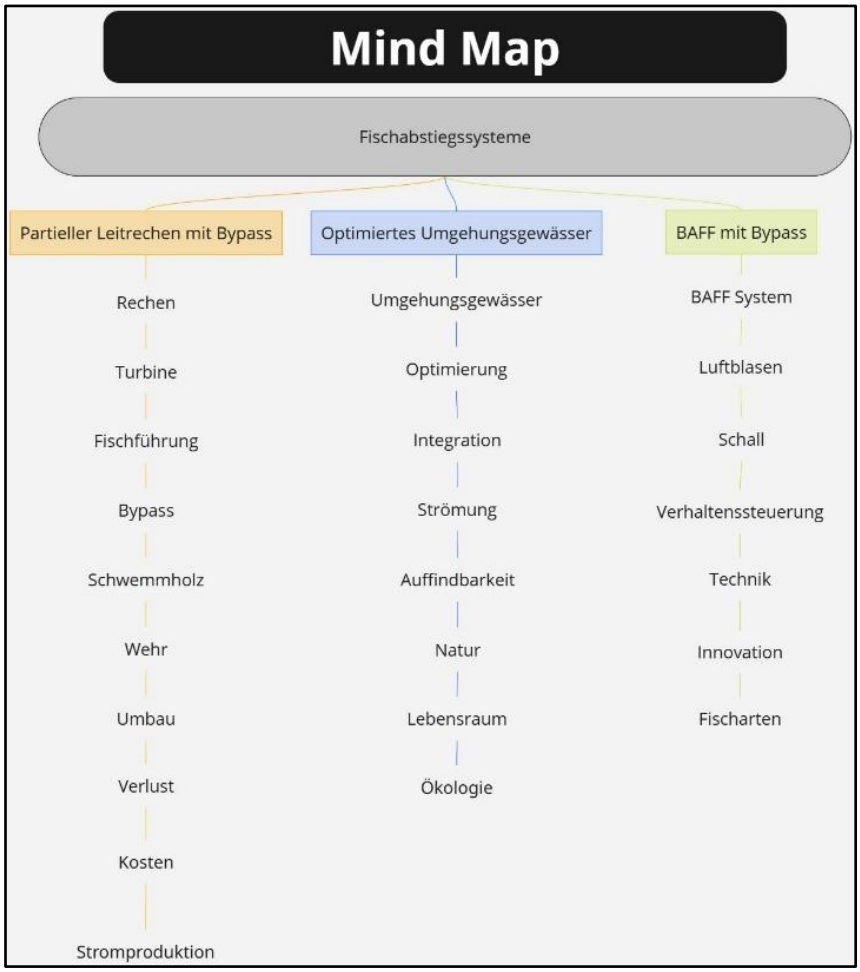


Abbildung 13 Mindmap (www.miro.com)

7.2 Variantenbildung

7.2.1 Kurzbeschreibung der Variante 1: Partieller Leitrechen mit Bypass

Die erste Variante sieht einen partiellen Leitrechen mit Bypass im Oberwasser des Wasserkraftwerks Ruppoldingen vor. Im Gegensatz zu einem vollständigen Leitrechen wird dabei nicht der gesamte Turbineneinlauf mit einer zusätzlichen Rechenanlage abgedeckt. Stattdessen wird nur ein Teilbereich mit einer Leitstruktur versehen. Der partielle Leitrechen würde gegenüber dem bestehenden Rechen einen deutlich kleineren Stababstand aufweisen. Dadurch sollen Fische am direkten Durchschwimmen gehindert und entlang des Rechens in Richtung eines Bypasses geführt werden. Über den Bypass können die Fische anschliessend sicher ins Unterwasser gelangen. Der Bypass bildet somit den eigentlichen Abstiegsweg, während der Leitrechen hauptsächlich der Fischführung dient [11]. Die Idee eines partiellen Leitrechens ist insbesondere für grosse bestehende Flusskraftwerke interessant. Untersuchungen von Hydro-Suisse AG an den Wasserkraftwerken Bannwil und Wildegg-Brugg zeigen, dass sich abwandernde Fische häufig in Richtung der Turbinen bewegen und teilweise ufernah nach einer Abstiegsmöglichkeit suchen [9]. Dieses Verhalten könnte genutzt werden, indem ein Leitrechen gezielt in einem geeigneten Uferbereich angeordnet und mit einem Bypass kombiniert wird. Im Vergleich zu einem vollständigen Leitrechen müsste dadurch nur ein Teil des Turbinenbereichs mit einer zusätzlichen Konstruktion versehen werden.

Für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen könnte dieser Ansatz Vorteile bieten. Im Vergleich zu einem vollständigen Leitrechen wäre eine kleinere Konstruktion erforderlich, wodurch der bauliche Aufwand reduziert werden könnte. Bei einer Umsetzung müssten jedoch die Strömungsverhältnisse, Schwemmholz und Geschiebe sowie die Reinigung des Rechens berücksichtigt werden. Eine wesentliche Herausforderung besteht aus meiner Sicht darin, dass der partielle Leitrechen nur einen Teilbereich des Gewässerquerschnitts abdeckt. Dadurch ist nicht gewährleistet, dass alle abwandernden Fische die Leitstruktur erreichen und anschliessend zuverlässig zum Bypass geführt werden.

Der partielle Leitrechen mit Bypass stellt damit einen möglichen Ansatz für Ruppoldingen dar. Er verbindet eine mechanische Fischführung mit einem sicheren Abstiegsweg und könnte gegenüber einem vollständigen Leitrechen mit geringeren baulichen Eingriffen umgesetzt werden.

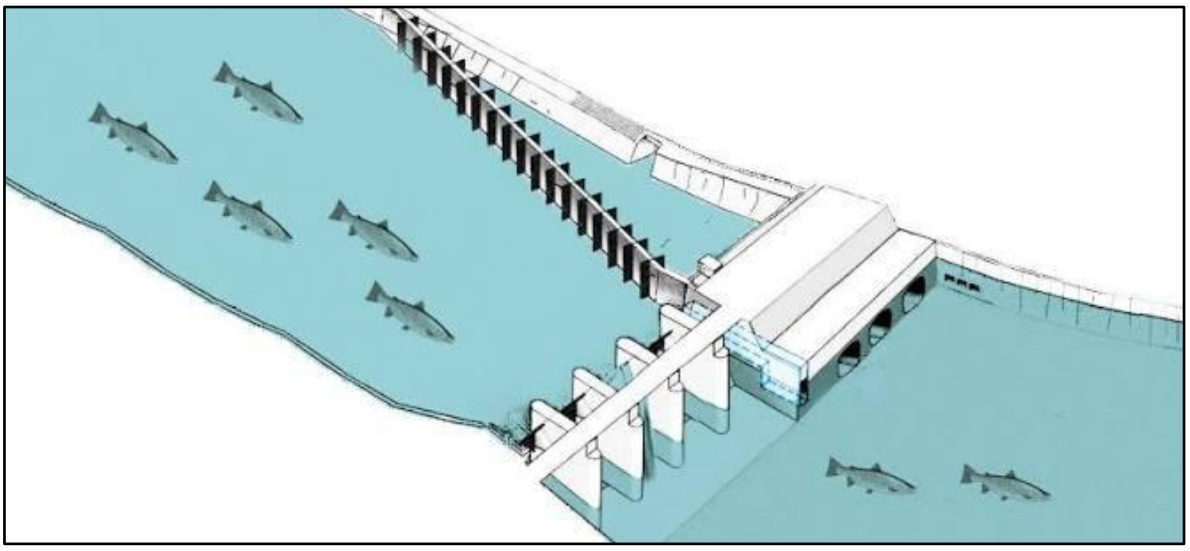


Abbildung 14 Partieller Leitrechen mit Bypass (www.fischereiberatung.ch)

7.2.2 Kurzbeschreibung der Variante 2: Optimiertes Umgehungsgewässer

Die zweite Variante sieht vor, das bereits bestehende naturnahe Umgehungsgewässer des Wasserkraftwerks Ruppoldingen gezielt für den Fischabstieg zu optimieren. Das rund 1,2 km lange Umgehungsgewässer verbindet Ober- und Unterwasser und dient sowohl der Fischwanderung als auch als naturnaher Lebensraum. Da diese Verbindung grundsätzlich in beide Richtungen genutzt werden kann, besteht bereits heute eine Möglichkeit für Fische, das Kraftwerk zu umgehen. Für einen wirksamen Fischabstieg ist jedoch entscheidend, dass abwandernde Fische den Einstieg im Oberwasser auffinden und diesen tatsächlich nutzen [3]. Im Mittelpunkt dieser Variante steht deshalb nicht der Bau eines vollständig neuen Abstiegsweges, sondern die Verbesserung der bestehenden Situation. Besonders wichtig ist dabei der Einstieg in das Umgehungsgewässer. Durch eine geeignete Strömungsführung beziehungsweise eine verbesserte Lockströmung könnte die Auffindbarkeit für abwandernde Fische erhöht werden. Zusätzlich wäre zu untersuchen, ob der Einlaufbereich angepasst werden müsste, damit die Fische möglichst früh vom Turbinenbereich weg und in Richtung des Umgehungsgewässers geführt werden.
Ein wesentlicher Vorteil dieser Variante ist die Nutzung der bereits vorhandenen Infrastruktur. Dadurch könnten die baulichen Eingriffe geringer ausfallen und der naturnahe Charakter des Umgehungsgewässers erhalten bleiben. Gleichzeitig dient das Gewässer weiterhin als Lebensraum für verschiedene Tier- und Pflanzenarten. Im Gegensatz zu einem vollständig neuen Fischabstieg müsste somit kein neuer Abstiegsweg über die gesamte Strecke geschaffen werden. Eine Herausforderung ist jedoch die Auffindbarkeit des Einstiegs, da die Hauptströmung der Aare einen grossen Teil der Fische in Richtung der Kraftwerksanlage führen kann. Durch eine angepasste Strömungsführung beziehungsweise eine verbesserte Lockströmung könnte der Einstieg für abwandernde Fische besser auffindbar gemacht werden. Dabei müssten insbesondere die lokalen Strömungsverhältnisse und das Wanderverhalten der Fische berücksichtigt werden. Auch die Gestaltung und Lage des Einlaufbereichs spielen dabei eine wichtige Rolle. Dadurch könnte das bestehende Umgehungsgewässer gezielter für den Fischabstieg genutzt werden.



Abbildung 15 Umgehungsgewässer für Auf- und Abstieg (www.ib-gebler.de)

7.2.3 Kurzbeschreibung der Variante 3: BAFF mit Bypass

Die dritte Variante sieht den Einsatz eines BioAcoustic Fish Fence (BAFF) in Kombination mit einem Bypass vor. Im Gegensatz zu einem mechanischen Leitrechen werden die Fische dabei nicht durch eine feste Barriere zurückgehalten. Das System nutzt einen Blasenschleier in Verbindung mit akustischen Signalen, um das Verhalten der Fische zu beeinflussen [9]. Die Fische sollen dadurch vom Turbinenbereich ferngehalten und entlang des BAFF-Systems in Richtung eines sicheren Bypasses geführt werden. Über diesen können sie anschliessend ins Unterwasser gelangen. Der Blasenschleier wird durch eine am Gewässergrund installierte Luftleitung erzeugt, aus welcher kontinuierlich Luftblasen aufsteigen. Zusammen mit den akustischen Signalen entsteht eine für die Fische wahrnehmbare Barriere. Das Wasser selbst kann diese Barriere weiterhin durchströmen. Dadurch unterscheidet sich das BAFF deutlich von einem klassischen Leitrechen. Schwemmholz und Geschiebe werden nicht durch einen engmaschigen Rechen zurückgehalten, was bei einem grossen Flusskraftwerk grundsätzlich von Vorteil sein könnte. Für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen ist dieser Ansatz interessant, da eine Fischführung ermöglicht werden könnte, ohne einen zusätzlichen mechanischen Rechen über einen grossen Bereich des Oberwassers zu errichten. Das BAFF müsste so angeordnet werden, dass die Fische möglichst vom Bereich der Turbineneinläufe weg und zum Eingang des Bypasses geführt werden. Neben dem Blasenschleier wären dafür technische Einrichtungen zur Luftversorgung und zur Erzeugung der akustischen Signale erforderlich.
Eine wesentliche Herausforderung liegt in der Wirksamkeit des Systems unter den Bedingungen eines grossen Flusskraftwerks. Die Reaktion auf akustische Signale und Luftblasen kann je nach Fischart unterschiedlich ausfallen [8]. Zudem müssen bei Ruppoldingen die Strömungsverhältnisse, die Gewässerbreite sowie Schwemmholz und Geschiebe berücksichtigt werden. Da solche verhaltensbasierten Systeme bei grossen Schweizer Wasserkraftwerken noch nicht über dieselbe Erfahrung wie etablierte mechanische Lösungen verfügen, bestehen bei der praktischen Anwendung weiterhin Unsicherheiten. Diese Variante unterscheidet sich damit deutlich von den beiden anderen Lösungsansätzen. Anstelle einer mechanischen Barriere oder der Optimierung eines bestehenden Wanderweges soll das Verhalten der Fische gezielt beeinflusst werden. Das BAFF mit Bypass bietet dadurch einen innovativen Ansatz für den Fischabstieg.

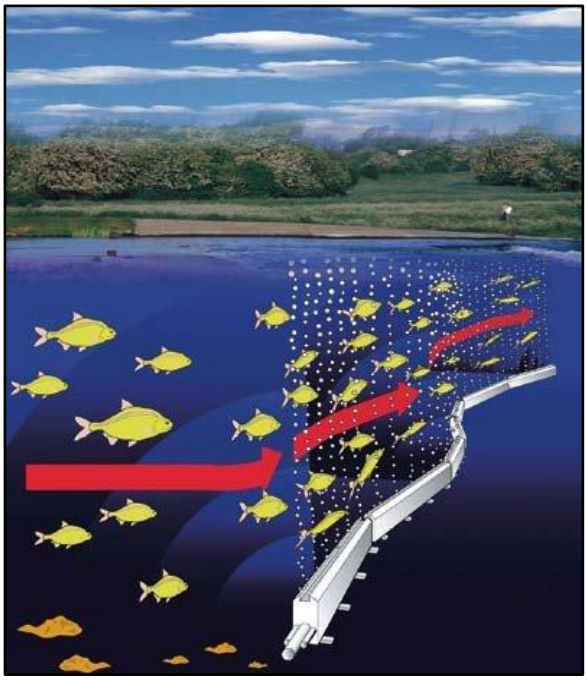


Abbildung 16 BAFF System (www.researchgate.net)

7.3 Evaluation der geeignetsten Variante

7.3.1 Kriterien festlegen

Mithilfe des Brainstormings und des Mindmaps werden die Hauptkategorien der Kriterien für die Präferenzmatrix im Zusammenhang mit meiner Variantenbildung dargestellt, um eine umfassende Bewertung zu ermöglichen.
Kriterien:

- Fischschutz
- Kosten
- Energieverluste
- Unterhalt
- Umweltwirkung
- Umsetzbarkeit

7.3.2 Präferenzmatrix

Anhand der Präferenzmatrix wird die Gewichtung für die Nutzwertanalyse ausgearbeitet. Dabei wird den Kriterien das angemessene Gewicht des Auftrags zugeordnet.

Tabelle 5: Präferenzmatrix

Legende Kriterien		**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**	**Anzahl**
Fischschutz	**a**		a	a	a	a	f	5
Kosten	**b**			b	b	b	f	4
Energieverluste	**c**				c	e	f	3
Unterhalt	**d**					d	f	2
Umweltwirkung	**e**						e	1
Umsetzbarkeit	**f**							0
	Nennungen	4	3	1	1	2	4	15
	Rang	1	2	4	4	3	1	
	Prozent	26,7%	20.0%	6,7%	6.7%	13,3%	26.7%	100%

7.4 Bewertung der Varianten

7.4.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ermöglicht einen systematischen Vergleich verschiedener Lösungsvarianten anhand festgelegter und gewichteter Kriterien. Mithilfe eines Punktesystems können sowohl finanzielle als auch nicht finanzielle Aspekte berücksichtigt werden. Dadurch lässt sich die Auswahl der geeignetsten Variante nachvollziehbar begründen.

Tabelle 6: Nutzwertanalyse

		Variante 1 Partieller Leitrechen mit Bypass		**Variante 2 Optimiertes Umgehungsgewässer**		**Variante 3 BAFF mit Bypass**	
Kriterien	**Gewichtung**	**TN**	**GTN**	**TN**	**GTN**	**TN**	**GTN**
Fischschutz	26.7	3	80.1	3	80.1	3	80.1
Kosten	20	2	40	3	60	2	40
Energieverluste	6.7	3	20.1	2	13.4	3	20.1
Unterhalt	6.7	2	13.4	3	20.1	2	13.4
Umweltwirkung	13.3	2	26.6	4	53.2	3	39.9
Umsetzbarkeit	26.7	2	53.4	3	80.1	2	53.4
Gesamtnutzen	**100**		**233.6**		**306.9**		**246.9**

7.4.2 Sensitivitätsanalyse

Tabelle 7 Sensitivitätsanalyse

		Variante 1 Partieller Leitrechen mit Bypass		Variante 2 Optimiertes Umgehungsgewässer		Variante 3 BAFF mit Bypass	
Kriterien	**Gewichtung**	**TN**	**GTN**	**TN**	**GTN**	**TN**	**GTN**
Fischschutz	20.0	3	60	3	60	3	60
Kosten	26.7	2	53.4	3	80.1	2	53.4
Energieverluste	6.7	3	20.1	2	13.4	3	20.1
Unterhalt	6.7	2	13.4	3	20.1	2	13.4
Umweltwirkung	13.3	2	26.6	4	53.2	3	39.9
Umsetzbarkeit	26.7	2	53.4	3	80.1	2	53.4
Gesamtnutzen	**100**		**226.9**		**306.9**		**240.2**

Erkenntnis:
Auch nach der Anpassung der beiden Kriterien Fischschutz und Kosten hat sich der Gesamtnutzen nicht zu stark geändert, damit es nötig wäre von der Hauptvariante abzusehen. Daher wurde nach der Durchführung dieser Analyse weiterhin die Favorisierte Variante 2. "Optimiertes Umgehungsgewässer" weiterverfolgt.

7.4.3 Resultat der Variantenevaluation

Die Variantenevaluation ergab, dass die Variante 2 «Optimiertes Umgehungsgewässer» insgesamt am besten abschneidet. Ausschlaggebend sind insbesondere die Verbesserung des Fischschutzes und die Möglichkeit, das bestehende Umgehungsgewässer für den Fischabstieg zu optimieren. Dadurch kann auf bereits vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen werden, ohne ein vollständig neues Fischabstiegssystem errichten zu müssen. Aufgrund dieser Vorteile wurde Variante 2 als bevorzugte Lösung ausgewählt und für die weitere Ausarbeitung berücksichtigt.

