

Projektierung

## Technisches Vorprojekt eines vertikalen Fischleitrechens vom Typ Bar Rack

Ausgabenverwaltung:

| Version | Datum      | Autor  | Beschreibung der Änderung             |
|---------|------------|--|---------------------------------------|
| 1.3     | 20.03.2024 | Sandra Krähenbühl                                | Inputs Begleitgruppe                  |
| 1.2     | 09.22.2023 | Sandra Krähenbühl                                | Freigabe VAR                          |
| 1.1     | 11.10.2023 | Sabrina Jörg                                     | Freigabe BKW Paul Kauz, Stephan Wicki |
| 1.0     | 14.08.2023 | Sandra Krähenbühl,<br>Sabrina Jörg, Silvio Zingg | Erstversion                           |
| 0.1     | 20.01.2022 | Sandra Krähenbühl,<br>Mathias Ehrismann          | Erstellt                              |

Urheberrecht:

Für dieses Dokument und den darin dargestellten Gegenstand behalten wir uns alle Rechte vor. Vervielfältigungen, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts sind ohne unsere ausdrückliche Zustimmung verboten. © BKW Energie AG 2024



## Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>ANLASS UND AUFTRAG</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>VORGEHEN</b>  | <b>9</b>  |
| 3.1      | PROJEKTORGANISATION  | 9         |
| 3.2      | ANFORDERUNGEN AN DIE ANLAGE  | 10        |
| 3.3      | WAHL DES FISCHLEITRECHENS  | 10        |
| 3.4      | POSITIONIERUNG MÖGLICHER FISCHLEITRECHEN   | 10        |
| 3.5      | VARIANTENVERGLEICH LEITRECHEN-BYPASS-SYSTEM  | 10        |
| 3.6      | OPTIONEN   | 10        |
| 3.7      | VERTIEFUNG BESTVARIANTE  | 11        |
| <b>4</b> | <b>AUSGANGSSITUATION</b>   | <b>11</b> |
| 4.1      | WASSERKRAFTWERK BANNWIL  | 11        |
| 4.1.1    | Übersicht der Anlage   | 11        |
| 4.1.2    | Bestehende Anlagenteile zur Fischgängigkeit  | 13        |
| 4.1.3    | Bestehender Einlaufrechen  | 13        |
| 4.1.4    | Bestehende Rechenreinigungsanlage  | 14        |
| 4.1.5    | Kraftwerksanströmung   | 15        |
| 4.2      | HYDROLOGIE UND ABFLUSS   | 15        |
| 4.2.1    | Einzugsgebiet und Regulierung der Jurarandseen                                       | 15        |
| 4.2.2    | Jahresmittel und Dauerkurve  | 16        |
| 4.2.3    | Hochwasserabflüsse   | 16        |
| 4.3      | PEGEL AM KRAFTWERK   | 17        |
| 4.3.1    | Konzessionspegel in Wangen   | 17        |
| 4.3.2    | Pegel im Unterwasser des Kraftwerks  | 17        |
| 4.4      | MORPHOLOGIE UND FESTSTOFFTRANSPORT   | 18        |
| 4.4.1    | Morphologie der Aare   | 18        |
| 4.4.2    | Geschiebeaufkommen und -durchgängigkeit am WKW BAN                                   | 18        |
| 4.4.3    | Schwebstoffe im Stau Bannwil   | 19        |
| 4.4.4    | Feststoffablagerungen am Kraftwerkseinlauf   | 19        |
| 4.5      | SCHWEMMHOLZAUFKOMMEN   | 20        |
| 4.6      | ABSCHÄTZUNG DER FISCHÜBERLEBENS RATEN FÜR DIE TURBINEN- UND WEHRPASSAGE BEIM WKW BAN | 22        |
| 4.6.1    | Einleitung   | 22        |
| 4.6.2    | Prognosemodelle zu den Überlebensraten bei der Turbinenpassage                       | 23        |
| 4.6.3    | Sensorfischuntersuchungen  | 24        |
| 4.6.4    | Radiotelemetrische Untersuchungen zum Fischabstieg                                   | 24        |
| 4.6.5    | Resultate Prognosemodelle - Turbinenpassage  | 24        |
| 4.6.6    | Resultate Sensorfischversuche  | 28        |
| 4.6.7    | Resultate Radiotelemetrische Untersuchungen  | 31        |
| <b>5</b> | <b>RANDBEDINGUNGEN UND ANFORDERUNGEN</b>   | <b>34</b> |
| 5.1      | FISCHÖKOLOGISCHE ANFORDERUNGEN   | 34        |
| 5.1.1    | Einleitung und Leitfischart  | 34        |
| 5.1.2    | Hydraulische Anforderungen und Parameter   | 34        |
| 5.2      | VERFÜGBARKEIT  | 35        |
| 5.3      | TECHNISCHE ANFORDERUNGEN   | 35        |
| 5.4      | BETRIEBLICHE ANFORDERUNGEN   | 35        |
| 5.4.1    | Anforderungen an die Rechenreinigung   | 36        |
| 5.5      | WEITERE ANFORDERUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN  | 37        |
| 5.5.1    | Boottransportanlage  | 37        |
| 5.5.2    | Projekt Fischaufstieg  | 37        |
| 5.5.3    | Denkmalpflege  | 38        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>6</b>  | <b>VARIANTENSTUDIUM .....</b>   | <b>39</b> |
| 6.1       | POSITIONIERUNG FISCHLEITRECHEN (FLR).....                               | 39        |
| 6.2       | LINIENFÜHRUNG BYPASS.....   | 40        |
| 6.3       | RECHENREINIGUNG.....  | 40        |
| 6.4       | VARIANTENVERGLEICH .....  | 41        |
| 6.5       | VARIANTENENTSCHEID .....  | 42        |
| <b>7</b>  | <b>OPTIONEN.....</b>  | <b>42</b> |
| 7.1       | STABFORMEN.....   | 42        |
| 7.2       | TAUCHWAND.....  | 44        |
| 7.3       | SOHLEITWAND .....   | 44        |
| 7.4       | SOHLENNAHE ABSCHWEMMÖFFNUNG IM TRENNPFEILER .....                       | 44        |
| 7.5       | VORGELAGERTER GROBRECHEN.....   | 45        |
| 7.6       | RÜCKBAU DES BESTEHENDEN EINLAUFRECHEN.....                              | 45        |
| <b>8</b>  | <b>VERTIEFUNG BESTVARIANTE: TECHNISCHES VORPROJEKT .....</b>            | <b>46</b> |
| 8.1       | RECHENREINIGUNG .....   | 46        |
| 8.1.1     | Vorabklärungen .....  | 46        |
| 8.1.2     | Wahl Rechenreinigungsmaschine (RRM).....                                | 46        |
| 8.1.3     | Konzept Schwemmgutabtransport .....                                     | 47        |
| 8.2       | RECHENKONSTRUKTION MIT RECHENBRÜCKE.....                                | 47        |
| 8.2.1     | Optimierung Zwischenpfeiler Rechenbrücke.....                           | 47        |
| 8.2.2     | Zurückversetzen Brückenpfeiler .....                                    | 48        |
| 8.3       | OBERFLÄCHENNAHE ABSCHWEMMÖFFNUNG TRENNPFEILER .....                     | 49        |
| 8.3.1     | Zweck und Anforderungen.....  | 49        |
| 8.3.2     | Grobbemessung der Abschwemmöffnung .....                                | 49        |
| 8.3.3     | Betriebs- und Revisionsorgane .....                                     | 50        |
| 8.4       | BYPASSEINLAUF .....   | 53        |
| 8.5       | REGULIERUNGSORGANE IM BYPASS .....                                      | 54        |
| 8.6       | HYDRAULIK IM BYPASS.....  | 55        |
| 8.7       | UNTERWASSERBEDINGUNGEN.....   | 55        |
| 8.8       | AUSWIRKUNGEN DES FISCHLEITRECHENS AUF DIE TURBINENANSTRÖMUNG .....      | 56        |
| 8.9       | HOCHWASSERSICHERHEIT .....  | 57        |
| 8.10      | BETRIEB .....   | 58        |
| 8.11      | WIRKUNGSKONTROLLE.....  | 58        |
| 8.11.1    | Einleitung.....   | 58        |
| 8.11.2    | Beurteilung der Leiteffizienz mittels Sonar .....                       | 59        |
| 8.11.3    | Beurteilung der Auffindbarkeit mittels Kamerasystem.....                | 59        |
| 8.11.4    | Beurteilung der Passierbarkeit mittels Fangkammer .....                 | 59        |
| 8.11.5    | Beurteilung von Auffindbarkeit und Passierbarkeit mittels PIT-Tag ..... | 60        |
| 8.12      | OPTIMIERUNG .....   | 60        |
| <b>9</b>  | <b>BAUABLAUF UND WASSERHALTUNG.....</b>                                 | <b>61</b> |
| <b>10</b> | <b>KOSTENSCHÄTZUNG .....</b>  | <b>62</b> |
| 10.1      | GESAMTKOSTEN .....  | 62        |
| 10.2      | PRODUKTIONSEINBUSSEN .....  | 63        |
| 10.3      | BETRIEBS-, INSTANDHALTUNGS- UND ERNEUERUNGSKOSTEN .....                 | 63        |
| 10.4      | KOSTEN WIRKUNGSKONTROLLE .....  | 63        |
| <b>11</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG, ERKENNTNISSE UND AUSBLICK .....</b>                 | <b>64</b> |

## Anhang

|          |   |    |
|----------|---|----|
| ANHANG 1 | ABKÜRZUNGEN .....   | 66 |
| ANHANG 2 | GRUNDLAGEN UND LITERATUR.....   | 67 |
| ANHANG 3 | DATENTABELLEN ZUR ABSCHÄTZUNG DER FISCHÜBERLEBENS RATEN BEI DER<br>TURBINENPASSAGE..... | 68 |
| ANHANG 4 | VISUALISIERUNG BESTVARIANTE.....  | 70 |
| ANHANG 5 | PLANBEILAGEN.....   | 72 |

## Beilagen

|           |  |
|-----------|--|
| Beilage 2 | Bericht der VAW zu den numerischen Modelluntersuchungen am Kraftwerk Bannwil [4] |
| Beilage 3 | Bericht der TU Tallinn zu den Sensorfischuntersuchungen am Kraftwerk Bannwil [2] |

## Abbildungsverzeichnis

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Abbildung 1:  | Kartenausschnitte mit ursprünglichem WKW BAN (Siegfriedkarte) um 1904. ....  | 12 |
| Abbildung 2:  | Anlageteile WKW BAN (Hintergrund: Luftbild © Swisstopo). ....  | 13 |
| Abbildung 3:  | Querschnitt Maschineneinlauf mit Bezeichnung der Anlageteile gem. Betriebshandbuch [4]. ....   | 14 |
| Abbildung 4:  | RRM mit Bezeichnung der Anlageteile gem. Betriebshandbuch [4]. ....  | 14 |
| Abbildung 5:  | Anströmungsbedingungen beim WKW BAN. In a) ist die Situation bei reinem Turbinenabfluss und<br>in b) die Situation bei kombiniertem Turbinen- und Wehrabfluss dargestellt. ....  | 15 |
| Abbildung 6:  | Dauerkurve Aare Murgenthal (LH2063, Mittelwert 1982 bis 2021 [5]) mit Angabe von $Q_{30}$ und $Q_{330}$ .<br>.....   | 16 |
| Abbildung 7:  | Pegel-Abfluss-Relation für das OW des WKW BAN (Periode 2014-2022, Daten BKW). ....   | 17 |
| Abbildung 8:  | Pegel-Abfluss-Relation für das UW des WKW BAN (Periode 2014-2022, Daten BKW). ....   | 18 |
| Abbildung 9:  | Längenprofil im OW des WKW BAN [12]. ....  | 18 |
| Abbildung 10: | Mechanische Remobilisierung der Ablagerungen vor Maschine 1 und 2 (10.6.2013 und 10.6.2015).<br>.....  | 20 |
| Abbildung 11: | Schwemmholzteppich vor WKW BAN (26.11.2015).....   | 20 |
| Abbildung 12: | Beobachtete Schwemmholzmengen bei vergangenen Hochwassern gemäss [[7]]. ....   | 21 |
| Abbildung 13: | Volumenanteile der verschiedenen a) Längenklassen und b) verschiedenen Durchmesserklassen<br>der untersuchten Schwemmholzstücke aufgeteilt nach Verwitterungsgrad [7]. ....  | 22 |
| Abbildung 14: | Überlebensraten von Salmoniden bei Volllast (physikalische Modelle: durchgehende Linie,<br>empirische Modelle: gestrichelte Linie).....  | 25 |
| Abbildung 15: | Überlebensraten von Aalen bei Volllast (physikalische Modelle: durchgehende Linie, empirische<br>Modelle: gestrichelte Linie).....   | 26 |
| Abbildung 16: | Überlebensraten unspezifischer Fischarten bei Volllast (physikalische Modelle: durchgehende<br>Linie, empirische Modelle: gestrichelte Linie). In gelb und grün sind zudem die Resultate der<br>radiotelemetrischen Studie sowie der BDS-Versuche eingezeichnet. ....  | 27 |
| Abbildung 17: | Überlebensraten von Salmoniden bei Teillastbetrieb von $Q_{Ausbau}$ bis $Q_{50\%}$ . Zudem sind die<br>Resultate für das Teillastszenario der BDS-Versuche in Gelb eingezeichnet. Grün sind die Resultate der<br>radiotelemetrischen Untersuchungen eingezeichnet (ohne Unterscheidung Voll- und Teillast). .... | 27 |
| Abbildung 18: | A) Typischer Druckverlauf während der Turbinenpassage. B) Beschreibung der drei<br>physikalischen Parameter (Nadir-Druck, Druckänderungsrate und logarithmische Druckänderung), die zur<br>Bewertung der Überlebenswahrscheinlichkeit durch Druckveränderungen verwendet werden. ....                            | 28 |
| Abbildung 19: | Boxplots der Nadir-Drücke für die vier untersuchten Szenarien eines Turbinendurchgangs. In den<br>Boxen befinden sich 50% der Daten. ....  | 28 |

---

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 20: Gemessene Druckänderungsrate (ROC) für das WF2 bei Über- und Unterströmung sowie für die Turbine T1 für die unterschiedlichen Szenarien. ....   | 29 |
| Abbildung 21: LRP für das Wehr bei Über- und Unterströmung sowie für die vier Szenarien des Turbinendurchgangs. In rot ist der Schwellenwert eines Mortalitätsrisikos von > 10 % eingezeichnet. Zusätzlich sind weitere Schwellenwerte für unterschiedliche Fischarten als Referenz angegeben. .... | 30 |
| Abbildung 22: Balkendiagramm mit der Aufteilung von Schlagereignis, kein Schlagereignis und Sensorverlust für die unterschiedlichen Szenarien. ....   | 30 |
| Abbildung 23: Anzahl Abstiege während Wehrüberfall, geordnet nach dem Anteil des Wehrabflusses. ....  | 31 |
| Abbildung 24: Übersicht über die Überlebenschance der 91 Individuen, welche durch die Turbine abgestiegen sind. Dabei wurden die Barben nach Totallänge (TL) ausgewertet. ....  | 32 |
| Abbildung 25: Hochwasser 21.8.2005. ....  | 36 |
| Abbildung 26: Seegras vor dem Rechen 5.8.2005. ....   | 36 |
| Abbildung 27: links: Boottransportwagen zur Umsetzung der Boote; rechts: Lokalisierung der Rampen zum Ein- und Auswassern der Boote am WKW BAN. ....  | 37 |
| Abbildung 28: Rampe zum Ein-/Auswassern der Boote im UW (links) sowie im OW (rechts) des WKW BAN. ....  | 37 |
| Abbildung 29: Übersicht der in Realisierung stehenden Fischaufstiegsanlage am WKW BAN [10]. ....  | 38 |
| Abbildung 30: Schematische Darstellung der untersuchten Positionen eines FLRs mit erforderlichen baulichen Anpassungen des Trennpfeilers (links V1, rechts V2). ....  | 39 |
| Abbildung 31: Mögliche Linienführungen eines Bypasses in Kombination mit den beiden Varianten zur Positionierung eines FLRs. ....   | 40 |
| Abbildung 32: Untersuchte Rechenstabformen: a) scharfkantiger Modified Bar Rack (MBR), b) MBR rund, c) Curved Bar Rack (CBR), d) foil-shaped Curved Bar Rack (f-CBR), e) Alternating Bar Rack (ABR) und ABR-opti, f) Föh80. ....  | 42 |
| Abbildung 33: Unterschiedliche Anströmwinkel entlang des geplanten Fischleitrechens (FLR). ....   | 43 |
| Abbildung 34: Erhaltene Verlustbeiwerte für alle getesteten Stabformen mit unterschiedlichen Anströmwinkeln von 20°, 30° und 50°. ....  | 43 |
| Abbildung 35: Beispiel einer Bagger-RRM, wie sie in Bannwil eingesetzt werden könnte. ....  | 46 |
| Abbildung 36: Beispiel eines vollautomatischen Muldentransporters. ....   | 47 |
| Abbildung 37: Konzept RRM und Muldentransport. ....   | 47 |
| Abbildung 38: a) Horizontalschnitt der Fließgeschwindigkeiten auf der Höhe z = 413 m ü. M. mit aufgelösten Zwischenpfeilern parallel zur Turbinenachse, b) optimierte Ausrichtung der Zwischenpfeiler. ....   | 48 |
| Abbildung 39: Schematische Skizze einer Abschwemmöffnung im verlängerten Trennpfeiler. ....   | 49 |
| Abbildung 40: Schematische Darstellung (Situation) des Zuströmbereichs zum Bypasseinstieg am Trennpfeiler mit Positionierung der Stauklappe im geschlossenen Zustand (orange). ....   | 51 |
| Abbildung 41: Schematische Darstellung der Abschwemmöffnung mit geschlossenem Betriebsorgan (orange) und möglicher Positionierung von Dammbalkenverschlüssen (hellblau). ....   | 52 |
| Abbildung 42: Vertikalschnitt der Fließgeschwindigkeiten am Bypasseinlauf bei a) zwei scharfkantigen Durchlässen und b) drei ausgerundeten Durchlässen [3]. ....  | 53 |
| Abbildung 43: Visualisierung der Organe (links: Dachwehr, rechts: Einlaufschieber) im Bypass. ....  | 55 |
| Abbildung 44: Visualisierung des Bypass-Auslaufs mit unterschiedlichen Wasserständen. ....  | 56 |
| Abbildung 45: Übersicht der Quadranten- sowie Einlaufhälftenbeaufschlagungen bei einem Turbinenabfluss von 402 m <sup>3</sup> /s und geschlossenen Wehrfeldern. Auf der linken Seite ist der Istzustand und rechts der Zustand mit dem FLR dargestellt. ....  | 57 |
| Abbildung 46: Übersicht der Quadranten- sowie Einlaufhälftenbeaufschlagungen bei einem Turbinenabfluss von 454 m <sup>3</sup> /s und einem Wehrabfluss von 231 m <sup>3</sup> /s. Auf der linken Seite ist der Istzustand und rechts der Zustand mit dem FLR dargestellt. ....                      | 57 |
| Abbildung 47: Simulationsergebnis der Wasserspiegellagen bei Q <sub>s</sub> im a) Istzustand und b) Bestvariante. ....  | 58 |
| Abbildung 48: Mögliche Standorte zur Positionierung von Fangkammern für die Fischzählung. ....  | 59 |
| Abbildung 49: Mögliche Baugrubenetappierung. ....   | 61 |

---

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Anlagedaten WKW BAN [4].....   | 12 |
| Tabelle 2: Hochwasserabflüsse BAFU Messstelle Murgenthal [6].....                         | 17 |
| Tabelle 3: Verwendete Modelle.....  | 23 |
| Tabelle 4: Grenzwerte aus [17] für Abstiegshilfen.....                                    | 34 |
| Tabelle 5: Variantenvergleich Positionierung Leitrechen-Bypass-System.....                | 41 |
| Tabelle 6: Variantenvergleich Positionierung Leitrechen-Bypass-System.....                | 54 |
| Tabelle 7: Kostenschätzung Fischleitrechen-Bypass-System am WKW BAN.....                  | 62 |
| Tabelle 8: Überlebensraten S für salmonidenspezifische Prognosemodelle.....               | 68 |
| Tabelle 9: Überlebensraten S für aalspezifische Prognosemodelle.....                      | 68 |
| Tabelle 10: Überlebensraten S für artunspezifische Prognosemodelle.....                   | 69 |
| Tabelle 11: Überlebensraten S bei Teillast für salmonidenspezifisches Prognosemodell..... | 69 |

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Wasserkraftwerk Bannwil (WKW BAN) wird gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) und Bundesgesetzes über die Fischerei (BFG) als sanierungspflichtig hinsichtlich der freien Fischwanderung beurteilt. Im Rahmen des vom Verband Aare-Rheinwerke (VAR) initiierten Forschungsprojektes zur «Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken» erhielten die Axpo und die BKW den Auftrag ein technisches Vorprojekt für je ein Kraftwerk auszuarbeiten. Dabei repräsentiert das Wasserkraftwerk Bannwil eine grosse Anlage in Blockbauweise, wobei es galt, eine Pilotanlage bestehend aus einem Leitreechen-Bypass-System für eine sichere flussabwärts gerichtete Wanderung auszulegen. Dabei lag der Fokus auf der Prüfung der technischen Machbarkeit und einer groben Kostenschätzung. Die Ausarbeitung der Bestvariante beinhaltete zahlreiche Untersuchungen und Überlegungen, wobei eine optimale Positionierung hinsichtlich Strömungsbedingungen und unter Berücksichtigung betrieblicher Fragestellungen gesucht wurde.

Die gewählte Bestvariante besteht aus einem Leitreechen-Bypass-System mit vertikalen Rechenstäben des Typs Bar Rack, mit der Stabform f-CBR und einem lichten Stababstand von 50 mm. Die Rechenebene wird in einem Winkel von 35° zur Turbinenachse positioniert und vom Ufer zum Trennpfeiler hin ausgerichtet. Der insgesamt rund 100 m lange Rechen wird in drei Rechenfelder mit Breiten von jeweils 33 m und Höhen von 7.80 bis 9.80 m unterteilt. Der bestehende Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehr wird bis zum Anschlusspunkt des FLRs um rund 35 m verlängert. Um die Anströmung zu verbessern und eine Leitwirkung am Rechen zu generieren, muss der Trennpfeiler um weitere etwa 30 m über die Rechenebene hinaus ins Oberwasser verlängert, leicht abgewinkelt und ausgerundet werden. Die Rechenreinigung wird über die befahrbare Wehrbrücke mittels zwei Bagger-Rechenreinigungsmaschinen sichergestellt. Das Schwemmgut kann durch mitgeführte Mulden uferseitig abtransportiert werden. Der Einstieg in den Bypass wird durch drei Öffnungen sichergestellt, wobei eine bodennah und eine oberflächennah angeordnet wird. Der Abfluss im Bypass wird über ein Dachwehr gesteuert, durch welches der Abfluss im Bypass trotz abgesenktem Staupegel bis zu einem  $Q_{30}$  konstant bei ca. 4.5 m<sup>3</sup>/s gehalten werden kann, was rund 1 % der Ausbauwassermenge entspricht. Der Bypass kann durch den bestehenden Trennpfeiler mit einem leichten Radius ins UW des orographisch linken Wehrfeldes geführt werden.

Die technische Machbarkeit eines Leitreechen-Bypass-Systems konnte mit dieser Disposition aufgezeigt werden. Bezüglich biologischer Wirkung sowie Betrieb der Anlage bestehen jedoch noch Unsicherheiten, da bisher keine vergleichbaren Anlagen realisiert wurden.

Die Investitionskosten (Baukosten, Produktionseinbussen während Bauzeit, Honorare, allg. Kosten, Bauherrenleistungen und Finanzierungskosten) belaufen sich auf rund CHF 68 Mio. exkl. MWST. Die Gesamtkosten, welche Produktionseinbussen sowie Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten über 40 Jahre sowie eine Grobkostenschätzung für die Wirkungskontrolle beinhalten, werden auf rund CHF 102 Mio. exkl. MWST geschätzt.

Die Bauzeit wird auf rund 3 Jahre geschätzt. Der Bauablauf sieht eine Ausführung in 3 Etappen während des laufenden Betriebs vor. Es ist je nach Etappe mit betrieblichen Einschränkungen zu rechnen. Parallel zur Ausarbeitung des vorliegenden Vorprojektes wurde ein Synthesebericht erarbeitet, in welchem mögliche Alternativmassnahmen zu Leitreechen-Bypass-Systemen aufgezeigt und auf die Gegebenheiten beim WKW BAN qualitativ ausgelegt wurden.



## 2 ANLASS UND AUFTRAG

Das Wasserkraftwerk Bannwil (WKW BAN) wird gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) und Bundesgesetzes über die Fischerei (BFG) als sanierungspflichtig hinsichtlich der freien Fischwanderung beurteilt. Mit den Verfügungen vom 21. August 2015 [13] resp. vom 25. März 2022 [5] (Wasserkraftrecht Nr. 45056, Aare) des Amtes für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern wird die BKW verpflichtet, beim WKW BAN bis spätestens zum 31. Dezember 2030 mit dem Bau der Massnahmen zur Sanierung der freien Fischwanderung für den Fischabstieg nach Art. 10 BGF begonnen zu haben. Die Sanierungsmassnahmen richten sich nach den Vorgaben des Grundlagenpapiers „Fischwanderhilfen bei Aarekraftwerken“ der interkantonalen Aareplanung (IKAP) [16] nach GSchG/GSchV sowie des DWA-Regelwerks „Merkblatt DWA-M 509“ vom Mai 2014 [17].

Das vom Verband Aare-Rheinwerke (VAR) 2011 initiierte Forschungsprojekt «Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken» wurde Anfang 2015 mit der Publikation der Dissertation einer möglichen Variante mittels «Leitrechen an Fischabstiegsanlagen – Hydraulik und fischbiologische Effizienz» (VAW-Mitteilung Nr. 230, [14]) abgeschlossen. Dieses Projekt hat interessante Resultate zu Fischleitrechen (FLR) als mechanische Verhaltensbarrieren auf Stufe Labor hervorgebracht. Gleichzeitig sind aber viele neue Fragen zur technischen Umsetzbarkeit und zum grossräumigen Wanderverhalten der Fische aufgetaucht. Eventuell gibt es noch weitere Fischabstiegsvarianten, die zielführender und kostengünstiger sind, wie z.B. das partielle Öffnen der Wehre, Drosselung der Turbinen oder eine Kombination davon. Die Grundlage für die Entwicklung von solchen Varianten bildet das Wissen zum Verhalten der Fische beim Abstieg. Jedoch ist genau dieses Wissen noch sehr begrenzt vorhanden, was die ganze Situation deutlich erschwert.