7.4.4 SWOT-Analyse

Tabelle 8: SWOT-Analyse

Umwelfaktoren / **Unternehmensfaktoren**	
Chancen: (O) 1. Verbesserung Fischwanderung 2. Nutzung neuer Erkenntnisse 3. Ökologische Aufwertung des Standorts 4. Integration bei bestehenden Einrichtungen	**Risiken: (T)** 1. Beeinträchtigung Stromproduktion 2. Finanzierung 3. Unsichere Wirksamkeit
Stärken: (S) 1. Bestehendes Umgehungsgewässer 2. Naturnaher Fischabstieg 3. Geringe bauliche Eingriffe 4. Auf- und Abstieg möglich	**Schwächen: (W)** 1. Hohe Durchflussmengen erforderlich 2. Bestehender Rechen bleibt 3. Auffindbarkeit nicht einfach zu sichern

7.4.5 Auswertung

Aus der SWOT-Analyse geht hervor, dass die Chancen und die Stärken die Schwächen und Risiken überwiegen. Somit steht der Weiterführung des Projekts nichts im Wege.

8 Ausarbeitung der Variante «Optimiertes Umgehungsgewässer»

8.1 Wasserkraftwerk Ruppoldingen – Geschichte und Ausgangslage

8.1.1 Geschichte und Entwicklung des Kraftwerks

Das Wasserkraftwerk Ruppoldingen liegt an der Aare bei Boningen im Kanton Solothurn und blickt auf eine über 130-jährige Geschichte zurück. Heute wird es von der Alpiq Hydro Aare AG betrieben, die neben Ruppoldingen auch die beiden Laufwasserkraftwerke Gösgen und Flumenthal betreibt.

Die Wasserkraftnutzung an diesem Standort begann im Jahr 1896 mit der Inbetriebnahme des ersten Kraftwerks durch die Elektrizitätswerk Olten-Aarburg AG. Die Anlage gehörte zu den frühen grösseren Wasserkraftwerken der Schweiz und trug wesentlich zur Elektrifizierung der umliegenden Region bei. Das ursprüngliche Kraftwerk war als Kanalkraftwerk ausgeführt. Ein Teil des Aarewassers wurde über einen künstlich angelegten Kanal zu den Turbinen geleitet und anschliessend wieder in die Aare zurückgeführt. Mit dem steigenden Strombedarf wurde die Anlage mehrfach modernisiert, unter anderem in den Jahren 1924 und 1925. Zeitweise ergänzte ein Hochdruckkraftwerk mit einem Speicherbecken auf dem Born die Stromproduktion. Dieses war bis 1960 in Betrieb.

Nach rund 100 Betriebsjahren wurde das alte Kraftwerk durch eine moderne Anlage ersetzt. Zwischen 1996 und 2000 entstand das heutige Wasserkraftwerk Ruppoldingen, bei dem das Wasser direkt an der Wehranlage durch die Turbinen geführt wird [12]. Dank moderner Technik konnte die jährliche Stromproduktion gegenüber der früheren Anlage ungefähr verdreifacht werden [5].

Mit dem Neubau wurde nicht nur die Stromproduktion modernisiert, sondern auch die umliegende Flusslandschaft ökologisch aufgewertet. Der ehemalige Kraftwerkskanal verlor seine ursprüngliche Funktion und wurde teilweise in die neu gestaltete Gewässerlandschaft integriert. Dabei entstanden unter anderem ein naturnahes Umgehungsgewässer und zusätzliche Lebensräume für Tiere und Pflanzen.



Abbildung 17 Altes Kraftwerk links mit angelegtem Kanal (www.de.wikipedia.org)



Abbildung 18 Neues Kraftwerk direkt im Hauptstrom der Aare (www.alpiq.com)

8.1.2 Fischwanderhilfen und ökologische Infrastruktur

Mit dem Neubau des Wasserkraftwerks Ruppoldingen zwischen 1996 und 2000 wurden gleichzeitig umfangreiche ökologische Massnahmen umgesetzt. Insgesamt flossen rund 20 Millionen Franken in über 300 Massnahmen entlang eines etwa 8,4 Kilometer langen Aareabschnitts [13]. Dazu gehörten die Gestaltung naturnaher Ufer, neue Flachwasserzonen, Inseln sowie zusätzliche Lebensräume für Tiere und Pflanzen.
Ein wichtiger Bestandteil war die Umgestaltung des ehemaligen Kraftwerkskanals zu einem rund 1,2 Kilometer langen Umgehungsgewässer [12]. Mit einer Breite von ungefähr 10 bis 20 Metern verbindet es das Oberwasser mit dem Unterwasser und ermöglicht Fischen, das Kraftwerk auf einem naturnahen Weg zu umgehen. Das Gewässer besitzt flache Kiesbereiche, tiefere Abschnitte und unterschiedlich starke Strömungen. Dadurch dient es nicht nur als Wanderweg, sondern auch als Lebensraum für Fische und andere Wasserorganismen.
Die Wasserführung im oberen Bereich des Umgehungsgewässers beträgt nach bisherigen Untersuchungen ungefähr 2 bis 5 m^3/s. Sie verändert sich je nach Abflussverhältnissen und beeinflusst die Strömungsbedingungen innerhalb des Gewässers. Diese Wassermenge ist für die spätere Untersuchung einer möglichen Optimierung besonders interessant, da eine gezielte Strömungsführung den Einstieg für abwandernde Fische besser auffindbar machen könnte.
Zusätzlich wurde beim Maschinenhaus eine rund 155 Meter lange Fischtreppe errichtet. Sie bietet insbesondere jenen Fischen eine Aufstiegsmöglichkeit, die der Hauptströmung bis zum Kraftwerk folgen. Die vor dem Kraftwerk gelegene Fischtreppe mündet in das bestehende Umgehungsgewässer. Dadurch sind die beiden Fischwanderhilfen miteinander verbunden und ermöglichen den aufwandernden Fischen, ihren Weg in Richtung Oberwasser fortzusetzen. Beide Fischwanderhilfen werden von verschiedenen Fischarten genutzt. Zu den häufigsten gehören Barben, Flussbarsche, Alet, Hasel, Rotaugen und Forellen.
Neben den Fischwanderhilfen wurde auch die angrenzende Auenlandschaft aufgewertet. Auf einer Fläche von rund 5,2 Hektaren entstanden neue Auenlebensräume [13]. Auen sind natürliche Gebiete entlang von Flüssen, die bei Hochwasser teilweise überflutet werden. Die entstandenen Flachwasserzonen, Kiesflächen und bewachsenen Ufer bieten Lebensräume für zahlreiche Tiere und Pflanzen. Unter anderem kommen im Gebiet Eisvögel und Biber vor.



Abbildung 19 Gewässerraum Ruppoldingen (www.alpiq.com)

Im Jahr 2010 erhielt das Wasserkraftwerk Ruppoldingen das Qualitätszeichen «naturemade star» des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE). Das Schweizer Gütesiegel zeichnet besonders umweltschonend produzierte Energie aus erneuerbaren Quellen aus. Bei Wasserkraftwerken werden unter anderem die Auswirkungen auf die Gewässerlebensräume, die Fischwanderung und der Schutz der natürlichen Umgebung berücksichtigt. Die Zertifizierung zeigt, dass neben der Stromproduktion auch hohe ökologische Anforderungen erfüllt werden müssen.
Das bestehende Umgehungsgewässer wird hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Fischaufstieg genutzt und betrachtet. Grundsätzlich können Fische das Gewässer jedoch auch in Richtung Unterwasser durchschwimmen. Wie häufig abwandernde Fische diesen Weg wählen und wie gut sie den Einstieg im Oberwasser finden, ist bisher nicht ausreichend untersucht. Deshalb soll geprüft werden, ob sich das vorhandene Umgehungsgewässer so optimieren lässt, dass es neben seiner bisherigen Funktion auch gezielt für den Fischabstieg genutzt werden kann.

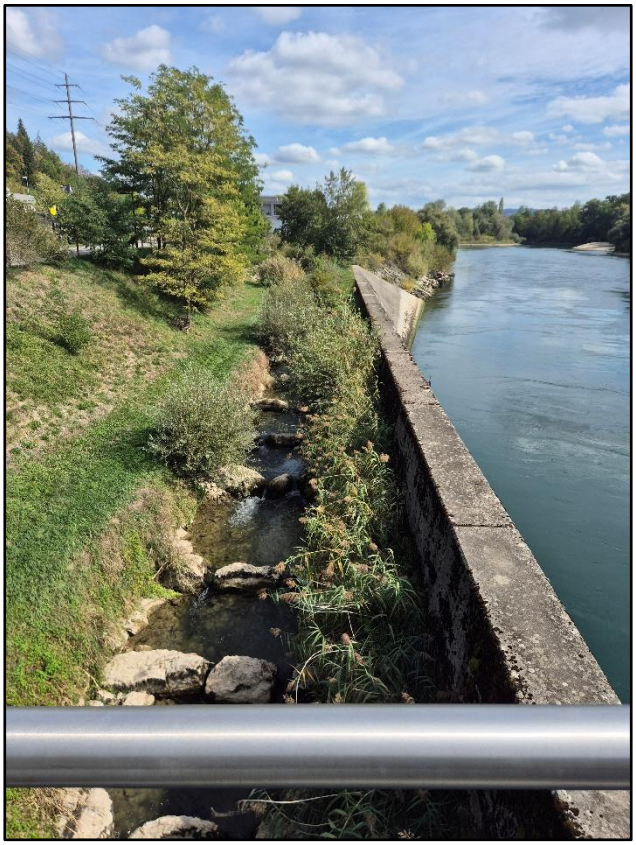


Abbildung 21 Fischtreppe (Eigene Aufnahme)



Abbildung 20 naturmade Gütesiegel (Eigene Aufnahme)

8.1.3 Technische Kenndaten und Stromproduktion

Das Wasserkraftwerk Ruppoldingen ist ein Laufwasserkraftwerk, das die Energie des fliessenden Aarewassers zur Stromerzeugung nutzt. Die Stromproduktion hängt deshalb hauptsächlich von der verfügbaren Wassermenge und dem Höhenunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser ab.
Das Kraftwerk verfügt über zwei Kaplan-Rohrturbinen mit einem Laufraddurchmesser von jeweils 5,9 Metern. Diese Turbinen eignen sich besonders für grosse Wassermengen und geringe Fallhöhen. Ihre Laufradschaufeln können im Winkel verstellt werden, um die Energie des Wassers bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen möglichst effizient zu nutzen. Zusätzlich wird die durchströmende Wassermenge über verstellbare Leitschaufeln reguliert.
Die installierte elektrische Leistung beträgt 21,4 MW. Mit einer durchschnittlichen Jahresproduktion von rund 115 GWh könnte das Kraftwerk rechnerisch etwa 25’600 Schweizer Haushalte mit Strom versorgen. Dabei wird ein jährlicher Stromverbrauch von 4'500 kWh pro Haushalt angenommen [5].

Kenngrösse	Wert
Kraftwerkstyp	Laufwasserkraftwerk
Standort	Boningen, Kanton Solothurn
Gewässer	Aare
Betreiber	Alpiq Hydro Aare AG
Inbetriebnahme	2000
Anzahl Turbinen	2
Turbinentyp	Kaplan-Rohrturbinen
Laufraddurchmesser	5,9 m
Installierte elektrische Leistung	ca. 21,4 MW
Durchschnittliche Jahresproduktion	ca. 115 GWh
Ausbauwassermenge	ca. 475 m³/s
Nutzbare Fallhöhe	ca. 4 bis 6,5 m

Tabelle 9 Technische Kenndaten des Wasserkraftwerks Ruppoldingen

Die Turbinen können nur eine begrenzte Wassermenge verarbeiten. Bei Hochwasser kann deshalb nicht das gesamte Aarewasser zur Stromproduktion genutzt werden. Sobald die maximale Durchflussmenge erreicht ist, wird überschüssiges Wasser über das Wehr abgeleitet. Dadurch bleibt der Oberwasserspiegel möglichst innerhalb des vorgesehenen Betriebsbereichs. Bei Niedrigwasser steht hingegen weniger Wasser zur Verfügung, wodurch die Turbinen nicht ihre maximale Leistung erreichen können und die Stromproduktion entsprechend abnimmt.
Dieser Zusammenhang spielt auch beim zusätzlichen Wasserbedarf des Umgehungsgewässers eine Rolle. Wird bei hohen Abflüssen Wasser genutzt, das ohnehin über das Wehr abgeflossen wäre, muss dadurch nicht zwingend ein Energieverlust entstehen. Bei geringeren Abflüssen steht hingegen weniger Wasser für die Stromproduktion zur Verfügung. Die zusätzlichen 3 m³/s für das Umgehungsgewässer können deshalb die Stromproduktion weiter reduzieren.

8.2 Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen

8.2.1 Heutige Möglichkeiten für den Fischabstieg

Fische wandern nicht nur flussaufwärts, sondern bewegen sich im Laufe ihres Lebens auch flussabwärts [3]. Diese Wanderungen können beispielsweise mit der Fortpflanzung, der Nahrungssuche oder dem Wechsel zwischen verschiedenen Lebensräumen zusammenhängen. Dabei folgen die Fische häufig der natürlichen Strömung des Gewässers.
Am Wasserkraftwerk Ruppoldingen wird ein grosser Teil des Aarewassers durch die beiden Kaplan-Turbinen geleitet. Für abwandernde Fische ergeben sich dadurch unterschiedliche Möglichkeiten, vom Oberwasser in die Aare unterhalb des Kraftwerks zu gelangen. Grundsätzlich kommen dafür die Turbinen, das Wehr und das bestehende Umgehungsgewässer infrage.

Fischabstieg durch die Turbinen:
Die beiden Kaplan-Turbinen verarbeiten zusammen eine Wassermenge von bis zu rund 475 m³/s. Da im normalen Kraftwerksbetrieb ein grosser Teil des Aarewassers durch die Turbinen strömt, können abwandernde Fische von dieser Strömung in Richtung der Turbineneinläufe geführt werden. Je nach Fischgrösse und den vorhandenen Rechenöffnungen können Fische in die Turbinen gelangen und mit dem Wasser ins Unterwasser transportiert werden. Dabei passieren sie die Turbinenlaufräder sowie Bereiche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und Druckverhältnissen. Die Turbinen stellen somit einen möglichen Weg für den Fischabstieg dar.



Abbildung 22 Turbine (Eigene Aufnahme)

Fischabstieg über das Wehr:
Eine weitere Möglichkeit besteht über das Wehr des Kraftwerks. Dieses reguliert zusammen mit dem Turbinenbetrieb den Wasserabfluss und trägt dazu bei, den Oberwasserspiegel innerhalb des vorgesehenen Betriebsbereichs zu halten. Bei hohen Abflüssen kann die Wassermenge der Aare die maximale Aufnahmefähigkeit der Turbinen überschreiten. Das überschüssige Wasser wird dann über das Wehr ins Unterwasser abgeleitet. Fische, die sich in diesem Bereich befinden, können mit der Strömung ebenfalls über das Wehr gelangen. Ob eine solche Passage für die Fische ungefährlich ist, hängt unter anderem von der Wassermenge, der Fallhöhe und den Bedingungen im Unterwasser ab. Zudem steht dieser Weg nicht bei allen Betriebszuständen in gleichem Umfang zur Verfügung.



Abbildung 23 Wehr (Eigene Aufnahme)

Fischabstieg durch das bestehende Umgehungsgewässer:
Das rund 1,2 Kilometer lange Umgehungsgewässer verbindet das Oberwasser mit dem Unterwasser und wurde hauptsächlich als naturnahe Fischaufstiegsmöglichkeit geschaffen. Da das Wasser innerhalb des Umgehungsgewässers ebenfalls in Richtung Unterwasser fliesst, können Fische diesen Weg grundsätzlich auch für eine Wanderung flussabwärts nutzen. Entscheidend ist dabei, ob die abwandernden Fische den Einstieg im Oberwasser überhaupt finden. Im Vergleich zur grossen Wassermenge, die durch die Turbinen fliesst, führt das Umgehungsgewässer nur einen kleinen Teil des Aarewassers. Seine Strömung kann deshalb für abwandernde Fische weniger auffällig sein als die Hauptströmung in Richtung Kraftwerk. Wie häufig Fische das bestehende Umgehungsgewässer tatsächlich für den Abstieg nutzen, ist anhand der verfügbaren Informationen nicht bekannt. Ebenso liegen keine ausreichenden Nachweise darüber vor, wie zuverlässig sie den Oberwassereinstieg finden.


Abbildung 24 Umgehungsweg Ausgang (Eigene Aufnahme)

Damit bestehen am Wasserkraftwerk Ruppoldingen zwar mehrere mögliche Wege für den Fischabstieg, ihre Verfügbarkeit und Eignung unterscheiden sich jedoch deutlich. Besonders das vorhandene Umgehungsgewässer ist für die weitere Untersuchung interessant, da es bereits eine naturnahe Verbindung zwischen Oberwasser und Unterwasser bildet.

8.2.2 Risiken und Handlungsbedarf

Die verschiedenen Möglichkeiten für den Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen sind mit unterschiedlichen Risiken verbunden. Dabei bedeutet eine Passage durch die Turbinen oder über das Wehr nicht automatisch, dass ein Fisch verletzt wird oder stirbt. Entscheidend sind die technischen Eigenschaften der Anlage sowie die jeweiligen Strömungs- und Wasserverhältnisse.

Risiken bei der Turbinenpassage:
Vor den beiden Kaplan-Turbinen befinden sich Schutzrechen mit einem Stababstand von rund 8,2 cm. Diese Rechen verhindern, dass grössere Gegenstände in die Turbinen gelangen. Für viele Fische sind die Öffnungen jedoch gross genug, sodass sie mit der Wasserströmung durch den Rechen und anschliessend in die Turbinen gelangen können. Die beiden Kaplan-Rohrturbinen besitzen Laufräder mit einem Durchmesser von jeweils 5,9 Metern. Aufgrund ihrer grossen Abmessungen können Fische unter günstigen Bedingungen zwischen den Laufschaufeln hindurchgelangen, ohne diese zu berühren. Trotzdem besteht die Gefahr eines Zusammenstosses mit den rotierenden Schaufeln [4]. Auch starke Turbulenzen und schnelle Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit können Verletzungen verursachen.
Ein weiteres Risiko entsteht durch die Druckveränderungen innerhalb der Turbinen [3]. Viele Fischarten besitzen eine Schwimmblase, ein mit Gas gefülltes Organ, mit dem sie ihren Auftrieb im Wasser regulieren. Sinkt der Wasserdruck während der Turbinenpassage sehr schnell, dehnt sich das Gas in der Schwimmblase aus. Erfolgt dies zu rasch, kann der Fisch den Druckunterschied nicht ausreichend ausgleichen. Dadurch können innere Verletzungen entstehen, beispielsweise an der Schwimmblase oder an umliegenden Organen. Diese druckbedingten Verletzungen werden als Barotrauma bezeichnet. Die Überlebenschancen

hängen unter anderem von der Fischart, der Körpergrösse und dem Betriebszustand der Turbine ab. Eine Passage durch die Kaplan-Turbinen ist somit grundsätzlich möglich, ohne dass jeder Fisch verletzt wird. Wie hoch die tatsächliche Überlebensrate am Wasserkraftwerk Ruppoldingen ist, lässt sich ohne entsprechende Untersuchungen jedoch nicht bestimmen.