Viele Betreiber haben eine Sanierungsverfügung erhalten, obwohl heute noch keine gangbaren Lösungen zum Fischschutz- und Fischabstieg an Grosswasserkraftanlagen mit einer Ausbauwassermenge von über 100 m<sup>3</sup>/s bekannt sind. Der VAR hat daher an zwei repräsentativen Kraftwerken (WKW BAN der BKW und Kraftwerk Wildeggen-Brugg der Axpo) für die Gewässer Aare/Rhein die Planung je eines technischen Vorprojekts für den Einsatz der Variante Abstieg mittels Leitrechen-Bypass-Systemen des Typs Bar Rack angestossen, welche Klarheit über die technische Machbarkeit und die erwarteten Kosten bringen soll.

Mit dem Schreiben vom 23. Oktober 2018 reichte die BKW die Pflichtenhefte für die Planung eines technischen Vorprojekts eines vertikalen FLR des Typs Bar Rack und weiterer Lösungen zum Fischabstieg sowie verhaltensbiologische Untersuchungen zum Fischabstieg Bannwil zusammen mit dem Finanzierungs-gesuch beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) ein. Mit der Verfügung vom 30. November 2018 wurde die Entschädigung der anrechenbaren Kosten von Sanierungsmassnahmen nach Art. 34 EnG in Verbindung mit Art. 30 Abs. 2 der EnV gemäss obgenanntem Schreiben zugesichert.

## 3 VORGEHEN

### 3.1 Projektorganisation

**Auftraggeber:**

Verband Aare Rheinwerke (VAR), c/o Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, 5401 Baden

**Planung:**

BKW Engineering, Galgenfeldweg 18, 3006 Bern

**Anlageneigentümer:**

BKW Energie AG, Viktoriaplatz 2, 3013 Bern

Die geplanten Aktivitäten stehen wie bis anhin unter der Dachherrschaft des VAR. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden den Betreibern der Kraftwerke im VAR und weiteren Kraftwerksbetreibern zur Verfügung gestellt. Damit soll namentlich der Erfahrungsaustausch und Know-how-Transfer zwischen den Kraftwerken sichergestellt werden. Ebenfalls wurde das Projekt von einer Gruppe aus

---

Interessenvertretern von Verwaltung und Nichtregierungsorganisationen kritisch und konstruktiv begleitet.

### **3.2 Anforderungen an die Anlage**

Die Sanierungsmassnahmen richten sich nach den Vorgaben des Grundlagenpapiers „Fischwanderhilfen bei Aarekraftwerken“ der IKAP nach GSchG/GSchV sowie des DWA-Regelwerks „Merkblatt DWA-M 509“ vom Mai 2014 [17] sowie EBEL [18] und weiterer Literatur bezüglich Fischabstieg (vgl. Kap.5.1).

Die geplante Anlage für den Fischabstieg soll den bestehenden Betrieb am Kraftwerk nicht beeinträchtigen und minimale betriebliche Zusatzaufwendungen verursachen. Temporäre betriebliche Einschränkungen während der Bauphase können toleriert werden und sind unvermeidlich. Die Stauanlagensicherheit ist zu jeder Zeit zu gewährleisten. Die Randbedingungen werden in Kap. 5 genauer definiert.

### **3.3 Wahl des Fischleitrechens**

Grundsätzlich gibt es zwei Lösungsansätze für die stromabwärts gerichtete Wanderung von Fischen bei Wasserkraftwerken. Einerseits können diese durch die Turbinen geleitet werden, wobei es in den meisten Fällen eine Anpassung derer benötigt. Andererseits können sie an der Turbinenpassage gehindert und umgeleitet werden. Dabei werden die Fische durch Barrieren daran gehindert, in die Gefahrenbereiche zu geraten. Als Barrieren können Rechen eingesetzt werden, die entweder aufgrund von geringen Stababständen unpassierbar sind (= physische Barriere) oder aber Rechen, die Abstossungs- und Fluchtreaktionen der Fische ausnützen, grundsätzlich aber passierbar wären (= mechanische und/oder sensorische Verhaltensbarriere). Im vorliegenden Projekt beim WKW BAN wurden FLR mit vertikalen Stäben des Typs Bar Rack untersucht. Diese funktionieren als mechanische Verhaltensbarrieren, wobei es wichtig ist, dass insbesondere die Anströmbedingungen vor dem Rechen optimal sind, um eine hohe Leiteffizienz zu erreichen.

### **3.4 Positionierung möglicher Fischleitrechen**

In einem ersten Schritt wurden mögliche Standorte für die Positionierung eines FLRs in Kombination mit einem Bypass-System gesucht. Denkbare Standorte wurden hinsichtlich Fischleitwirkung (FLW) und fischbiologischen Anforderungen untersucht. Viele Varianten wurden aufgrund der ungenügenden zu erwartenden FLW wieder verworfen. Sie sind im Anhang des Berichts zu den numerischen Untersuchungen (Beilage 2 [4]) dokumentiert.

Bald wurde deutlich, dass aufgrund der Disposition der Anlage (Blockkraftwerk) und deren Anströmung nur mit zusätzlichen baulichen Anpassungen der Anlage eine gute FLW erreicht werden kann. Die möglichen Leitrechenstandorte wurden parallel zu den baulichen Anpassungen anhand von numerischen Untersuchungen weiter optimiert, bis zufriedenstellende Varianten gefunden werden konnten.

### **3.5 Variantenvergleich Leitrechen-Bypass-System**

Für zwei mögliche Standorte eines FLRs mit unterschiedlicher Ausrichtung (nach links zum Ufer hin und nach rechts zum Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehr hin) wurde anschliessend geprüft, ob sie mit einem Bypass-System kombiniert werden können, um absteigende Fische schadlos am Kraftwerk vorbeizuführen. Dabei stellen die engen Platzverhältnisse für alle untersuchten Linieneinführungen eine besondere Herausforderung dar. Die beiden Varianten wurden auch hinsichtlich des Betriebes und der Rechenreinigung untersucht und beurteilt.

### **3.6 Optionen**

Für die aus dem Variantenvergleich hervorgehende Bestvariante wurden zusätzliche Optionen untersucht und deren Auswirkungen resp. deren Nutzen aufgezeigt. Ein wichtiger Teil bestand im Vergleich

der unterschiedlichen Stabformen des vertikalen FLRs, welche insbesondere hinsichtlich der Sensitivität des Anströmwinkels ( $\alpha$ ) sowie der Auswirkungen auf die Anströmung der Maschinen untersucht wurden (vgl. Kap. 7.1).

Andererseits wurden die Auswirkungen von Tauchwand und/oder Sohlleitwand auf die FLW untersucht und die Massnahmen soweit möglich und sinnvoll konkretisiert (vgl. Kap. 7.2 und 7.3). Eine bodennahe Öffnung im verlängerten Trennpfeiler zum Abschwemmen von Ablagerungen scheint analog der oberflächennahen Abschwemmöffnung eine zweckdienliche Massnahme zu sein. Entgegen der Abschwemmöffnung an der Wasseroberfläche wurde die bodennahe Öffnung jedoch nur konzeptionell geprüft. Weiter wurde ein vorgelagerter Grobrechen (vgl. Kap. 7.5) sowie der Rückbau des bestehenden Einlaufrechens (vgl. Kap. 7.6) geprüft.

### **3.7 Vertiefung Bestvariante**

Für die gewählte Bestvariante wurden konkrete Lösungen für die Rechenreinigung geprüft und die notwendigen Betriebseinrichtungen konkretisiert. Die Wehrbrücke wurde entsprechend den Anforderungen für die RRM konzipiert und optimiert. Mit einer Öffnung im Trennpfeiler kann die Rechenreinigung zusätzlich unterstützt und Schwemmholz zum Wehr hin abgeschwemmt werden. Es wurden erste Überlegungen zu Dimensionen und Einrichtungen dieser Abschwemmöffnung im Trennpfeiler gemacht, verschiedene Varianten verglichen und deren Vor- und Nachteile einander gegenübergestellt (vgl. Kap. 8.3).

Die hydraulischen Bedingungen am FLR, im Zuströmbereich, am Einstieg sowie im Bypass selbst wurden untersucht und hinsichtlich der fischbiologischen und der betrieblichen Anforderungen optimiert. Dabei wurden verschiedene Betriebszustände mit unterschiedlichen Oberwasserpegeln berücksichtigt. Die Einstiegsöffnungen in den Bypass wurden für eine möglichst gute Auffindbarkeit angepasst. Zudem wurden betriebliche Massnahmen untersucht, damit der Abstiegskorridor möglichst langfristig betrieben werden kann und dauerhaft zu Verfügung steht.

Mittels numerischer Untersuchungen wurden die Bauwerke (Trennpfeiler, Pfeiler der Wehrbrücke) hydraulisch optimiert und die Auswirkungen der Massnahmen auf die Anströmung der Maschinen sowie hinsichtlich Hochwassersicherheit untersucht.

Ein möglicher Bauablauf wurde erarbeitet und Konzepte zu Baugruben und Wasserhaltung erstellt. Die Kosten für das Leitrechen-Bypass-System wurden unter Berücksichtigung von Produktionseinbussen, bedingt durch den Bau und den Betrieb der Anlage, sowie den Betriebs- Instandhaltungs- und Erneuerungskosten berechnet.

Die gewählte und optimierte Bestvariante wurde dokumentiert und anhand von Pläne (vgl. Anhang 5) dargestellt.

## **4 AUSGANGSSITUATION**

### **4.1 Wasserkraftwerk Bannwil**

#### **4.1.1 Übersicht der Anlage**

Das ursprüngliche Kraftwerk befand sich an der Aare zwischen Wangen und Aarwangen (Abbildung 1). Nach fünfjähriger Bauzeit ging das Ausleit-Kraftwerk 1904 in Betrieb. Westlich von Wangen wurde eine Wehranlage mit Einlauf in einen rund 8 km langen Oberwasserkanal erbaut, welcher das Wasser zum Kraftwerk der damaligen Aktiengesellschaft Elektrizitätswerk Wangen leitete. Die Anlage blieb bis 1969 in Betrieb.

Das Kraftwerk am heutigen Standort (Abbildung 2), rund 700 m weiter Aare aufwärts der ersten Anlage, wurde zwischen 1966 und 1970 im Zuge der zweiten Juragewässerkorrektion als Ersatz für das Kanalkraftwerk erbaut. Das neue Kraftwerk befindet sich auf der orografisch linken Flussseite unmittelbar unterstrom einer Linkskurve auf der Kurveninnenseite der Aare. Der Kraftwerkskanal wurde nach der Stilllegung des alten Kraftwerks 1969 grösstenteils aufgefüllt und existiert heute nur noch im Bereich von Wangen.

Das WKW BAN ist ein Blockkraftwerk mit drei frontal angeströmten Kaplan-Rohrturbinen. Der Betrieb, der in der Kraftwerksachse angeordneten Wehranlage mit drei Wehrfeldern, obliegt heute der BKW. Bei den Wehrorganen handelt es sich um drei Segmentschützen mit Aufsatzklappen. Die Wehrbrücke dient als öffentliche Strassenverbindung von Bannwil nach Langenthal und Herzogenbuchsee. Die Anlagendaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

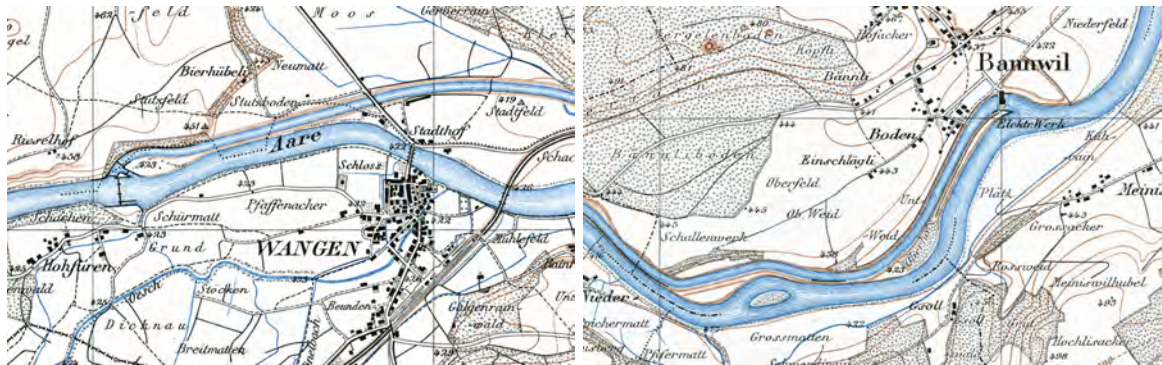


Abbildung 1: Kartenausschnitte mit ursprünglichem Kraftwerk (Siegfriedkarte) um 1904.

Tabelle 1: Anlagendaten WKW BAN [6]

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Ausbauwassermenge $Q_A$     | 450 m <sup>3</sup> /s, 40 bis 150 m <sup>3</sup> /s pro Turbine  |
| Kapazität Wehranlage        | 50 m <sup>3</sup> /s pro Aufsatzklappe, 500 m <sup>3</sup> /s pro Segment, 1'500 m <sup>3</sup> /s Gesamtabflussmenge bei Normalstau |
| Nutzbare Fallhöhe $h$       | 5.5 – 8.5 m  |
| Turbinen                    | 3 horizontalachsige, doppelt regulierte Kaplanrohrturbinen mit jeweils 4 Laufradschaufeln  |
| Max. Leistung $P$           | Einzelbetrieb je 9.5 MW, Parallelbetrieb gesamt 28.5 MW  |
| Turbinendrehzahl $U$        | 107 U/min  |
| Turbinenlaufrad Durchmesser | 4'350 mm   |
| Durchmesser der Nabe        | 1'530 mm   |
| Mittlere Jahresproduktion   | 150 GWh  |
| Konzessionspegel            | 417.30 m ü. M. bei der Aarebrücke in Wangen a. A.  |
| Oberwasserpegel             | HHW ca. 416.0 m ü. M., NNW 417.25 m ü. M.  |
| Unterwasserpegel            | HHW ca. 411.1 m ü. M., NNW 408.2 m ü. M.   |



Abbildung 2: Anlageteile WKW BAN (Hintergrund: Luftbild © Swisstopo).

#### 4.1.2 Bestehende Anlagenteile zur Fischgängigkeit

Die bestehende Fischaufstiegshilfe (FAH) ist auf der Kraftwerksseite positioniert (orographisch linke Flussseite) und verfügt über drei Einstiegsöffnungen in der Ufermauer 9 bis 15 m unterstrom des Saugrohrendes. Danach umfährt die FAH die Kraftwerksanlage mit Schalt- und Kommandogebäude. Besonderheit dieser FAH ist das Schachtbauwerk mit mehrfach gewedeltem Beckenpass mit 74 Becken, in welchem ein Grossteil der Höhendifferenz von 8.3 m abgebaut wird ( $\Delta h_0 = 0.11$  m). Der Ausstieg der FAH mit Einlaufbauwerk liegt ca. 100 m oberhalb der WKW-Achse. Die bestehende Anlage wird im Zuge des Neubaus der FAH stillgelegt (vgl. Projekt Fischaufstieg Kap. 5.5.2).

Nebst den Einlaufrechen bestehen aktuell am WKW BAN keine Massnahmen zum Fischschutz oder zum Fischabstieg.

#### 4.1.3 Bestehender Einlaufrechen

Jede Turbine verfügt über einen Einlauf mit Einlaufrechen, welcher Fremdkörper zurückhält und den Leitapparat und die Turbine vor Beschädigungen schützt. Jeder Einlauf kann einzeln, ohne die andere Turbine zu beeinträchtigen, mit Dammbalken abgeschottet werden.

Die bestehenden Rechenfelder an den 3 Einläufen zu den Maschinen weisen mit einer Höhe von 12 m und einer Breite von je 10 m eine Rechenfläche von insgesamt 360 m<sup>2</sup> auf. Die Rechenebene ist um 15 ° zum Kraftwerk hin geneigt. Der Rechen weist einen lichten Stababstand von 82 mm auf, die Stabdicke beträgt 17 mm und die Tiefe 16 cm.

Die Anströmgeschwindigkeiten am bestehenden Rechen betragen bei Vollast im Mittel 1.25 m/s und übersteigen somit die geforderten 0.5 m/s deutlich.

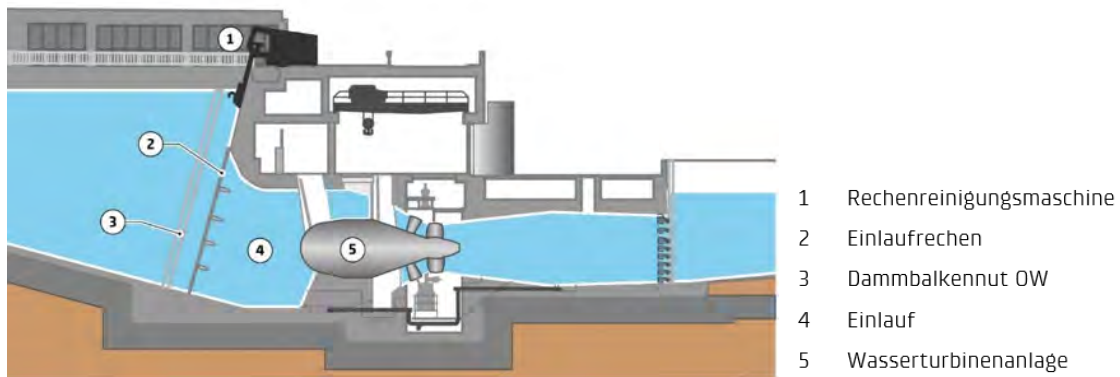


Abbildung 3: Querschnitt Maschineneinlauf mit Bezeichnung der Anlagenteile gem. Betriebshandbuch [6].

#### 4.1.4 Bestehende Rechenreinigungsanlage

Mit der Rechenreinigungsmaschine (RRM) werden die Fremdkörper vor dem Einlaufrechen entfernt und in den Schwemmkanal gebracht. Die RRM verfährt auf Schienen von Rechenfeld zu Rechenfeld. Um die Rechenfelder zu reinigen, wird die an Seilen geführte Harke auf den Grund abgesenkt und wieder hochgehoben. Die Harke schiebt im geöffneten Zustand das Geschwemmsel beim Senken nach unten, schliesst und fördert beim Heben das eingeklemmte Geschwemmsel nach oben. Die Schwenkschürze ermöglicht das Umlenken von Geschwemmsel in den Schwemmkanal. Der auf der Rechenreinigungsanlage montierte Palfinger-Greifarmkran dient dem Entfernen von grobem Material. Die RRM kann automatisch, halbautomatisch oder im Handbetrieb lokal oder mittels Fernbedienung betrieben werden.

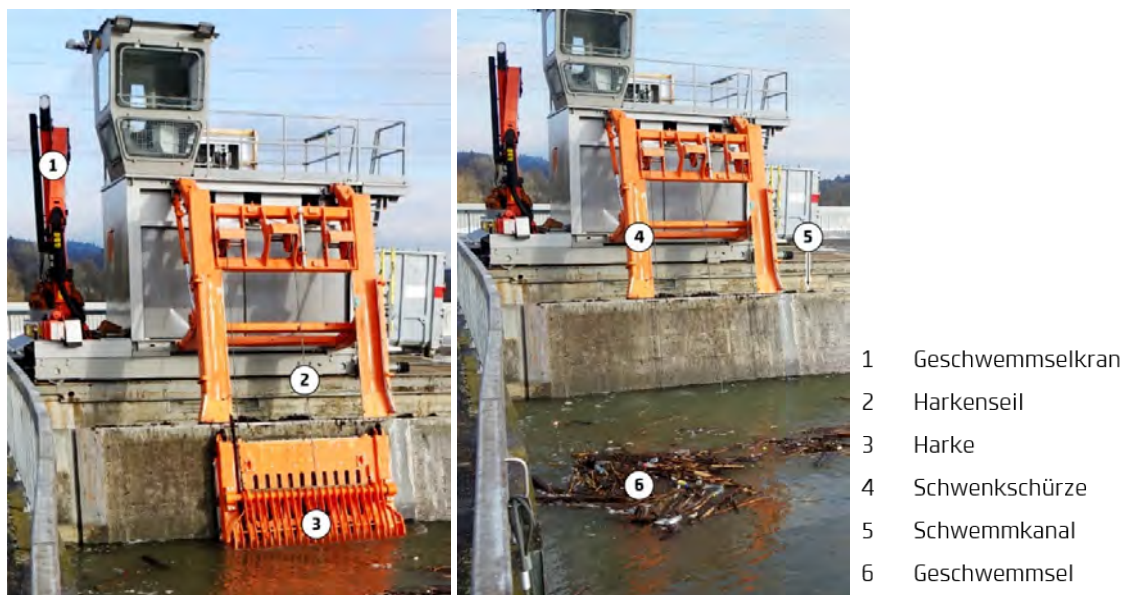


Abbildung 4: RRM mit Bezeichnung der Anlageteile gem. Betriebshandbuch [6].

Die RRM deponiert nach erfolgter Reinigung der Rechen das Geschwemmsel in der Geschwemmselrinne. Das Geschwemmsel in der Geschwemmselrinne wird mit dem Geschwemmselkran auf der RRM in den Geschwemmselcontainer entsorgt. Kleineres Geschwemmsel wird periodisch aus der Geschwemmselrinne zurück in die Aare gespült. Die Spülung erfolgt über eine elektrisch betriebene Pumpe.

## 4.1.5 Kraftwerksanströmung

Bedingt durch die Anordnung bei Blockkraftwerken, wobei die Maschinen und die Wehranlage nebeneinander auf einer Achse positioniert sind, kommt es insbesondere bei geschlossenen Wehrfeldern zu ungleichmässigen Strömungsverhältnissen im Oberwasser der Kraftwerksanlage. Der Abbildung 5a) ist zu entnehmen, dass es bei geschlossenen Wehrfeldern (rund 323 Tage pro Jahr) im Oberwasser (OW) des Wehres zu einer nahezu zur Wehrachse parallelen Strömung in Richtung der Maschineneinläufe kommt. Bei Wehrabfluss (Wehrfeld 2 und 3 offen) ist die Anströmung zwar etwas vorteilhafter (siehe Abbildung 5b)), dennoch bestehen auch in diesem Betriebszustand vor dem Kraftwerkseinlauf starke Querströmungen.

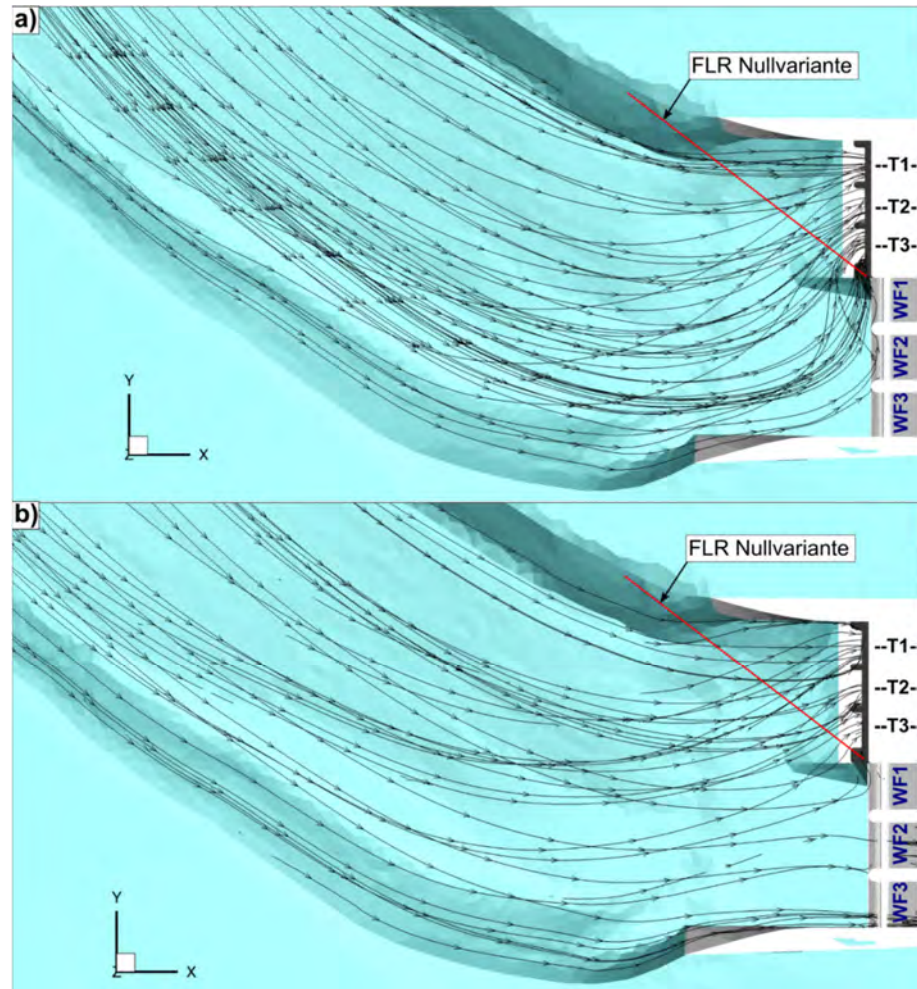


Abbildung 5: Anströmungsbedingungen beim WKW BAN. In a) ist die Situation bei reinem Turbinenabfluss und in b) die Situation bei kombiniertem Turbinen- und Wehrabfluss dargestellt.

## 4.2 Hydrologie und Abfluss

### 4.2.1 Einzugsgebiet und Regulierung der Jurarandseen

Der Hauptzufluss der Aare in Bannwil stammt aus den Jurarandseen (Murten-, Neuenburger- und Bielersee), deren Regulierung im Zusammenhang mit der Juragewässerkorrektur (JGK) steht und durch das AWA erfolgt [11]. Die erste Etappe der JGK wurde zwischen 1891 und 1896 ausgeführt. Die Seeregulierung wurde im Anschluss weiter optimiert, wobei in den 1930er Jahren auch das Regulierwehr Port erstellt wurde.

Zwischen 1962 und 1973 wurde die JGK in einer zweiten Etappe verbessert. Seither bilden die drei Jurarandseen nahezu eine hydraulische Einheit mit reduziertem Schwankungsbereich: Die Hochwasserstände werden gedämpft und die Niedrigwasserstände angehoben, während die Mittelwasserstände beibehalten werden können.

Bei der Regulierung der Jurarandseen können heute unter vielen anderen Aspekten und Randbedingungen auch die begrenzte Abflusskapazität der Aare berücksichtigt werden. Die betroffenen Kantone haben deshalb vereinbart, den Abfluss der Aare nach Möglichkeit nicht über ein bestimmtes Mass hinaus anschwellen zu lassen: Entsprechend der sogenannten **Murgenthaler-Bedingung** soll der Abfluss der Aare an der BAFU-Messstelle von Murgenthal (LH 2063) – also nach dem Übergang vom Kanton Bern in den Kanton Aargau –höchstens 850 m<sup>3</sup>/s betragen. Die Messstelle befindet sich rund 10 km unterhalb des WKW BAN und liegt auf einer Höhe von 403 m ü. M. 1.7 % der Einzugsgebietsfläche von 10'059 km<sup>2</sup> ist vergletschert.

Der wichtigste Zufluss der Aare zwischen dem Bielersee und Bannwil ist die Emme. Sie mündet rund 14 km oberhalb des WKW BAN, zwischen Zuchwil und Luterbach, in die Aare und entwässert ein Einzugsgebiet (EZG) von rund 10'000 km<sup>2</sup>. Starke Gewitter, wie sie im oberen Emmental und im Napfgebiet häufig vorkommen, bewirken grössere Hochwasserspitzen in Bannwil. Darauf wird bei der Seeregulierung Rücksicht genommen. Kündigt sich ein Emmehochwasser an, wird der Ausfluss aus dem Bielersee kurzzeitig gedrosselt, um in der Aare Kapazität für die Hochwasserwelle der Emme zu schaffen. Man spricht bei diesem Vorgang vom «Einbremsen» der Emme. Die meisten Ereignisse können mit diesem Vorgehen schadlos bewältigt werden.

## 4.2.2 Jahresmittel und Dauerkurve

Der mittlere Abfluss der Aare in Murgenthal beträgt im langjährigen Mittel  $Q_M = 286 \text{ m}^3/\text{s}$  (Jahrestabelle 2018 [8]). Aus der Dauerkurve der Messstation Murgenthal (LH2063) wurden die Abflüsse  $Q_{30}$  (501 m<sup>3</sup>/s) und  $Q_{330}$  (148 m<sup>3</sup>/s) bestimmt, welche zur Dimensionierung berücksichtigt wurden.

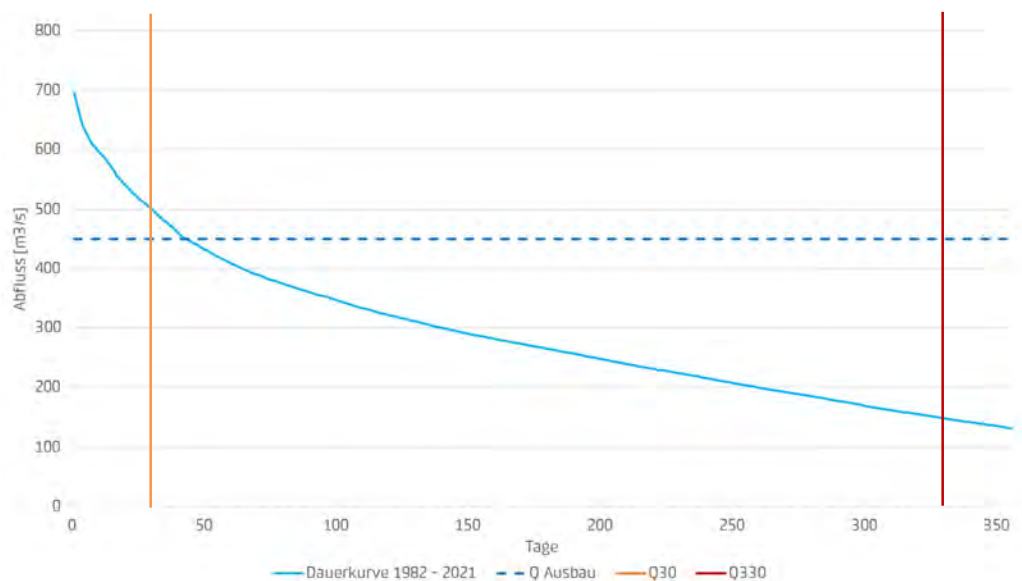


Abbildung 6: Dauerkurve Aare Murgenthal (LH2063, Mittelwert 1982 bis 2021 [8]) mit Angabe von  $Q_{30}$  und  $Q_{330}$ .

## 4.2.3 Hochwasserabflüsse

Der grösste Hochwasserabfluss seit Messbeginn wurde in Murgenthal im August 2007 mit 1'262 m<sup>3</sup>/s gemessen. Dies entspricht einer Jährlichkeit von > 150 Jahren (Auswertungsperiode 45 Jahre, 1974 – 2018) [9]. 2021 verfügte das BFE basierend auf den Resultaten der Studie EXAR [10] neue Abflussmengen für die einmalige Sicherheitsüberprüfung der Stauanlage [3].

Die Hochwasserabflüsse sind nachfolgend in Tabelle 2 zusammengestellt.



Tabelle 2: Hochwasserabflüsse BAFU Messstelle Murgenthal.

| HQx                                   | Abfluss (m <sup>3</sup> /s) | Quelle                             |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| HQ <sub>2</sub>                       | 799                         | BAFU Murgenthal [9]                |
| HQ <sub>10</sub>                      | 1'006                       | BAFU Murgenthal [9]                |
| HQ <sub>30</sub>                      | 1'098                       | BAFU Murgenthal [9]                |
| HQ <sub>100</sub>                     | 1'176                       | BAFU Murgenthal [9]                |
| HQ <sub>300</sub>                     | 1'232                       | BAFU Murgenthal [9]                |
| HQ <sub>1'000</sub> (Q <sub>B</sub> ) | 1'590                       | Sicherheitsüberprüfung (EXAR) [10] |
| EHQ (Q <sub>s</sub> )                 | 1'930                       | Sicherheitsüberprüfung (EXAR) [10] |

## 4.3 Pegel am Kraftwerk

### 4.3.1 Konzessionspegel in Wangen

Aufgrund der "**Wangener Bedingung**" muss der Pegel im OW des WKW BAN bei grösseren Abflüssen zum Schutz der historischen Holzbrücke in Wangen abgesenkt werden. Die Absenkung erfolgt ab Abflüssen der Aare von rund 350 m<sup>3</sup>/s und nimmt mit steigenden Abflüssen kontinuierlich zu (siehe Abbildung 7). Der Staupegel muss so weit abgesenkt werden, dass der Konzessionspegel in Wangen von 417.3 m ü. M. nicht überschritten wird. Entsprechend korreliert der Oberwasserpegel am Kraftwerk nicht wie üblich mit dem Abfluss, sondern liegt bei höheren Abflussmengen tiefer als bei Normalstau.

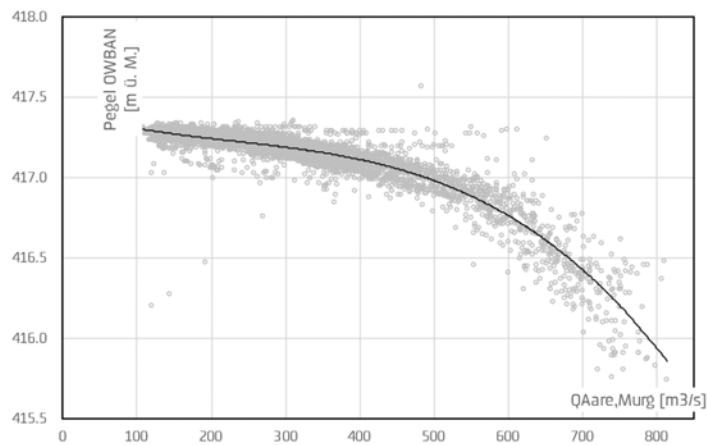


Abbildung 7: Pegel-Abfluss-Relation für das OW des WKW BAN (Periode 2014-2022, Daten BKW).

In den vergangenen Jahren waren verstärkte Pegelabsenkungen erforderlich, um den Konzessionspegel in Wangen zu halten. Aufgrund der fortschreitenden Ablagerungen und der aareabwärts wandernden Stauwurzel ist davon auszugehen, dass die Absenkungen zukünftig auch bei geringeren Abflüssen erforderlich sein werden und der Staupegel in Bannwil bei Hochwasser noch stärker abgesenkt werden muss.

### 4.3.2 Pegel im Unterwasser des Kraftwerks

Auch der Unterwasserpegel besitzt eine anthropogene Randbedingung. Aufgrund der Stauhaltung am Unterliegerkraftwerk Wynau/Schwarzhäusern wird der Unterwasserbereich des WKW BAN durch den Rückstau beeinflusst. Die Wasserspiegellage unterschreitet unter Normalbedingungen auch bei sehr geringen Abflüssen in der Aare den Pegel von 408.11 m ü. M. nicht, da in Wynau der Staupegel bei Normalstau konstant auf 408.08 m ü. M. gehalten wird.

Im langjährigen Mittel liegt der Unterwasserspiegel am WKW BAN bei 408.7 m ü. M. Die Pegel-Abfluss-Beziehung ist in Abbildung 8 dargestellt.

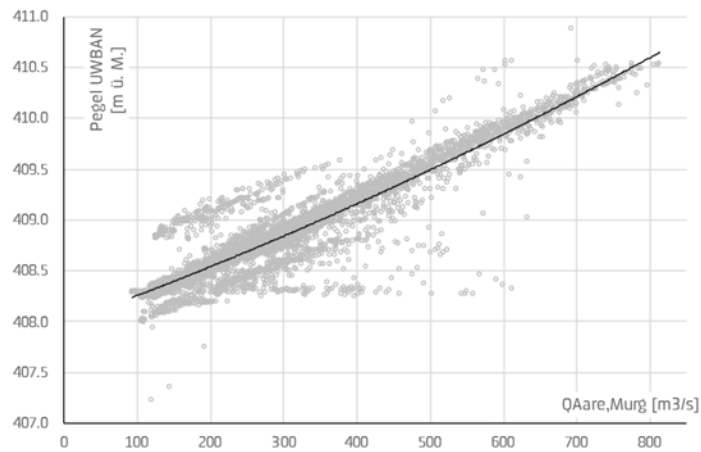


Abbildung 8: Pegel-Abfluss-Relation für das UW des WKW BAN (Periode 2014-2022, Daten BKW).

## 4.4 Morphologie und Feststofftransport

### 4.4.1 Morphologie der Aare

Die Aare ist heute auf vielen Abschnitten kanalisiert und verbaut und wird durch eine Kette von Staustrecken beeinflusst. Durch mehrere Kiesentnahmen in den Seitengewässern sowie Unterbrüche der Geschiebekontinuität, die durch mehrere Flusskraftwerke verursacht werden, weist die Aare zudem ein Geschiebedefizit auf. Die Sohle unterliegt daher auf mehreren Abschnitten einer Erosionstendenz und wird tendenziell vergrößert und abgeplästert. Ablagerungen von Geschiebe und Feinmaterial sind hauptsächlich in den Stauwurzelbereichen und auf Staustrecken zu beobachten. Geschiebefrachten und Umlagerungsmengen sind relativ gering [15].

### 4.4.2 Geschiebeaufkommen und -durchgängigkeit am WKW BAN

Wie in der Abbildung 9 ersichtlich, wirkt sich der Rückstau des WKW BAN mit dem Konzessionspegel von 417.30 m ü. M. über mehrere Kilometer im OW aus. Die Stauwurzel liegt bei Wangen a. A. und wie die Querprofilvermessungen aus den Jahren 1990 und 1999 zeigen, weist die Sohle in der Stauhaltung ein gleichmässiges Gefälle von 0.5 ‰ auf.

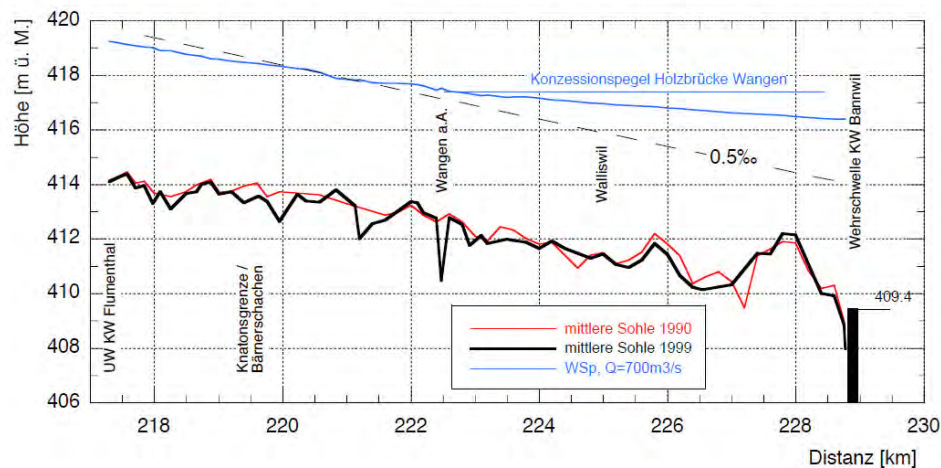


Abbildung 9: Längsprofil im OW des WKW BAN [15].

Gemäss Schlussbericht der strategischen Planung zur Geschiebesanierung [15] ist flussabwärts von Wangen a.A. ein Abfluss zwischen 940 und 1'100 m<sup>3</sup>/s erforderlich, damit im Talweg der Geschiebetrieb für eine Mischung mit einem massgebenden Durchmesser ( $d_m$ ) = 2.5 cm einsetzt. Bei  $d_m$  = 3.5 cm sind Abflüsse in der Aare von über 1'100 m<sup>3</sup>/s (ca. HQ<sub>30</sub>) erforderlich. Bei aktuellem Wehrbetrieb ist die Geschiebedurchgängigkeit – also der Durchtransport von Geschiebe mit Korngrössen > 2 mm, welches rollend, gleitend oder springend nahe der Gerinnesohle transportiert wird – nicht gegeben.

Gemäss Schlussbericht Geschiebesanierung [15] liegt die erforderliche Geschiebefracht auf dem Abschnitt von der Emmemündung bis Aarburg bei 2'500 bis 4'000 m<sup>3</sup>/a. Die Fracht entspricht dem morphologischen Ansatz im naturnahen Zustand.

### 4.4.3 Schwebstoffe im Stau Bannwil

Im Gegensatz zum Geschiebe können Schwebstoffe – also Feinsedimente mit Korngrössen bis ca. 2 mm, welche in Suspension über die gesamte Abflusstiefe transportiert werden - je nach Aareabfluss durch die Stauhaltung bis zum Kraftwerk transportiert werden und gelangen weiter ins Unterwasser (UW).

Die in einem Gewässersystem transportierten Schwebstofffrachten übersteigen in der Regel die transportierten Geschiebefrachten um ein Vielfaches. Die Emme ist die grösste Schwebstofflieferantin im Einzugsgebiet der Aare in Bannwil. Bei Gewitterereignissen kann sie in ihrem Einzugsgebiet beachtliche Feststoffmengen mobilisieren und in die Aare eintragen, was während Hochwasserereignissen auch optisch deutlich zu erkennen ist.

Aufgrund der abnehmenden Fliessgeschwindigkeiten im Rückstaubereich des Kraftwerks ist davon auszugehen, dass sich über die Zeit grosse Mengen an Feinsedimenten ablagern. Diese können während Hochwasserereignissen durch die höheren Fliessgeschwindigkeiten wieder remobilisiert und weiter gerinneabwärts verfrachtet werden. Durch das Absenken des Pegels am WKW BAN aufgrund der Wangener Bedingung (vgl. Kap. 4.3.1) verlagert sich die Stauwurzel während Hochwasserereignissen zusätzlich aareabwärts und die frei fliessende Strecke bei Wangen a. A. wird verlängert. Dadurch verstärkt sich der Effekt der Remobilisierung von abgelagerten Feinsedimenten unterhalb der Stauwurzel und es können Trübeschwälle entstehen. Durch den abgesenkten Pegel am Wehr werden die Fliessgeschwindigkeiten im Stau Bannwil während Hochwasserereignissen noch zusätzlich erhöht, was mögliche Ablagerungen von Feinsedimenten im Stau zusätzlich reduziert oder verunmöglicht.

Durch das Absenken des Staupegels können zudem Ablagerungen von Feinsedimenten im Böschungsbereich mobilisiert werden, welche durch das Absenken im Stauraum trockengelegt und destabilisiert werden.

Aus den oben beschriebenen Phänomenen und Prozessen ist zu erwarten, dass in Bannwil enorme Schwebstofffrachten bis zum Kraftwerk gelangen können. Aufgrund der hydraulisch nicht optimalen Anordnung des Maschinenhauses auf der Kurveninnenseite führen die hohen Sedimentfrachten zu Ablagerungen auf der Kurveninnenseite und damit verbundenen zu betrieblichen Problemen. Durch die Drosselung der Maschinen im Hochwasserfall wird diese Problematik noch zusätzlich verstärkt.

### 4.4.4 Feststoffablagerungen am Kraftwerkseinlauf

Bei Hochwasser lagern sich vor dem Kraftwerkseinlauf Feinmaterial und bei grösseren Hochwassern auch grössere Komponenten ab. Diese Ablagerungen beginnen auf der orografisch linken Seite unmittelbar beim Maschineneinlauf in der Ecke zwischen Maschinenhaus und Ufermauer vor der Maschine 1 (ufernahe Maschine) und weiten sich aus bis zur Maschine 3 (wehrseitige Maschine) und aareaufwärts zum oberwasserseitigen Bootssteg. Die Ablagerungen sind insbesondere dann zu beobachten, wenn sich vor dem Rechen des Turbineneinlaufs Geschwemmsel ansammelt. Gemäss Angaben des Betriebspersonals wurden Sedimentablagerungen bis zu einer Mächtigkeit von 5 m festgestellt.

Innerhalb der vergangenen zehn Betriebsjahren mussten die abgelagerten Schichten vor dem Kraftwerkseinlauf 2- bis 3-mal mittels Bagger vom Ufer aus gelockert werden, damit die vorwiegend sandigen Sedimente durch die Turbinen in das UW gespült werden konnten. Während des Hochwassers vom 12.7.2021 haben sich vor den Maschinen 1 und 2 rund 3-4 m hohe Ablagerungen gebildet. In den vergangenen Jahren wurde tendenziell eine Zunahme der Ablagerungen beobachtet.

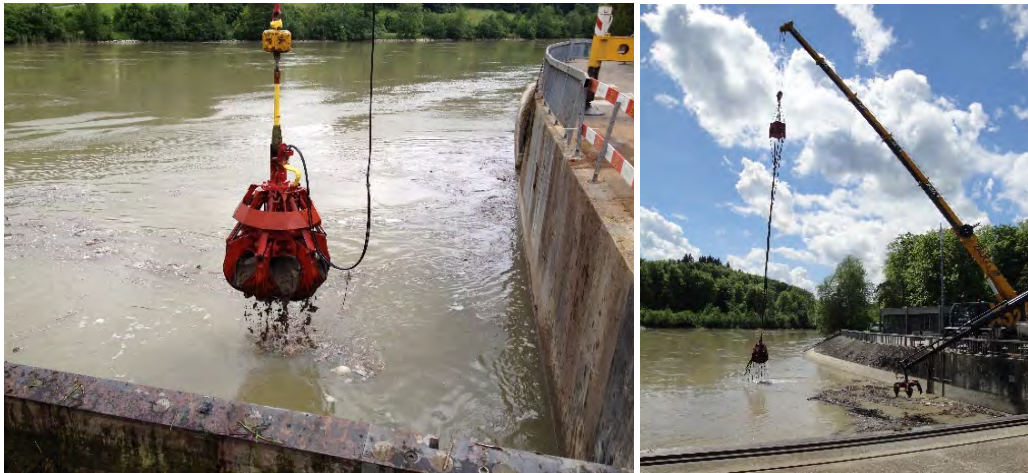


Abbildung 10: Mechanische Remobilisierung der Ablagerungen vor Maschine 1 und 2 (10.6.2013 und 10.6.2015).

Am Gleitufer in der Kurveninnenseite oberhalb des Kraftwerks bilden sich Ablagerungen. Die Form der Kurvenbank wächst je nach Abflussverhältnis und Betriebszustand bis zum Kraftwerkseinlauf. Querprofilaufnahmen im Stau Bannwil bestätigen, dass sich die Sohlenlage unmittelbar im OW der Anlage Bannwil laufend verändert und sich im Laufe der Zeit Ablagerungen bilden, welche bei höheren Abflüssen remobilisiert und umgelagert werden. Die Ablagerungen wachsen und schwinden in Abhängigkeit der Abflussmengen, des Geschiebe- und Feststoffeintrages sowie den Betriebszuständen.

#### 4.5 Schwemmholzaufkommen

Wie Abbildung 11 vom November 2015 eindrücklich zeigt, können beim WKW BAN zeitweise sehr grosse Schwemmholzmengen anfallen. Das Schwemmholz stammt hauptsächlich aus dem Einzugsgebiet der Emme und wird beim Oberliegerkraftwerk (Flumenthal), welches rund 12 km oberhalb des WKW BAN liegt, nur teilweise entnommen. Ein Grossteil des Schwemmholzes wird weitergeleitet und gelangt somit bis zum WKW BAN. Der Schwemmholzanfall muss nicht zwingend zeitgleich mit einem Aarehochwasser einhergehen und kann somit auch auftreten, wenn der Pegel am WKW BAN nicht vorabgesenkt wird.



Abbildung 11: Schwemmholzteppich vor WKW BAN (26.11.2015).

Bezüglich Schwemmholz zeigt die EXAR Studie [10], dass in Bannwil mit einem hohen Schwemmholzaufkommen zu rechnen ist. Während eines Hochwasserereignisses ist mit über 100 m<sup>3</sup> Schwemmholz (fest) zu rechnen.

| <i>Sink</i>     | <i>GEWISS km</i> | <i>Event</i> | <i>Retained Volume [solid]</i> | <i>Model</i>                                | <i>Reference (see below)</i> |
|-----------------|------------------|--------------|--------------------------------|---|------------------------------|
| KW Flumenthal   | 90               | HW 2005      | 335                            | $V_{\text{retain}} \sim N_{+}(200,100)$     | [1]                          |
|                 |                  | HW 2007      | 170                            | $P_{\text{activate}} \sim \text{BiN}(0.75)$ | [1]                          |
|                 |                  | HW 2014      | 126                            |   | [2]                          |
| HW Bannwil      | 78               | HW 2005      | 135                            | $V_{\text{retain}} \sim N_{+}(100,30)+$     | [1]                          |
|                 |                  | HW 2007      | 115                            | $P_{\text{activate}} \sim \text{BiN}(0.75)$ | [1]                          |
|                 |                  | HW 2014      | 33                             |   | [2]                          |
| KW Wynau        | 73               | HW 2005      | 35                             | $V_{\text{retain}} \sim N_{+}(50,20)+$      | [1]                          |
|                 |                  | HW 2007      | 35                             | $P_{\text{activate}} \sim \text{BiN}(0.75)$ | [1]                          |
|                 |                  | HW 2014      | 112                            |   | [2]                          |
| KW Ruppoldingen | 61               | HW 2005      | 600, 406                       | $V_{\text{retain}} \sim N_{+}(700,100)+$    | [1],[3]                      |
|                 |                  | HW 2007      | 400                            | $P_{\text{activate}} \sim \text{BiN}(0.75)$ | [1]                          |
|                 |                  | HW 2014      | 964                            |   | [2]                          |

[1] (AF-Consult Switzerland AG, 2012)

[2] (Böckli, et al., 2015)

[3] (Bezzola & Hegg, 2008)

Abbildung 12: Beobachtete Schwemmholzmengen bei vergangenen Hochwassern gemäss [[10]].

Beim WKW BAN fallen teilweise grosse Schwemmholzteppiche an. Die Tonnagen lagen von 2009 bis 2020 zwischen 165 und 784 t/a, mit einem Durchschnitt von ca. 438 t/a.

Unter dem Jahr fallen dabei ca. 100 t an. Der Rest entfällt auf 1-4 Grossereignisse pro Jahr. In den Jahren 2015, 2016, 2017 fielen über 200 t in je einem Grossereignis an. Im Jahr 2020 fielen sogar über 320 t allein im September an und weitere ca. 125 t im Juni, Juli und August.

Daraus zeigt sich eine Tendenz, dass Extremereignisse häufiger werden und noch grössere Schwemmholzmengen mitführen als bisher.

Gem. EXAR [10] umfasst Schwemmholz vor allem Baumstämme mit rund 4-6 m Länge und einem Stammdurchmesser von 0.25-0.3 m (siehe Abbildung 13).

Zu beachten ist, dass diese Baumstämme nicht nur als Schwemmholz an der Oberfläche schwimmen, sondern auch am Flussbettboden vor den Rechen geschwemmt werden, weitere Sedimentablagerungen vor dem Rechen verursachen und damit den Rechendurchfluss einschränken.

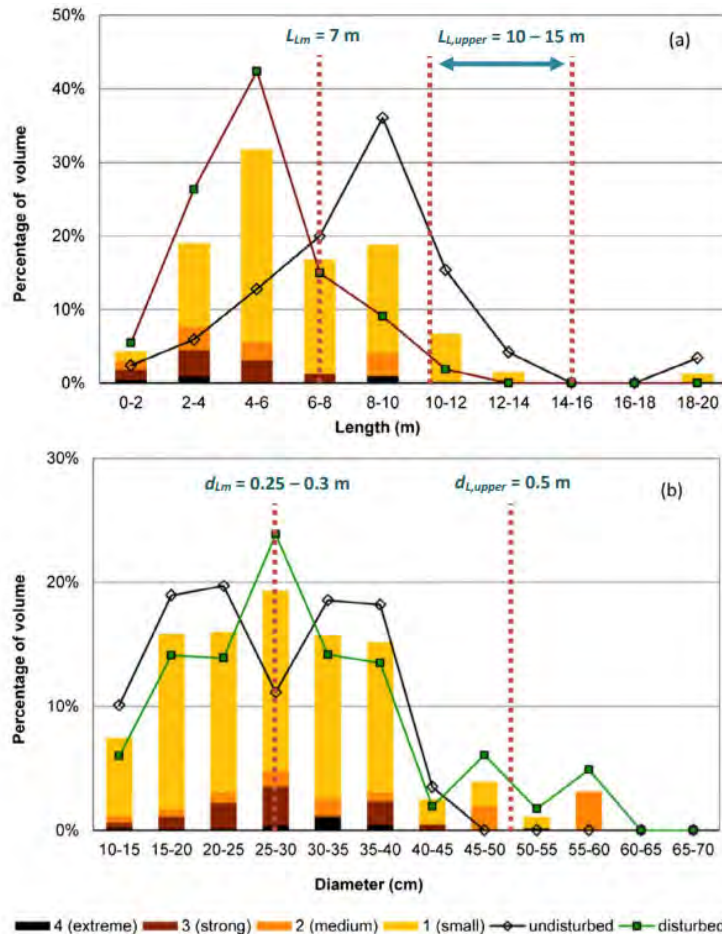


Abbildung 13: Volumenanteile der verschiedenen a) Längsklassen und b) verschiedenen Durchmesserklassen der untersuchten Schwemmholzstücke aufgeteilt nach Verwitterungsgrad [10].