Risiken beim Fischabstieg über das Wehr:
Das Wehr stellt bereits heute einen möglichen Weg für den Fischabstieg dar. Besonders bei Hochwasser oder hohen Abflüssen, wenn die Wassermenge der Aare die Aufnahmefähigkeit der Turbinen übersteigt, wird überschüssiges Wasser über das Wehr ins Unterwasser geleitet. Fische können dieser Strömung folgen und auf diesem Weg das Kraftwerk passieren. Das Wasserkraftwerk Ruppoldingen nutzt eine Fallhöhe von ungefähr 4 bis 6,5 Metern. Im Vergleich zu hohen Staustufen ist dieser Höhenunterschied relativ gering, was grundsätzlich günstige Voraussetzungen für eine Fischpassage schaffen kann. Die nutzbare Fallhöhe des Kraftwerks entspricht allerdings nicht zwingend der tatsächlichen freien Fallhöhe über das Wehr.
Ob die Fische den Abstieg unverletzt überstehen, hängt davon ab, wie das Wasser über das Wehr abfliesst und wo sie im Unterwasser auftreffen. Bei ausreichend tiefem Wasser kann der Aufprall abgefedert werden. Treffen die Fische hingegen auf feste Bauteile oder in einen flachen Wasserbereich, besteht Verletzungsgefahr. Das Wehr kann somit insbesondere bei hohen Abflüssen als Fischabstiegsweg dienen. Bei geringeren Wassermengen fliesst dagegen ein grosser Teil des Aarewassers durch die Turbinen. Der Abstieg über das Wehr steht den Fischen deshalb nicht jederzeit in gleichem Umfang zur Verfügung.

Herausforderungen beim bestehenden Umgehungsgewässer:
Das bestehende Umgehungsgewässer bietet eine naturnahe Verbindung zwischen Oberwasser und Unterwasser. Im Gegensatz zur Turbinenpassage müssen die Fische dabei keine rotierenden Maschinenteile passieren. Durch die unterschiedlichen Strömungsverhältnisse und Gewässerstrukturen kann es grundsätzlich auch für eine Wanderung flussabwärts genutzt werden. Die wichtigste Herausforderung liegt jedoch beim Einstieg im Oberwasser. Ein grosser Teil des Aarewassers fliesst in Richtung der Turbinen. Abwandernde Fische können dieser Hauptströmung folgen und dadurch am seitlich gelegenen Einstieg des Umgehungsgewässers vorbeischwimmen. Wie häufig Fische das Umgehungsgewässer heute für den Abstieg nutzen, ist nicht bekannt. Ebenso ist nicht ausreichend untersucht, wie zuverlässig sie den Einstieg bei unterschiedlichen Wasserführungen finden.

Handlungsbedarf:
Die Turbinen und das Wehr ermöglichen unter bestimmten Bedingungen eine erfolgreiche Fischpassage, können jedoch auch Verletzungen verursachen. Das bestehende Umgehungsgewässer bietet deshalb eine interessante Grundlage für eine zusätzliche, möglichst schonende Abstiegsroute.
Im Mittelpunkt des Optimierungskonzepts steht die bessere Auffindbarkeit des Oberwassereinstiegs. Durch eine angepasste Gestaltung und gezielte Strömungsführung soll untersucht werden, wie abwandernde Fische verstärkt in Richtung des Umgehungsgewässers geleitet werden könnten. Dabei sollen der bestehende Fischaufstieg und die ökologischen Lebensräume erhalten bleiben. Welche technischen Anpassungen dafür infrage kommen, wird im folgenden Kapitel untersucht.

8.3 Technische Ausarbeitung des Optimierungskonzepts

8.3.1 Das optimierte Umgehungsgewässer im Überblick

Das bestehende Umgehungsgewässer am Wasserkraftwerk Ruppoldingen bildet die Grundlage für das entwickelte Optimierungskonzept. Mit einer Länge von rund 1,2 Kilometern verbindet es das Oberwasser mit dem Unterwasser und ermöglicht Fischen bereits heute, das Kraftwerk auf einem naturnahen Weg zu umgehen. Bisher wurde das Gewässer jedoch hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Fischaufstieg betrachtet. Ob und in welchem Umfang es auch von abwandernden Fischen genutzt wird, ist nicht ausreichend untersucht.
Das Optimierungskonzept verfolgt deshalb das Ziel, das vorhandene Umgehungsgewässer zusätzlich für einen gezielten Fischabstieg nutzbar zu machen. Anstatt eine vollständig neue Fischabstiegshilfe zu errichten, sollen die bestehenden Strukturen genutzt und an ausgewählten Stellen angepasst werden. Dadurch könnten grössere bauliche Eingriffe in die Kraftwerksanlage und die angrenzenden Gewässerbereiche vermieden werden.
Im Mittelpunkt steht der Oberwassereinstieg des Umgehungsgewässers. Abwandernde Fische orientieren sich häufig an der Wasserströmung und gelangen dadurch in Richtung der Turbineneinläufe. Durch eine gezielte Gestaltung des Einstiegs und eine angepasste Wasserführung soll eine zusätzliche Strömung entstehen, die den Fischen einen alternativen Wanderweg anbieten kann. Entscheidend ist dabei, dass der Einstieg für die Fische auffindbar ist und sie anschliessend möglichst sicher in das Umgehungsgewässer gelangen können [3].
Neben dem Oberwassereinstieg werden auch die Strömungsverhältnisse und die Gewässergestaltung entlang des bestehenden Verlaufs betrachtet. Einzelne Abschnitte könnten so angepasst werden, dass die Fische das Gewässer ohne grössere Hindernisse durchschwimmen können. Gleichzeitig sollen die vorhandenen Lebensräume erhalten und nach Möglichkeit ökologisch aufgewertet werden.
Ein weiterer Bestandteil ist der Ausstieg ins Unterwasser. Dieser soll gewährleisten, dass die abwandernden Fische wieder sicher in die Aare gelangen und ihren Wanderweg fortsetzen können. Dabei müssen insbesondere die Strömungsverhältnisse und mögliche Hindernisse im Übergangsbereich berücksichtigt werden.
Das Konzept sieht somit keine grundlegende Neugestaltung des gesamten Umgehungsgewässers vor. Stattdessen werden gezielte Anpassungen am Oberwassereinstieg, an einzelnen Gewässerabschnitten und am Unterwasserausstieg untersucht. Die bestehende Fischtreppe vor dem Wasserkraftwerk, die in das Umgehungsgewässer mündet, bleibt dabei auch unverändert erhalten. Dadurch wird sichergestellt, dass die bisherige Verbindung zwischen den beiden Fischwanderhilfen bestehen bleibt und aufwandernde Fische ihren Weg weiterhin nutzen können.

8.3.2 Oberwassereinstieg und gezielte Lockströmung

Der bestehende Oberwassereinstieg des Umgehungsgewässers dient ursprünglich als Ausstieg für aufwandernde Fische. Grundsätzlich können Fische diesen Bereich bereits heute auch für den Abstieg nutzen und über das Umgehungsgewässer ins Unterwasser gelangen. Da die Anlage jedoch hauptsächlich für den Fischaufstieg ausgelegt wurde, ist unklar, wie häufig abwandernde Fische diesen Zugang tatsächlich finden und nutzen. Insbesondere die Gestaltung des Einstiegs und die bestehenden Strömungsverhältnisse könnten die Auffindbarkeit erschweren [3].
Ziel des Optimierungskonzepts ist es deshalb, den bestehenden Oberwasserausstieg zusätzlich als gezielten Einstieg für den Fischabstieg zu optimieren. Durch eine Verbreiterung, eine erhöhte Wasserführung und eine angepasste Strömungsführung soll der Zugang für abwandernde Fische besser auffindbar werden. Gleichzeitig muss die bestehende Funktion für den Fischaufstieg erhalten bleiben.



Abbildung 25 Einstieg (Eigene Aufnahme)

Die heutige Wasserführung des Umgehungsgewässers beträgt ungefähr 2 bis 5 m³/s. Für das Optimierungskonzept wird eine Erhöhung um 3 m³/s angenommen. Dadurch würde der gesamte Abfluss auf rund 5 bis 8 m³/s steigen. Gleichzeitig soll der Oberwassereinstieg auf eine Breite von 6 Metern erweitert werden. Bei einer angenommenen Wassertiefe von 1,5 Metern ergibt sich daraus ein Einlaufquerschnitt von 9 m². Die Strömung entsteht durch den natürlichen Höhenunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser. Das Wasser fliesst dabei ohne zusätzliche Pumpen aus der Aare in das Umgehungsgewässer. Durch die erhöhte Wasserführung und eine geeignete Ausrichtung des Einstiegs soll eine besser wahrnehmbare Strömung in Richtung des Umgehungsgewässers entstehen.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit am Einstieg lässt sich mit folgender Formel berechnen:

v=Q : A Ist: 3,00 m³/s : 5,00 m² = 0,60 m/s → Optimierung: 6,00 m³/s : 9,00 m² = **0,67 m/s**

Der Einlaufquerschnitt am Einstieg lässt sich mit folgender Formel berechnen:

A=b · h Ist: 3,33 m · 1,50 m = 5,00 m² → Optimierung: 6,00 m · 1,50 m = **9,00 m²**

Berechnungsgrösse	Ist-Zustand	Optimierung
Einlaufbreite [b]	3,33 m	6,00 m
Mittlere Wassertiefe [h]	1,50 m	1,50 m
Einlaufquerschnitt [A]	5,00 m²	9,00 m²
Wasserdurchfluss [Q]	3,00 m³/s	6,00 m³/s
Mittlere Strömungsgeschwindigkeit [v]	0,60 m/s	0,67 m/s
Zusätzlicher Wasserdurchfluss	–	+3,00 m³/s

Tabelle 10 Vergleich Oberwassereinstieg

Die Berechnung zeigt, dass die mittlere Strömungsgeschwindigkeit trotz der verdoppelten Wassermenge nur leicht zunimmt. Dies liegt daran, dass sich das Wasser auf einen grösseren Einlaufquerschnitt verteilt. Deshalb soll der verbreiterte Einstieg mit einer gezielten Strömungsführung kombiniert werden. Eine mögliche Umsetzung wäre eine trichterförmige Gestaltung des Oberwassereinstiegs mit grösseren Natursteinen. Dabei wird der Zugangsbereich zur Aare hin auf 6 Meter verbreitert und verengt sich anschliessend allmählich in Richtung des bestehenden Umgehungsgewässers. Die seitlichen Begrenzungen könnten mit unterschiedlich grossen Natursteinen befestigt werden. Dadurch soll das Wasser gezielt in das Umgehungsgewässer geleitet und gleichzeitig eine möglichst naturnahe Gestaltung erreicht werden. Zusätzlich könnten einzelne grössere Steine entlang der Randbereiche platziert werden, um strömungsberuhigte Zonen zu schaffen. Diese Bereiche wären besonders für Jungfische und kleinere Fischarten wichtig, da sie sich bei stärkeren Strömungen schneller erschöpfen können. Der zentrale Einlaufbereich soll hingegen möglichst frei bleiben, damit keine Hindernisse entstehen und eine gleichmässige Wasserführung gewährleistet wird.
Durch diese Kombination aus gezielter Strömungsführung und naturnaher Gestaltung soll der Einstieg sowohl für grössere Fische als auch für Jungfische besser nutzbar werden. Dabei muss sichergestellt werden, dass die bestehende Funktion für den Fischaufstieg erhalten bleibt.
Zusätzlich ist ein regelbares Einlaufbauwerk vorgesehen, mit dem die Wasserzufuhr während wichtiger Abwanderungszeiten erhöht werden kann. Dadurch könnte der zusätzliche Wasserbedarf begrenzt und ein möglicher Verlust bei der Stromproduktion reduziert werden. Die gewählten Abmessungen und Wassermengen stellen vorläufige Planungsannahmen dar. Ob die Massnahmen tatsächlich zu einer häufigeren Nutzung des Umgehungsgewässers für den Fischabstieg führen, müsste durch hydraulische Untersuchungen und eine spätere Wirkungskontrolle überprüft werden.
Zur Veranschaulichung der geplanten Veränderungen am Oberwassereinstieg habe ich mithilfe künstlicher Intelligenz eine beispielhafte Visualisierung erstellt. Damit möchte ich eine Vorstellung der möglichen Umsetzung vermitteln. Das Bild stellt keine massstabsgetreue technische Planung dar.



Abbildung 26 Konzept des neuen Einstiegs mit Regelwerk (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI)

8.3.3 Gewässeraufweitungen und naturnahe Strukturen

Das bestehende Umgehungsgewässer am Wasserkraftwerk Ruppoldingen soll durch gezielte Gewässeraufweitungen und zusätzliche Gestaltungselemente verbessert werden. Dabei ist keine vollständige Umgestaltung vorgesehen. Stattdessen sollen ausgewählte Abschnitte angepasst werden, um unterschiedliche Strömungsverhältnisse und geeignete Lebensräume für Fische zu schaffen. Besonders wichtig ist dabei, dass das Gewässer sowohl für den Fischaufstieg als auch für den geplanten Fischabstieg weiterhin genutzt werden kann.
Eine mögliche Massnahme besteht darin, das Gewässer an geeigneten Stellen aufzuweiten und kleinere Kiesbänke sowie Inseln anzulegen [15]. Durch solche Aufweitungen erhält das Wasser mehr Raum und kann sich auf mehrere Strömungsbereiche verteilen. Während in der Hauptströmung weiterhin eine ausreichende Fliessgeschwindigkeit vorhanden sein soll, könnten entlang der Ufer und hinter den Inseln ruhigere Wasserbereiche entstehen. Besonders für Jungfische wären solche Bereiche wertvoll, da sie bei ihrer Abwanderung nicht ständig der stärksten Strömung ausgesetzt wären.
Die Kiesbänke könnten aus unterschiedlich grossen Kies- und Steinmaterialien aufgebaut werden und je nach Wasserstand teilweise überflutet sein. Dadurch würden flache Wasserzonen entstehen, die sich von den tieferen Bereichen des Gewässers unterscheiden. Solche Kiesflächen bieten verschiedenen Kleinlebewesen geeignete Lebensräume und können bei passenden Strömungsverhältnissen auch als Laichhabitat für bestimmte Fischarten dienen. Gleichzeitig tragen sie dazu bei, die Gewässersohle abwechslungsreicher zu gestalten und natürliche Strukturen innerhalb des Umgehungsgewässers zu schaffen.
Die geplanten Inseln könnten an geeigneten Stellen innerhalb der aufgeweiteten Gewässerabschnitte angelegt werden. Das Wasser würde dabei seitlich an den Inseln vorbeifliessen, wodurch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten entstehen könnten. Hinter den Inseln würden sich strömungsberuhigte Bereiche bilden, die insbesondere kleineren Fischen als Rückzugsorte dienen könnten. Je nach Gestaltung wäre auch eine natürliche Begrünung der Inseln möglich. Dabei müsste darauf geachtet werden, dass die Inseln bei höheren Wasserständen nicht zu unerwünschten Abflusshindernissen werden.



Abbildung 27 Kiesbänke (www.kreiszeitung.de)

Ergänzend könnten unterschiedlich grosse Natursteine und Totholz an geeigneten Stellen eingebracht werden. Diese Elemente beeinflussen die Strömung und schaffen zusätzliche Rückzugsmöglichkeiten für Fische. Gleichzeitig bieten Kiesflächen und eine abwechslungsreiche Gewässersohle Lebensraum für Kleinlebewesen, die vielen Fischarten als Nahrungsgrundlage dienen. Durch die Kombination verschiedener Gestaltungselemente könnten sowohl die Wanderbedingungen als auch die Lebensraumqualität verbessert werden.
Bei der Gestaltung muss darauf geachtet werden, dass ein ausreichend tiefer und durchgängiger Wanderkorridor erhalten bleibt, damit auch grössere Fische das Umgehungsgewässer möglichst ungehindert passieren können. Die geplanten Inseln und anderen Gestaltungselemente dürfen den Wasserfluss deshalb nicht zu stark einschränken oder Hindernisse für die Fischwanderung bilden. Besonders bei niedrigeren Wasserständen muss sichergestellt werden, dass die Verbindung zwischen den einzelnen Gewässerabschnitten bestehen bleibt.
Die geplante zusätzliche Wasserführung von 3 m³/s muss bei der Umsetzung ebenfalls berücksichtigt werden, da sich dadurch die Strömungsverhältnisse und Wasserstände verändern können. Insbesondere in engeren Gewässerabschnitten müsste geprüft werden, ob Anpassungen notwendig sind, um unerwünschte Erosion oder Schäden an bestehenden Gewässerstrukturen zu vermeiden. Auch die Lage und Grösse möglicher Aufweitungen und Inseln müssten auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt werden. Vor einer baulichen Umsetzung wären deshalb genauere Untersuchungen der hydraulischen Verhältnisse erforderlich.
Mit diesen gezielten Massnahmen soll das Umgehungsgewässer abwechslungsreicher gestaltet und insbesondere für abwandernde Jungfische verbessert werden. Gleichzeitig können zusätzliche Lebensräume entstehen, welche die ökologische Qualität des Gewässers langfristig fördern.



Abbildung 29 Natursteine (Eigene Aufnahme)



Abbildung 28 Mögliche Aufweitung (Eigene Aufnahme)

8.3.4 Erweiterung und Aufwertung der Auenlandschaft

Beim Neubau des Wasserkraftwerks Ruppoldingen wurde bereits eine naturnahe Auenlandschaft geschaffen, die heute zahlreichen Tier- und Pflanzenarten einen wertvollen Lebensraum bietet. Dazu gehören verschiedene Fischarten, Amphibien, Insekten, zahlreiche Vogelarten wie der geschützte Eisvogel sowie Biber. Im Rahmen meines Konzepts soll die bestehende Auenlandschaft erhalten, ökologisch aufgewertet und an geeigneten Stellen durch zusätzliche Auenflächen erweitert werden.

Eine Auenlandschaft ist ein Gebiet entlang eines Flusses, das durch schwankende Wasserstände und zeitweise Überschwemmungen geprägt wird [14]. Dadurch entstehen unterschiedliche Lebensräume wie Feuchtgebiete, Kiesflächen, Flachwasserzonen und Auenwälder. Diese Vielfalt ist besonders wertvoll für die Artenvielfalt und die natürliche Entwicklung des Gewässers.

Die geplante Erweiterung soll möglichst direkt an die vorhandene Auenlandschaft anschliessen. Dafür könnten angrenzende Flächen genutzt werden, sofern die örtlichen Platzverhältnisse und die geltenden Schutzbestimmungen dies zulassen. Eine mögliche Massnahme wäre die Anlage kleiner Feuchtgebiete und Tümpel innerhalb der erweiterten Auenflächen. Diese könnten durch flache Geländevertiefungen entstehen, in denen sich Regenwasser, Grundwasser oder zeitweise zufliessendes Oberflächenwasser sammelt. Je nach Wasserzufuhr könnten einzelne Bereiche dauerhaft Wasser führen, während andere bei längeren Trockenperioden teilweise austrocknen. Amphibien könnten die Tümpel beispielsweise als Laichgewässer nutzen, während Wasserinsekten und andere Kleinlebewesen dort geeignete Lebensbedingungen finden.

Bei der Gestaltung wären flache Uferbereiche und unterschiedliche Wassertiefen sinnvoll, damit sich verschiedene Pflanzenarten ansiedeln können. Ergänzend könnten an geeigneten Standorten zusätzliche Auenwaldflächen mit standortgerechten Gehölzen entstehen. Diese würden verschiedenen Tierarten Schutz bieten und zur natürlichen Beschattung der Gewässer beitragen.