## 4.6 Abschätzung der Fischüberlebensraten für die Turbinen- und Wehrpassage beim WKW BAN

### 4.6.1 Einleitung

Bei der Passage von Turbinen können Fische mit Anlagenteilen in Berührung kommen oder durch andere Faktoren wie Druck- und Geschwindigkeitsgradienten beeinträchtigt werden. Es können deshalb Schädigungen auftreten, die von Desorientierung bis zum Tod reichen. Im Wesentlichen ist die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Schädigung auftritt, vom Turbinentyp, ihrer Grösse, Schaufel- und Umdrehungszahl und dem Fallhöhenunterschied sowie von der Fischart und der Fischgrösse abhängig. Allgemein nachgewiesen ist eine erhöhte Mortalitätsrate mit der Zunahme der Fischgrösse und Abnahme der Turbinengrösse.

Im Rahmen dieses Projektes wurden unterschiedliche Ansätze verwendet, um die Überlebensrate beim Abstieg über das Kraftwerk abzuschätzen.

Einerseits ist es möglich, die turbinenbedingten Schäden bei der flussabwärts gerichteten Migration durch physikalische und empirische Prognosemodelle zu beurteilen. Zudem gibt es Mischformen, bei denen physikalische Modelle durch empirisch ermittelte Korrekturfaktoren ergänzt werden [18]. Für gängige Turbinentypen wie Kaplan- und Francis-Turbinen existieren eine Vielzahl an Modellen, wovon einige in Kap. 4.6.2 erläutert werden.

Des Weiteren wurden Versuche mit Sensorfischen durchgeführt, wodurch es möglich ist, Aussagen betreffend Druckverlauf bzw. -änderungen während der Kraftwerks- sowie der Wehrpassage machen zu können. Im Kap. 4.6.3 finden sich genauere Erklärungen diesbezüglich.

Zusätzlich wurden Untersuchungen mittels Radiotelemetrie [1] durchgeführt, die ebenfalls wertvolle Hinweise zu heutigen Überlebensraten liefern.

#### 4.6.2 Prognosemodelle zu den Überlebensraten bei der Turbinenpassage

Bei den rein **physikalischen Modellen** wird die Wahrscheinlichkeit einer Kollision des Fisches mit den Radschaufeln quantifiziert. Einige physikalische Modelle werden durch einen empirischen Korrekturfaktor ergänzt (z.B. Turnpenny (2000)), wodurch auch potenzielle Schädigungen durch Druckgradienten und Scherkräfte berücksichtigt werden [18]. Zur Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit werden die ingenieurbioologischen Parameter für die Modellanwendung vereinfacht. Der Fisch wird als linienhafte Struktur betrachtet, welche der totalen Fischlänge entspricht [18]. Als Ergebnis wird für beliebige Fischgrössen und Turbinenabmessungen eine Schlag- oder Kollisionswahrscheinlichkeit berechnet. Dabei wird allerdings nicht differenziert, an welcher Körperstelle der Fisch mit den Lauf-radschaufeln kollidiert. Die Auswirkungen einer Kollision mit dem Kopf oder der Schwanzflosse werden als gleichsam schädigend gewertet. Es handelt sich somit bei der Abschätzung der Mortalitätsraten aufgrund mechanischer Schädigung mittels physikalischer Modelle um "Worst Case"-Betrachtungen. Im Gegensatz dazu werden Beeinträchtigungen aufgrund von Druck- und Geschwindigkeitsgradienten nicht berücksichtigt. Bei Flusskraftwerken mit geringer Fallhöhe sind diese Effekte weniger prominent ausgeprägt. Physikalische Modelle können, anders als empirische Modelle, auch für Berechnungen bei Teillastbetrieb benutzt werden.

**Empirische Modelle** basieren auf statistischen Ansätzen, welche die Beziehung zwischen den im Versuch beobachteten Mortalitätsraten und den technischen Parametern der Anlagen zur Grundlage haben [19]. Da in der Regel sowohl die direkte als auch die verzögerte Mortalität bei der Auswertung herangezogen werden, berücksichtigen diese Modelle alle negativen Effekte bei der Turbinenpassage. Es ist anzumerken, dass damit auch nicht turbinenbedingte Schädigungen z. B. am Einlaufrechen berücksichtigt sind. Die abgeschätzten Überlebensraten fallen bei diesen Modellen für kleine schwimm-schwächere Fische tendenziell geringer aus. Demgegenüber fällt bei den empirischen Modellen auf, dass grössere Fische die Turbinenpassage besser bewältigen. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass sie in der Lage sind, auch im Nahbereich der Turbine kontrollierte Schwimmbewegungen durchzuführen. Slow-Motion Aufnahmen von Fischen an der Alden-Testtur-bine belegen diese Vermutung. Sie zeigen Fische, die aktiv die turbinenschaufelfreien Zeitfenster zum Einschwimmen in die Turbine auswählen.

Die **gewählten Prognosemodelle und Fischarten** sind in Tabelle 3 aufgeführt. Der Entscheid, welche der Prognosemodelle genutzt werden, basiert auf Empfehlungen von Literaturdaten [19], [18]. Die technischen Daten der Turbine des WKW BAN können Tabelle 1 entnommen werden.

Grundsätzlich wurde jeweils mit der Ausbaumassermenge gerechnet. Für die Teillastberechnungen wurde das Modell von Turnpenny (2000) verwendet.

Tabelle 3: Verwendete Modelle

| Fischart     | Physikalische Modelle   | Empirische Modelle   |
|--------------|---|--|
| Aal          | Von Raben 2. Fassung (1957), Volllast<br>Monten 2. Fassung (1985), Volllast | Ebel (2008), Volllast<br>Larinier & Dartiguelongue (1989),<br>Volllast |
| Salmoniden   | Turnpenny (2000), Voll- und Teillast<br>Monten 2. Fassung (1985), Volllast  | Larinier & Dartiguelongue (1989),<br>Volllast                          |
| Unspezifisch | Monten 1. Fassung 1985, Volllast<br>Von Raben 1. Fassung, Volllast          | Keine Modelle vorhanden  |

Mittels der Prognosemodelle werden die Mortalitätsraten für Fische zwischen 10 cm und 1 m Länge abgeschätzt und in einem Folgeschritt mit Gleichung (1) in die Überlebensrate (Survival, S) umgerechnet.

$$\text{Survival in \%} = (1 - \text{Mortalität}) * 100 \quad (1)$$

### 4.6.3 Sensorfischuntersuchungen

Für die durchgeführten Sensorfischuntersuchungen wurden BDS (Barotrauma Detection System) Sensoren verwendet, welche eine einheitliche Länge von 14 cm aufweisen. Diese wurden jeweils auf zwei unterschiedlichen Höhen (12 m und 14 m unterhalb der Wasseroberfläche) vor dem Turbineneingang ausgesetzt und durch die Turbine bei entweder 95 % Vollast oder 66 % Teillast geleitet. Zusätzlich wurden die Sensoren über bzw. durch das Wehr (Klappe oder Schütz) geleitet. Dabei konnten Aussagen getroffen werden bezüglich der vorherrschenden Verhältnisse bei Über- sowie Unterströmung des Wehrs. Mit dem Gedanken die Bedingungen zu untersuchen, bei welchen eine Kollision am wahrscheinlichsten erscheint, wurden die Untersuchungen bei Niedrigwasserbedingungen im UW (=  $Q_{330}$ ) durchgeführt. Die Beurteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit wurde anhand vier physikalischer Parameter vorgenommen:

- Nadir-Druck (= tiefster Wert des Druckes)
- Druckänderungsrate (ROC)
- logarithmische Druckänderung (LRP)
- Anzahl der Schlagereignisse

Für alle der oben genannten Parameter wurden Schwellenwerte definiert mit dem Ziel abschätzen zu können, ob die Fischüberlebensrate > 90 % eingehalten werden kann, wie sie gem. Wirkungszielen der interkantonalen Aareplanung [16] für den Fischabstieg zu avisieren ist.

Genauer zum Versuchsaufbau kann dem Bericht (Beilage 3, [2]) zu den Sensorfischuntersuchungen entnommen werden. Die wichtigsten Resultate sind im Kap. 4.6.6 zusammengefasst.

### 4.6.4 Radiotelemetrische Untersuchungen zum Fischabstieg

In einem Untersuchungszeitraum vom 17. Dezember 2019 bis zum 31. März 2021 wurden am WKW BAN radiotelemetrische Untersuchungen durchgeführt. In der gesamten Messkampagne wurden 292 Barben markiert, wodurch ihr Wanderverhalten analysiert werden konnte. Für die Markierungen wurden, je nach Grösse der Fische, drei unterschiedliche Radiosender eingesetzt. In den grössten Sensoren waren zusätzlich Temperatur und Drucksensoren integriert.

Anhand der Studie konnten letztlich Aussagen (nicht immer abschliessend) bzgl. folgender Punkte gemacht werden:

- 1) *Annäherung an das Kraftwerk*
- 2) *Bedeutung von Tageszeit, Abfluss und Temperatur für die Annäherung*
- 3) *Abwanderungskorridor und Zeitpunkt der Abwanderung*
- 4) *Überlebensraten der abgewanderten Fische*
- 5) *Prädation*
- 6) *Schwimmtiefen*
- 7) *Mobiles Tracking zur Erfassung langer Wanderdistanzen*
- 8) *Saisonale Wanderungen*
- 9) *Auswirkung der Markierung auf die Fische*
- 10) *Eignung der Radiotelemetrie für die Dokumentation des Abwanderungskorridors*

Ausführliche Details zu diesen Fragestellungen finden sich im Bericht [1]. Die wichtigsten Resultate sind im Kap. 4.6.7 zusammengefasst.

### 4.6.5 Resultate Prognosemodelle - Turbinenpassage

#### Einleitung und Darstellung

Die Ergebnisse der Berechnungen werden in Diagrammen dargestellt. Physikalische Modelle sind jeweils mit einer durchgehenden Linie gekennzeichnet, während empirische Modelle mit einer gestrichelten Linie dargestellt sind. Die Fischlänge wird mit TL (Totallänge) und die Überlebensrate wird mit S (Survival) abgekürzt. Als Vergleich werden die Resultate für artenunspezifische Überlebensraten aus den Sensorfischuntersuchungen sowie der Radiotelemetrie beigezogen (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17).

Im Anhang 3 sind die Ergebnisse zudem in tabellarischer Form dargestellt.



### Überlebensrate von Salmoniden

Die Überlebensraten von Salmoniden mit einer TL zwischen 0.1 m bis 1.0 m sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Überlebensraten liegen für die maximale Fischgrösse mit TL = 1 m zwischen 55 % und 72 %. Für Tierlängen bis 0.2 m weisen alle drei Modelle Überlebensraten von 93 bis 98 % aus. Bis zu einer Fischlänge von 0.6 m liegen die Resultate der unterschiedlichen Modelle relativ nahe beieinander und weisen geringe Abweichungen von unter 10 % auf. Für grössere Fischlängen bestehen grössere Unterschiede in den Resultaten der verschiedenen Modelle, wobei das empirische Modell nach Larinier und Dartiguelongue die Überlebensrate höher einschätzt, als die physikalischen Modelle nach Monten 1 und Turnpenny.

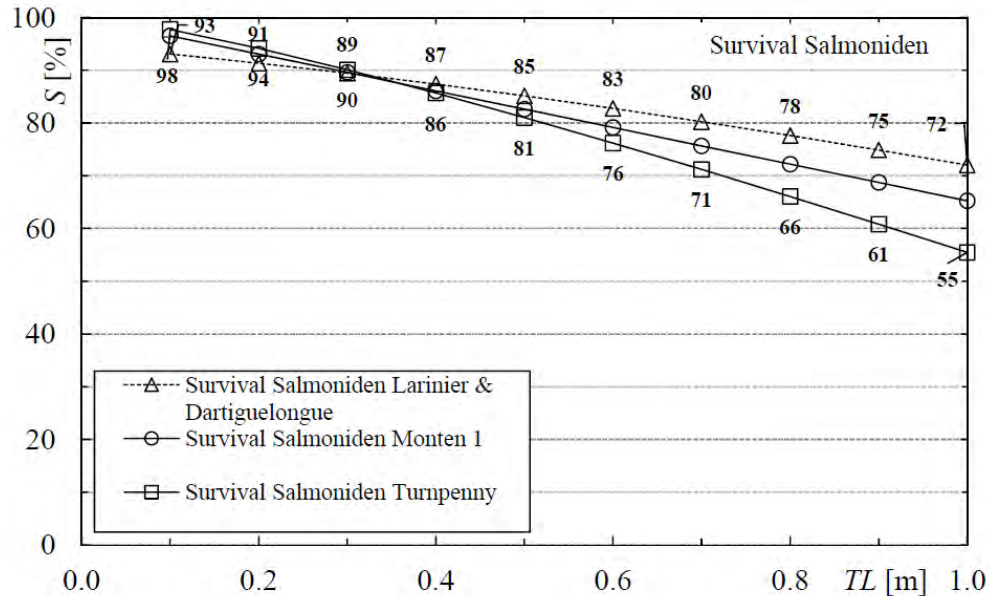


Abbildung 14: Überlebensraten von Salmoniden bei Vollast (physikalische Modelle: durchgehende Linie, empirische Modelle: gestrichelte Linie)

### Aalspezifische Überlebensrate

Abbildung 15 zeigt, dass die physikalischen Modelle (Von Raben 2. Fassung und Monten 2. Fassung) die Überlebensraten von Aalen an der Hauptturbine ähnlich derjenigen von Salmoniden ausweisen. So liegt die Überlebensrate bei einer Tierlänge zwischen 0.1 m bis 0.3 m über 90 %. Bei einer Tierlänge von 1 m liegt sie vergleichbar im Bereich zwischen 65 % und 73 %. Den Erwartungen entsprechend, schätzen die empirischen Modelle die Überlebensraten tiefer als die physikalischen Modelle.

Eine Besonderheit stellen die nach Ebel [18] ausgewiesenen Überlebensraten für Tiere von 10 cm bis 30 cm Gesamtlänge von mehr als 100 % dar (in Abbildung 15 auf 100 % korrigiert). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass bei der Regressionsanalyse zur Entwicklung der Berechnungsvorschrift nach Ebel Tiere mit derart geringer Körperlänge nicht berücksichtigt wurden.

Auffällig ist auch, dass das empirische Modell von Larinier & Dartiguelongue und jenes von Ebel völlig unterschiedliche Trends anzeigen. Bis zu einer TL von 0.6 m weisen Larinier & Dartiguelongue deutlich tiefere Überlebensraten aus. Für grössere Fischlängen weisen die Modelle einen gegensätzlichen Trend auf, wobei das Modell nach Larinier & Dartiguelongue höhere Überlebensraten aufzeigt. Die Survivalprognose für Aale einer TL von 1 m weist für beide Modelle eine beträchtliche Bandbreite zwischen 18 % bis 42 % aus.

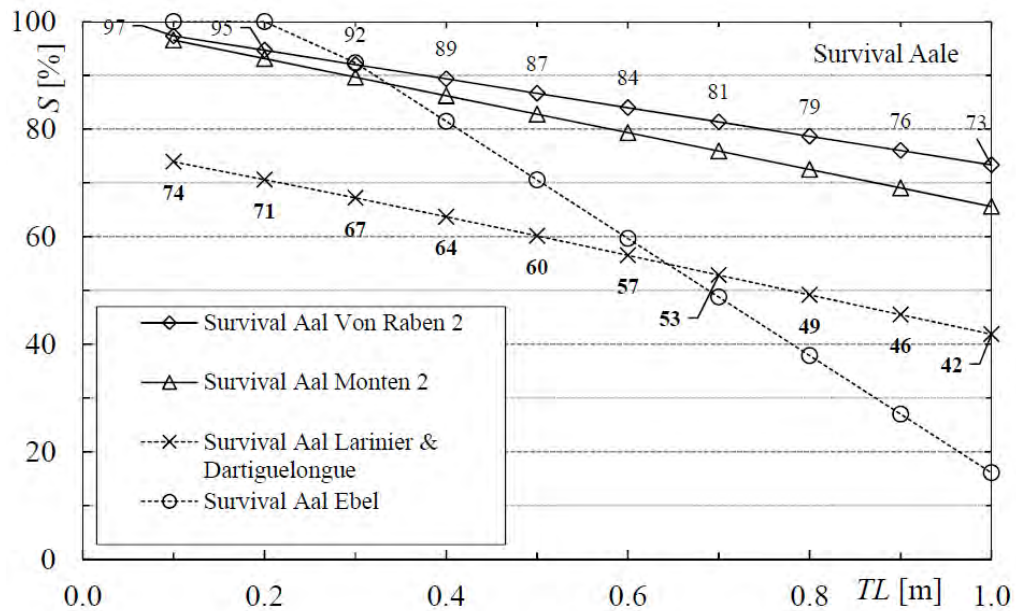


Abbildung 15: Überlebensraten von Aalen bei Volllast (physikalische Modelle: durchgehende Linie, empirische Modelle: gestrichelte Linie)

#### Fischartenunspezifische Überlebensrate

Modelle für unspezifische Fischarten, in Abbildung 16 dargestellt, geben Überlebensraten für eine Tierlänge von 1 m zwischen 38 % und 63 % an. Bei Tierlängen bis zu 0.2 m liegen die Überlebensraten deutlich über 90 %. Eine Ausnahme bildet das Modell von Raben 1, mit welchem für 0.2 m lange Tiere eine Überlebensrate von 88 % berechnet wird.

Zudem wurden die erhaltenen Resultate aus den beiden durchgeführten Studien (Radiotelemetrie sowie Sensorfischuntersuchungen) in die Abbildung eingearbeitet. Die erhaltenen Resultate der Sensorfischuntersuchungen, bei einer einheitlichen Länge der Sensoren von 14 cm, beinhalten die Resultate des Parameters der turbinenbedingten mechanischen Schädigungen (Schlagereignisse) bei Volllastbetrieb und liegen in einem ähnlichen Bereich wie die Überlebensraten der Modelle.

Mit den Resultaten der radiotelemetrischen Untersuchungen lässt sich ein Vergleich für die Fischgrößen zwischen 35 cm bis 50 cm machen, wobei hier die Resultate von Teil- und Volllastbetrieb abgebildet sind. Die erhaltenen Resultate liegen in einem vergleichbaren Bereich. Das «Worst-Case» Szenario bei einer Fischlänge von 40 cm besitzt eine auffällig tiefe Überlebensrate. Um eine repräsentative Aussage diesbezüglich treffen zu können, würde es weitere Untersuchungen benötigen (weitere Erläuterungen finden sich in den Kap. 4.6.6 & 4.6.7 sowie im Bericht [1]).

Für beide Studien wurde der Bereich mit der minimalen und maximalen Überlebensrate angegeben. Dies kommt daher, dass es in beiden Studien Fälle gab, wo nicht mit Sicherheit gesagt werden kann, ob ein Fisch den Abstieg überlebt hat/hätte oder nicht.

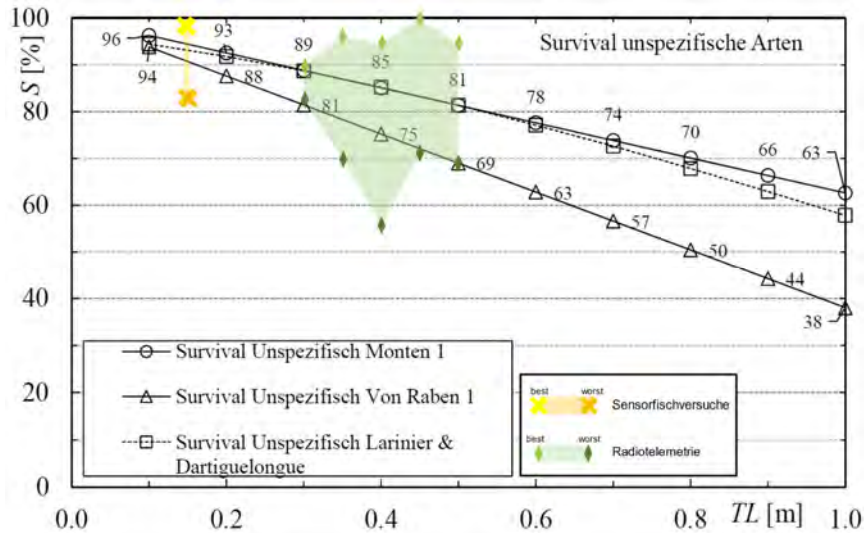


Abbildung 16: Überlebensraten un spezifizischer Fischarten bei Volllast (physikalische Modelle: durchgehende Linie, empirische Modelle: gestrichelte Linie). In gelb und grün sind zudem die Resultate der radiotelemetrischen Studie sowie der BDS-Versuche eingezeichnet.

### Teillastbetrieb

Abbildung 17 zeigt die Überlebensraten für Salmoniden bei Teillastbetrieb. Es zeigt sich, dass die Überlebensraten mit abnehmendem Durchfluss abnehmen. Dies kann unter anderem durch die Verringerung des Abstands zwischen den Laufradschaufeln infolge des Teillastbetriebs und damit der Erhöhung der Kollisionswahrscheinlichkeit erklärt werden. Die Schädigungswahrscheinlichkeit bei Tieren von 1 m Länge nimmt zwischen Volllast- und Teillastbetrieb mit 50% Ausbauleistung um ca. 45 % zu.

Auch hier sind die Ergebnisse aus den beiden Fischabstiegsversuchen eingezeichnet. Die Ergebnisse der Sensorfischversuche wurden während dem Teillastbetrieb  $Q = 66\%$  durchgeführt. Die Überlebensrate beträgt im «Worst-Case» 94 % und im «Best-Case» 96 %, wobei insbesondere der «Worst-Case» in diesem Szenario höher ausfällt als beim Volllastbetrieb (siehe Abbildung 16). Diese Erkenntnis unterscheidet sich von den erwarteten Resultaten der Prognosemodelle, bei welchen die Überlebenswahrscheinlichkeit mit vermehrtem Teillastbetrieb abnimmt.

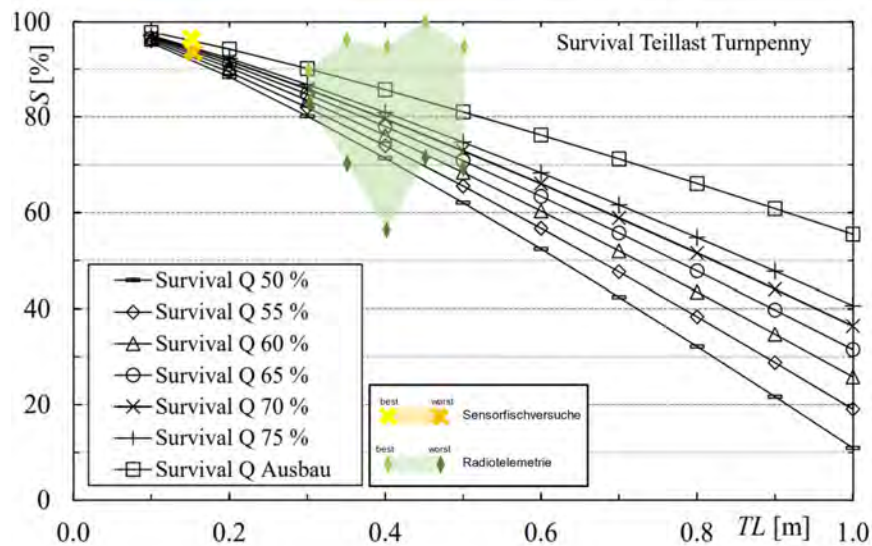


Abbildung 17: Überlebensraten von Salmoniden bei Teillastbetrieb von  $Q_{\text{Ausbau}}$  bis  $Q_{50\%}$ . Zudem sind die Resultate für das Teillastscenario der BDS-Versuche in Gelb eingezeichnet. Grün sind die Resultate der radiotelemetrischen Untersuchungen eingezeichnet (ohne Unterscheidung Voll- und Teillast).

### 4.6.6 Resultate Sensorfischversuche

In Abbildung 18 A) ist ein typischer Druckverlauf während einer Turbinenpassage abgebildet. Die Resultate der durchgeführten Untersuchungen wurden, wie im Kap. 4.6.3 beschrieben, anhand verschiedener Parameter bewertet. Drei der Parameter beziehen sich auf die Druckverhältnisse und werden im unteren Teil der Abbildung 18 B) genauer erläutert.

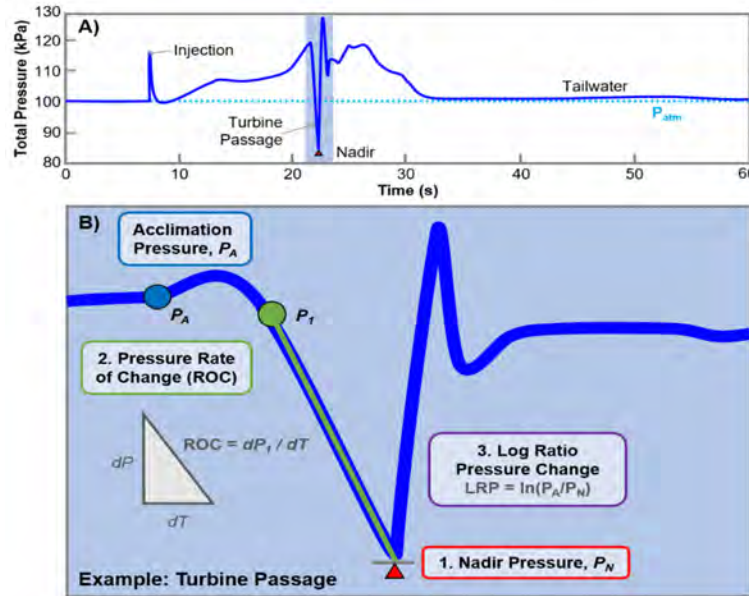


Abbildung 18: A) Typischer Druckverlauf während der Turbinenpassage. B) Beschreibung der drei physikalischen Parameter (Nadir-Druck, Druckänderungsrate und logarithmische Druckänderung), die zur Bewertung der Überlebenswahrscheinlichkeit durch Druckveränderungen verwendet werden.

#### Mortalitätsrisiko durch schnelle Dekompression (Abschätzung anhand Nadir-Drücke):

Aus unterschiedlicher Literatur wurde im Rahmen der Studie ein Schwellenwert für die schnelle Dekompression von 50 kPa definiert. Bei einem Nadir-Druck < 50 kPa sinkt die Überlebenschance eines Fisches unter 90 % bzw. besteht das Risiko einer Mortalität von > 10%.

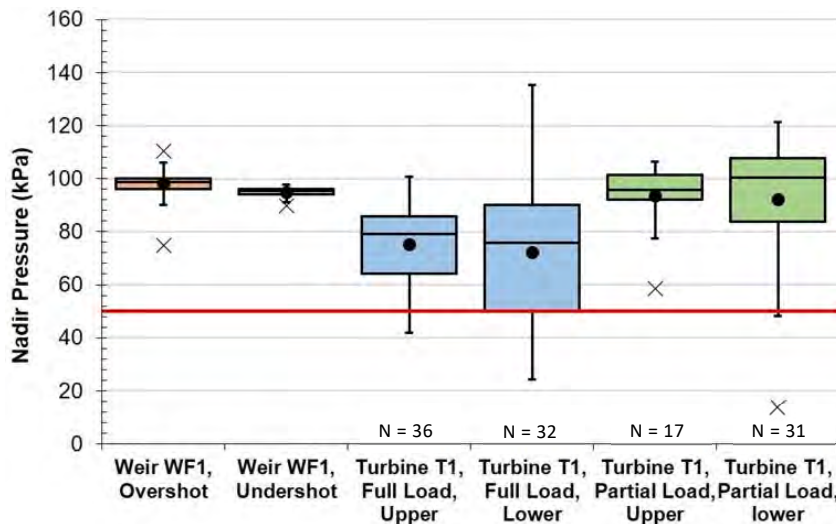


Abbildung 19: Boxplots der Nadir-Drücke für die vier untersuchten Szenarien eines Turbinendurchgangs. In den Boxen befinden sich 50% der Daten.

In Abbildung 19 befinden sich Boxplot-Diagramme mit den Resultaten der zwei Wehr- sowie der vier Turbinenszenarien. Jeweils als Linie ist der Medianwert und als Punkt der Mittelwert eingezeichnet. Es lässt sich erkennen, dass bei Volllast ein grösseres Risiko für Nadir-Drücke unterhalb des Schwellenwertes besteht. Bei der Annahme, dass die Daten ausserhalb der Box gleichmässig verteilt sind, lagen die Minimaldrücke für 4 von 36 bzw. 8 von 32 Fische unterhalb des Schwellenwertes bei den Szenarien *Volllast - höher* bzw. *Volllast - tiefer*. Beim Abstieg übers Wehr liegen die gemessenen Drücke deutlich oberhalb des Schwellenwertes.

#### Mortalitätsrisiko anhand der Druckänderungsrate:

Als Grenzwert für die maximal zulässige Druckänderungsrate wurde in der Studie ein Wert von 550 kPa/s gewählt. Die Auswertung der gemessenen Daten der Sensoren ergaben gemittelte Werte für die sechs Szenarien zwischen 152 bis 331 kPa/s und liegen somit deutlich unterhalb des Grenzwertes (siehe Abbildung 20). Ein extremer Ausreiser mit 1'705 kPa/s wurde bei den Überströmungsversuchen beobachtet. Es wird vermutet, dass dieser aufgrund eines Sogs im UW zustande kam, was zu starken Unterdrücken führte.

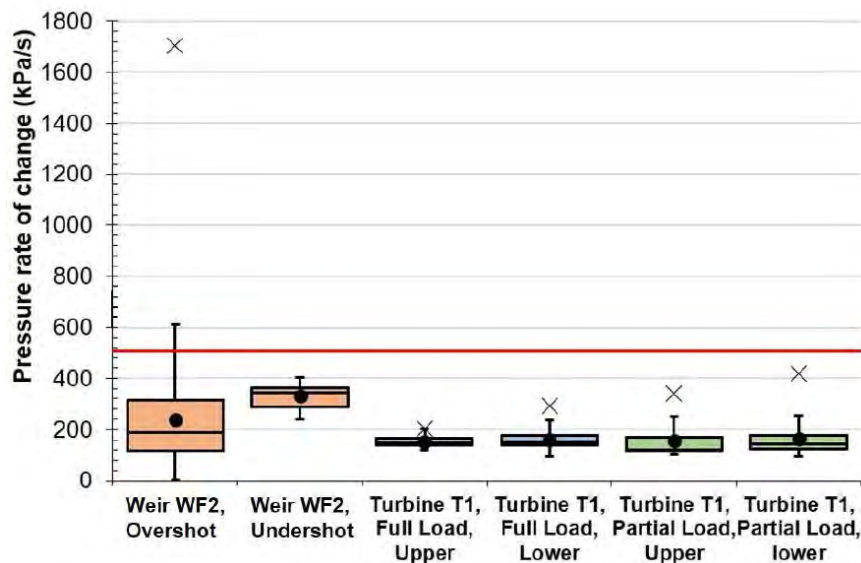


Abbildung 20: Gemessene Druckänderungsrate (ROC) für das WF2 bei Über- und Unterströmung sowie für die Turbine T1 für die unterschiedlichen Szenarien.

#### Mortalitätsrisiko anhand der logarithmischen Druckänderung:

Der Parameter der logarithmischen Druckänderung ist der natürliche Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem Druck, welcher die Fische vor dem Turbinen- bzw. Wehrdurchgang (in Akklimatisierungstiefe) erfahren und dem Tiefstwert (Nadir) während der Passage (siehe Abbildung 18). Als Schwellenwert für eine Überlebensrate > 90 % wurde ein konservativer Wert von 0.5 gewählt. In Abbildung 21 lässt sich erkennen, dass der Schwellenwert für beide Szenarien des Volllastbetriebes leicht überschritten wurde. In der Studie wird darauf hingewiesen, dass die Akklimatisierungstiefe ein sehr sensibler Parameter darstellt, dieser jedoch mit grossen Unsicherheiten behaftet ist.

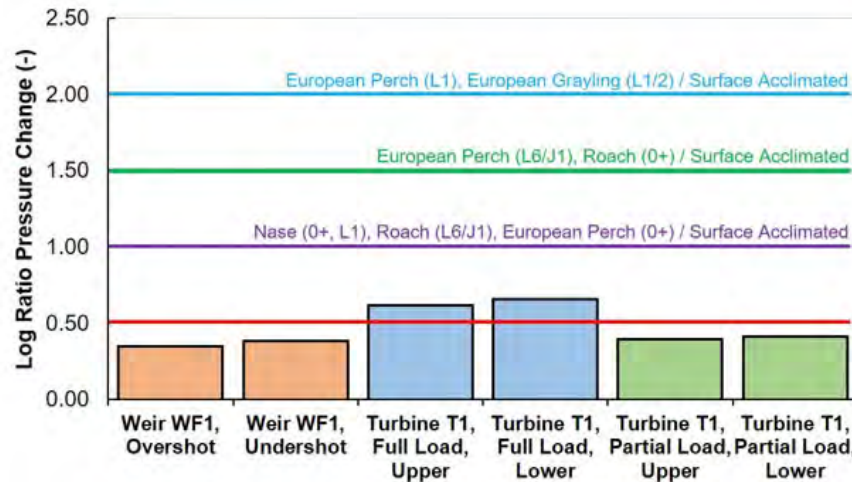


Abbildung 21: LRP für das Wehr bei Über- und Unterströmung sowie für die vier Szenarien des Turbinendurchgangs. In rot ist der Schwellenwert eines Mortalitätsrisikos von > 10 % eingezeichnet. Zusätzlich sind weitere Schwellenwerte für unterschiedliche Fischarten als Referenz angegeben.

**Mortalitätsrisiko anhand der Anzahl der Schlagereignisse:**

Eine spezielle Kunststoffoberfläche, bei welcher Schlagereignisse festgestellt werden können sowie die Auswertung von kurzzeitigen extremen Beschleunigungen dienen bei diesem Parameter als Indikator für eine Überlebensrate > 90 %. Es wurde angenommen, dass Schlagereignisse, bei welchen Beschleunigungen < 50 m/s<sup>2</sup> stattfinden, mit einer Überlebensrate > 90 % verbunden sind.

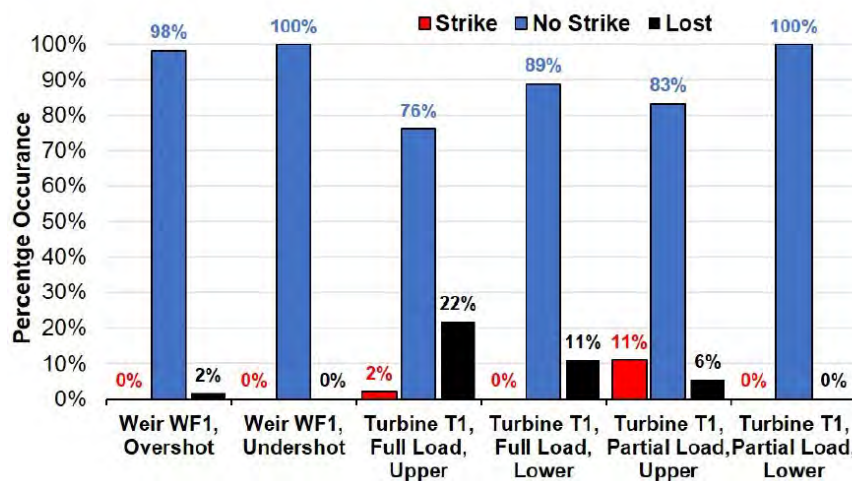


Abbildung 22: Balkendiagramm mit der Aufteilung von Schlagereignis, kein Schlagereignis und Sensorverlust für die unterschiedlichen Szenarien.

Der Abbildung 22 lassen sich die aufgetretenen Schlagereignisse für die unterschiedlichen Szenarien entnehmen. Zusätzlich wurden die erhaltenen Überlebensraten in Abbildung 16 und Abbildung 17 eingezeichnet. Der Abstieg über das Wehr ist mit sehr wenigen bis keinen Schlagereignissen verbunden trotz Niedrigwasserstand im UW. Beim Vollastbetrieb ergaben sich Überlebensraten im Bereich von 87 bis 98 % und im Teillastbetrieb betragen sie 94 bis 96 %.

**Schlussfolgerungen:**

Unter Berücksichtigung der druckbasierten physikalischen Parameter wird die Mortalitätsrate von Fischen, die bei Niedrigwasserbedingungen flussabwärts entweder durch die Turbine oder während Über- und Unterströmung das Wehrs passieren, auf weniger als 10 % geschätzt (bei Versuchsbedingungen, insbesondere einer Körperlänge von 14 cm). Eine detaillierte Schätzung der Mortalitätsraten aufgrund druckbedingter physikalischer Parameter für einzelne Arten und Lebensstadien würde die Kenntnis der

Akklimatisierungstiefe sowie Tests mit lebenden Fischen in einer Barokammer erfordern. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass die Mortalitätsrate bei der Wehrpassage unter den untersuchten Betriebsbedingungen wahrscheinlich geringer ist als die Mortalitätsrate bei der Turbinenpassage. Eine abschliessende Beurteilung würde jedoch weitere Untersuchungen, unter anderem an lebenden Fischen vor Ort, bedingen.

#### 4.6.7 Resultate Radiotelemetrische Untersuchungen

Wie im Kap. 4.6.4 beschrieben, wurden die Resultate der Radiotelemetrischen Studie nach 10 unterschiedlichen Fragestellungen ausgewertet. Der unter 3) beschriebene Zeitpunkt der Abwanderung ist stark vom Aussetzungszeitpunkt geprägt, da jeweils kurz danach ein Peak an Abstiegen festgestellt werden konnte. Dieser Umstand beeinflusst einige Resultate stark, wodurch sich schwierig Aussagen betreffend bevorzugten Umweltbedingungen machen lassen.

##### 1) Annäherung an das Kraftwerk

Ob sich ein Fisch ans Kraftwerk annähert, wurde anhand der Anzahl Detektionen (10 und 50 Detektionen) der Sender vor dem Kraftwerk definiert. Von den insgesamt 292 markierten und oberhalb des Kraftwerks ausgesetzten Barben, näherten sich 215 bzw. 177 (10 bzw. 50 Detektionen) dem Kraftwerk (mind. einmal) an. Von den Fischen, die sich annäherten, stiegen 47% bzw. 52.5 % (10 bzw. 50 Detektionen) über die Turbine und/oder die Wehranlage ab. Ebenfalls wurde die Annäherungszeit analysiert. Die mediane Dauer der Annäherung betrug 104 bzw. 176 Minuten (10 bzw. 50 Detektionen). Weiter konnte gesehen werden, dass Annäherungen ohne Abstieg tendenziell länger dauerten.

##### 2) Bedeutung von Tageszeit, Abfluss und Temperatur für die Annäherung

Ca. 70 – 80 % der Annäherungen fanden nachts und in den Abend- resp. Morgenstunden statt. Dies zeigte deutlich die Nachtaktivität der Barben. Der Anteil der Fische, die an einem bestimmten Tag eine Annäherung durchführt, korrelierte mit der Abflussmenge und der Temperatur der Aare. Mit zunehmendem Abfluss erhöhte sich die Annäherungsrate, mit steigender Temperatur verringerte sie sich. Da die meisten Annäherungen kurz nach dem Aussatz der Fische erfolgten, wurde für diese Analyse der Zeitraum von einer Woche nach dem Aussatz ausgeschlossen. Trotzdem können die Resultate noch durch den Aussatzzeitpunkt in der kalten Jahreszeit beeinflusst werden.

##### 3) Abwanderungskorridor und Zeitpunkt der Abwanderung

Von den 292 markierten Barben sind 109 Individuen mit Sicherheit abgewandert. Davon stiegen 91 über die Turbinen, 4 über die Wehranlage und 3 durch die FAH ab. Bei den restlichen 11 Barben konnte der Abstiegskorridor nicht eindeutig identifiziert werden. Auch der Abwanderungskorridor ist in diesem Fall stark vom Aussetzungszeitpunkt beeinflusst, da während den meisten Abstiegen kurz nach Aussetzung lediglich die Wege durch die Turbine oder durch den FAH zur Verfügung standen.

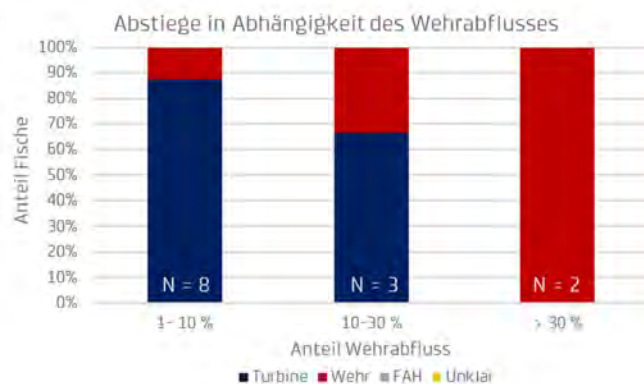


Abbildung 23: Anzahl Abstiege während Wehrüberfall, geordnet nach dem Anteil des Wehrabflusses.

Die Stichprobenmenge (N=13) verringert sich deutlich bei einer Betrachtung der Barben, welche zu einem Zeitpunkt abstiegen, in welchem auch Abfluss über das Wehr erfolgte. Erkennen lässt sich jedoch, dass

der Abstieg übers Wehr mit zunehmenden Abflussanteil an Attraktivität gewinnt. In einem durchschnittlichen Abflussjahr gibt es an rund 45 Tagen Wehrüberfall (Abbildung 23).

#### 4) Überlebensraten der abgewanderten Fische

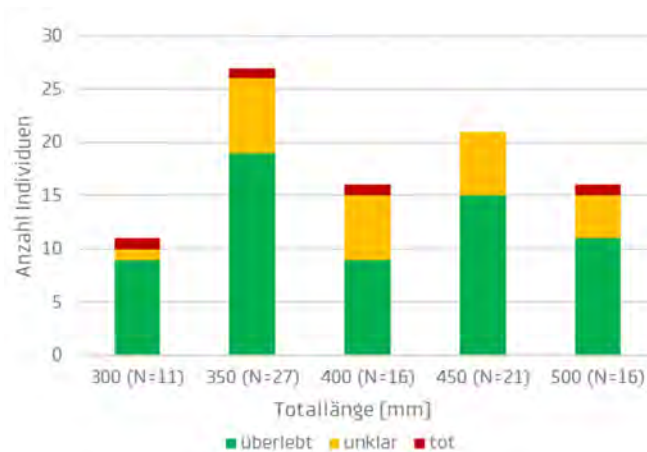


Abbildung 24: Übersicht über die Überlebenschance der 91 Individuen, welche durch die Turbine abgestiegen sind. Dabei wurden die Barben nach Totallänge (TL) ausgewertet.

Von den 91 über die Turbine abgewanderten Fischen überlebten mindestens 63 die Passage mit Sicherheit. Bei 24 Fischen kann nicht mit Sicherheit deren Überleben bestätigt werden und 4 Fische starben während der Turbinenpassage (Abbildung 24).

Von den 4 Barben, die übers Wehr abgestiegen sind, überlebten zwei mit Sicherheit und bei zwei Individuen ist deren Überleben unklar. Die drei Fische, welche durch die Fischaufstiegsanlage abstiegen sind, überlebten alle.

#### 5) Prädation

Die Prädation spielte in der vorliegenden Studie eine nicht zu unterschätzende Rolle. Rund 31 % aller ausgesetzten Fische wurden mit hoher Wahrscheinlichkeit im Verlauf der Studie gefressen. Besonders Kormorane stehen in Verdacht für die Prädation verantwortlich zu sein, da Sender oftmals an Kormoranruheplätzen über längere Zeit geortet werden konnten. 18.7 % der Fische wurden erst nach dem Abstieg gefressen, der Grossteil mit 80.3 % dagegen bereits vorher. Etwa ein Viertel der Fische wurde bereits innerhalb der ersten 14 Tage nach dem Aussatz gefressen, die ersten sogar bereits noch am Aussatztag. Bei den durch die Turbinen abgestiegenen Fischen wurde rund ein Viertel der Fische innerhalb von 3 Tagen nach dem Abstieg gefressen. Als möglicher Grund kann eine Verletzung oder Desorientierung durch den Abstieg vermutet werden, was sie einem grösseren Prädationsrisiko aussetzt. Ein anderer Grund könnte sein, dass die Habitate im UW des WKW BAN nicht so viel Deckung bieten, wie der Stauraum im OW.

#### 6) Schwimmtiefen

Die Auswertung der Schwimmtiefen bei den radiotelemetrischen Untersuchungen zeigten keine klare Präferenz der Barben bzgl. Schwimmtiefen bei der Annäherung an das WKW BAN. Die Mehrheit der validen Signale lässt auf einen Abstieg oberhalb der Turbinenachse und eine Annäherung im oberen Bereich der Einlauföffnung schliessen. Es wird jedoch vermutet, dass Fische, welche sich in grösseren Tiefen dem Kraftwerk annähern, bedingt durch Störungen und Überlagerungen verschiedener Signale, schlecht oder gar nicht detektiert werden konnten. Zudem können die registrierten Schwimmtiefen nicht einem Aufenthaltsort des Fisches zugeordnet werden, da aus den Signalen keine klare Positionierung hervorgeht. Entsprechend ist zu vermuten, dass die Fische beinahe die gesamte Wassertiefe vor dem Turbineneingang nutzten.



## 7) Mobiles Tracking zur Erfassung langer Wanderdistanzen

Von den 194 beim mobilen Tracking gefundenen Fischen wurden 106 (54.6 %) nur oberhalb des WKW BAN detektiert (inkl. stationärer Antennen). Die meisten (86 Individuen) haben sich vom Aussatzpunkt mindestens 5 km flussaufwärts bewegt. Nur eine Barbe wurde lebend oberhalb des WKW Flumenthal gefunden. Die weiteren 88 wiedergefundenen Fische wurden unterhalb des KW BAN wieder detektiert. Ein Teil der abgestiegenen Fische (20 Individuen, 22.7 %) wurde nur direkt am bzw. unter dem WKW BAN detektiert, während die restlichen 68 Barben auch weiter flussabwärts gefunden wurden. Bei sechs Individuen konnte ein weiterer Abstieg über das WKW Wynau nachgewiesen werden, die unterste Detektion eines Fisches lag bei Aare km 36.75, im Unterwasserkanal des KW Rüchlig bei Aarau. Die beobachteten durchschnittlichen bzw. maximalen Wanderdistanzen (Home Ranges) betragen im aktuellen Projekt 6.91 bzw. 43.60 km. Diese Werte liegen tendenziell über den Werten der meisten internationalen Untersuchungen der letzten Jahrzehnte, bei denen für Barben (*Barbus barbus*) Home Ranges von wenigen hundert Metern bis zu 35 km nachgewiesen wurden.

## 8) Saisonale Wanderung

Da die FAH Bannwil als Winterstand für viele Barben dient, konnte analysiert werden, dass sich die Barben bei einem Temperaturrückgang unter 18° bzw. 16.6°C (2020 bzw. 2021) in ihr Winterhabitat zurückziehen. Der Austritt erfolgte in den sehr ähnlichen Zeiträumen vom 07.04. – 28.05.2020 und vom 22.03. – 27.05.2021 bei 11.7 bis 15.6°C bzw. 9.5 – 12.3°C. Verglichen mit dem Beginn der Aktivität im Frühjahr, herrschten beim Aufsuchen des Winterhabitats sehr hohe Temperaturen, bei denen die Fische durchaus noch aktiv sein und Nahrung zu sich nehmen könnten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Barben sich in dieser Zeit noch zwischen der Aare und der FAH bewegten. Dies könnte z. B. einem ersten Auskundschaften der Eignung der FAH oder einen Aufenthalt in der FAH nur während bestimmten Tageszeiten zu Beginn der Winterruhe bedeuten. Im Frühjahr verliessen die meisten Barben die FAH erst ab Ende April. Dabei scheint die Wassertemperatur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Während der Laichzeit (Mai/Juni) konnte eine Häufung der Fische über jeweils rund 3 km unterhalb der WKW BAN und Flumenthal beobachtet werden. Die bevorzugte Strecke unterhalb des WKW BAN befand sich 1.3 – 3 km unterhalb des Wehres, in der Rechtskurve oberhalb der Ortschaft Aarwangen. Beim WKW Flumenthal verteilten sich die Barben ab dem WKW auf einer Strecke von 2.5 km, bis unterhalb der Mündung des Ruessbachs in die Aare. Anhand der Aufenthaltsorte zur Laichzeit wurden diese Gebiete als vermutliche Laichgebiete ausgemacht.

## 9) Auswirkungen der Markierung auf die Fische

In der vorliegenden Studie wurde speziell darauf geachtet, dass das Gewicht des Radiosenders 2 % des Körpergewichtes des Fisches nie überschritt. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Barben in ihrem Schwimmverhalten höchstens in einer geringen Weise beeinträchtigt waren. Zwölf abgestiegene Fische wurden in der Fischtreppe wiedergefangen. Diese wiesen mit einer Ausnahme keine wesentlichen Beeinträchtigungen auf. Bei allen Barben war der durch das Markieren nötige Schnitt gut verheilt. Die Austrittsstelle der Antenne war bei einem Fisch entzündet. Ob die Barben direkt nach dem Eingriff vulnerabler sind, wurde im Rahmen der Studie nicht untersucht.

## 10) Eignung der Radiotelemetrie für die Dokumentation des Abwanderungskorridors

Die Radiotelemetrie ist eine ideale Methode, um den Abwanderungskorridor zu ermitteln, obwohl das exakte Verhalten der Fische vor dem Kraftwerk nicht detailliert mit einem Aufzeigen von Schwimmpfaden ermittelt werden kann. Die Radiotelemetrie war weniger gut geeignet bei Wassertiefen von > 6 – 8 m, da Signale aus grosser Tiefe nicht mehr regelmässig detektiert wurden. Für eine exakte Verhaltensstudie vor dem Kraftwerk könnte, je nach Ort, die akustische Telemetrie bessere Resultate liefern. Zudem kam es zu Überlagerungen von Signalen, wobei die IDs einiger Fische nicht gelesen werden konnten, wenn sich viele Individuen gleichzeitig an einem Ort befanden.

Der grosse Vorteil der Radiotelemetrie war es, die Fische über weite Distanzen verfolgen zu können (mobiles Tracking), auch im sehr turbulenten UW.

## 5 RANDBEDINGUNGEN UND ANFORDERUNGEN

### 5.1 Fischökologische Anforderungen

#### 5.1.1 Einleitung und Leitfischart

Auf der Strecke zwischen dem Bielersee und der Rheinmündung leben rund 44 Fischarten. Beim WKW BAN kann von einem sehr ähnlichen Artenspektrum ausgegangen werden. In den Untersuchungen von Guthruf (2006) wurde die Präsenz und das Potenzial folgender 34 Arten erwähnt:

Aal, Alet, Äsche, Bachforelle, Bachneunauge (potenziell), Barbe, Bitterling (potenziell), Blicke, Brachsenmen, Elritze, Felchen (potenziell), Flussbarsch, Groppe (potenziell), Gründling, Hasel, Hecht, Karpfen (potenziell), Laube, Moderlieschen, Nase, Regenbogenforelle, Rotaugen, Rotfeder, Schleie, Schmerle (potenziell), Schneider, Seeforelle, Sonnenbarsch, Steinbeisser (potenziell), Stichling (potenziell), Strömer (potenziell), Trüsche (potenziell), Wels (potenziell) und Zander (potenziell).

Als Leitfischarten gelten gemäss der IKAP [16] der Lachs und die Barbe. Dabei ist die Barbe ein typischer Vertreter der Fischpopulationen in der Aare und deren Ansprüche sind stellvertretend für andere häufige epipotamale Arten mit geringeren Schwimmleistungen. Der Lachs hingegen soll in der Schweiz wieder angesiedelt werden. Aus diesem Grund sollten seine Bedürfnisse bei der Dimensionierung von Fischwanderhilfen miteinbezogen werden. Grundsätzlich sollten bei der Planung jedoch die Bedürfnisse aller relevanten Fischarten miteinbezogen werden, um die Durchgängigkeit für alle zu ermöglichen.

#### 5.1.2 Hydraulische Anforderungen und Parameter

Um eine möglichst hohe FLW erzielen zu können, gilt es einige hydraulische Anforderungen an die Fischabstiegsmassnahme (FAM) zu erfüllen. In erster Linie sollten die Anströmbedingungen, die in Kap. 4.1.5 beschrieben wurden, möglichst homogen sein. Dies kann durch das Verhältnis zwischen der tangentialen  $v_t$  und der normalen  $v_n$  Geschwindigkeitskomponente beurteilt werden. Ist das Verhältnis  $> 1$ , wird von einer guten FLW zum Bypass hin ausgegangen.

Des Weiteren sind in Tabelle 4 diverse Grenzwerte aufgelistet, die zur Gewährleistung der Auffindbar- und Passierbarkeit eingehalten werden sollten. Sie stammen aus dem vom BAUFU publizierten Dokument zur Wiederherstellung der Fischwanderung [7]. Soweit möglich, wurden die Grenzwerte bei der Planung der FAM berücksichtigt, Abweichungen davon werden in den entsprechenden Kapiteln des Berichts erläutert.