Abbildung 30 Auenlandschaft (Eigene Aufnahme)



Abbildung 31 Biberspuren (Eigene Aufnahme)

Ein weiterer Bestandteil meines Konzepts ist die Vernetzung der Auenlandschaft mit vorhandenen Seitengewässern. Bestehende Verbindungen könnten verbessert oder neue Verbindungen geschaffen werden, sofern dies die örtlichen Gegebenheiten zulassen. Dadurch könnten Fische und andere Wasserlebewesen zusätzliche Rückzugsräume erreichen. Dabei müsste berücksichtigt werden, dass nicht alle Feuchtgebiete dauerhaft mit einem Fliessgewässer verbunden sein müssen, da zeitweise getrennte Wasserflächen ebenfalls wertvolle Lebensräume darstellen [15].
Die bestehenden Ufergehölze, natürlichen Böschungen und weiteren Lebensräume sollen bei den geplanten Massnahmen möglichst erhalten bleiben. Ergänzend könnten einzelne Bereiche durch Totholz und andere Kleinstrukturen aufgewertet werden, ohne grössere Eingriffe in die vorhandene Landschaft vorzunehmen. Da die Auenlandschaft Ruppoldingen Teil eines Auengebietes von nationaler Bedeutung ist, müssten mögliche Erweiterungen und bauliche Eingriffe sorgfältig geprüft werden. Dabei wären insbesondere die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Vegetation und die geschützten Lebensräume sowie die geltenden Schutzbestimmungen zu berücksichtigen.
Durch diese Massnahmen könnte die Auenlandschaft gezielt erweitert und ökologisch weiterentwickelt werden, während ihr bestehender naturnaher Charakter erhalten bleibt.



Abbildung 33 Tümpel mit Totholz in einer Auenlandschaft (www.suisse-rando.ch)

8.3.5 Gestaltung des Unterwasserausstiegs

Nach der Wanderung durch das Umgehungsgewässer gelangen die abwandernden Fische am unteren Ende zurück in die Aare. Dieser Bereich dient bereits heute als Einstieg für aufwandernde Fische und soll gleichzeitig einen möglichst sicheren Ausstieg für den Fischabstieg ermöglichen. Da der bestehende Unterwasseranschluss bereits naturnah gestaltet ist, sind voraussichtlich nur kleinere Anpassungen notwendig. Eine mögliche Massnahme wäre die gezielte Umgestaltung einzelner Steinbereiche am Ausstieg. Durch das Entfernen oder Versetzen ausgewählter grösserer Steine könnte ein freierer Übergang in die Aare geschaffen werden. Dabei sollen ausreichend tiefe und strömungsberuhigte Randbereiche erhalten bleiben, damit auch Jungfische und kleinere Fischarten den Ausstieg sicher passieren können.
Durch die zusätzliche Wasserführung von 3 m³/s erhöht sich auch der Abfluss am unteren Ende des Umgehungsgewässers. Deshalb muss überprüft werden, ob das Wasser ohne unerwünschte Verwirbelungen oder Auskolkungen in die Aare zurückfliessen kann. Gleichzeitig darf die bestehende Funktion als Einstieg für aufwandernde Fische nicht beeinträchtigt werden.
Grössere bauliche Veränderungen sind vorerst nicht vorgesehen. Der bestehende Unterwasserausstieg soll lediglich dort angepasst werden, wo dies für einen sicheren Fischabstieg und eine geeignete Strömungsführung erforderlich ist.
Wie bereits beim Oberwassereinstieg habe ich auch für den Unterwasserausstieg mithilfe künstlicher Intelligenz eine beispielhafte Visualisierung erstellt. Durch die Gegenüberstellung mit der eigenen Aufnahme werden die möglichen Veränderungen gegenüber dem heutigen Zustand ersichtlich, so wie ich mir die zukünftige Gestaltung vorstelle.

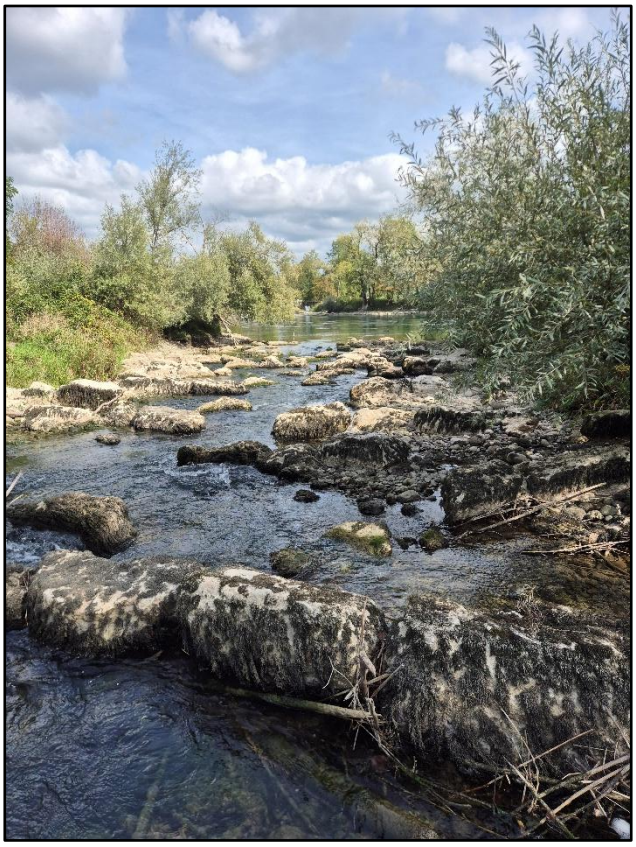


Abbildung 34 Aktueller Unterwasserausstieg (Eigene Aufnahme)



Abbildung 35 Konzept des neuen Ausstiegs (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI)

8.3.6 Bauliche Umsetzung und technische Machbarkeit

Die geplanten Anpassungen sollen möglichst unter Nutzung der bestehenden Infrastruktur erfolgen. Da das rund 1,2 km lange Umgehungsgewässer bereits vorhanden ist, wäre kein vollständiger Neubau einer Fischabstiegshilfe notwendig. Die grössten baulichen Veränderungen betreffen den Oberwassereinstieg, während entlang des Gewässers und am Unterwasserausstieg hauptsächlich kleinere Anpassungen vorgesehen sind. Für die Verbreiterung des Oberwassereinstiegs auf 6 Meter müssten Teile der bestehenden Uferbefestigung zurückgebaut und anschliessend neu gestaltet werden. Die Einlauföffnung könnte trichterförmig ausgebildet und mit grösseren Natursteinen befestigt werden. Zusätzlich ist ein regelbares Einlaufbauwerk vorgesehen, beispielsweise mit einem verstellbaren Schütz. Damit liesse sich die zusätzliche Wasserführung von 3 m³/s während wichtiger Abwanderungszeiten gezielt einsetzen und bei Bedarf an die betrieblichen Bedingungen des Kraftwerks anpassen.

Eine wesentliche technische Herausforderung besteht darin, die erhöhte Wassermenge über die gesamte Länge des bestehenden Umgehungsgewässers sicher abzuleiten. Besonders engere Abschnitte müssten hinsichtlich ihrer Abflusskapazität, Strömungsgeschwindigkeit und möglichen Erosion überprüft werden. Falls notwendig, könnten einzelne Gewässerabschnitte lokal verbreitert oder die Uferbefestigungen angepasst werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die bestehenden Lebensräume und die Durchgängigkeit für aufwandernde Fische erhalten bleiben. Die Bauarbeiten sollten möglichst bei geeigneten Wasserständen und ausserhalb empfindlicher Laich- und Wanderzeiten durchgeführt werden. Für Arbeiten direkt am Oberwassereinstieg könnte eine vorübergehende Wasserumleitung oder eine lokale Wasserhaltung erforderlich sein. Gleichzeitig müssten die angrenzende Auenlandschaft und ihre Tier- und Pflanzenwelt vor unnötigen Eingriffen geschützt werden.

Am Unterwasserausstieg wären voraussichtlich nur kleinere Anpassungen an der bestehenden Steinanordnung notwendig. Die bestehende Mündung mit der Fischtreppe soll dabei unverändert bleiben, damit die bisherige Funktion für aufwandernde Fische weiterhin gewährleistet ist.

Die technische Umsetzung erscheint grundsätzlich möglich, da die vorhandene Anlage weitergenutzt werden kann. Eine abschliessende Beurteilung erfordert jedoch eine Bestandsaufnahme sowie hydraulische Untersuchungen der betroffenen Gewässerabschnitte. Insbesondere muss nachgewiesen werden, dass die zusätzliche Wasserführung sicher aufgenommen werden kann und die bestehende Funktion für den Fischaufstieg nicht beeinträchtigt wird.

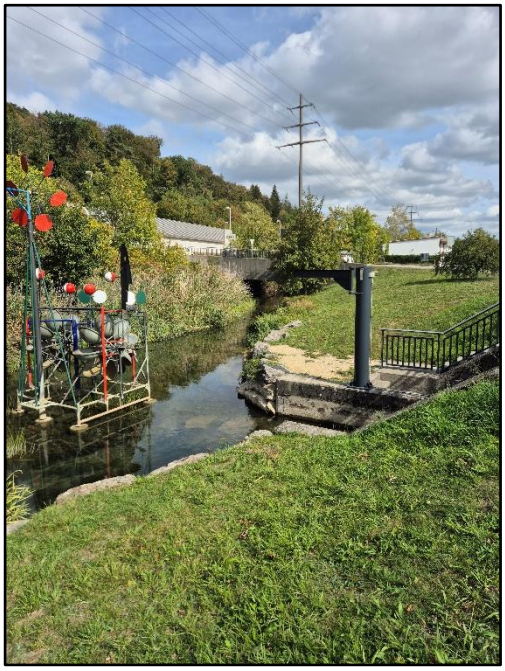


Abbildung 36 Mündung der Fischtreppe mit dem Umgehungsgewässer (Eigene Aufnahme)

8.3.7 Gesetzliche Vorgaben und Umweltschutz

Bei der Umsetzung der geplanten Optimierung müssen verschiedene gesetzliche Vorgaben berücksichtigt werden. In der Schweiz bilden insbesondere das Gewässerschutzgesetz (GSchG), das Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) sowie das Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG) wichtige rechtliche Grundlagen zum Schutz der Gewässer, der Fischbestände und wertvoller Lebensräume. Das Bundesgesetz über die Fischerei verlangt, dass bei technischen Eingriffen in Gewässer die Fischwanderung und der Schutz der Fische berücksichtigt werden. Die geplanten Massnahmen sollen deshalb den Fischabstieg verbessern und gleichzeitig die bestehende Funktion des Umgehungsgewässers für den Fischaufstieg erhalten [6].
Ein besonders wichtiger Aspekt ist der Schutz der bestehenden Auenlandschaft. Im Bereich des Wasserkraftwerks Ruppoldingen befindet sich das Auengebiet Ruppoldingen, welches im Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung unter der Objektnummer 414 aufgeführt ist [14]. Bei der Planung müssen deshalb die bestehenden Schutzgebietsgrenzen und die jeweiligen Schutzbestimmungen berücksichtigt werden. Durch die Anpassung des Oberwassereinstiegs, die zusätzliche Wasserführung sowie die Aufweitungen einzelner Gewässerabschnitte könnten Veränderungen an den Ufern, der Gewässersohle und der Vegetation entstehen. Deshalb sollen bauliche Eingriffe möglichst gering gehalten, bestehende Lebensräume erhalten und durch gezielte Aufwertungsmassnahmen ergänzt werden.
Vor einer Umsetzung müssten die notwendigen Bewilligungen bei den zuständigen kantonalen Behörden eingeholt werden. Dabei wären insbesondere die Auswirkungen auf den Gewässerhaushalt, die Fischwanderung und die geschützten Lebensräume zu prüfen. Auch die bestehenden wasserrechtlichen Vorgaben und die Konzession des Wasserkraftwerks müssten berücksichtigt werden, da eine Erhöhung der Wasserführung die bisherige Wassernutzung verändern könnte.
Während der Bauphase wären geeignete Schutzmassnahmen vorzusehen. Dazu gehören die Vermeidung von Gewässerverschmutzungen, der Schutz der Ufervegetation und die zeitliche Abstimmung der Arbeiten auf empfindliche Laich- und Wanderzeiten. Nach der Umsetzung wäre eine Wirkungskontrolle sinnvoll, um die Verbesserung des Fischabstiegs und mögliche ökologische Auswirkungen zu überprüfen. Die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben ist somit eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung des Optimierungskonzepts. Ziel ist es, die Fischwanderung zu verbessern und gleichzeitig die bestehenden ökologischen Werte rund um das Wasserkraftwerk Ruppoldingen langfristig zu erhalten.

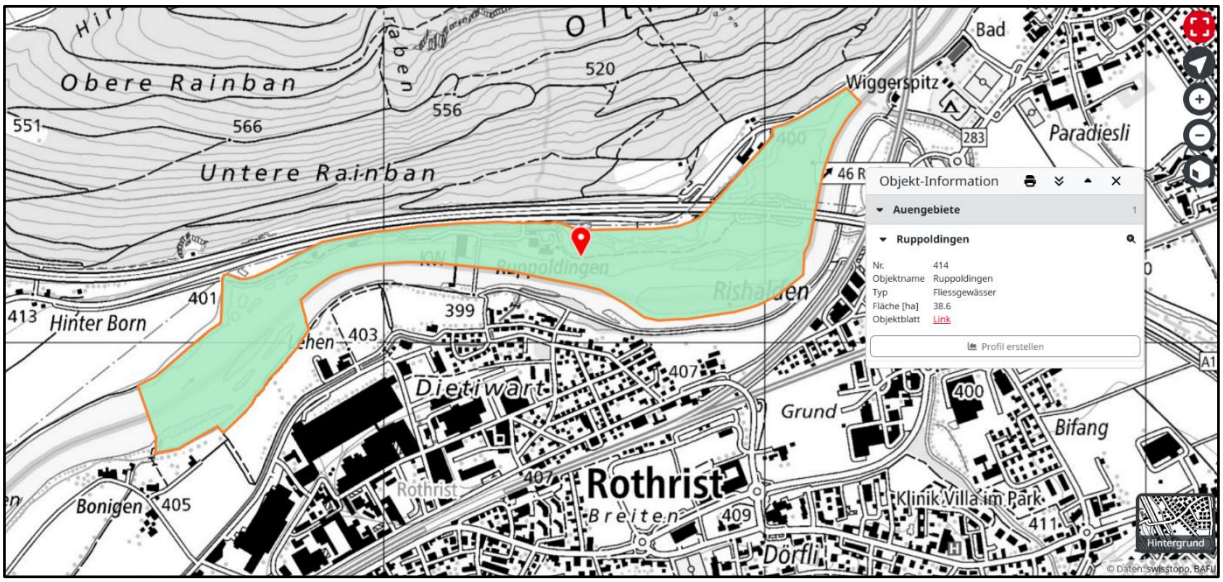


Abbildung 37 Auengebiet-Schutzgebiet Ruppoldingen, Objektnummer 414 (www.map.geo.admin.ch)

8.4 Wirtschaftlichkeit und Auswirkungen auf die Stromproduktion

8.4.1 Investitions- und Unterhaltskosten

Beim Neubau des Wasserkraftwerks Ruppoldingen zwischen 1996 und 2000 wurden rund 20 Millionen Franken für über 300 ökologische Massnahmen aufgewendet [13]. Neben dem rund 1,2 km langen Umgehungsgewässer und der Fischtreppe umfassten diese Investitionen auch die Renaturierung der Uferbereiche sowie die Schaffung neuer Lebensräume in der angrenzenden Auenlandschaft. Die damaligen Investitionen verdeutlichen den finanziellen Aufwand, der mit umfangreichen ökologischen Massnahmen an einem Wasserkraftwerk verbunden sein kann.
Das entwickelte Optimierungskonzept unterscheidet sich deutlich vom damaligen Bauprojekt, da die bestehende Infrastruktur weitgehend erhalten bleibt und lediglich gezielte bauliche Anpassungen vorgesehen sind. Für die wirtschaftliche Beurteilung werden die voraussichtlichen Investitionskosten anhand der geplanten Massnahmen abgeschätzt. Da weder detaillierte Baupläne noch konkrete Offerten vorliegen, handelt es sich bei den aufgeführten Beträgen um eigene Kostenannahmen. Diese ermöglichen eine erste finanzielle Einordnung des Konzepts, können jedoch eine genaue Kostenberechnung nicht ersetzen.

Massnahmen	Geschätzte Kosten
Neugestaltung des Oberwassereinstiegs mit Lockströmung	CHF 500'000
Regelbares Einlaufbauwerk mit Steuerung	CHF 300'000
Anpassungen am Umgehungsgewässer und an der Auenlandschaft	CHF 700'000
Optimierung des Unterwasserausstiegs	CHF 50'000
Planung, Untersuchungen und Bewilligungen	CHF 250'000
Zwischensumme	**CHF 1'800'000**
Reserve für Unvorhergesehenes (20 %)	CHF 360'000
Geschätzte Gesamtinvestition	**CHF 2'160'000**

Tabelle 11 Geschätzte Investitionskosten des Optimierungskonzepts

Die geschätzten Investitionskosten betragen rund 2,16 Millionen Franken. Dies entspricht etwa 10,8 % der damaligen Investitionen von 20 Millionen Franken in ökologische Massnahmen. Aufgrund des unterschiedlichen Projektumfangs und der zeitlichen Differenz dient dieser Vergleich lediglich zur finanziellen Einordnung.
Die bestehenden Unterhaltsarbeiten am Umgehungsgewässer und an der Auenlandschaft bleiben voraussichtlich weitgehend unverändert. Durch die erhöhte Wasserführung könnten einzelne Kontrollen etwas aufwändiger werden. Der zusätzliche Wartungsaufwand entsteht hauptsächlich durch das neue regelbare Einlaufbauwerk, dessen Antrieb, Steuerung und bewegliche Teile regelmässig überprüft werden müssen. Dafür werden zusätzliche jährliche Unterhaltskosten von rund CHF 15'000 angenommen.
Die aufgeführten Kosten beruhen auf eigenen Schätzungen und können je nach technischen und baulichen Anforderungen abweichen. Eine genauere Kostenermittlung wäre erst nach einer detaillierten Planung und dem Einholen konkreter Offerten möglich.

8.4.2 Finanzierung und mögliche Förderbeiträge

Seit 2011 unterstützt der Bund die ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen. Dazu gehören insbesondere Massnahmen zur Verbesserung der Fischwanderung. Bei gesetzlich vorgeschriebenen Sanierungen können die anrechenbaren Kosten unter bestimmten Voraussetzungen vollständig entschädigt werden [16].

Auch für das entwickelte Optimierungskonzept am Wasserkraftwerk Ruppoldingen könnten Förderbeiträge infrage kommen. Voraussetzung wäre eine fachliche Prüfung der technischen Wirksamkeit und der gesetzlichen Anforderungen durch die zuständigen Behörden. Je nach Anerkennung und Umfang der beitragsberechtigten Massnahmen wäre eine vollständige oder teilweise Finanzierung der Investitionskosten denkbar.