Tabelle 4: Grenzwerte aus [7] für Abstiegsanlagen.

|                       | Parameter                                   | Kennwert   |
|-----------------------|---|--|
| <b>Rechen</b>         | lichter Stababstand gemäss VAW für FLR [14] | < 50 mm  |
|                       | Anströmgeschwindigkeit ( $v_n$ )            | $\leq$ Dauerschwimmgeschwindigkeit Leitfischart (0.4 – 0.8 m/s)  |
|                       | Anströmwinkel Rechen                        | < 45° zur Hauptfliessrichtung, resp. $v_t/v_n > 1$   |
|                       | Höhe Sohlleitwand                           | 15–20 % der Wassertiefe; $\geq 0.50$ m   |
|                       | Tiefe Tauchwand                             | 30–50 % der Wassertiefe; $\geq 1$ m  |
| <b>Bypasseinstieg</b> | Anzahl Einstiege                            | Ein Einstieg pro 10–15 m Rechenlänge   |
|                       | Sohlenanbindung                             | Via Sohlleitwand und sohlennaher Öffnung   |
|                       | Form  | Lichtoffenes, rechteckiges Querprofil  |
|                       | Fliessgeschwindigkeiten vor dem Einstieg    | 1 bis 1.5-fache mittlere Anströmgeschwindigkeit, aber mindestens 0.30 m/s und in Richtung Einlauftür langsam und gleichmässig ansteigend |
|                       | Fliessgeschwindigkeiten an der Einlauftür   | Über der Sprintgeschwindigkeit der Zielfische; max. 3 m/s  |
| <b>Bypass</b>         | Lichte Breite                               | 0.2 – 1 m  |
|                       | Wassertiefe                                 | 0.30 – 1.50 m  |

|                      |   |  |
|----------------------|---|--|
|                      | Neigung des Kontrollbauwerkes   | 10 – 30°   |
|                      | Fliessgeschwindigkeit im Überfallstrahl von überströmten Kontrollbauwerken                | ≤ 7 m/s  |
|                      | Fliessgeschwindigkeiten im horizontalen Schlussstrahl von unterströmten Kontrollbauwerken | ≤ 3 m/s  |
|                      | Minimale Dotation bei optimalen Bedingungen am Leitreechen-Bypass-System                  | Ergibt sich aus der Bypassdimensionierung, aber ≥ 100 l/s  |
|                      | Minimale Dotation bei ungünstigen Bedingungen am Leitreechen-Bypass-System                | Schräg angeströmter Rechen: ≥ 2 % des mittleren Betriebsabflusses<br>Nicht schräg angeströmter Rechen: ≥ 5 % des mittleren Betriebsabflusses |
|                      | Krümmungsradius   | ≥ 3.0 m oder ≥ 5 x Bypassbreite  |
| <b>Bypassauslass</b> | Fallhöhe bzw. Aufprallgeschwindigkeit auf die Wasseroberfläche                            | ≤ 2.5 m bzw. ≤ 7 m/s   |
|                      | Wassertiefe im Tosbecken  | ≥ 1.3 m  |
|                      | Leistungsdichte im Tosbecken  | ≤ 500 W/m <sup>3</sup>   |
|                      | Austrittsgeschwindigkeit bei Unterwasseranbindung   | ≤ 4.5 m/s  |

## 5.2 Verfügbarkeit

Bezüglich der Verfügbarkeit eines Leitreechen-Bypass-Systems gibt es gemäss Kenntnisstand des Projektteams keine definierten Anforderungen aus der Literatur oder Gesetzgebung. Der vorliegend geplante Bypass wurde in einem ersten Planungsschritt in Anlehnung an die Verfügbarkeit von FAH auf den Pegelbereich für die Abflüsse  $Q_{30}$  bis  $Q_{330}$  ausgelegt. Am WKW BAN ist dies insbesondere relevant, weil hier der Staupegel bei ansteigenden Aarezuflüssen ( $> 350 \text{ m}^3/\text{s}$ ) abgesenkt werden muss.

Diese Randbedingungen wurden als Grundlage für die hydraulische Auslegung des Bypass gewählt, können jedoch in einer späteren Planungsphase problemlos angepasst werden, wenn genauere Anforderungen an die Verfügbarkeit bekannt sein sollten.

## 5.3 Technische Anforderungen

Die Tragsicherheit der bestehenden Anlage soll nicht beeinträchtigt werden und die Hochwassersicherheit ist zu gewährleisten. Die Anforderungen hinsichtlich Stauanlagensicherheit sind zu jedem Zeitpunkt, insbesondere während der Bauphase, wie auch für den dauerhaften Betrieb nach der Umsetzung, zu gewährleisten.

Detaillierte Auslegungen und statische Bemessungen erfolgen im Rahmen des Bauprojekts.

## 5.4 Betriebliche Anforderungen

Die geplante Anlage soll den aktuellen Betrieb nicht beeinträchtigen und die Produktion am WKW BAN nur minimal einschränken. Die neu geplanten Anlagenteile sind so zu bemessen und zu gestalten, dass der Betrieb möglichst automatisiert erfolgen und der Unterhalt minimiert werden kann. Die Zugänglichkeit zu den bestehenden Anlagen soll weiterhin gewährleistet und abgesehen von temporären Einschränkungen während der Bauzeit uneingeschränkt möglich sein.

### 5.4.1 Anforderungen an die Rechenreinigung

Am WKW BAN ist zeitweise mit sehr hohen Schwemmholzmengen zu rechnen (vgl. Kap. 4.5). Es muss davon ausgegangen werden, dass von der Aare ganze Baumstämme und Wurzelstöcke herangetrieben werden. Diese sollten am Rechen in Bannwil entfernt werden können. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen soll die RRM so ausgelegt werden, dass sie stündlich 20 bis 30 m<sup>3</sup> Schwemmholz entnehmen und der Entsorgung übergeben kann. Weiter sollen Möglichkeiten geprüft werden, um bei Bedarf Schwemmgut ohne Entnahme ins UW weiterzugeben, um die Rechenreinigung bei Extremereignissen zu entlasten. Dies beispielsweise, wenn aus der Emme ganze Schwemmholzteppiche herangeschwemmt werden.

Auch die vermehrt in der Kurveninnenseite sowie vor den Maschineneinläufen liegenden Ablagerungen sind problematisch für den Betrieb des Kraftwerks. Das Material muss, insbesondere nach Hochwasserereignissen regelmässig entfernt werden. Bei der Wahl des Systems zur Rechenreinigung ist die maschinelle Unterstützung der RRM zur Entfernung oder Remobilisierung der Ablagerungen zu berücksichtigen. Bei der Projektierung des FLRs ist auch zu beachten, dass im Sommer häufig Seegrass (Abbildung 26) und im Herbst während 6-9 Wochen viel Laub in der Aare transportiert wird. Dieses Geschwemmel legt sich bereits heute um die Rechenstäbe und kann von der RRM kaum abgestreift werden. In dieser Zeit läuft die RRM bei einem Rechenabstand von 82 mm täglich 2-3 mal.

Auf der Brücke für den Bar Rack muss die erforderliche Anzahl RRM inklusive Mulden Platz finden. Ausserdem muss die Brücke für Lastwagen zugänglich sein. Betriebliche Abläufe für die Entsorgung und Unterhalt sind zu berücksichtigen. An den Enden des Leitrechens, d.h. beim Übergang zum Mittelpfeiler oder ans Ufer ist bei der Projektierung zu beachten, dass bis zum letzten Stab des Bar Racks vor dem Rechen in Anströmrichtung Platz für die RRM benötigt wird. Dieses konstruktive Detail ist in den weiteren Projektphasen noch vertieft zu planen.



Abbildung 25: Hochwasser 21.8.2005.



Abbildung 26: Seegrass vor dem Rechen 5.8.2005.



## 5.5 Weitere Anforderungen und Randbedingungen

### 5.5.1 Bootstransportanlage

Am WKW BAN besteht eine bediente Bootstransportanlage, welche Boote mit einem Gewicht von bis zu 2 t vom OW ins UW respektive umgekehrt befördert. Die Anlage ist ganzjährig geöffnet, wird jedoch vorwiegend in den Sommermonaten genutzt. Von Oktober bis April werden nur wenige Boote transportiert.

Die Boote können an zwei Bootsrampen (vgl. Abbildung 27 rechts) ausgewässert werden. Mit einem speziell dafür vorgesehenen Bootstransportwagen (vgl. Abbildung 27 links) werden die Boote auf den Strassen rund um das Kraftwerk befördert und wieder eingewässert. Der Wagen hat eine Länge von 7.5 m und eine Breite von 2.3 m. Die Boote liegen oben auf dem Wagen und können je nach Grösse deutliche Überstände aufweisen.

Der Bootstransport muss erhalten bleiben oder bei allfälligen Konflikten mit dem Fischabstieg angepasst und erneuert werden.



Abbildung 27: links: Bootstransportwagen zur Umsetzung der Boote; rechts: Lokalisierung der Rampen zum Ein- und Auswassern der Boote am WKW BAN.



Abbildung 28: Rampe zum Ein-/Auswassern der Boote im UW (links) sowie im OW (rechts) des WKW BAN.

### 5.5.2 Projekt Fischaufstieg

Die bestehende FAH am WKW BAN ist sanierungspflichtig nach Art. 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei und nach Art. 83a i.V.m. Art. 43a des Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer. Gemäss der revidierten Verfügung vom AWA des Kantons Bern vom 25.03.2022 [5] wird die Frist für die Umsetzung der Sanierung des Fischaufstiegs auf den 31.12.2025 festgesetzt.

Die Sanierung des Fischaufstiegs am WKW BAN wird durch den Neubau einer FAH am linken Aare Ufer ermöglicht. Der bestehende Vertikalschlitzpass wird entsprechend den Vorgaben aus der IKAP [16]

und gemäss den geltenden Anforderungen der DWA (Merkblatt DWA-M 509) [17] ersetzt. Geplant ist ein neuer Vertikalschlitzpass mit grösseren Becken und geringeren hydraulischen Belastungen, um den Zielfischarten Lachs und Barbe gerecht zu werden. Zusätzlich zum Ausbau des bestehenden Einstiegs unmittelbar am Kraftwerksauslauf ist rund 100 m unterhalb auf der orographisch linken Seite ein zusätzlicher Einstieg geplant, welcher schwimmschwächeren und kleineren Fischen einen besseren Aufstieg ermöglichen soll. Die beiden Einstiegsstränge werden in einem Vereinigungsbecken zusammengeführt und um die Kraftwerksanlage in Richtung OW geführt. Der Anschluss an die Aare im OW wird durch ein naturnahes Gerinne, zusätzliche VSP-Becken und dem Ausstiegsbauwerk sichergestellt. Der Ausstieg kommt rund 280 m oberhalb des Kraftwerkeinlaufs zu liegen, so dass die im vorliegenden Bericht untersuchten Varianten zur Positionierung des FLRs mit Bypass-System nicht im Konflikt mit der neuen FAH stehen.

Das Projekt WW BAN FAH (Abbildung 29) wurde mit dem Gesamtbauentscheid vom September 2020 bewilligt. Der Baustart erfolgte im Herbst 2022 und die Ausführung dauert voraussichtlich bis 2025.

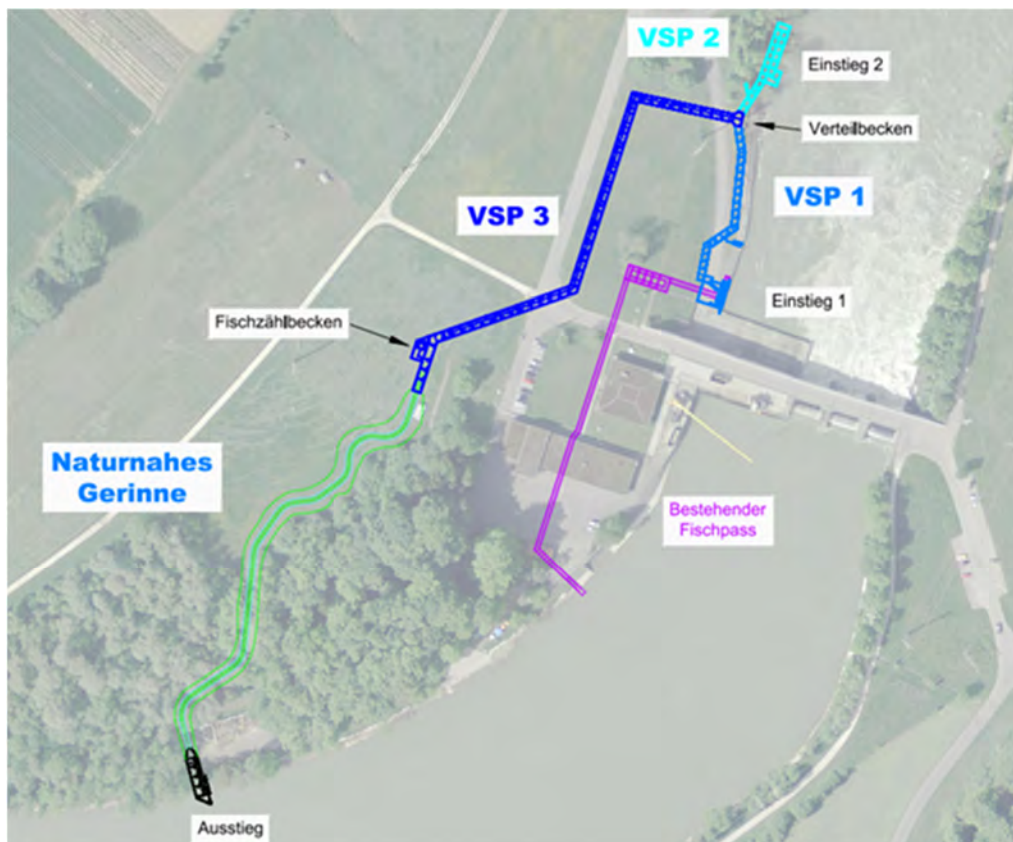


Abbildung 29: Übersicht der in Realisierung stehenden Fischaufstiegsanlage am WKW BAN [12].

### 5.5.3 Denkmalpflege

Die Wasserkraftanlage ist gemäss Fachbericht Denkmalpflege vom 4. Mai 2020 mit dem Objekt Grubenstrasse 16 im kantonalen Bauinventar aufgenommen. Die Anforderungen bezüglich des Denkmalschutzes wurden für den aktuellen Planungsstand mit den kantonalen Behörden nicht weiter abgeklärt und sind im Bauprojekt zu prüfen.

### 5.5.4 Freizeitnutzung

Das Gebiet um das WKW BAN wird durch Freizeitnutzende stark frequentiert. Wanderwege entlang der Aare laden zu Spaziergängen ein und mehrere Velorouten führen am orografisch rechten Aareufer entlang. Auch die Etappe 4 der nationalen Kanturoute 1 von Wangen a. A. nach Murgenthal führt am WKW Bannwil vorbei. Die Kanuten wassern oberhalb des Kraftwerks aus und umgehen das Kraftwerk

zu Fuss. Rund 100 m unterhalb des Kraftwerksauslaufs befindet sich eine Kanurampe zum Einwässern im Unterwasser des WKW. Die Schlauchbootfahrer nutzen dieselben Aus- und Einstiegsmöglichkeiten. Im Aarebeizli, südlich des Kraftwerks, wird in den Sommermonaten den Erholungssuchenden die Möglichkeit zum Einkehren geboten.

Der Freizeitnutzung ist im Projekt Rechnung zu tragen. Die Routen des Langsamverkehrs sind weiterhin zu erhalten und die Zugänglichkeit wo nötig einzuschränken. Massnahmen zur Besucherlenkung sind bei Bedarf in den weiteren Planungsphasen zu konkretisieren.

## 6 VARIANTENSTUDIUM

### 6.1 Positionierung Fischleitrechen (FLR)

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen [4] wurden verschiedene Positionen für mögliche FLR untersucht. Folgend werden zwei Varianten genauer beschrieben und schlussendlich miteinander verglichen. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen wurden zahlreiche weitere Positionen von FLR geprüft und hinsichtlich ihrer FLW und der fischbiologischen Anforderungen untersucht. Zahlreiche Varianten mussten aufgrund ihrer ungenügenden zu erwartenden FLW wieder verworfen werden oder waren technisch nicht umsetzbar. Auf diese Varianten wird hier nicht mehr eingegangen. Sie können dem Bericht zu den numerischen Untersuchungen [4] entnommen werden.

Bei Variante 1 (V1) verläuft der FLR vom Trennpfeiler zum linken Ufer hin (Abbildung 30, links) und bei Variante 2 (V2) verläuft er von der linken Uferseite zum Trennpfeiler hin (Abbildung 30, rechts).



Abbildung 30: Schematische Darstellung der untersuchten Positionen eines FLRs mit erforderlichen baulichen Anpassungen des Trennpfeilers (links V1, rechts V2).

Für V1 muss der Trennpfeiler um rund 87 m verlängert werden, um einen Winkel  $\alpha$  des FLRs zur Maschinenachse von  $35^\circ$  zu erzielen. Die Trennpfeilerbreite entspricht mit 4.3 m der Breite zwischen Turbine 3 und dem Wehrfeld 1. Das Verhältnis der tangentialen zur normalen Geschwindigkeitskomponente ( $v_t/v_n$ ) beträgt beinahe auf der gesamten Rechenebene  $> 1$ , wodurch eine gute FLW zum Bypass hin erwartet werden kann. Der gewichtigste Nachteil der V1 sind die hohen normalen Geschwindigkeitskomponenten, die aufgrund des langen Trennpfeilers entstehen. In weiten Teilen betragen diese mehr als 1.5 m/s, wodurch die angenommenen Dauerschwimmgeschwindigkeiten der Leitfischarten über einen grossen Teil der Rechenfläche überschritten werden.

Für V2 mit dem FLR von links nach rechts wird der Rechen in einem Winkel  $\alpha$  von  $35^\circ$  zur Maschinenachse angeordnet. Die Länge beträgt rund 100 m und wird in drei Felder mit Zwischenpfeilern aufgeteilt. Der Trennpfeiler zwischen Wehr und Kraftwerkseinlauf wird auch hier mit einer Breite von 4.3 m rund 65 m ins OW verlängert, wobei der Pfeilerkopf leicht abgewinkelt und mit einer wehrseitigen Auskrägung versehen wird. Die Simulation unterschiedlicher Lastfälle zeigte auch hier eine gute FLW des Rechens zum Bypass hin. Die normalen Geschwindigkeitskomponenten liegen über weite Teile des Rechens bei  $< 0.8$  m/s und sind damit deutlich niedriger als bei V1.

## 6.2 Linienführung Bypass

Entsprechend der Anordnung des FLRs gemäss Variante 1 und 2, gibt es für den Bypass die Möglichkeiten, dass dieser rechter- oder linkerhand des geplanten FLR zu liegen kommt.

Rechterhand des FLR (V2) wurde einzig die Möglichkeit studiert, den Bypass im Trennpfeiler zu integrieren, wobei die technische Machbarkeit als gegeben eingestuft wird (siehe Abbildung 31). Der Bypass kann durch das sich im Trennpfeiler befindliche bestehende Treppenhaus geführt werden, welches mit einigen Umbauarbeiten auch weiterhin zugänglich bleiben wird. Im UW ist vor der Rückgabe der Fische in einem freien Überfallstrahl der Durchbruch des Trennpfeilers mit einer leichten Kurve des Bypasskanals vorzusehen. Durch diese Kurve werden die Fische unterhalb des Wehrfeldes 1 (WF1) ins UW abgegeben. Dadurch kann ein Überspannen des Dammbalkenlagers, welches sich unmittelbar in der Verlängerung des Trennpfeilers im UW befindet, verhindert werden, so dass das Dammbalkenlager auch weiterhin für den Betrieb gut zugänglich bleibt.

Für die Positionierung des FLRs gem. Variante 1 konnten uferseitig zwei machbare Abstiegskorridore gefunden werden, die Platzverhältnisse sind jedoch sehr beengt. Die eine der beiden Varianten führt um das Kommandogebäude, während die andere direkt am Ufer angrenzend verläuft (siehe Abbildung 31). Die technische Machbarkeit kann auch für diese beiden Varianten als gegeben erachtet werden. Sie weisen jedoch insbesondere im UW räumliche Konflikte mit den bestehenden Anlagen resp. mit der in Realisierung stehenden FAH auf. Damit die Einleitung des Bypass in einem freien Überfall erfolgen kann, müsste der Bypass-Kanal über den Vorplatz des Maschinensaals resp. die Zufahrt geführt werden. Der Zugang zum Maschinensaal wird dadurch in der Höhe begrenzt.



Abbildung 31: Mögliche Linienführungen eines Bypasses in Kombination mit den beiden Varianten zur Positionierung eines FLRs.

Das Kriterium gemäss Tabelle 4, welches einen Bypasseinstieg pro 10 – 15 m Rechenlänge vorsieht, kann bei allen Anordnungen nicht eingehalten werden, da die technische Machbarkeit als nicht gewährleistet eingestuft wird.

## 6.3 Rechenreinigung

Die Positionierung des FLRs ist für beide untersuchten Varianten, Bypass am Mittelpfeiler und Bypass uferseitig (vgl. Abbildung 31) nicht optimal mit der Rechenreinigung vereinbar. Durch die Ausrichtung des Rechens zur Erreichung einer Leitströmung für die Fische wird die Rechenfläche in etwa verdoppelt, wobei die Anströmgeschwindigkeiten im Durchschnitt reduziert werden. Nichts destotrotz muss eine Rechenfläche von rund 700 m<sup>2</sup> gereinigt werden können.

Die Verlängerung des Trennpfeilers der FLR-Variante 2 mit Bypass am Trennpfeiler wirkt sich ungünstig auf das Verlegen des Rechens durch Schwemmholz aus. Dennoch ist das Schwemmholzaufkommen mit der FLR-Variante 2 besser zu bewältigen als bei der FLR-Variante 1, da der Rechen in Richtung des Wehres ausgerichtet ist. Dadurch sollte bei hohem Schwemmholzanfall zumindest ein Teil über das Wehr abgeschwemmt werden können.



Wird der FLR Richtung Ufer orientiert (FLR-Variante 1) und zu einem ufernahen Bypass geführt, wird sich das Schwemmholz im Dreieck zwischen FLR und Ufer verkeilen und Richtung Bypasseinlauf gedrückt. Es ist davon auszugehen, dass nur ein geringer Teil des Schwemmgutes über das Wehr abgeschwemmt und in das UW weitergeleitet werden kann. Durch die Fließgeschwindigkeiten und den kompakten Schwemmholzteppich wird das Schwemmgut stark an den Rechen gedrückt, was die Rechenreinigung und insbesondere das Entfernen einzelner grosser Baumstämme oder Wurzelstöcke deutlich erschwert. Es wird erwartet, dass eine dickere Schwemmholzschicht entstehen kann und dadurch das Holz auch in tiefere Bereiche des Leitrechens gedrückt wird. Kommen dazu noch Sedimentablagerungen, welche sich mit Laub und Geschwemmsel vor dem Rechen ablagern, kann eine Reinigung gar verunmöglicht werden. Weitere Untersuchungen bezüglich der Verklauungswahrscheinlichkeit des FLRs sowie allfällige Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit der gesamten Anlage wurden vorläufig noch nicht vorgenommen.

Aufgrund der engen Platzverhältnisse bei der Ausrichtung des FLRs Richtung Ufer in Kombination mit dem Bypasseinstieg lassen zudem kaum Platz für Mulden und den Abtransport des Schwemmgutes zu.


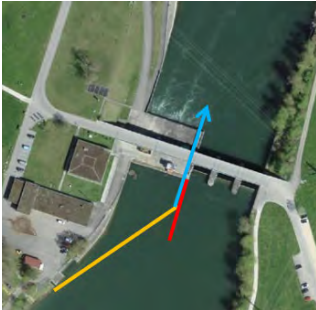
Es wurde davon ausgegangen, dass die Rechenreinigung für die Variante Bypass uferseitig nicht bewältigt werden kann. Entsprechend ist die Variante mit dem Bypass am Trennpfeiler hinsichtlich Rechenreinigung zu bevorzugen.

Die Wahl des Typs der Rechenreinigungsmaschine (RRM) ist nicht ausschlaggebend für den Variantenentscheid hinsichtlich der Positionierung des Leitrechen-Bypass-Systems und kann unabhängig davon erfolgen. Die Aspekte der verschiedenen Typen zur RRM sowie deren Vor- und Nachteile sind in Kap. 8.1 dokumentiert.

## 6.4 Variantenvergleich

Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Variantenvergleich zur Positionierung des FLRs zusammengestellt.

Tabelle 5 Variantenvergleich Positionierung Leitrechen-Bypass-System

|                          | Bypass uferseitig   | Bypass Trennpfeiler   |
|--------------------------|---|---|
| Schema                   |                      |                    |
| Fischleitwirkung (FLW)   | FLW scheint über gesamte Rechenlänge gewährleistet<br>Bereiche mit $v_t/v_n < 1$ sind räumlich begrenzt | FLW scheint über gesamte Rechenlänge gewährleistet<br>Bereiche mit $v_t/v_n < 1$ sind räumlich begrenzt |
| Anströmgeschwindigkeit   | mehrheitlich $v_n > v_{Dauerschwimm}$<br>$v_{n \max}: 1.6 \text{ m/s}$                                  | Lokal $v_n > v_{Dauerschwimm}$<br>$v_{n \max}: 1.1 \text{ m/s}$<br>mehrheitlich $v_n < 0.8 \text{ m/s}$ |
| Tech. Machbarkeit Bypass | Gegeben   | Gegeben   |
| Räumliche Konflikte      | Querung Zufahrt WKW und Boottransport schwierig   | Konflikt mit best. Dammbalkenlager lösbar   |

|                 |  |   |
|-----------------|--|---|
| Rechenreinigung | Ungünstige Ausrichtung der Re-<br>chenebene<br>→ Keil mit Schwemmholzteppich,<br>Kein Platz für Mulden | Günstigere Ausrichtung der Re-<br>chenebene<br>→ Möglichkeit zur Weiterleitung<br>Schwemmholz Richtung Wehr |
|-----------------|--|---|

Die technische Machbarkeit eines Bypasses ist für beide Variante gegeben, jedoch mit grossen bau-lichen Anpassungen verbunden. Eine FLW kann bei beiden Varianten erwartet werden. Es gibt jedoch bei beiden Varianten Bereiche mit ungenügender Leitwirkung, welche jedoch räumlich begrenzt sind. Die geringeren Anströmgeschwindigkeiten des FLRs, die kleineren räumlichen Konflikte mit beste-henden Anlagenteilen sowie insbesondere die günstigere Ausrichtung des FLRs hinsichtlich der Re-chenreinigung sowie die grösseren Platzverhältnisse uferseitig zum Abtransport des Schwemmgutes sprechen für die Variante mit einem Bypass am Trennpfeiler.

## 6.5 Variantenentscheid

Aufgrund o.g. Argumente wird die **Variante** mit einem **zum Wehr hin orientierten FLR** und einem **Bypass im Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehranlage** weitergeplant. Die Variante mit einem ufernahen Bypass wird nicht weiter konkretisiert.

## 7 OPTIONEN

### 7.1 Stabformen

Je nach Stabform werden unterschiedliche hydraulische Verluste generiert. Die in Abbildung 32 ab-gebildeten Stabformen wurden in physikalischen und/oder numerischen Modellen untersucht. Da-bei bildet die Form Modified Bar Rack (MBR, eckig) die klassische Rechenstabform. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Rechenkonfiguration nebst hohen Fließverlusten zu einer asymmetrischen Strömung unterhalb des Rechens führt und damit die Turbinenanströmung negativ beeinflusst. Die weiteren Stabformen wurden entwickelt, um die beschriebenen Auswirkungen zu reduzieren.

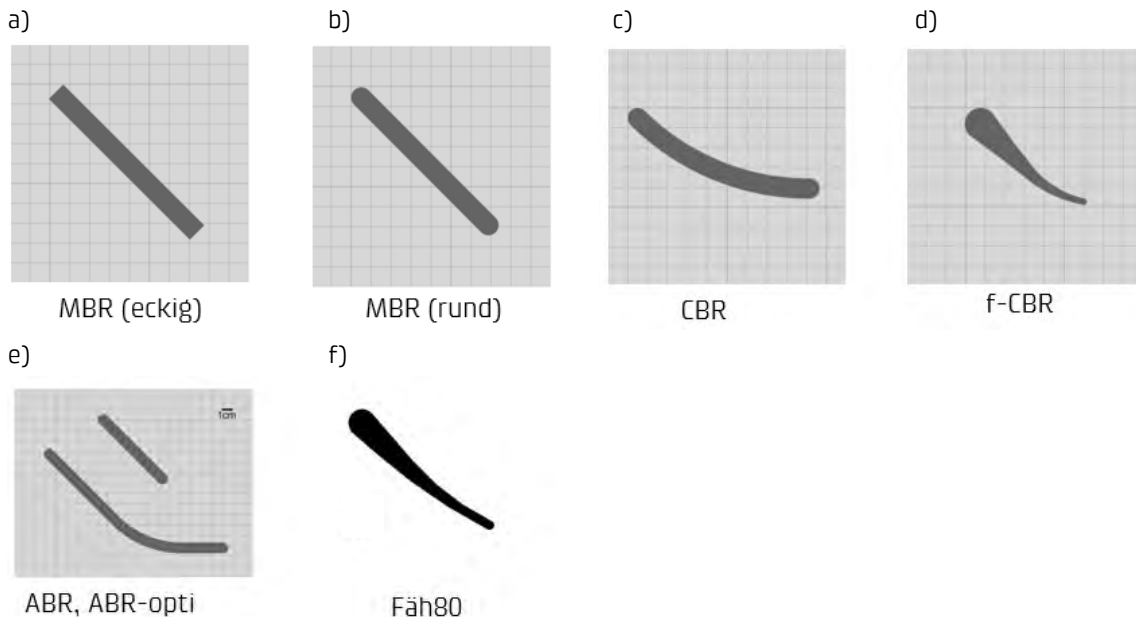


Abbildung 32: Untersuchte Rechenstabformen: a) scharfkantiger Modified Bar Rack (MBR), b) MBR rund, c) Cur-ved Bar Rack (CBR), d) foil-shaped Curved Bar Rack (f-CBR), e) Alternating Bar Rack (ABR) und ABR-opti, f) Fäh80

Je nach vorherrschenden Bedingungen reagieren die verschiedenen Stabformen sensibler auf gewisse hydraulische Randbedingungen. Im Fall des WKW BAN unterscheiden sich die Anströmbedingungen entlang des Rechens (siehe Abbildung 33), weshalb mittels numerischer Berechnungen diejenige Rechenstabform gesucht wurde, welche möglichst geringe Verluste bei unterschiedlichen Anströmwinkel aufweist.

Die numerischen Untersuchungen wurden unter der Annahme einer einheitlichen Ausrichtung der Rechenstäbe mit den Anströmwinkeln von 20° und 50° durchgeführt. Ursprünglich wurden alle Stabformen für Anströmwinkel von 30° konzipiert. Die erhaltenen Resultate sind in Abbildung 32 dargestellt. Die Rechenstabform f-CBR zeigt sich bezüglich Verlusten am wenigsten anfällig für veränderte Anströmwinkel, weshalb diese Rechenstabform für die Bestvariante gewählt wurde. Bei 20° erhöht sich der Verlustbeiwert nur leicht von 0.89 auf 1.04. Bei 50° verringert er sich deutlich auf 0.51. Die Reduktion des Strömungswiderstands (bei 50°) wirkt sich auf die Fischleitwirkung aus: Die Fische nehmen die Barriere dann als geringfügiger war. Es besteht die Gefahr, dass sich der Anteil der Fische, die den Rechen in Richtung der Turbinen passieren, erhöht. Dies kann im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen allerdings nicht eindeutig beurteilt werden.

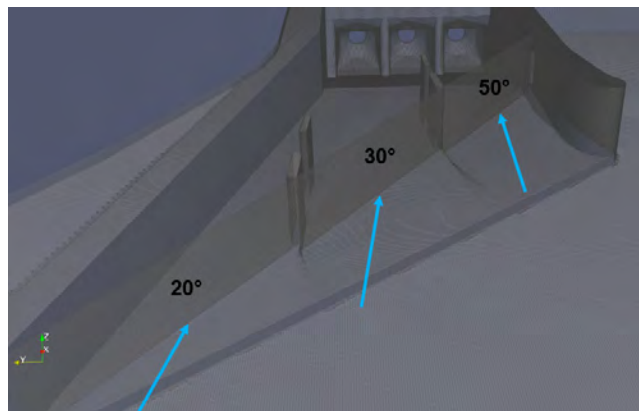


Abbildung 33: Unterschiedliche Anströmwinkel entlang des geplanten Fischleitrechens (FLR).

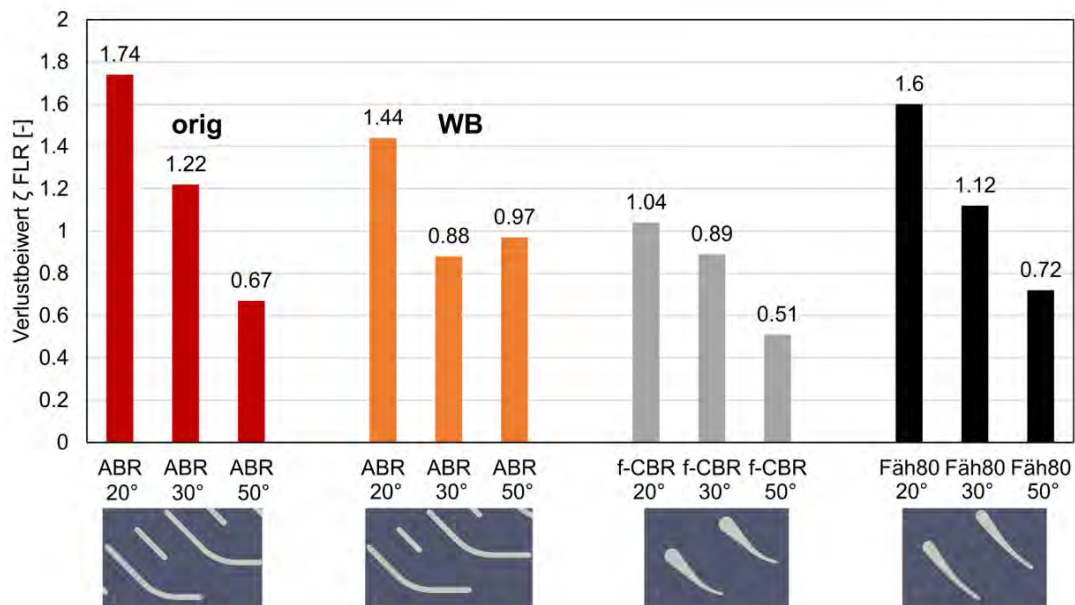


Abbildung 34: Erhaltene Verlustbeiwerte für alle getesteten Stabformen mit unterschiedlichen Anströmwinkel von 20°, 30° und 50°.

Die abgeboogene Form sowie die Verjüngung des Fliessquerschnitts bei der Rechenformen ABR erhöhen die Gefahr von Verklausungen. Eine Reinigung zwischen den Rechenstäben wird aus heutiger Sicht als schwierig bis unmöglich beurteilt. Der f-CBR und der Föh80 ähneln dem heute gängigen Rechenprofil. Eine maschinelle Reinigung sollte möglich sein.

## 7.2 Tauchwand

Zur Verbesserung der FLW von oberflächennah wandernden Fischen könnte eine Tauchwand entlang der Leitebene installiert werden. Gemäss den fischökologischen Anforderungen in Tabelle 4 wird zur besseren Leitfähigkeit eine Tiefe von  $\geq 1$  m zur besseren Leitfähigkeit empfohlen. Aufgrund von Erfahrungen im Betrieb wird jedoch der Einsatz einer Tauchwand als problematisch erachtet in Bezug auf den Umgang mit anfallendem Schwemmholz. Durch die Tauchwand werden die Geschwindigkeiten im Nahbereich erhöht und aufgrund der Querschnittsverengung durch die Tauchwand nach unten gerichtet. Die Betreiberin geht davon aus, dass das am Rechen ankommende Schwemmholz und Geschwemmsel durch diesen Effekt in die Tiefe gezogen wird und sich dadurch die Rechenreinigung erschwert.

Damit die Rechenreinigung durch die Harke der RRM erfolgen kann, müsste die Tauchwand hinter der Rechenebene angeordnet werden. Dadurch kann sich Schwemmholz vermehrt direkt im Rechen verteilen. Der Leiteffekt für die Fische nimmt so jedoch ab.

Weiter haben die numerischen Untersuchungen gezeigt, dass sich jegliche Tauchwand eher negativ auf die Anströmbedingungen am Rechen auswirkt. Durch die Reduktion der Rechenfläche werden zudem die Anströmgeschwindigkeiten unmittelbar vor der Rechenebene zusätzlich erhöht. Dieser Effekt kann sich insbesondere im oberflächennahen Bereich stark auswirken, weshalb schwächere Fische an den Rechen gedrückt werden könnten.

Aus diesen Gründen wurde auf die Planung einer Tauchwand verzichtet und ist in der in Kap. 8 dokumentierten Bestvariante nicht vorgesehen.

## 7.3 Sohlleitwand

Die Auswirkungen einer rund 1 m hohen Sohlleitwand wurde im Rahmen der numerischen Modellierungen untersucht. Aufgrund der Situation mit der linksseitigen Kurvenbank unmittelbar vor dem Kraftwerkseinlauf wird eine Verlandung der Schwelle als denkbar erachtet. Eine Spülung abgelagerter Sedimente in Richtung Wehr wird als nicht oder nur schwer realisierbar eingeschätzt, da der potenzielle Abschwemmweg durch den Trennpfeiler unterbrochen wird. Die numerischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Sohlleitwand ausserdem negativ auf die Anströmung des FLRs auswirkt. Zur besseren Einbindung des Bauwerks an die vorliegenden topographischen Bedingungen, wird eine Abstufung der Unterkante des FLR (auf drei Stufen) vorgeschlagen. Um die Sedimente wehrseitig des verlängerten Trennpfeilers abschwemmen zu können, wurden die Auswirkungen einer vorgelagerten und an den verlängerten Trennpfeilerkopf anschliessende Sohlleitwand untersucht. Der numerischen Studie ist zu entnehmen, dass bei grösseren Abflüssen ( $> HQ_2$ ) allfällige Sedimente entlang der Schwelle in Richtung Wehr abgeschwemmt werden können.

Die Auswirkungen aller Veränderungen (Tauchwand, Abstufung des Bauwerks und vorgelagerter Sohlleitwand) auf die hydraulischen Verhältnisse wurden anhand der Modellversuche als verschlechternd beurteilt. Hauptsächlich werden diese Veränderungen durch die Reduktion der durchströmten Fläche von ca. 15 % (aufgrund der Abstufung) verursacht. Dennoch wird angenommen, dass die positiven Effekte der Anpassungen hinsichtlich der baulichen Umsetzung und des betrieblichen Unterhalts überwiegen.

## 7.4 Sohlennahe Abschwemmöffnung im Trennpfeiler

Entsprechend einer oberflächennahen Öffnung zum Abschwemmen von Schwemmholz Richtung Wehr (vgl. Kap. 8.3) empfiehlt das Planerteam auch eine sohlennahe Öffnung in der weiteren Planung in Betracht zu ziehen. Lagern sich Feststoffe, Feinsedimente, gesättigtes Schwemmholz oder Ähnliches vor dem Einstieg in den Bypass ab, kann das Material nur bedingt mit der RRM entfernt werden. Eine

Öffnung im Trennpfeiler, welche das Durchschieben des Materials Richtung Wehr ermöglicht, erleichtert den Betrieb, minimiert Unterhaltmassnahmen und stellt einen möglichst durchgehenden Betrieb des Bypasses sicher. Wie die oberflächennahe Öffnung, ist auch die sohlennahe Öffnung im Normalbetrieb verschlossen und wird nur im Bedarfsfall zum Abschwemmen von Material geöffnet.

Eine sohlennahe Abschwemmöffnung wurde in der vorliegend dokumentierten Bestvariante (vgl. Kap. 8) nicht projektiert. Der Bedarf und Nutzen ist in einer weiteren Planungsphase zu prüfen und die Anlage ggf. entsprechend zu konkretisieren.

## 7.5 Vorgelagerter Grobrechen

Mit einem zum FLR vorgelagerten Grobrechen könnte grösseres Schwemmgut vom FLR ferngehalten werden, wodurch der Anfall an Schwemmgut am FLR reduziert werden könnte. Dies bedingt jedoch eine zusätzliche Rechenkonstruktion mit Rechenbrücke, Rechenreinigungsanlage und Schwemmgutentsorgungssystem, da auf eine Rechenreinigungsanlage am FLR auch mit einem vorgelagerten Grobrechen nicht verzichtet werden kann. Es müsste also eine zweite Anlage realisiert, unterhalten und betrieben werden.

Eine Grobkostenschätzung zeigt, dass bei zeitgleichem Bau des FLR und einem vorgelagerten Grobrechensystem mit rund 15 Mio. CHF Mehrkosten gerechnet werden müsste. Die betrieblichen Kosten inkl. den Produktionseinbussen schlagen mit geschätzten 400'000 CHF/a zu buche. Im Weiteren ist unklar, welche Auswirkungen ein Grobrechen auf die Leitwirkung des FLR hat und es ist zu beachten, dass der Grobrechen für die Fische ein zusätzliches Hindernis darstellt. Mit der bestehenden Bootstransportanlage und der sich in Realisierung befindlichen neuen FAH am WKW BAN würden voraussichtlich keine Konfliktpunkte mit einem vorgelagerten Grobrechen bestehen.

Aufgrund der hohen Kosten, dem geringen Nutzen und dem zusätzlichen Betriebsaufwänden wurde die Massnahme durch die Betreiberin als unverhältnismässig eingestuft und verworfen.

## 7.6 Rückbau des bestehenden Einlaufrechens

Mit dem Bau eines FLRs könnte theoretisch der bestehende Einlaufrechen und die bestehende RRM rückgebaut und demontiert werden. Somit würden die Rechenverluste am Einlaufrechen entfallen, was sich positiv auf die Stromproduktion auswirkt. Der Einlaufrechen schützt jedoch die Maschine vor Eintrag von Feststoffen und grossen Gegenständen. Dieser Schutz müsste mit einer Umzäunung oder einer Abdeckung des Einlaufkanals zwischen FLR und bestehendem Einlaufrechen ersetzt werden.

Im Vorprojekt haben sich zwei Varianten zur Gewährleistung der Personen- und Betriebssicherheit herauskristallisiert:

### Umzäunung

Der gesamte Bereich des Einlaufs zwischen neuer Rechenbrücke für den FLR und dem bestehenden Einlauf in das Kraftwerk wird mit einem Gitterzaun umzäunt (Länge ca. 240 m, Höhe ca. 2 m).

Die Variante ist verhältnismässig einfach und kostengünstig. Sie deckt jedoch die Betriebssicherheit nicht vollumfänglich ab. Der Zaun dient einerseits der Personensicherheit und erschwert das absichtliche Einwerfen von grossen Gegenständen. Ein mutwilliges Einwerfen von Gegenständen und das Überklettern des Zauns sind jedoch nicht ausgeschlossen.

### Gitterabdeckung

Der gesamte Bereich des Einlaufs zwischen neuer Rechenbrücke für den FLR und dem bestehenden Einlauf in das Kraftwerk wird mit Gitterrosten abgedeckt (Fläche ca. 2'100 m<sup>2</sup>). Die Roste sind begehbar, jedoch nicht befahrbar. Aus diesem Grund müsste eine zusätzliche Absperrung entlang des Ufers umgesetzt werden. Aufgrund der grossen Spannweite von bis zu 40 m ist die Tragkonstruktion sehr aufwändig und benötigt diverse Stützen im OW und im Nahbereich der Turbineneinläufe. Diese wirken sich wiederum negativ auf die Stromproduktion aus.

Die Variante erfüllt die Aspekte von Personen- und Betriebssicherheit und integriert sich gut und unauffällig in das Landschaftsbild (Denkmalschutz). Die Investitionskosten infolge der aufwändigen Tragkonstruktion sind nicht zu unterschätzen und sollten bei einem allfälligen Entscheid zu Gunsten des Rückbaus des Einlaufrechens genauer überprüft werden.

Der Entscheid, ob der bestehende Einlaufrechen mit der gesamten Rechenreinigungsanlage bei der Umsetzung eines FLRs entfernt würde, wird aktuell noch offengelassen und im Rahmen der weiteren Projektierung gefällt. In der Bestvariante, wie in Kap. 8 beschrieben, sind weder Kosten für den Rückbau des bestehenden Einlaufrechens mit Rechenreinigung noch die Mehr- oder Minderproduktion oder die Investitionskosten für eine Umzäunung oder Abdeckung des Einlaufs zur Gewährleistung der Personen- und Betriebssicherheit eingerechnet.

## 8 VERTIEFUNG BESTVARIANTE: TECHNISCHES VORPROJEKT

Die Bestvariante des Variantenstudiums (siehe Kap. 6.5) sowie die Entscheidungen bzgl. der Optionen (siehe Kap. 7) werden in den folgenden Kapiteln detaillierter beschrieben.

### 8.1 Rechenreinigung

#### 8.1.1 Vorabklärungen

Zur Klärung, welche RRM-Typen unter den gegebenen Anforderungen und Bedingungen (vgl. Kap. 5.4.1) geeignet wären, welche Vor- und Nachteile resp. Stärken und Schwächen die verschiedenen Systeme mit sich bringen und zur Abschätzung eines Kostenrahmens wurden Vorabklärungen mit zwei Lieferanten durchgeführt. Zum einen mit Fäh Maschinen- und Anlagenbau AG aus Glarus und zum anderen mit Braun Maschinenfabrik GmbH aus Vöcklabruck (AT). Die Antworten der beiden Lieferanten sind sehr ähnlich. Es kristallisierten sich klar zwei Maschinentypen (Knickarm und Bagger) heraus, welche sich auch preislich in einem vergleichbaren Segment befinden.

Aufgrund der Abklärungen mit Stahlwasserbau-Lieferanten und interner Besprechungen wurde folgendes Konzept für die Rechenreinigungsanlage am FLR Bannwil erstellt.

#### 8.1.2 Wahl Rechenreinigungsmaschine (RRM)

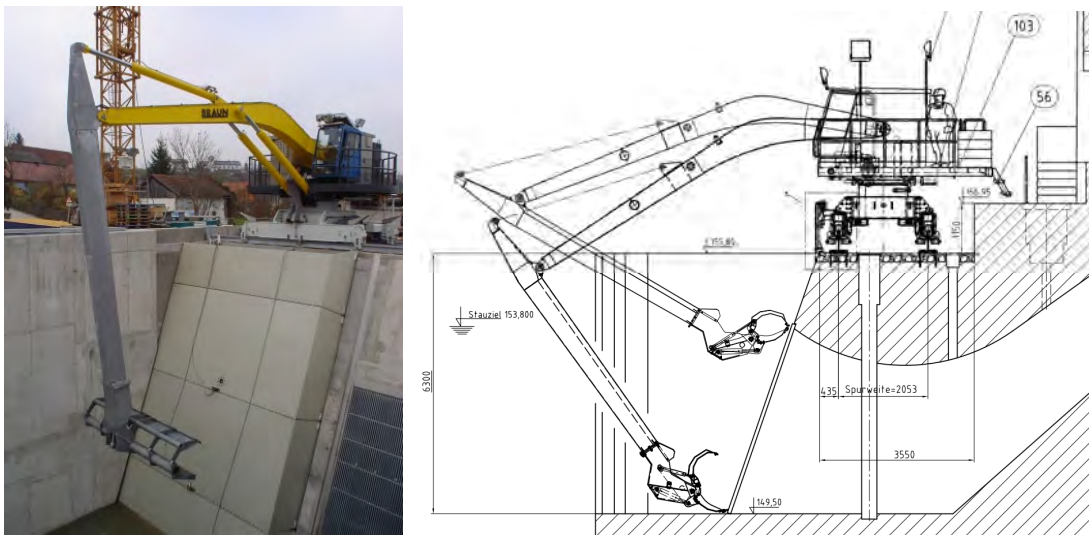


Abbildung 35: Beispiel einer Bagger-RRM, wie sie in Bannwil eingesetzt werden könnte.

Der Einsatz einer Bagger-RRM ist sehr vielseitig und wurde daher in Bannwil als Bestvariante für die Rechenreinigung gewählt. Mit einem Schnellwechsler ist sie in der Lage einen Abstreifer für Geschwemmsel (Blätter u. ä.), einen Greifer für Schwemmgut (Äste und Bäume) und eine Schaufel für Geschiebe zu verwenden. Bei entsprechender Auslegung ist ausserdem denkbar, einen «Schieber» zum Abschieben von Schwemmgut und Geschiebe im Wasser zum Wehr zu verwenden. Der Bagger ist in der Lage grosses Schwemmgut, wie Bäume und grosse Äste auf die Rechenbrücke abzulegen, wo sie manuell zerlegt werden können. Um sie anschliessend wieder mit der RRM aufzunehmen und in

die Mulde zu legen. Die Bagger-RRM ist bei Bedarf in der Lage das Rechengut platzsparender in der Mulde unterzubringen als andere RRM Typen.

### 8.1.3 Konzept Schwemmgutabtransport

Aufgrund der Rechenlänge von rund 100 m wird eine Transportmulde gegenüber einer Abschwemmrinne bevorzugt. Die Schwemmgutmulde soll vor der RRM mitgeführt werden. Mittels Muldentransporter (Abbildung 36) werden volle Mulden abgeholt und leere Mulden zur RRM gebracht. Der Muldentransporter kann vollautomatisch per Fernsteuerung oder bemannt betrieben werden, wobei das Greifen der Mulden vollautomatisch erfolgt. Er folgt den Induktionsschleifen im Boden, weshalb keine Gleise notwendig sind. Der Transporter kann im 90°-Winkel fahren und die Mulden präzise platzieren. Der Fahrweg wird mittels Sensoren überwacht.



Abbildung 36: Beispiel eines vollautomatischen Muldentransporters.

Die ufernahe RRM soll ihre Mulde am Ufer deponieren. Von dort kann sie auch wieder eine leere Mulde beziehen. Die wehrnahe RRM soll ihre Mulde auf der Brücke über dem Trennpfeiler deponieren. Von dort kann sie wieder eine leere Mulde beziehen (Abbildung 37).

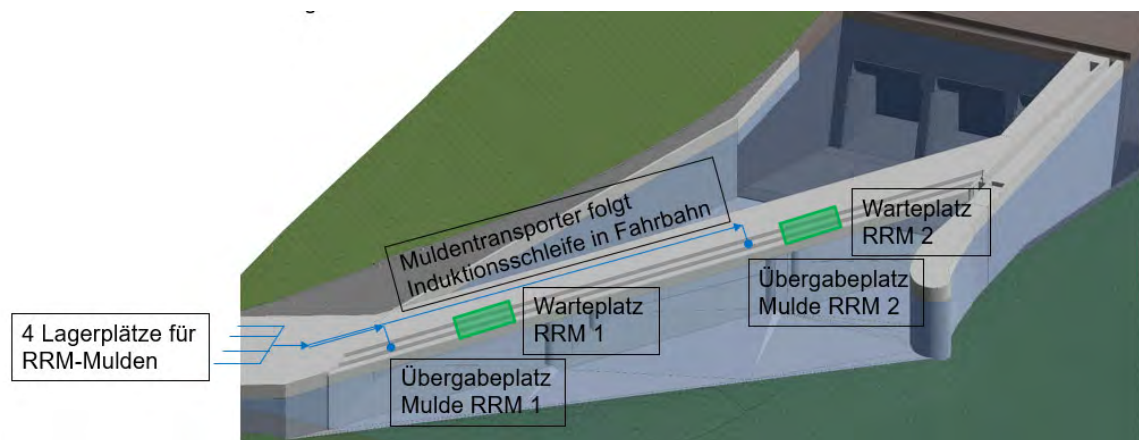


Abbildung 37: Konzept RRM und Muldentransport

## 8.2 Rechenkonstruktion mit Rechenbrücke

### 8.2.1 Optimierung Zwischenpfeiler Rechenbrücke

Die Last der rund 100 m langen Rechenbrücke wird auf zwei Zwischenpfeiler abgestützt. Die Dimension dieser Pfeiler kann aus statischen Gründen nicht weiter reduziert werden und eine minimale Breite von 1.2 m am Pfeilerkopf resp. 0.8 m am Pfeilerende ist erforderlich.

Form und Position der Pfeiler haben einen Einfluss auf das Strömungsfeld in der Rechenebene. Die Pfeiler können nicht für alle Betriebszustände optimal auf die Strömung ausgerichtet werden. Um diesen Einfluss zu reduzieren, wurde die Sensitivität verschiedener Positionen und Ausrichtungen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass zwei aufgelöste Pfeiler gegenüber einem geschlossenen Pfeiler

zu einer besseren Anströmung führen. Zudem wurden die Pfeiler gedreht und an der Strömung ausgerichtet (siehe Abbildung 38).

## 8.2.2 Zurückversetzen Brückenpfeiler

Die numerischen Untersuchungen haben gezeigt, dass der Pfeilerstau der Rechenbrücke die Anströmung des FLRs negativ beeinflussen. Durch das Zurückversetzen der Pfeiler von der Rechenebene (Größenordnung 0.5 m) konnten die negativen Auswirkungen reduziert werden.