Dabei müsste zwischen Massnahmen zur Verbesserung der Fischwanderung und zusätzlichen ökologischen Aufwertungen unterschieden werden. Während technische Anpassungen zur Wiederherstellung der Fischgängigkeit unter bestimmten Voraussetzungen förderfähig sein könnten, wäre die Finanzierung zusätzlicher Massnahmen wie Gewässeraufweitungen, Kiesflächen oder neuer Feuchtbereiche separat zu prüfen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Kombination verschiedener Finanzierungsquellen. Neben einer möglichen Entschädigung über die bestehenden Fördermechanismen könnten für ergänzende ökologische Massnahmen weitere Unterstützungsbeiträge geprüft werden. Welche Kosten letztlich durch Fördermittel gedeckt werden könnten und welcher Anteil beim Kraftwerksbetreiber verbleiben würde, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschliessend bestimmen.

Ob und in welcher Höhe Förderbeiträge gewährt würden, müsste mit den zuständigen kantonalen Behörden und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) abgeklärt werden. Für die wirtschaftliche Bewertung werden deshalb vorerst die gesamten geschätzten Investitionskosten von CHF 2,16 Millionen berücksichtigt.

8.4.3 Berechnung der Energieverluste

Das Wasserkraftwerk Ruppoldingen verfügt über eine maximale Ausbauwassermenge von rund 475 m³/s. Diese Wassermenge kann bei entsprechender Wasserführung der Aare durch die Turbinen geleitet und zur Stromproduktion genutzt werden. Ein Teil des Wassers fliesst jedoch bereits heute durch das bestehende Umgehungsgewässer und steht somit nicht für die Energiegewinnung zur Verfügung.
Für das Umgehungsgewässer wird im heutigen Zustand eine Wasserführung von etwa 2 bis 5 m³/s angenommen. Dies entspricht rund 0,42 bis 1,05 % der maximalen Turbinenwassermenge. Durch die geplante Optimierung soll die Wasserführung um bis zu 3 m³/s auf insgesamt 5 bis 8 m³/s erhöht werden.

➔ 3 m³/s ÷ 475 m³/s × 100 = 0,63 %

Die zusätzliche Wassermenge entspricht rund 0,63 % der maximalen Ausbauwassermenge des Kraftwerks.
Für die Berechnung des möglichen Energieverlusts werden ausschliesslich die zusätzlichen 3 m³/s berücksichtigt, da das bisher durch das Umgehungsgewässer fliessende Wasser bereits heute nicht zur Stromproduktion genutzt wird.

Berechnung der entgangenen elektrischen Leistung:
Um den möglichen Leistungsverlust zu bestimmen, wird berechnet, wie viel elektrische Leistung das Kraftwerk mit den zusätzlich abgeleiteten 3 m³/s erzeugen könnte. Dafür werden neben der Wassermenge auch die Fallhöhe und der Wirkungsgrad berücksichtigt.
Gemäss den technischen Angaben zum Kraftwerk liegt die nutzbare Fallhöhe zwischen 4 und 6,5 m. Für die Berechnung wird der Mittelwert von 5,25 m verwendet. Als Gesamtwirkungsgrad wird der beim Neubau angestrebte Anlagenwirkungsgrad von 87 % angenommen.
Die elektrische Leistung [P] wird mit folgender Formel berechnet: $\mathbf{P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta}$
Dabei bedeuten:

- ρ = Wasserdichte (1'000 kg/m³)
- g = Erdbeschleunigung (9,81 m/s²)
- Q = zusätzliche Wasserführung (3 m³/s)
- H = Fallhöhe (5,25 m)
- η = Anlagenwirkungsgrad (0,87)

Durch das Einsetzen der Werte ergibt sich:
P = 1'000 kg/m³ · 9,81 m/s² · 3 m³/s · 5,25 m · 0,87 = **134'421,525 W ≈ 134 kW**

Das Ergebnis zeigt, dass mit den zusätzlichen 3 m³/s unter den angenommenen Bedingungen eine elektrische Leistung von rund 134 kW erzeugt werden könnte. Wird diese Wassermenge stattdessen durch das Umgehungsgewässer geleitet, steht sie nicht mehr für die Stromproduktion zur Verfügung. Daraus ergibt sich unter den angenommenen Bedingungen eine rechnerische Leistungseinbusse von rund 134 kW.

Berechnung des jährlichen Energieverlusts:
Aus der berechneten Leistung lässt sich der mögliche jährliche Energieverlust bestimmen. Dazu wird die entgangene elektrische Leistung mit der Anzahl Stunden multipliziert, während denen das zusätzliche Wasser durch das Umgehungsgewässer fliesst.
Für die Abschätzung wird angenommen, dass die Wasserführung ganzjährig um 3 m³/s erhöht wird. Ein Jahr umfasst 8'760 Stunden.
Die Berechnung erfolgt mit folgender Formel: **E = P · t**
Dabei bedeuten:

- E = elektrische Energie (kWh)
- P = entgangene elektrische Leistung (134,42 kW)
- t = Betriebsdauer (8'760 h)

Durch das Einsetzen der Werte ergibt sich:
E = 134,42 kW · 8'760 h = **1'177'519,2 kWh = 1,18 GWh pro Jahr**

➔ 1,18 GWh ÷ 115 GWh × 100 = 1,02 %

Bei einer jährlichen Stromproduktion des Kraftwerks von rund 115 GWh entspricht dies einem theoretischen Produktionsverlust von ungefähr 1,02 %.
Die berechneten Werte setzen voraus, dass die zusätzlichen 3 m³/s ansonsten vollständig zur Stromproduktion genutzt würden. Da der Kraftwerksbetrieb vom Aareabfluss und der Regulierung des Oberwasserpegels abhängt, kann der tatsächliche Minderertrag geringer ausfallen. Insbesondere bei hoher Wasserführung, wenn die Turbinen ihre maximale Kapazität erreichen und überschüssiges Wasser über das Wehr abgegeben wird, könnte die zusätzliche Wassermenge ohne weiteren Produktionsverlust durch das Umgehungsgewässer geleitet werden. Bei Niedrigwasser hingegen steht weniger Wasser für die Stromproduktion zur Verfügung. Werden in dieser Situation zusätzliche 3 m³/s durch das Umgehungsgewässer geleitet, kann dies zu einem höheren Minderertrag gegenüber dem Betrieb ohne diese zusätzliche Wasserabgabe führen.
Die Berechnung dient somit als theoretische Abschätzung. Für eine genauere Beurteilung müssten die tatsächlichen Betriebsdaten und Wasserführungen des Kraftwerks berücksichtigt werden.

8.4.4 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung

Für die Optimierung des bestehenden Umgehungsgewässers werden Investitionskosten von rund CHF 2,16 Millionen und zusätzliche jährliche Unterhaltskosten von CHF 15'000 angenommen. Die Investitionen betreffen hauptsächlich den Oberwassereinstieg, das regelbare Einlaufbauwerk und gezielte Anpassungen am Umgehungsgewässer. Neben diesen Kosten ist der mögliche Produktionsverlust zu berücksichtigen. Die zusätzliche Wasserführung von 3 m³/s führt rechnerisch zu einem jährlichen Energieverlust von rund 1,18 GWh beziehungsweise 1,02 % der bisherigen Jahresproduktion. Zur finanziellen Bewertung wird ein Strompreis von 10 Rp./kWh angenommen. Dieser dient als Berechnungsgrundlage, da der tatsächliche Verkaufspreis des Kraftwerksstroms nicht bekannt ist.

Berechnung des jährlichen finanziellen Energieverlusts:
Die Berechnung erfolgt mit folgender Formel: $\mathbf{K = E \cdot p}$
Dabei bedeuten:

- K = jährlicher finanzieller Energieverlust (CHF)
- E = jährlicher Energieverlust (kWh)
- p = angenommener Strompreis (CHF/kWh)

Durch das Einsetzen der Werte ergibt sich:
K = 1'180'000 kWh · 0,10 CHF/kWh = **CHF 118'000 pro Jahr**

Zusammen mit den zusätzlichen Unterhaltskosten von CHF 15'000 ergeben sich theoretische jährliche Mehrkosten von rund CHF 133'000.

Berechnung der jährlichen Gesamtkosten:
Die Berechnung erfolgt mit folgender Formel: $\mathbf{K_{gesamt} = K_{energie} + K_{unterhalt}}$
Dabei bedeuten:

- K_{gesamt} = jährliche Gesamtkosten (CHF)
- $K_{energie}$ = jährlicher finanzieller Energieverlust (CHF)
- $K_{unterhalt}$ = zusätzliche jährliche Unterhaltskosten (CHF)

Durch das Einsetzen der Werte ergibt sich:
K_{gesamt} = CHF 118'000 + CHF 15'000 = **CHF 133'000 pro Jahr**

Kostenposition	Geschätzte Kosten
Einmalige Investitionskosten	CHF 2'160'000
Jährlicher finanzieller Energieverlust	CHF 118'000
Zusätzliche jährliche Unterhaltskosten	CHF 15'000
Jährliche Gesamtkosten	CHF 133'000

Tabelle 12 Zusammenfassung der geschätzten wirtschaftlichen Auswirkungen

Die jährlichen Mehrkosten stellen eine theoretische Abschätzung dar und enthalten nicht die einmaligen Investitionskosten. Bei hoher Wasserführung könnte der tatsächliche Energieverlust geringer ausfallen. Zudem könnten mögliche Bundesbeiträge die Investitionskosten reduzieren. Insgesamt ermöglicht das Konzept eine gezielte Verbesserung der bestehenden Fischwanderhilfe, ohne eine vollständig neue Anlage errichten zu müssen. Ob die Investitionen wirtschaftlich gerechtfertigt sind, hängt insbesondere von der tatsächlichen Wirksamkeit des Fischabstiegs und den endgültigen Projektkosten ab. Eine abschliessende Bewertung erfordert deshalb weitere technische und ökologische Untersuchungen.

8.5 Vergleich zwischen Ist-Zustand und Optimierungskonzept

Das bestehende Umgehungsgewässer wurde hauptsächlich für den Fischaufstieg geschaffen. Das entwickelte Konzept soll sowohl den Fischaufstieg als auch den Fischabstieg optimieren und gleichzeitig die angrenzende Auenlandschaft ökologisch aufwerten und erweitern. Die wichtigsten Unterschiede werden nachfolgend gegenübergestellt.

Vergleichskriterium	Ist-Zustand	Optimierungskonzept
Fischwanderung	Hauptsächlich für den Fischaufstieg ausgelegt	Verbesserung des Fischabstiegs bei Erhalt des Fischaufstiegs
Oberwassereinstieg	Bestehender Einlauf mit angenommener Breite von 3,33 m	Trichterförmige Erweiterung auf rund 6 m mit gezielter Lockströmung
Regelwerk	Keine aktive Regulierung vorhanden	Neues elektrisches Schütz zur gezielten Regulierung der Wasserführung
Wasserführung	Angenommene 2–5 m³/s	Erhöhung um 3 m³/s auf rund 5–8 m³/s
Umgehungsgewässer	Rund 1,2 km langes naturnahes Gewässer	Gezielte Anpassungen an Strömung und Gewässerstruktur
Gewässergestaltung	Bestehende Kiesflächen und natürliche Lebensräume	Lokale Aufweitungen mit Kiesbänken, Inseln, Natursteinen, Totholz und Rückzugsbereichen für Jungfische
Unterwasserausstieg	Bestehende Einmündung in die Aare	Kleinere Anpassungen an der Steinanordnung für einen verbesserten Fischabstieg
Fischtreppe	Bestehende Verbindung zum Umgehungsgewässer	Bestehende Fischtreppe und Aufstiegsfunktion bleiben erhalten
Auenlandschaft	Bestehende ökologisch wertvolle Lebensräume	Erhalt und gezielte Aufwertung durch zusätzliche Kleinstrukturen und Feuchtbereiche
Stromproduktion	Rund 115 GWh pro Jahr	Rechnerisch rund 1,18 GWh weniger pro Jahr

Tabelle 13 Vergleichstabelle

Bewertung des Variantenvergleichs:
Der Vergleich zeigt, dass das entwickelte Konzept die bestehende Infrastruktur gezielt weiterentwickelt, ohne das Umgehungsgewässer vollständig neu bauen zu müssen. Durch die Neugestaltung des Oberwassereinstiegs und die erhöhte Wasserführung sollen die Bedingungen für den Fischabstieg verbessert werden. Gleichzeitig sollen die Anpassungen der Gewässerstruktur den Fischaufstieg unterstützen und zusätzliche Lebensräume für verschiedene Fischarten schaffen.
Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der ökologischen Aufwertung und Erweiterung der angrenzenden Auenlandschaft. Durch die gezielten Massnahmen könnten neue Lebensräume entstehen und die ökologische Vernetzung entlang der Aare verbessert werden.
Diesen Vorteilen stehen geschätzte Investitionskosten von CHF 2,16 Millionen sowie mögliche jährliche wirtschaftliche Mehrbelastungen gegenüber. Insgesamt stellt das Konzept einen vielversprechenden Ansatz dar, dessen tatsächliche Wirksamkeit jedoch durch weitere hydraulische und ökologische Untersuchungen überprüft werden müsste.

8.6 Endprodukt – A3-Merkblatt zum Optimierungskonzept

8.6.1 Ziel, Gestaltung und Verwendung des Merkblatts

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde ein A3-Merkblatt erstellt, welches das entwickelte Optimierungskonzept für das Fischumgehungsgewässer beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen übersichtlich und anschaulich darstellt. Das Konzept verfolgt das Ziel, das bestehende, rund 1,2 km lange Umgehungsgewässer so zu optimieren, dass insbesondere Jungfische eine möglichst sichere Möglichkeit für den Fischabstieg erhalten. Gleichzeitig soll die bisherige Funktion des Gewässers für den Fischaufstieg erhalten bleiben und nach Möglichkeit verbessert werden. Anstatt eine vollständig neue Fischabstiegsanlage zu errichten, soll die bestehende Infrastruktur durch gezielte Anpassungen besser genutzt werden.
Das Merkblatt zeigt die vier zentralen Massnahmen des entwickelten Konzepts. Im oberwasserseitigen Einstiegsbereich ist ein Regelwerk vorgesehen, mit dem die Wassermenge reguliert und eine gezielte Lockströmung erzeugt werden soll. Entlang des Umgehungsgewässers sind verschiedene Aufweitungen mit Kiesbänken, Steinen und Totholz geplant, um unterschiedliche Strömungsverhältnisse und zusätzliche Rückzugsmöglichkeiten für Fische zu schaffen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Erhaltung und Erweiterung der bestehenden Auenlandschaft, wodurch zusätzliche Lebensräume entstehen und die ökologische Vielfalt gefördert werden soll. Zudem ist vorgesehen, den Ausstiegsbereich im Unterwasser leicht zu vergrössern und naturnah zu gestalten, um die Anbindung an die Aare zu verbessern.
Für die Darstellung wurde eine schematische Übersicht des Kraftwerksstandorts aus der Vogelperspektive erstellt. Diese ermöglicht es, den gesamten Bereich mit dem rund 1,2 km langen Fischumgehungsgewässer sowie den vorgesehenen Optimierungsmassnahmen auf einen Blick zu erfassen. Durch die farbliche Hervorhebung lassen sich die einzelnen Massnahmen gut voneinander unterscheiden und räumlich zuordnen. Ergänzend werden passende Bilder, kurze Fakten und eine Legende eingesetzt, um die wichtigsten Informationen verständlich zu vermitteln. Die Kombination aus grafischen Elementen und kurzen Erläuterungen soll es ermöglichen, das Optimierungskonzept auch ohne vertiefte Fachkenntnisse nachzuvollziehen.
Das Merkblatt dient als visuelle Zusammenfassung der favorisierten Variante und verdeutlicht sowohl die angestrebte Verbesserung der Fischwanderung als auch den ökologischen Mehrwert der vorgeschlagenen Massnahmen. Dabei handelt es sich um eine konzeptionelle Darstellung und nicht um eine bereits abschliessend technisch ausgearbeitete Planung.

8.6.2 Darstellung des entwickelten Optimierungskonzepts

Die nachfolgende Abbildung zeigt das fertiggestellte A3-Merkblatt mit der möglichen schematischen Darstellung des entwickelten Optimierten Umgehungsgewässers.



Abbildung 38 Merkblatt Optimiertes Umgehungsgewässer (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI)

8.6.3 Expertenfeedback zum Optimierungskonzept und Endprodukt

Thomas Fürst von der Alpiq Hydro Aare AG hat das entwickelte Optimierungskonzept und das dazugehörige A3-Merkblatt begutachtet. Seine schriftliche Rückmeldung lautet:

- **Grundsätzliche Einschätzung:**
  «Die Idee, das bestehende Umgehungsgewässer gezielt auch für den Fischabstieg zu optimieren, finde ich grundsätzlich interessant und prüfenswert.»

- **Nutzung der bestehenden Infrastruktur:**
  «Der Ansatz, bestehende Infrastruktur zu nutzen und insbesondere die Auffindbarkeit des Oberwassereinstiegs über eine angepasste Strömungsführung zu verbessern, ist nachvollziehbar.»

- **Weitere Untersuchungen:**
  «Für eine Beurteilung der tatsächlichen Umsetzbarkeit wären aus meiner Sicht natürlich weitere Untersuchungen notwendig, insbesondere zur heutigen Nutzung des Umgehungsgewässers durch abwandernde Fische, zur Hydraulik und Lockströmung sowie zu den betrieblichen und ökologischen Auswirkungen der zusätzlichen Wasserführung.»

- **Gesamtbeurteilung:**
  «Ich betrachte deshalb das Konzept als interessante und gut hergeleitete Vorstudie, deren Wirksamkeit in einem nächsten Schritt verifiziert werden müsste.»

- **Beurteilung des A3-Merkblatts:**
  «Das A3-Merkblatt vermittelt die Grundidee anschaulich und verständlich und eignet sich gut als kompakte Zusammenfassung.»

Quelle: Thomas Fürst, Alpiq Hydro Aare AG, persönliche E-Mail vom 05.11.2026.

8.7 Herausforderungen und Grenzen des Konzepts

8.7.1 Ökologische Auswirkungen und Unsicherheiten

Das entwickelte Optimierungskonzept soll die Fischwanderung verbessern und gleichzeitig die ökologische Vielfalt im Bereich des Umgehungsgewässers fördern. Ob die angestrebten Verbesserungen tatsächlich erreicht werden, lässt sich anhand der bisherigen Ausarbeitung jedoch noch nicht abschliessend beurteilen.
Die grösste Unsicherheit besteht beim Fischabstieg. Es ist nicht bekannt, wie viele Fische den bestehenden Wanderweg bereits für den Abstieg nutzen. Dadurch fehlt eine verlässliche Grundlage, um die mögliche Verbesserung durch das Optimierungskonzept zu bestimmen. Zudem ist unklar, wie die verschiedenen Fischarten auf die veränderten Strömungsverhältnisse reagieren und ob der neue Oberwassereinstieg ausreichend gut gefunden wird.
Auch die Auswirkungen auf den bestehenden Fischaufstieg müssen berücksichtigt werden. Die veränderte Wasserführung und Gewässergestaltung dürfen die bisherige Aufstiegsfunktion nicht beeinträchtigen. Besonders für kleinere oder schwimmschwächere Fischarten müssen geeignete Strömungsverhältnisse und Rückzugsmöglichkeiten vorhanden sein. Bei der geplanten Aufwertung und Erweiterung der Auenlandschaft besteht die Herausforderung darin, neue Lebensräume zu schaffen, ohne die vorhandenen ökologisch wertvollen Bereiche zu beeinträchtigen. Ob sich die gewünschten Lebensräume entwickeln, hängt unter anderem von den örtlichen Wasserverhältnissen und der natürlichen Entwicklung der Vegetation ab.
Die tatsächlichen ökologischen Auswirkungen könnten erst durch weiterführende Untersuchungen und ein anschliessendes Monitoring zuverlässig beurteilt werden. Dabei wäre insbesondere zu überprüfen, ob sich die Fischwanderung verbessert und die vorgesehenen Lebensräume langfristig positiv entwickeln.

8.7.2 Grenzen der Umsetzung

Die praktische Umsetzung des Optimierungskonzepts hängt von verschiedenen Voraussetzungen ab, die im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht vollständig untersucht werden konnten. Insbesondere fehlen detaillierte Informationen zu den örtlichen Platzverhältnissen, den bestehenden Bauwerken und den hydraulischen Eigenschaften des Umgehungsgewässers.
Eine wesentliche Grenze stellt deshalb die technische Machbarkeit dar. Ob sich die geplanten Anpassungen am Oberwassereinstieg realisieren lassen und das bestehende Gewässer die zusätzliche Wassermenge dauerhaft aufnehmen kann, müsste durch Fachplaner überprüft werden. Dabei könnten sich weitere bauliche Massnahmen ergeben, die im bisherigen Konzept nicht berücksichtigt sind. Auch die Erweiterung der Auenlandschaft ist von den verfügbaren Flächen und den geltenden Schutzbestimmungen abhängig. Da es sich um einen ökologisch wertvollen Gewässerraum handelt, müssten mögliche Eingriffe sorgfältig geprüft und mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden.
Eine weitere Unsicherheit betrifft die Wirtschaftlichkeit. Die ermittelten Investitionskosten und Energieverluste beruhen auf vereinfachten Annahmen und dienen lediglich einer ersten Einschätzung. Die tatsächlichen Kosten sowie mögliche Förderbeiträge könnten erst im Rahmen einer konkreten Projektplanung bestimmt werden.
Das entwickelte Konzept stellt somit eine mögliche Weiterentwicklung des bestehenden Umgehungsgewässers dar, jedoch noch kein ausführungsreifes Bauprojekt. Für eine Realisierung wären zusätzliche technische Abklärungen, eine detaillierte Kostenplanung und die erforderlichen Bewilligungen notwendig.

8.8 Fazit

Die Ausarbeitung der Variante «Optimiertes Umgehungsgewässer» zeigt, dass die bestehende ökologische Infrastruktur am Wasserkraftwerk Ruppoldingen eine geeignete Grundlage für eine Weiterentwicklung bietet. Anstatt eine vollständig neue Fischwanderhilfe zu errichten, setzt das Konzept auf gezielte Anpassungen am vorhandenen Umgehungsgewässer.
Im Mittelpunkt steht die Verbesserung des Fischabstiegs, da das bestehende Umgehungsgewässer ursprünglich hauptsächlich für den Fischaufstieg ausgelegt wurde. Durch die Umgestaltung des Oberwassereinstiegs und die angepasste Wasserführung sollen abwandernde Fische einen besser auffindbaren und möglichst sicheren Weg am Kraftwerk vorbei erhalten. Davon sollen insbesondere Jungfische sowie kleinere und schwimmschwächere Fische profitieren. Im Hinblick auf die vom BAFU angestrebte Wiederansiedlung des Atlantischen Lachses in Schweizer Gewässern könnte ein verbesserter Fischabstieg künftig ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Junge Lachse wandern nach ihrer Entwicklung im Süsswasser zum Meer, wo sie heranwachsen und später zum Laichen in ihre Herkunftsgewässer zurückkehren. Das optimierte Umgehungsgewässer könnte diese Wanderung unterstützen, während die bestehende Aufstiegsfunktion erhalten bleibt. Ein weiterer Bestandteil des Konzepts ist die ökologische Aufwertung und Erweiterung der angrenzenden Auenlandschaft. Dadurch sollen zusätzliche Lebensräume entstehen und die ökologische Vernetzung entlang der Aare gestärkt werden. Die Variante berücksichtigt somit neben der Fischwanderung auch die Entwicklung des gesamten Gewässerraums.
Auch wirtschaftlich bietet die Variante Vorteile, da ein grosser Teil der bestehenden Infrastruktur weiterverwendet werden kann. Der rechnerisch ermittelte Minderertrag beträgt rund 1 % der jährlichen Stromproduktion und stellt damit einen wirtschaftlich relevanten Faktor dar. Zudem könnten Förderbeiträge des Bundes bei Erfüllung der gesetzlichen Voraussetzungen die Investitionskosten und damit die finanzielle Belastung des Kraftwerksbetreibers reduzieren.
Insgesamt erweist sich das optimierte Umgehungsgewässer im Rahmen der durchgeführten Variantenbewertung als die am besten geeignete Lösung für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen. Das Konzept verbindet die Verbesserung der Fischwanderung mit einer ökologischen Aufwertung und nutzt die bestehende Infrastruktur. Auch wenn vor einer Umsetzung weitere Untersuchungen erforderlich sind, bietet die Variante eine vielversprechende Grundlage für eine nachhaltige Weiterentwicklung des Standorts.



Abbildung 39 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.oltnertagblatt.ch)

9 Projektabschluss

Die vorliegende Diplomarbeit zeigt, dass die Verbesserung der Fischwanderung eine wichtige Aufgabe für die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft darstellt. Am Beispiel des Wasserkraftwerks Ruppoldingen wurde untersucht, wie insbesondere der Fischabstieg verbessert und gleichzeitig die ökologische Qualität des Gewässerraums gefördert werden kann. Dabei wurde deutlich, dass Wasserkraftwerke nicht nur der Energiegewinnung dienen, sondern auch die natürlichen Wanderwege der Fische beeinflussen. Im Verlauf der Arbeit wurden verschiedene technische und naturnahe Lösungsansätze für den Fischabstieg untersucht und miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass mehrere Möglichkeiten bestehen, um Fischen eine sichere Passage an Wasserkraftwerken zu ermöglichen. Welche Lösung am besten geeignet ist, hängt jedoch von den örtlichen Gegebenheiten und der bestehenden Infrastruktur ab. Für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen erwies sich die Optimierung des vorhandenen Umgehungsgewässers im Rahmen der Variantenbewertung als besonders geeigneter Ansatz.
Ein wichtiges Ergebnis ist, dass sich die Verbesserung der Fischwanderung mit weiteren ökologischen Massnahmen verbinden lässt. Neben einem möglichst sicheren Wanderweg für absteigende Fische können auch die angrenzenden Gewässer- und Auenlebensräume aufgewertet werden. Die wirtschaftliche Betrachtung zeigte zudem, dass die geplanten Verbesserungen mit einem vergleichsweise geringen rechnerischen Verlust bei der Stromproduktion verbunden sein könnten. Die tatsächliche Wirksamkeit und Umsetzbarkeit müssten jedoch durch weitere Untersuchungen bestätigt werden.
Besonders für Jungfische ist ein funktionierender Fischabstieg wichtig. Sie müssen ihre Wanderung flussabwärts möglichst sicher fortsetzen können, ohne durch Turbinen oder andere Hindernisse gefährdet zu werden. Dies ist auch für die angestrebte Rückkehr des Atlantischen Lachses in die Schweizer Gewässer von Bedeutung. Damit sich der Lachs langfristig wieder ansiedeln kann, sind durchgängige Wanderwege in beide Richtungen sowie geeignete Lebensräume notwendig. Deshalb wird es auch in Zukunft wichtig sein, bestehende Wasserkraftanlagen und Fischwanderhilfen gezielt weiterzuentwickeln. Neue technische Lösungen und Erkenntnisse aus der Forschung können dabei helfen, die Fischwanderung langfristig zu verbessern.
Insgesamt verdeutlicht diese Diplomarbeit, dass Wasserkraftnutzung und Gewässerschutz keine Gegensätze sein müssen. Durch sorgfältige Planung und standortgerechte Massnahmen können bestehende Wasserkraftwerke ökologisch verbessert werden, ohne ihre wichtige Funktion für die Stromversorgung aufzugeben.

9.1 Soll-Ist-Vergleich

Soll-Ist-Vergleich

Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke
Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen

Aufgaben		Start	Ende	Dauer	Status
Vorbereitung Diplomarbeit					
Synthesearbeit	Soll	22.4.26	17.8.26	117 Tage	
	Ist	22.4.26	17.8.26	117 Tage	
Themeneingabe	Soll	22.4.26	22.6.26	61 Tage	
	Ist	22.4.26	22.6.26	61 Tage	
Pflichtenheft	Soll	6.7.26	15.8.26	40 Tage	
	Ist	6.7.26	15.8.26	40 Tage	
Projektinitialisierung					
Projektauftrag	Soll	14.9.26	14.9.26	1 Tag	
	Ist	14.9.26	14.9.26	1 Tag	
Informationsbeschaffung	Soll	15.9.26	20.9.26	6 Tage	
	Ist	15.9.26	22.9.26	8 Tage	
Analyse der Ausgangslage	Soll	23.9.26	29.9.26	7 Tage	
	Ist	23.9.26	30.9.26	8 Tage	
Zielscheibe	Soll	2.10.26	4.10.26	3 Tage	
	Ist	2.10.26	3.10.26	2 Tage	
Projektplanung					
Projektstrukturplanung	Soll	4.10.26	5.10.26	2 Tage	
	Ist	4.10.26	4.10.26	1 Tag	
Projektablaufplanung	Soll	6.10.26	11.10.26	6 Tage	
	Ist	6.10.26	12.10.26	7 Tage	
Kommunkationsplanung	Soll	12.10.26	12.10.26	1 Tag	
	Ist	12.10.26	12.10.26	1 Tag	
Projektrealisierung					
Ideenfindung: Brainstorming & Mind Map	Soll	13.10.26	14.10.26	2 Tage	
	Ist	13.10.26	14.10.26	2 Tage	
Erarbeitung der drei Varianten	Soll	14.10.26	18.10.26	5 Tage	
	Ist	14.10.26	17.10.26	4 Tage	
Hauptvariante evaluieren anhand der Präferenzmatrix	Soll	19.10.26	20.10.26	2 Tage	
	Ist	19.10.26	19.10.26	1 Tag	
Bewertung der Varianten mittles Nutzwert und Sensitivtätsanalyse	Soll	20.10.26	20.10.26	1 Tag	
	Ist	20.10.26	21.10.26	2 Tage	
SWOT-Analyse	Soll	21.10.26	21.10.26	1 Tag	
	Ist	21.10.26	21.10.26	1 Tag	
Hauptvariante ausarbeiten	Soll	21.10.26	30.10.26	10 Tage	
	Ist	21.10.26	1.11.26	12 Tage	
Endprodukt erarbeitet	Soll	31.10.26	3.11.26	4 Tage	
	Ist	28.10.26	7.11.26	10 Tage	
Projektabschluss					
Soll / Ist Vergleich	Soll	3.11.26	4.11.26	2 Tage	
	Ist	3.11.26	5.11.26	3 Tage	
Reflexion und Ausblick	Soll	5.11.26	5.11.26	1 Tag	
	Ist	5.11.26	5.11.26	1 Tag	
Online Publikation	Soll	10.11.26	18.11.26	8 Tage	
	Ist				
Abgabe der Dokumentation	Soll	9.11.26	9.11.26	1 Tag	
	Ist				
Präsentation	Soll	10.11.26	20.11.26	11 Tage	
	Ist				

Meilensteine	Soll	Ist
Erledigt	In Bearbeitung	Nicht erledigt

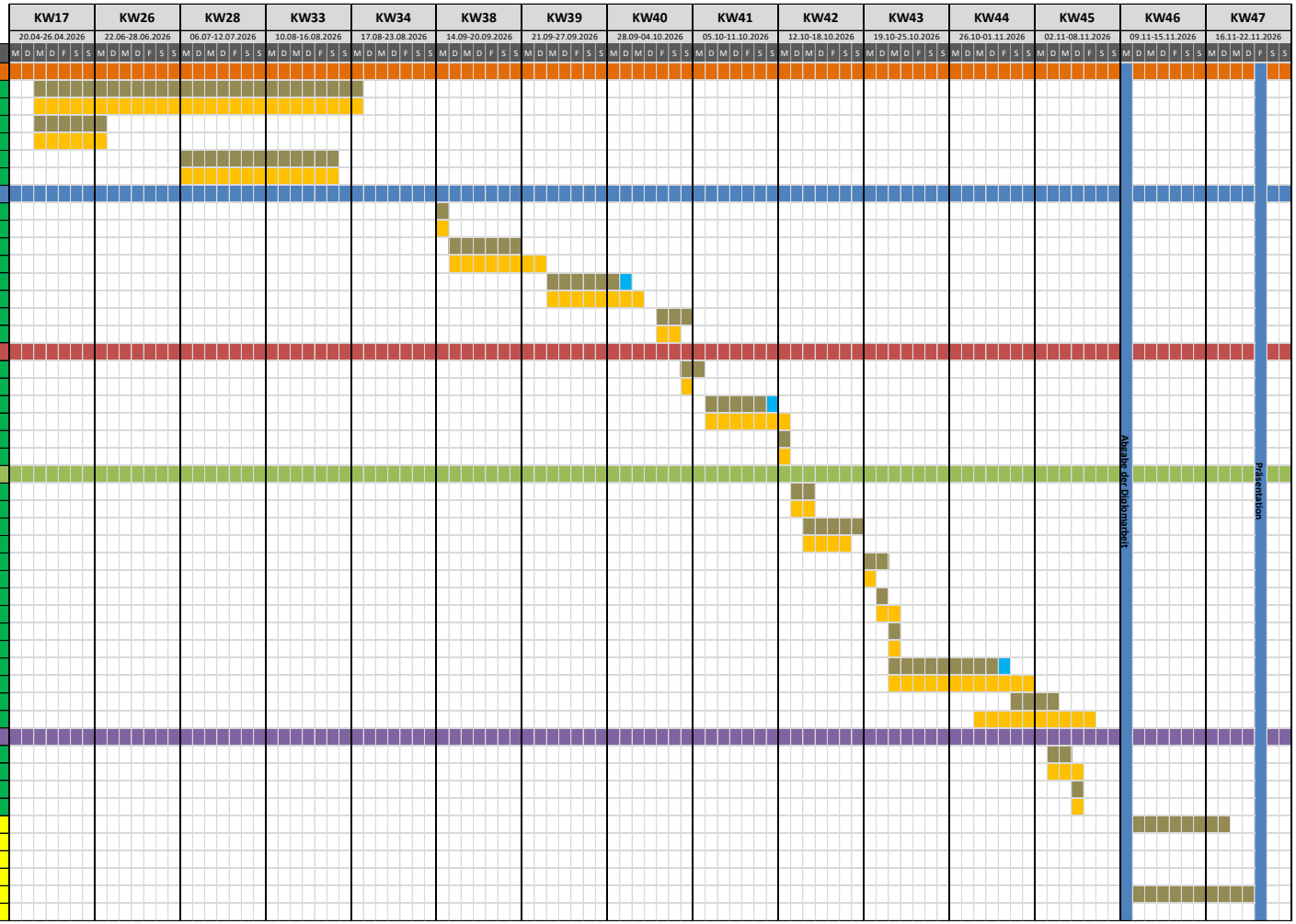


Tabelle 14 Soll-Ist-Vergleich

9.2 Reflexion und Ausblick

Mein Interesse am Fischabstieg wurde während einer Schulexkursion der TEKO Olten zum Wasserkraftwerk Hagneck geweckt. Dort konnte ich sehen, wie umfangreich moderne Fischwanderhilfen sein können und wie viel Aufwand hinter solchen Anlagen steckt. Diese Besichtigung hat mich beeindruckt und dazu motiviert, mich in meiner Diplomarbeit genauer mit dem Fischabstieg bei bestehenden Wasserkraftwerken zu beschäftigen. Für meine Untersuchung entschied ich mich für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen, da ich die Anlage bereits kannte, sie in meiner Nähe liegt und gut erreichbar ist.

Da ich beruflich nicht im Bereich der Wasserkraft oder Fischwanderung tätig bin, war vieles für mich zunächst neu. Durch mein geweckte Interesse fiel es mir jedoch leicht, mich mit dem Thema auseinanderzusetzen, Informationen zu sammeln und die verschiedenen Fischabstiegssysteme zu untersuchen. Besonders spannend fand ich es, die unterschiedlichen Lösungsansätze kennenzulernen und miteinander zu vergleichen. Besonders interessant fand ich die Besichtigung des Wasserkraftwerks Ruppoldingen und den Austausch mit den Fachpersonen von Hydro-Suisse AG und Alpiq Hydro Aare AG. Durch ihre Erfahrungen und ihr Fachwissen erhielt ich wertvolle Informationen, die mir bei der Ausarbeitung meiner Diplomarbeit weiterhalfen. Zudem konnte ich offene Fragen klären und die Herausforderungen beim Fischabstieg besser verstehen.

Die Entwicklung meines eigenen Optimierungskonzepts war für mich eine spannende Herausforderung. Dabei musste ich nicht nur überlegen, wie sich der Fischabstieg verbessern lässt, sondern auch die bestehende Infrastruktur, die Auenlandschaft und die wirtschaftlichen Auswirkungen berücksichtigen. Besonders zufrieden bin ich damit, dass ich aus den untersuchten Varianten eine eigene Lösung für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen entwickeln konnte.

Rückblickend habe ich durch diese Diplomarbeit viel Neues gelernt. Mir wurde bewusst, wie wichtig die Fischwanderung für unsere Gewässer ist und wie schwierig es sein kann, geeignete Lösungen für bestehende Wasserkraftwerke zu finden. Gleichzeitig konnte ich Erfahrungen bei der selbstständigen Planung und Bearbeitung eines grösseren Projekts sammeln.

Für die Zukunft hoffe ich, dass der Fischabstieg bei Wasserkraftwerken noch stärker berücksichtigt wird. Besonders wichtig finde ich den Schutz der Jungfische und die Bemühungen, den Lachs wieder in die Schweizer Gewässer zurückzubringen. Ich bin gespannt, welche neuen Lösungen in den kommenden Jahren entwickelt werden und wie sich bestehende Fischwanderhilfen weiter verbessern lassen. Auch für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen sehe ich noch Möglichkeiten für weitere Untersuchungen. Es wäre interessant herauszufinden, wie viele Fische das bestehende Umgehungsgewässer tatsächlich für den Abstieg nutzen und ob mein entwickeltes Optimierungskonzept in der Praxis umsetzbar wäre. Vielleicht können einzelne Ideen daraus in Zukunft bei weiteren Planungen berücksichtigt werden.

Insgesamt hat die Diplomarbeit mein Interesse an der Verbindung zwischen Wasserkraft und Gewässerschutz weiter gestärkt. Ich bin mit dem entwickelten Konzept zufrieden und werde die Entwicklungen in diesem Bereich auch in Zukunft mit Interesse verfolgen.

10 Redlichkeitserklärung

Die Verfasserinnen und Verfasser bestätigen mit ihrer Unterschrift, dass die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel erstellt wurde.
Die aus fremden Quellen (einschliesslich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.
Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht vorgelegt worden.

Unterschrift: Datum/Ort: Hägendorf, 09.11.2026



Robin Flück

11 Deklaration des KI-Einsatzes

Bei der Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit wurde künstliche Intelligenz (KI) als unterstützendes Hilfsmittel eingesetzt. Der Einsatz erfolgte insbesondere zur Ideenfindung, Strukturierung, Ausarbeitung von Texten sowie zur sprachlichen und grammatikalischen Überarbeitung.
KI wurde in folgenden Bereichen eingesetzt:

- Ideenfindung und Strukturierung: Unterstützung bei der Entwicklung von Lösungsansätzen sowie beim Aufbau und bei der Gliederung einzelner Kapitel.
- Texterstellung: Erstellung von Formulierungsentwürfen und vollständigen Textpassagen, die teilweise direkt in die Diplomarbeit übernommen wurden.
- Sprachliche Überarbeitung: Verbesserung von Rechtschreibung, Grammatik, Satzstellung und Verständlichkeit.
- Quellenarbeit: Unterstützung bei der Recherche, Zusammenfassung und Zuordnung von Fachquellen.
- Berechnungen: Unterstützung bei der Erstellung und Überprüfung von Berechnungen sowie bei der Darstellung von Rechenwegen.
- Diagramme: Unterstützung bei der Erstellung von Diagrammen auf Grundlage der verwendeten Daten und Berechnungen.
- Bilder und Illustrationen: Erstellung von KI generierten Bildern und schematischen Darstellungen zur Veranschaulichung technischer Zusammenhänge.

Die technischen Grundlagen, verwendeten Daten, Berechnungen und fachlichen Aussagen wurden im Rahmen der Bearbeitung auf Plausibilität und Nachvollziehbarkeit geprüft. Die Bewertung der untersuchten Varianten und die Auswahl der bevorzugten Lösung erfolgten anhand der festgelegten Kriterien.
Die Verantwortung für die fachliche Richtigkeit, die verwendeten Quellen und die Schlussfolgerungen liegt beim Verfasser.
Eine detaillierte Übersicht über den Einsatz von KI befindet sich in *Anhang 14.2*.

12 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

- Ein besonderer Dank gilt Thomas Fürst, Geschäftsleiter bei Alpiq Hydro Aare AG, für die Unterstützung und die Bereitstellung von Informationen zum Kraftwerk Ruppoldingen.
- Ebenso bedanke ich mich bei Andreas Stettler von der Hydro-Suisse AG für seine fachliche Unterstützung und die wertvollen Informationen zum Thema Fischabstieg.
- Weiter möchte ich mich bei meinem Fachexperten Manuel Schüle für seine fachliche Begleitung und seine Rückmeldungen während der Bearbeitung bedanken.
- Abschliessend bedanke ich mich bei meinem Diplomlehrer Manuel Walde für die Betreuung und Unterstützung während der Erstellung dieser Diplomarbeit.

13 Verzeichnisse

13.1 Abkürzungsverzeichnis

BAFF – BioAcoustic Fish Fence (bioakustische Fischbarriere)
BAFU – Bundesamt für Umwelt
BGF – Bundesgesetz über die Fischerei
CHF – Schweizer Franken
GSchG – Gewässerschutzgesetz
HF – Höhere Fachschule
KI – Künstliche Intelligenz
NHG – Natur- und Heimatschutzgesetz
SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken)
VUE – Verein für umweltgerechte Energie

Verwendete Masseinheiten:
GWh – Gigawattstunde
kW – Kilowatt
kWh – Kilowattstunde
m – Meter
m² – Quadratmeter
m³/s – Kubikmeter pro Sekunde
MW – Megawatt

13.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.aare-strom.ch).....10
Abbildung 2 Umgehungsgewässer (Eigene Aufnahme).....11
Abbildung 3 Fischaufstiegshilfe (Eigene Aufnahme).....11
Abbildung 4 Fischtreppe Ruppoldingen (Pflichtenheft).....13
Abbildung 5 System und Teilsysteme (Pflichtenheft).....21
Abbildung 6 Umsystem (Pflichtenheft).....22
Abbildung 7 Schnittstellen (Pflichtenheft).....23
Abbildung 8 Fischabstiegs Sanierungen CH stand 2022 (www.storymaps.arcgis.com).....26
Abbildung 9 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.aare-strom.ch).....27
Abbildung 10 Turbine während der Trockenlegung in Ruppoldingen (Eigene Aufnahme).....28
Abbildung 11 Fischabstiegsprojekt Hydro-Suisse AG in Bannwil (www.bernerzeitung.ch).....29
Abbildung 12 Brainstorming (www.miro.com).....34
Abbildung 13 Mindmap (www.miro.com).....35
Abbildung 14 Partieller Leitrechen mit Bypass (www.fischereiberatung.ch).....36
Abbildung 15 Umgehungsgewässer für Auf- und Abstieg (www.ib-gebler.de).....37
Abbildung 16 BAFF System (www.researchgate.net).....38
Abbildung 17 Altes Kraftwerk links mit angelegtem Kanal (www.de.wikipedia.org).....41
Abbildung 18 Neues Kraftwerk direkt im Hauptstrom der Aare (www.alpiq.com).....41
Abbildung 19 Gewässerraum Ruppoldingen (www.alpiq.com).....42
Abbildung 20 naturmade Gütesiegel (Eigene Aufnahme).....43

Abbildung 21 Fischtreppe (Eigene Aufnahme) 43
Abbildung 22 Turbine (Eigene Aufnahme) 45
Abbildung 23 Wehr (Eigene Aufnahme) 45
Abbildung 24 Umgehungsweg Ausgang (Eigene Aufnahme) 46
Abbildung 25 Einstieg (Eigene Aufnahme) 49
Abbildung 26 Konzept des neuen Einstiegs mit Regelwerk (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI) 50
Abbildung 27 Kiesbänke (www.kreiszeitung.de)....51
Abbildung 28 Mögliche Aufweitung (Eigene Aufnahme)....52
Abbildung 29 Natursteine (Eigene Aufnahme) 52
Abbildung 30 Auenlandschaft (Eigene Aufnahme) 53
Abbildung 31 Biberspuren (Eigene Aufnahme)....53
Abbildung 32 Auenlandschaft (Eigene Aufnahme) 53
Abbildung 33 Tümpel mit Totholz in einer Auenlandschaft (www.suisse-rando.ch) 54
Abbildung 34 Aktueller Unterwasserausstieg (Eigene Aufnahme) 55
Abbildung 35 Konzept des neuen Ausstiegs (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI) 55
Abbildung 36 Mündung der Fischtreppe mit dem Umgehungsgewässer (Eigene Aufnahme) 56
Abbildung 37 Auengebiet-Schutzgebiet Ruppoldingen, Objektnummer 414 (www.map.geo.admin.ch)....57
Abbildung 38 Merkblatt Optimiertes Umgehungsgewässer (KI generierte Darstellung mit ChatGPT / OpenAI) 65
Abbildung 39 Wasserkraftwerk Ruppoldingen (www.oltnertagblatt.ch) 68

13.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Qualifikationsprofil 9
Tabelle 2 Themeneingabe 12
Tabelle 3 Projektablaufplanung 32
Tabelle 4 Kommunikationsplanung....33
Tabelle 5: Präferenzmatrix....39
Tabelle 6: Nutzwertanalyse....39
Tabelle 7 Sensitivitätsanalyse 40
Tabelle 8: SWOT-Analyse 40
Tabelle 9 Technische Kenndaten des Wasserkraftwerks Ruppoldingen 44
Tabelle 10 Vergleich Oberwassereinstieg 49
Tabelle 11 Geschätzte Investitionskosten des Optimierungskonzepts 58
Tabelle 12 Zusammenfassung der geschätzten wirtschaftlichen Auswirkungen 62
Tabelle 13 Vergleichstabelle....63
Tabelle 14 Soll-Ist-Vergleich 70

13.4 Literatur und Quellenverzeichnis

[1] Bundesamt für Energie (BFE) (2025). Wasserkraft.
URL:https://www.bfe.admin.ch/de/wasserkraft
Zugriff am: 15.09.2026.

[2] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2022). Fischgängigkeit.
URL:https://www.bafu.admin.ch/de/fischgaengigkeit
Zugriff am: 15.09.2026.

[3] Hefti, Daniel (2013). Fischaufstiegs- und Fischabstiegssysteme. Aqua Viva, Ausgabe 5/2013, Themenheft «Fischwanderung – Best Practice».
URL:https://aquaviva.ch/images/unser-angebot/zeitschrift/2013.5/zeitschrift-aqua-viva-themenheft-fischwanderung-best-practice-52013.pdf
Zugriff am: 14.10.2026.

[4] Schweizer Radio und Fernsehen (SRF) (2026). Der Abstieg in Schweizer Flüssen endet für viele Fische tödlich. SRF News.
URL:https://www.srf.ch/news/schweiz/qualvolles-gemetzel-der-abstieg-in-schweizer-fluessen-endet-fuer-viele-fische-toedlich
Zugriff am: 15.09.2026.

[5] Alpiq AG (2026). Laufkraftwerk Ruppoldingen.
URL:https://www.alpiq.com/de/energie/anlagen/wasserkraft/laufkraftwerk-ruppoldingen
Zugriff am: 15.09.2026.

[6] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2025). Ökologische Sanierung der Wasserkraft.
URL:https://www.bafu.admin.ch/de/okologische-sanierung-der-wasserkraft
Zugriff am: 23.09.2026.

[7] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2022). Roadmap Fischwanderung. Informationsposter.
URL:https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/yNhNfsP8TXr2/roadmap-fischwanderung.pdf
Zugriff am: 14.10.2026.

[8] Meister, Julian (2024). Ergänzungsstudie zum VAR-Pilotprojekt Fischabstieg Grosswasserkraft. Axpo, Bericht H 18663, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), 22.07.2024.
URL:https://www.hydrosuisse.ch/fileadmin/user_upload/site/Ergaenzungsstudie_Fischabstieg_Grosswasserkraft.pdf
Zugriff am: 14.10.2026.

[9] Meister, Julian; Krähenbühl, Sandra; Schumann, Alexander; Jörg, Sabrina (2024). Fischabstieg am Maschinenhaus – Synthesebericht der Fischabstiegs-Pilotprojekte des Verbands Aare-Rheinwerke (VAR). Axpo Power AG und BKW Energie AG, Bericht H 18597, 05.04.2024.
URL:https://www.hydrosuisse.ch/fileadmin/user_upload/site/PDF/Synthesebericht_VAR_Pilotprojekt_Fischabstieg.pdf
Zugriff am: 14.10.2026.

[10] Hydro-Suisse (2024). Projekt Fischabstieg.
URL:https://www.hydrosuisse.ch/detail/projekt-fischabstieg
Zugriff am: 15.09.2026.

[11] Fischereiberatungsstelle FIBER (2023). Fischabstieg bei Kraftwerken. Informationsposter unter Bezugnahme auf den Schweizerischen Fischerei-Verband (SFV).
URL:https://www.fischereiberatung.ch/fileadmin/sites/fiber/angebot/fiber_publ/poster/fischabstieg_d.pdf
Zugriff am: 14.10.2026.

[12] Alpiq Hydro Aare AG (2014). Wasserkraft aus der Aare – Erneuerbare Energie aus der Region. Informationsbroschüre.
URL:https://www.alpiq.com/fileadmin/ALPIQ/footer/legal_informations/alpiq-wasserkraft-aus-der-aare-2014.pdf
Zugriff am: 23.09.2026.

[13] Kanton Solothurn (2003). Ruppoldingen: Renaturierungslehrpfad beim neuen Wasserkraftwerk. Medienmitteilung, Mai 2003.
URL:https://so.ch/verwaltung/staatskanzlei/medien/medienarchiv-2000-2014/2003/medienmitteilungen-mai-2003/ruppoldingen-renaturierungslehrpfad-beim-neuen-wasserkraftwerk
Zugriff am: 23.09.2026.

[14] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2022). Auengebiete von nationaler Bedeutung.
URL:https://www.bafu.admin.ch/de/auen
Zugriff am: 21.10.2026.

[15] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2021). Revitalisierung.
URL:https://www.bafu.admin.ch/de/revitalisierung
Zugriff am: 21.10.2026.

[16] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2019). Finanzierung der Sanierung Wasserkraft.
URL:https://www.bafu.admin.ch/de/finanzierung-sanierung-wasserkraft
Zugriff am: 21.10.2026.

14 Anhang

14.1 Projektstatusberichte

Projekt: Fischabstiegssysteme **Statusbericht: 04.10.2026**

Projektleiter	Projektziele	Verteiler
Robin Flück	Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke – Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen.	• Manuel Walde

Gesamt-beurteilung	Projektverlauf	Projektklima	Termine	Risiken	Ressourcen
	■ □ □	■ □ □	□ ■ □	□ ■ □	■ □ □
Tendenz	⇨	⇨	⇗	⇗	⇨

Aktueller Projektstand
- Kurzer beruflicher Lebenslauf erstellt
- Qualifikationsprofil eingefügt
- Analyse der Ausgangslage durchgeführt
- Interview, Fragebogen und Anlagenbesichtigung erledigt
- Zielscheibe geschrieben
- Projektablaufplanung geschrieben

Was läuft gut?
- Informationsbeschaffung

Was läuft nicht gut?

~~Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen~~
- 3 Grobvarianten aufschreiben
- Favorisierende Variante evaluieren
- Beginnen mit der Ausarbeitung der favorisierten Variante

Projekt-Statusbericht; Stefan Thöni, Josef Räber

Projekt: Fischabstiegssysteme **Statusbericht: 18.10.2026**

Projektleiter	Projektziele	Verteiler
Robin Flück	Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke – Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen.	• Manuel Walde

Gesamtbeurteilung	Projektverlauf	Projektklima	Termine	Risiken	Ressourcen
	■ □ □	■ □ □	□ ■ □	□ ■ □	■ □ □
Tendenz	⇨	⇨	⇗	⇗	⇨

Aktueller Projektstand
- 3 Grobvarianten aufgeschrieben
- Favorisierte Variante evaluiert
- Ausarbeitung der Variante beendet
- Endprodukt A3 Merkblatt begonnen

Was läuft gut?
- Informationsbeschaffung

Was läuft nicht gut?
- Zeitmanagement bezüglich des Merkblattes

Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen
- Endprodukt A3 Merkblatt beenden
- Soll/Ist Vergleich geschrieben
- Reflexion und Ausblick eintragen

Projekt-Statusbericht; Stefan Thöni, Josef Räber

Projekt: Fischabstiegssysteme **Statusbericht: 01.11.2026**

Projektleiter	Projektziele	Verteiler
Robin Flück	Fischabstiegssysteme für bestehende Wasserkraftwerke – Fallbeispiel Wasserkraftwerk Ruppoldingen.	• Manuel Walde

Gesamtbeurteilung	Projektverlauf	Projektklima	Termine	Risiken	Ressourcen
	■ □ □	■ □ □	■ □ □	□ ■ □	■ □ □
Tendenz	⇨	⇨	⇨	⇗	⇨

Aktueller Projektstand
- Endprodukt A3 Merkblatt erstellt
- Soll/Ist Vergleich erstellt
- Reflexion mit Ausblick geschrieben
- Verzeichnisse aktualiesiert
- Management Summary geschrieben

Was läuft gut?
- Informationsbeschaffung

Was läuft nicht gut?
- Zeitmanagement

Geplante nächste Schritte / getroffene Massnahmen
- Endprodukt Alpiq vorstellen
- Kontrolle der Arbeit und Druckbereit (gebunden) zur Verfügung haben
- Online Publikation erstellen und die Präsentation vorbereiten

Projekt-Statusbericht; Stefan Thöni, Josef Räber

14.2 Übersicht über den KI-Einsatz

In der folgenden Tabelle wird der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) während der Erstellung der Diplomarbeit dokumentiert. Die KI wurde als unterstützendes Hilfsmittel verwendet. Die fachliche Verantwortung für sämtliche Inhalte liegt beim Verfasser.

Einsatzbereich	Verwendung der KI	Eigenleistung und Überprüfung
Ideenfindung und Strukturierung	Unterstützung bei der Entwicklung von Lösungsansätzen sowie bei der Gliederung und Strukturierung der Diplomarbeit.	Die Vorschläge wurden beurteilt und für den Aufbau der Arbeit verwendet.
Texterstellung	Erstellung von Formulierungsentwürfen und vollständigen Textpassagen, die teilweise direkt übernommen wurden.	Fachliche Kontrolle der Inhalte und Abgleich mit den verwendeten Quellen.
Sprachliche Überarbeitung	Verbesserung von Rechtschreibung, Grammatik, Satzstellung und Verständlichkeit.	Die überarbeiteten Texte wurden auf ihre inhaltliche Richtigkeit kontrolliert.
Quellenarbeit	Unterstützung bei der Recherche, Zusammenfassung und Zuordnung von Fachquellen.	Die Quellen wurden auf ihre fachliche Eignung und ihren Bezug zur Diplomarbeit geprüft.
Berechnungen	Unterstützung bei der Erstellung und Überprüfung von Berechnungen sowie bei der Darstellung von Rechenwegen.	Die verwendeten Annahmen, Eingabewerte und Ergebnisse wurden auf Plausibilität geprüft.
Diagramme	Unterstützung bei der Erstellung von Diagrammen auf Grundlage der verwendeten Daten und Berechnungen.	Die zugrunde liegenden Daten und die Darstellungen wurden kontrolliert.
Bilder und Illustrationen	Erstellung von KI generierten Bildern und schematischen Darstellungen zur Veranschaulichung technischer Zusammenhänge.	Die Darstellungen wurden auf Plausibilität und Übereinstimmung mit den beschriebenen technischen Konzepten geprüft.

14.3 Interviewprotokoll Alpiq Hydro Aare AG

Gesprächspartner: Thomas Fürst
Funktion: Geschäftsleiter
Unternehmen: Alpiq Hydro Aare AG
Ort: Wasserkraftwerk Ruppoldingen
Datum: 15.09.2026
Thema: Fischwanderung und Fischabstieg am Wasserkraftwerk Ruppoldingen

Hinweis zum Interview:
Das Fachgespräch fand während einer Besichtigung des Wasserkraftwerks Ruppoldingen statt. Die Fragen wurden teilweise vorbereitet und teilweise während des Rundgangs aufgrund der besichtigten Anlagenteile gestellt. Die Antworten wurden nicht wortwörtlich aufgezeichnet. Das vorliegende Interviewprotokoll gibt die Aussagen und Informationen aus dem Gespräch sinngemäss auf Grundlage der erstellten Notizen wieder.

1. Welche Einrichtungen für die Fischwanderung bestehen heute beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen?
Beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen bestehen bereits umfangreiche Einrichtungen für die Fischwanderung. Dazu gehören insbesondere das rund 1,2 Kilometer lange naturnahe Umgehungsgewässer mit einer Wasserführung von ungefähr 2 bis 5 m³/s sowie eine zusätzliche Fischaufstiegshilfe unmittelbar beim Kraftwerk. Die bestehenden Einrichtungen sind hauptsächlich auf den Fischaufstieg ausgerichtet. Eine speziell für den Fischabstieg errichtete Anlage ist derzeit nicht vorhanden.

2. Können die bestehenden Fischwanderhilfen auch für den Fischabstieg genutzt werden?
Grundsätzlich können bestehende Fischwanderwege auch von abwandernden Fischen genutzt werden. Entscheidend ist jedoch, ob die Fische den entsprechenden Einstieg im Oberwasser finden. Da die Hauptströmung in Richtung der Turbinen führt, besteht die Schwierigkeit darin, die Fische gezielt zu einer sicheren Abstiegsroute zu führen.

3. Welche Bedeutung hat das bestehende Umgehungsgewässer?
Das rund 1,2 km lange Umgehungsgewässer dient nicht ausschliesslich der Fischwanderung, sondern besitzt auch eine ökologische Funktion als naturnaher Lebensraum beziehungsweise als ökologische Ausgleichsmassnahme im Zusammenhang mit dem Kraftwerk. Eine mögliche Anpassung für den Fischabstieg müsste deshalb die bestehenden ökologischen Funktionen des Gewässers berücksichtigen.

4. Welche Bedeutung hat der bestehende Rechen für den Fischschutz?
Der bestehende Rechen dient in erster Linie dem Schutz der Kraftwerksanlage und weist einen vergleichsweise grossen Stababstand von 8,2cm auf. Dadurch können insbesondere kleinere Fische den Rechen passieren und in den Turbinenbereich gelangen. Ein engerer beziehungsweise speziell für den Fischschutz ausgelegter Rechen würde jedoch zusätzliche technische und betriebliche Herausforderungen verursachen. Dazu gehören insbesondere ein höherer Anfall von Treibgut am Rechen, ein grösserer Reinigungsaufwand sowie mögliche Ablagerungen von Sand und Geschiebe. Zudem können zusätzliche hydraulische Verluste entstehen, welche sich auf den Durchfluss und damit auf die Energieproduktion auswirken können.

5. Welche Gefahren bestehen bei einer Passage durch die Turbinen?
Bei einer Turbinenpassage können Fische verschiedenen Belastungen ausgesetzt sein. Neben mechanischen Einwirkungen spielen auch die während der Passage auftretenden Druckänderungen eine Rolle. Während der Besichtigung konnten der trockengelegte Rechen sowie Bereiche der Turbinenanlage direkt betrachtet werden.

6. Wurde ein Leitrechen mit Bypass für Ruppoldingen bereits betrachtet?
Eine Lösung mit Leitrechen und Bypass wurde für Ruppoldingen bereits thematisiert beziehungsweise betrachtet. Bei einem Kraftwerk dieser Grösse wäre eine solche Anlage jedoch mit einem sehr hohen baulichen und finanziellen Aufwand verbunden. Ein vollständiges Leitrechensystem eignet sich deshalb nicht ohne Weiteres für ein grosses Laufwasserkraftwerk wie Ruppoldingen und müsste hinsichtlich technischer Machbarkeit, Betrieb und Wirtschaftlichkeit genauer beurteilt werden.

7. Welche Rolle spielen Kosten und Verhältnismässigkeit bei Massnahmen zum Fischabstieg?
Bei ökologischen Sanierungsmassnahmen an Wasserkraftwerken spielen neben der technischen und ökologischen Wirkung auch die Kosten und die Verhältnismässigkeit einer Massnahme eine wichtige Rolle. Eine technisch mögliche Lösung ist deshalb nicht automatisch die zweckmässigste Lösung für einen bestimmten Standort. Dies ist insbesondere bei sehr aufwendigen baulichen Lösungen zu berücksichtigen.

8. Welche Möglichkeiten bestehen für einen Abstieg über das Wehr?
Das Wasserkraftwerk Ruppoldingen besitzt eine vergleichsweise geringe Fallhöhe. Unterhalb des Wehrs ist eine ausreichende Wassertiefe vorhanden. Dadurch kann insbesondere bei entsprechenden Abflussverhältnissen beziehungsweise Hochwasser grundsätzlich auch eine Passage über das Wehr möglich sein. Die tatsächliche Eignung und Sicherheit dieses Abstiegsweges müsste jedoch separat beurteilt werden.

9. Welche Bedeutung hat die Lockströmung bei der Fischaufstiegshilfe?
Für die Auffindbarkeit einer Fischaufstiegshilfe ist eine ausreichende Lockströmung von grosser Bedeutung. Während des Gesprächs wurde als Grössenordnung ein Anteil von ungefähr 1 % des Kraftwerksabflusses angesprochen. Bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Kraftwerks kann die optimale Lockströmung jedoch variieren. Moderne Systeme können deshalb eine gezieltere Regelung der Lockströmung ermöglichen. Beim bestehenden Einstieg wurde zudem thematisiert, dass dieser nicht für sämtliche Fischarten beziehungsweise Schwimmverhalten gleich gut zugänglich ist. Insbesondere für bodenorientierte Arten können sich Nachteile ergeben.

10. Welche Erkenntnisse aus der Anlagenbesichtigung sind für die weitere Diplomarbeit besonders relevant?
Die Anlagenbesichtigung zeigte, dass Ruppoldingen bereits über umfangreiche ökologische Einrichtungen und gut ausgebaute Möglichkeiten für den Fischaufstieg verfügt. Gleichzeitig besteht keine gezielt für den Fischabstieg ausgelegte Anlage. Für die weitere Untersuchung ist deshalb insbesondere zu prüfen, inwiefern bestehende Einrichtungen für den Fischabstieg genutzt oder optimiert werden können und welche zusätzlichen technischen Massnahmen unter den örtlichen Bedingungen sinnvoll wären. Dabei sind neben der ökologischen Wirksamkeit insbesondere die technische Umsetzbarkeit, die betrieblichen Auswirkungen, der Einfluss auf die Energieproduktion und die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen.

14.4 Expertenfragebogen Hydro-Suisse AG

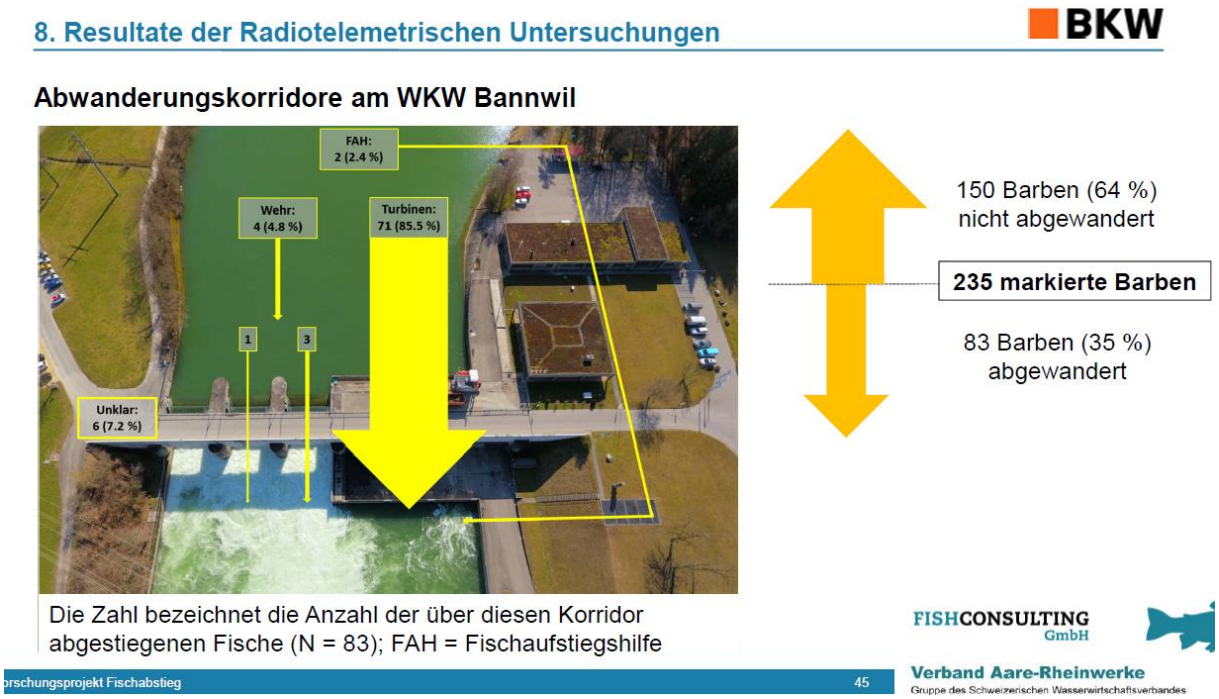
Experte: Andreas Stettler
Funktion: Geschäftsleiter
Unternehmen: Hydro-Suisse AG
Datum: 10.09.2026
Thema: Fischabstiegssysteme bei Wasserkraftwerken

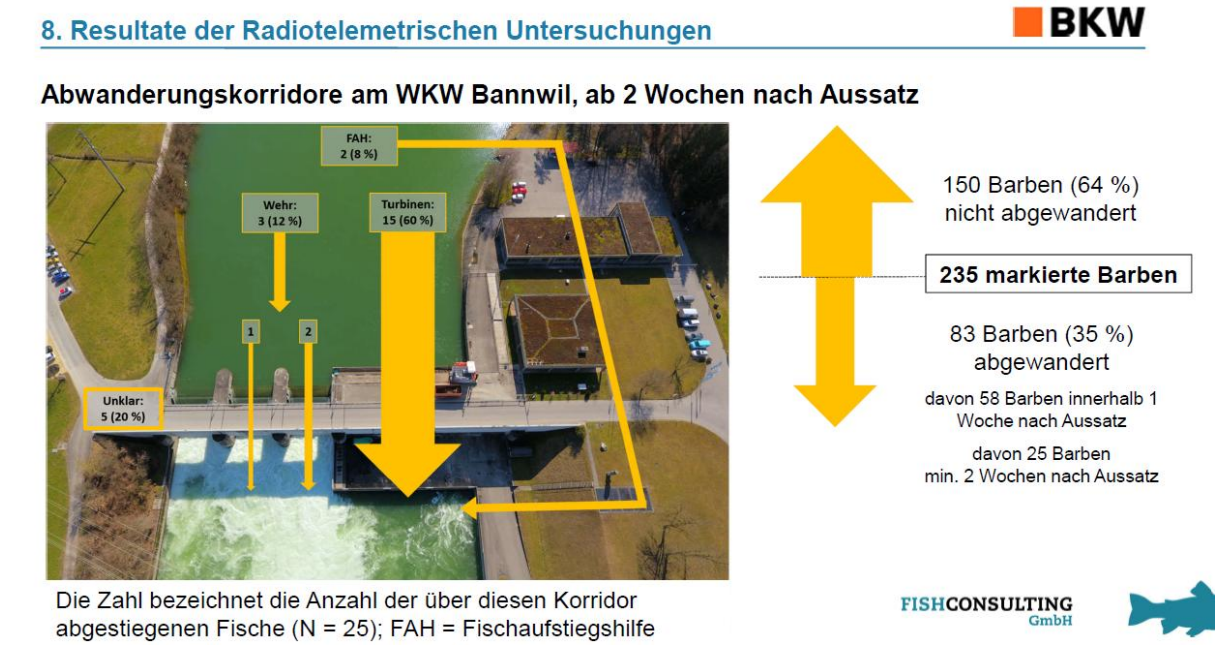
1. Mir ist bekannt, dass beim Wasserkraftwerk Ruppoldingen zwei unterschiedliche Möglichkeiten für den Fischaufstieg vorhanden sind. Können diese Einrichtungen grundsätzlich auch von abwandernden Fischen genutzt werden und ist bekannt, ob dies tatsächlich geschieht?
Aus Telemetriestudien beim Kraftwerk Bannwil ist bekannt, dass Fische auch über die Fischaufstiegshilfe absteigen. Dies ist allerdings nur ein geringer prozentualer Anteil. Der grösste Anteil wird beim Abstieg durch die Turbinen verzeichnet.

2. Welche Faktoren sind entscheidend dafür, ob Fische eine bestehende Fischaufstiegshilfe auch für den Abstieg nutzen?
Entscheidend ist insbesondere, ob die Fische den Einstieg in die Fischaufstiegshilfe beim Abstieg finden. Die Strömungsverhältnisse spielen dabei eine wichtige Rolle, da sich die Fische bei der Abwanderung an der Strömung orientieren. Bei grossen Wasserkraftwerken führt die Hauptströmung häufig in Richtung der Turbinen, weshalb nur ein kleiner Teil der Fische die Fischaufstiegshilfe für den Abstieg nutzt.

3. Gibt es Erkenntnisse oder Untersuchungen dazu, welchen Weg abwandernde Fische in Ruppoldingen hauptsächlich nehmen, beispielsweise über die Turbinen, das Wehr oder die bestehenden Fischwanderhilfen?

Die Auswertungen beim Pilotprojekt Bannwil können bestimmt auch auf das Kraftwerk Ruppoldingen übertragen werden. Dort fanden Messungen in der ersten und nach zwei Wochen nach dem Aussetzen der getaggten Fische statt:





4. Welche Erkenntnisse aus Ihrem Projekt zum Fischabstieg halten Sie für die Verbesserung des Fischabstiegs bei bestehenden grossen Flusskraftwerken für besonders wichtig?

Mit den telemetrischen Studien konnten wir bei den Kraftwerken Bannwil und Wildegg-Brugg viele Erkenntnisse über das Verhalten der Fische gewinnen. Dies war ein Novum und wurde so wahrscheinlich weltweit noch nie in diesem Umfang untersucht. Man konnte gut erkennen, dass die Fische den Abstieg in Richtung Turbinen suchen, sich dann wieder zurückziehen und insbesondere entlang des Ufers sich im ruhigeren Wasser aufhalten. So sind wir zum Schluss gekommen, dass ein partieller Leitrechen in Ufernähe wahrscheinlich auch ein guter und kostengünstiger Ansatz sein kann, den Fischabstieg zu ermöglichen. Eine Pilotanwendung ist nun in Planung und sollte gebaut werden.

5. Bei den von Ihnen untersuchten Leitrechen-Bypass-Systemen stellen die hohen Kosten eine wesentliche Herausforderung dar. Welche Faktoren beeinflussen die Kosten eines solchen Systems besonders stark und welche davon sollte ich bei einer groben Kostenschätzung für Ruppoldingen unbedingt berücksichtigen?

Die Kosten stammen aus verschiedenen Elementen. Ein Metallrechen über die gesamte Flussbreite ist das offensichtlichste Element. Dieser muss aber mit Rechenreinigungsmaschinen gereinigt werden, wozu eine neue Brücke über die gesamte Breite notwendig ist. Die Anordnung der bestehenden Brücke mit Reinigungsanlage geht nicht, da der Leitrechen weiter oben in der Strömung und mit einem bestimmten Winkel eingebaut werden muss, damit die Leitwirkung funktioniert. Die Bypassöffnungen in der bestehenden Kraftwerksstruktur sind je nach Kraftwerk auch nicht einfach einzubauen.

Ein Kostenpunkt, der kaum gesehen wird, ist das Trockenlegen des Kraftwerks für den Einbau der Komponenten. So muss mit Spundwänden der Zuströmbereich des Wassers zum Maschinenhaus unterbrochen und das Wasser zum Wehr geleitet werden. Die Produktionsausfälle während der Bauzeit, die mehrere Monate dauern würde, sind bei den Kosten ebenfalls zu beziffern.

6. Mögliche Varianten für Ruppoldingen:

Auf Grundlage meiner bisherigen Untersuchungen und der Erkenntnisse aus Ihrem Projekt möchte ich derzeit folgende drei Varianten für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen näher untersuchen:

Variante 1: Leitrechen-Bypass-System

Einsatz eines Leitrechens zur Führung der abwandernden Fische zu einem geeigneten Bypass und damit zu einer sicheren Passage ins Unterwasser.

Variante 2: Optimierung und Erweiterung des bestehenden Umgehungsgewässers

Optimierung beziehungsweise Erweiterung des bestehenden naturnahen Umgehungsgewässers mit dem Ziel, dieses gezielt sowohl für den Fischaufstieg als auch für den Fischabstieg zu nutzen.

Variante 3: BioAcoustic Fish Fence (BAFF) mit Bypass

Einsatz eines BioAcoustic Fish Fence als Verhaltensbarriere zur Führung der abwandernden Fische zu einem geeigneten Bypass.

6.1 Wie beurteilen Sie diese drei Varianten grundsätzlich für das Wasserkraftwerk Ruppoldingen? Wo sehen Sie bei den einzelnen Varianten die wichtigsten Vorteile, Schwierigkeiten oder Grenzen?
Die Variante 3 wird in einer Pilotanlage beim Kraftwerk Stroppel in diesem Herbst erstmalig in der Schweiz getestet. Da wird es sich zeigen, ob diese überhaupt in Frage kommt. Bei einem grossen Kraftwerk wie Ruppoldingen an der Aare ist aber zu berücksichtigen, dass die Installation am Grund des Flusses nicht mit Geschiebe oder nach Gewittern durch Baumstämme, etc. zerstört wird. Dazu gibt es noch keine Erfahrungen. Auch der Einbau einer solchen technischen Installation bei einem breiten Fluss ist ein Novum.
Die Variante 1 ist nicht nur sehr teuer, sondern im Betrieb auch noch nicht erprobt. Auch hier stellt sich die Frage, wie grosse Schwemmholzmengen einen curved-bar-rack verklemmen können und ob die Reinigung mit Maschinen dann immer noch funktioniert. Von daher kommt aus den drei definierten Varianten nur die Variante 2 in Frage.

7. Sehen Sie neben diesen drei Varianten eine weitere Lösung oder eine Kombination verschiedener Massnahmen, die für Ruppoldingen besonders interessant sein könnte?
Sollte sich der partielle Leitrechen in Ufernähe beim geplanten Pilotprojekt in Wildegg-Brugg behaupten können, so betrachte ich dieses System als sinnvoll und verhältnismässig.

8. Welche Fischarten beziehungsweise Altersklassen sollten beim Fischabstieg an einem Kraftwerk wie Ruppoldingen besonders berücksichtigt werden? Welche besonderen Anforderungen bestehen beispielsweise bei Jungfischen, dem Atlantischen Lachs oder dem Europäischen Aal?
Der Aal kommt in der Aare nicht vor. Im Bodensee wird er ausgesetzt, weshalb dieser beim Hochrhein ein Thema ist. Sollte der Lachs wieder einmal vom Atlantik in unsere Flüsse hochsteigen, um zu laichen, so sind es besonders Jungfische, die abwandern, um in den Atlantik zu gelangen. Diese sind von der Länge her wenig problematisch. Der Fokus müsste auf die hier lebenden Arten gelegt werden, die auch ein Wanderverhalten zeigen.

9. Wie beurteilen Sie persönlich die zukünftige Entwicklung des Fischabstiegs bei bestehenden grossen Wasserkraftwerken in der Schweiz? Wo sehen Sie den grössten Handlungsbedarf und welche Lösungsansätze halten Sie langfristig für besonders vielversprechend?
Ich bin überzeugt, dass wir nach vielen Jahren der Forschung und des Experimentierens eine geeignete und finanzierbare Lösung finden werden. Mich hat zu Beginn erstaunt, wie wenig zu diesem Thema bekannt ist, insbesondere auch in Kreisen der Fischer und deren Verbände und Experten. Mein Favorit ist der partielle Leitrechen in Ufernähe, der wesentlich geringere Baukosten hat als ein Leitrechensystem über die gesamte Breite eines Flusses.