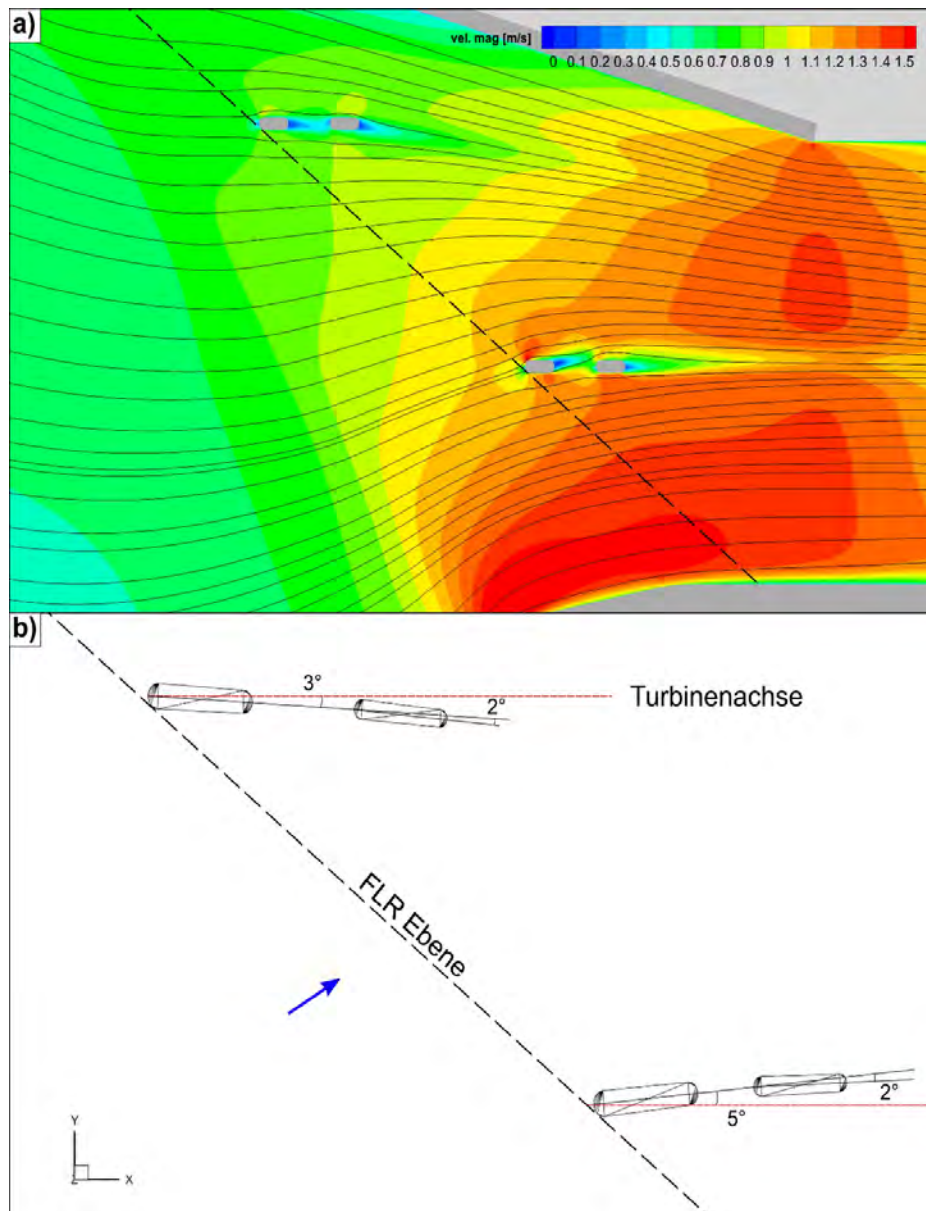


Abbildung 38: a) Horizontalschnitt der Fließgeschwindigkeiten auf der Höhe  $z = 413$  m ü. M. mit aufgelösten Zwischenpfeilern parallel zur Turbinenachse, b) optimierte Ausrichtung der Zwischenpfeiler.



## 8.3 Oberflächennahe Abschwemmöffnung Trennpfeiler

### 8.3.1 Zweck und Anforderungen

Bei starkem Schwemmgutanfall ist es nicht ausgeschlossen, dass das Schwemmgut mit der RRM nicht schnell genug aus der Aare entnommen werden kann, um eine Verlegung des Rechens zu verhindern. Dies hat eine Reduktion des Zuflusses zur Maschine und im schlimmsten Fall deren Abschaltung zur Folge. Um dies zu verhindern, kann es notwendig sein, das Schwemmgut ohne Entnahme vom Rechen Richtung Wehr zu schieben und in die Aare weiterzugeben. Hierzu ist eine Öffnung im Trennpfeiler zwischen Wehr und Maschine notwendig (Abbildung 39). Im Normalbetrieb soll diese Abschwemmöffnung rechenseitig verschlossen sein. Sie sollte ausserdem die Strömung zum Bypassseinstieg sowie dessen Auffindbarkeit nicht negativ beeinflussen. Für eine gute Abschwemmwirkung ist die Öffnung grosszügig zu bemessen, um die Wahrscheinlichkeit des Verkeilens von Schwemmholz minimal zu halten. Zudem wird eine Ausrichtung in der Flucht des FLRs als vorteilhaft erachtet. Das Abschwemmen von Schwemmgut kann mittels aktiven Beförderns durch die Öffnung Richtung Wehr mit Hilfe der RRM zusätzlich begünstigt werden.

Entsprechend würde in der nächsten Projektphase ein Abschwemmtor im Trennpfeiler als Stemm- oder Stauklappe im Konzept zur Rechenreinigung weiterentwickelt.

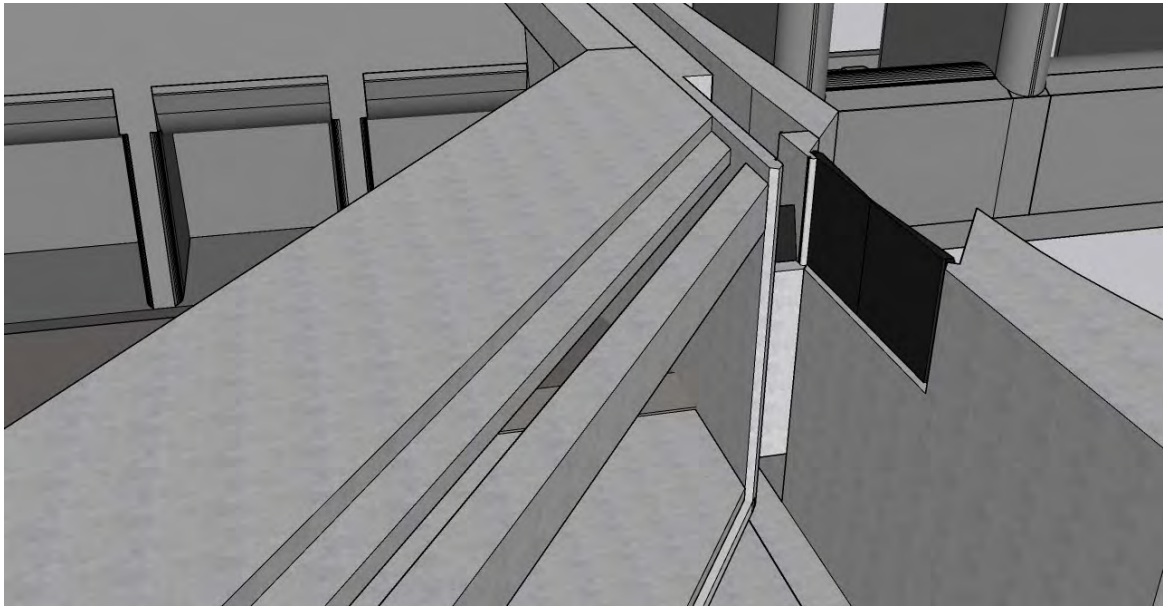


Abbildung 39: Schematische Skizze einer Abschwemmöffnung im verlängerten Trennpfeiler.

### 8.3.2 Grobbemessung der Abschwemmöffnung

Die Grobbemessung der Abschwemmöffnung basiert auf folgenden Annahmen:

- Auch bei abgesenktem Pegel vor oder während eines Hochwassers  $HQ_2$  (ca. 850 m<sup>3</sup>/s) von ca. 415.7 m ü.M. soll die Öffnung mit einer ausreichenden Wassertiefe durchströmt werden.
- Das Abschlussorgan sollte bis ca. 0.3 m unter OK Trennpfeiler (419.3 m ü.M.) abschliessen.
- Die Revisionsorgane müssten ca. 0.2 m über Normalstau 417.3 m ü.M. abschliessen.
- Um das Abschwemmen von Schwemmgut sicher zu stellen, muss die Öffnung ausreichend breit sein. Eine minimale Breite von 8-10 m sollte zwingend gewährleistet werden können. Soweit mit verhältnismässigem Aufwand umsetzbar, ist die Breite der Abschwemmöffnung zu erhöhen.

Aus obenstehenden Annahmen resultieren folgende Dimensionen als Richtgrößen in der aktuellen Planung:

- Oberkante Absperrorgan: 419.0 m ü.M
- Unterkante Abschwemmöffnung: 414 m ü.M.
- Dimension Absperrorgan: B 8-10 m, H ca. 5 m
- Dimension Revisionsorgan: B 8-10 m, H ca. 3.5 m

Beim Abschwemmen von Schwemmgut durch die geplante Öffnung im Trennpfeiler sollte der oberflächennahe Einstieg zum Fischpass vorübergehend geschlossen werden.

Die angegebenen Dimensionen verstehen sich als Richtgrößen für die aktuelle Planungsphase und sind im Rahmen der weiteren Projektphasen kritisch zu prüfen und mit den Bedürfnissen am WKW BAN abzustimmen.

### 8.3.3 Betriebs- und Revisionsorgane

Bezüglich der Eignung als Verschluss- und Regulierorgan der Abschwemmöffnung wurden verschiedene Systeme geprüft und beurteilt. Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst. Alle Systeme werden meist zur Regulierung und somit zum Aufstau des Pegels verwendet. Im vorliegenden Fall wäre die Wasserspiegellage vor und hinter dem Abschlussorgan jedoch auf einem vergleichbaren Niveau. Somit könnte auf den Einsatz von Dichtungen verzichtet werden, da die Organe im geschlossenen Zustand lediglich der Strömungslenkung dienen. Im offenen Zustand ist eine Wasserspiegeldifferenz aufgrund der Senkkurve zum Wehr hin je nach Abfluss und Betriebszustand (Öffnung des maschinennahen Wehrfeldes) nicht ausgeschlossen und würde gar ein Abschwemmen des Schwemmgutes zum Wehr hin begünstigen.

#### Stauklappe

- Eine Stauklappe ist heute üblicherweise die erste Lösung, wenn Material abgeschwemmt werden soll. Schon mit einer Teilöffnung kann Material über die Klappe gleiten. Solche Klappen sind vielfach erprobt und äusserst zuverlässig im Einsatz.
- Stauklappen können in fast beliebiger Breite und Höhe gefertigt werden. Bei entsprechender Anbringung des Zylinders kann die Klappe bis in die Vertikale geschlossen werden, damit im geschlossenen Zustand die Zuströmung am Bypasseinstieg nicht beeinträchtigt wird.
- Aufgrund des Abkippens der Klappe zum Öffnen, muss die Klappe rechtwinklig zum Betonausschnitt im Trennpfeiler orientiert sein. Damit bei geschlossener Klappe keine Beeinträchtigung der Anströmung des Bypasseinstiegs resultiert, sollte die Aussparung im Beton rechtwinklig auf dem Trennpfeiler angeordnet werden. Die Abschwemmöffnung kann somit voraussichtlich nicht in der gleichen Flucht angeordnet werden wie der FLR (vgl. Abbildung 40), was in der nächsten Planungsphase genauer zu studieren ist.
- Es ist darauf zu achten, dass im geöffneten Zustand keine Überstände wehrseitig des Trennpfeilers entstehen, welche den Abfluss über das Wehr reduzieren oder zu einer erhöhten Verkeilung von Schwemmholz führen. Auch diese Aussage ist in der nächsten Planungsphase genauer zu studieren.
- Wird der Hydraulikzylinder zum Öffnen und Schliessen mittig unterhalb der Klappe angebracht, befände er sich fast ständig unter Wasser, mit entsprechend abgedichteten Zylindern jedoch möglich. Als Alternative könnten ein oder zwei Zylinder oberwasserseitig über dem Wasserspiegel angebracht werden. Ein über die Klappe überstehender Zylinder könnte jedoch durch Schwemmgut oder die RRM beim Unterstützen des Abschwemmens beschädigt werden. Weitere Möglichkeiten sind zu prüfen.

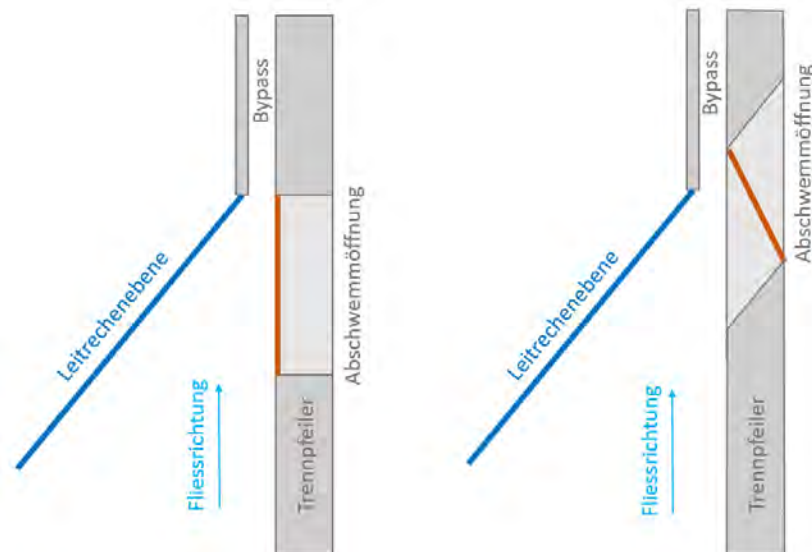


Abbildung 40: Schematische Darstellung (Situation) des Zuströmbereichs zum Bypasseinstieg am Trennpfeiler mit Positionierung der Stauklappe im geschlossenen Zustand (orange)

### Tafelschütze

- Tafelschützen sind seit sehr langer Zeit für verschiedenste Anwendungen im Einsatz und sind deshalb gut erprobt und üblicherweise sehr robust. Sie werden durch Hochziehen geöffnet und ermöglichen so ein Wasserabfluss durch Unterströmen. Zum Abschwemmen des Schwemmholzes müsste die Tafelschütze vollständig aus dem Wasser gezogen werden.
- Üblicherweise besitzen Tafelschützen ein Joch für den Antrieb. Werden jedoch zwei Antriebsstangen seitlich angebracht, könnte auf ein Joch verzichtet werden. Dadurch könnte das maschinelle Eingreifen durch die RRM und das mechanische Abschieben des Schwemmholzes zum Wehr hin erleichtert werden.
- Alternativ kann die Schütze als Absenkschütze ausgeführt werden. Diese werden nach unten geöffnet und ermöglichen ein Überströmen der Schütze.
- Die Schütze kann maschinenseitig des Trennpfeilers angebracht werden, so dass die Anströmung des Bypasseinstiegs im geschlossenen Zustand der Schütze nur geringfügig beeinflusst wird.

### Stemmkappen

- Stemmkappen sind Klappen mit vertikaler Drehachse und funktionieren ähnlich wie Stemmtore von Schleusen. Sie schliessen (im Gegensatz zu Stemmtoren) gegen den Wasserdruck. Sie können einflügelig oder zweiflügelig ausgeführt werden.
- Der Einbau in der Abschwemmöffnung kann unabhängig der Ausrichtung der Betonaussparung im Trennpfeiler erfolgen. Das heisst, dass die Klappen im geschlossenen Zustand bündig mit der maschinenseitigen Betonwand des Trennpfeilers liegen können und der Zuströmbereich zum Bypasseinlauf nur unwesentlich beeinflusst wird. Die Drehachsen sind in diesem Fall jedoch exponiert in der Abschwemmöffnung und sollten vor dem Aufprall von Schwemmholz zusätzlich geschützt werden.
- Bei grösseren Öffnungsbreiten können zwei Stemmkappen erforderlich werden.
- Es ist darauf zu achten, dass im geöffneten Zustand keine Überstände wehrseitig des Trennpfeilers entstehen, welche den Abfluss über das Wehr reduzieren oder zu einer erhöhten Verkeilung von Schwemmholz führen.

### Dammbalken

- Dammbalken oder Steckschütze wären im Normalbetrieb gesetzt. Muss Schwemmholz zum Wehr umgeleitet werden, werden sie beispielsweise mit Hilfe der RRM gezogen und in eine Haltevorrichtung gestellt, die sich z.B. auf der Pfeilerverlängerung befinden könnte.

- Die Dammbalken können so verbaut werden, dass sie im gesetzten Zustand möglichst in einer Flucht mit der maschinenseitigen Wand des Trennpfeilers liegen und so die Anströmung zum Bypasseinstieg nur minimal im Bereich der Übergänge beeinflussen.
- Das Abschwemmen von Schwemmholz über den Trennpfeiler Richtung Wehr kann nicht automatisiert werden, da das Entfernen der Dammbalken durch einen manuellen Eingriff des Personals erfolgen muss.
- Je nach Abflussmenge und Fließgeschwindigkeiten kann das Entfernen und insbesondere das Setzen der Dammbalken nicht zu jedem Zeitpunkt erfolgen.
- Andererseits sollten für die Wartung eines Abschwemmorgans und zur Trockenlegung des Abschwemmkanals Dammbalken oder -tafeln vorgesehen werden. Wehrseitig werden in beiden Fällen Dammbalken benötigt. Für diese Revisionsorgane reicht es nur bis über Normalstau von 417.3 m ü.M. zuzügl. Wellenschlag zu schliessen.

Wird als Betriebsorgan ein System mit hydraulisch betriebenen Klappen gewählt, ist zusätzlich ein Revisionsorgan vorzusehen. Zu diesem Zweck sollten maschinen- wie wehrseitig des Trennpfeilers Dammbalken geplant werden, damit die Lager, der Korrosionsschutz und ggf. die Dichtungen des Betriebsorgans instandgehalten werden können. Wehrseitig können die Dammbalken in eine Nut eingesetzt werden. Maschinenseitig müsste eine Vorrichtung geschaffen werden, mit welcher die Dammbalken abgesetzt zum Betriebsorgan installiert werden können. Nur so kann genügend Arbeitsraum zwischen Dammbalken und dem auf der maschinenseitigen Wand des Trennpfeilers liegenden Absperrorgan geschaffen werden (vgl. Abbildung 41).

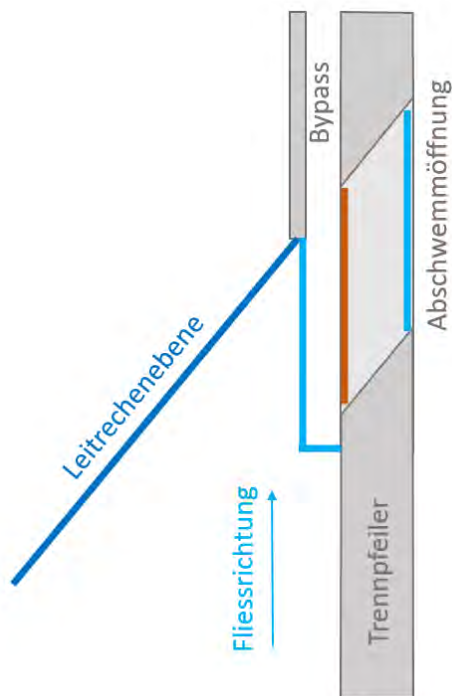


Abbildung 41: Schematische Darstellung der Abschwemmöffnung mit geschlossenem Betriebsorgan (orange) und möglicher Positionierung von Dammbalkenverschlüssen (hellblau).

Der Variantenentscheid hinsichtlich des gewählten Systems des Betriebsorgans ist noch offen und muss aufgrund der Vor- und Nachteile im Rahmen der weiteren Projektierung gefällt werden.

## 8.4 Bypasseinlauf

Der Einlauf in den 1 m breiten Bypasskanal wurde zuerst mittels zwei scharfkantigen Einlauföffnungen von je 1 m x 1 m modelliert. Dadurch kann eine mehrheitlich gleichmässige Strömung resp. Beschleunigung erzielt werden. Die maximalen Fließgeschwindigkeiten bei einem Bypassabfluss von 4.5 m<sup>3</sup>/s liegen bei den Bypasseinläufen knapp über 3 m/s (Abbildung 42 a)). Um eine Meidreaktion der Fische zu verhindern, sollten die Geschwindigkeiten 2 m/s nicht überschreiten. Durch das Vergrössern der Einstiegsöffnungen können die Fließgeschwindigkeiten ohne weiteres reduziert werden. Es ist jedoch fraglich, welche vertikalen Suchbewegungen die Fische ausführen, um den Einstieg zu finden. Mit lediglich einer oberflächen- und einer sohlennahen Öffnung gibt es dazwischen auf einer Höhe von rund 6 m keine Öffnung. Zur besseren Auffindbarkeit des Bypasses für die Fische, wurde eine dritte Einstiegsöffnung mit einer Querschnittsfläche von 1 m<sup>2</sup> mittig eingefügt. Die Kanten der Durchlässe wurden abgerundet. Abbildung 42 b) zeigt, dass die maximalen Geschwindigkeiten auf rund 2 m/s reduziert werden können. Zusätzlich wird die Strömung im Bypass gleichmässiger und die Ablösungen an den Einstiegsöffnungen werden reduziert.

In Tabelle 6 werden die Hauptkriterien zum Vergleich der beiden Varianten (2 oder 3 Einstiegsöffnungen) aufgelistet und verglichen, wobei die Variante mit den drei Einstiegsöffnungen besser abschneidet.

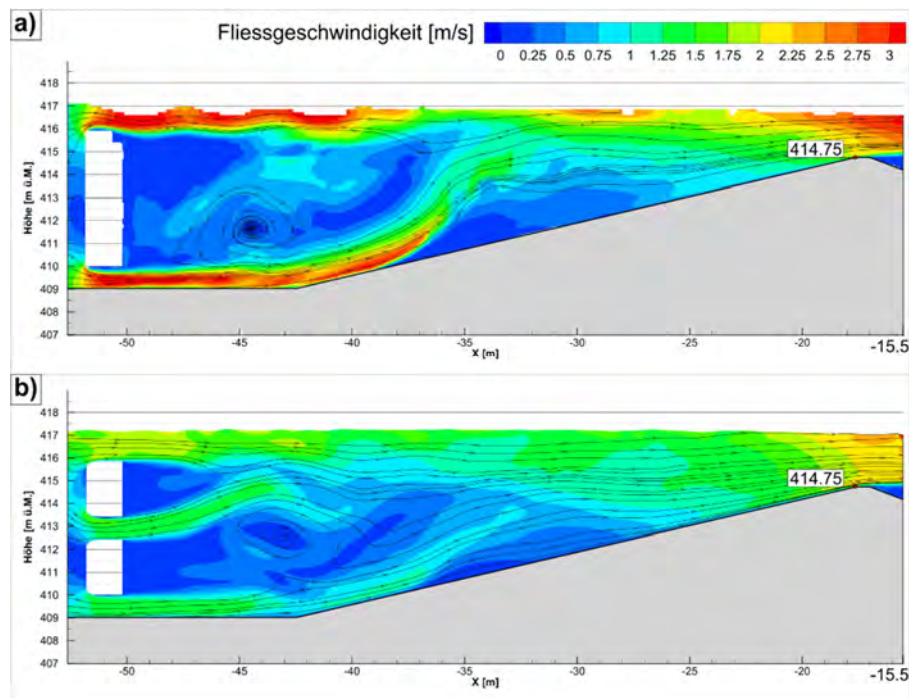


Abbildung 42: Vertikalschnitt der Fließgeschwindigkeiten am Bypasseinlauf bei a) zwei scharfkantigen Durchlässen und b) drei abgerundeten Durchlässen [3].

Tabelle 6 Variantenvergleich Positionierung Leitrechen-Bypass-System

|                                    | 2 Einstiegsöffnungen  | 3 Einstiegsöffnungen  |
|------------------------------------|---|---|
| Fließgeschwindigkeiten am Einstieg | $v_{max} = 2 \text{ m/s}$ kann eingehalten werden (Grössere Einstiegsöffnungen)<br>$V_{Bypass \text{ Einstieg}} / V_n \text{ Rechen} = 1.2$                             | $v_{max} = 2 \text{ m/s}$ kann eingehalten werden (3 Öffnungen à 1x1 m)<br>$V_{Bypass \text{ Einstieg}} / V_n \text{ Rechen} = 1.2$                                       |
| Auffindbarkeit                     | Vertikale Distanz zwischen Einstiegsöffnungen ca. 6 m<br>→ Auffindbarkeit fraglich  | Vertikale Distanz zwischen Einstiegsöffnungen ca. 2.5 m<br>→ Bessere Auffindbarkeit erwartet  |
| Betrieb                            | Verklausung durch Geschwemmsel und Schwemmholz nicht ausgeschlossen.<br>Schützen werden bei hohem Schwemmholzaufkommen geschlossen<br>→ Unterbruch Verfügbarkeit Bypass | Verklausungswahrscheinlichkeit unwesentlich höher als mit 2 Öffnungen.<br>Schützen werden bei hohem Schwemmholzaufkommen geschlossen<br>→ Unterbruch Verfügbarkeit Bypass |
| Kosten                             | Leicht günstiger als Variante mit 3 Öffnungen, Auswirkungen auf Kosten vernachlässigbar   | Leicht teurer als Variante mit 2 Öffnungen, Auswirkungen auf Kosten vernachlässigbar  |

Würde ganz auf einzelne Einstiegsöffnungen verzichtet und der Einstieg auf der gesamten Höhe offen gelassen, würden dadurch die Geschwindigkeiten auf 0.5 m/s reduziert.

Die Form der Verlängerung des Trennpfeilers ins OW hat einen bedeutenden Einfluss auf die Anströmung des Bypasseinlaufes. Durch die optimale Form können Ablösungen minimiert und eine gerichtete Strömung erzeugt werden. Der Gestaltung des Pfeilerkopfs kommt eine grosse Bedeutung zu. Sie wurde im Rahmen der numerischen Untersuchungen zu der Bestvariante weiter optimiert und kann im Zuge der weiteren Projektierung auch noch weiter verbessert werden.

## 8.5 Regulierungsorgane im Bypass

Die einzelnen Einlauföffnungen können mittels vertikalen Tafelschützen verschlossen werden (vgl. Abbildung 43, rechts). Die Schützen dienen nicht der Steuerung und sind im Normalbetrieb geöffnet. Bei Hochwasser, bei zu hohem Geschwemmselaufkommen oder zu Revisionszwecken können die Schützen geschlossen und der Bypass dadurch unterbrochen und bei Bedarf trockengelegt werden. Die Organe sind durch einen Hohlraum im Trennpfeiler für die Wartung und Inspektion zugänglich.

Der Abfluss im Bypass wird über ein Dachwehr am Ende der Rampe gesteuert (vgl. Abbildung 43, links). Bei einem Dachwehr wird die Überfallkante mittels eines hydraulisch betriebenen Zylinders hoch- und runtergefahren. So kann der Abfluss im Bypass trotz des variablen Oberwasserpegels konstant gehalten werden.

Der Zylinder sitzt unterhalb des Dachwehrs in einem trockenen Raum. Der Raum ist zu Unterhaltszwecken ab dem Trennpfeiler zugänglich.

Durch Schliessen der Einlaufschieber des Bypasses kann das Dachwehr für Unterhalts- und Revisionsarbeiten trockengelegt werden.

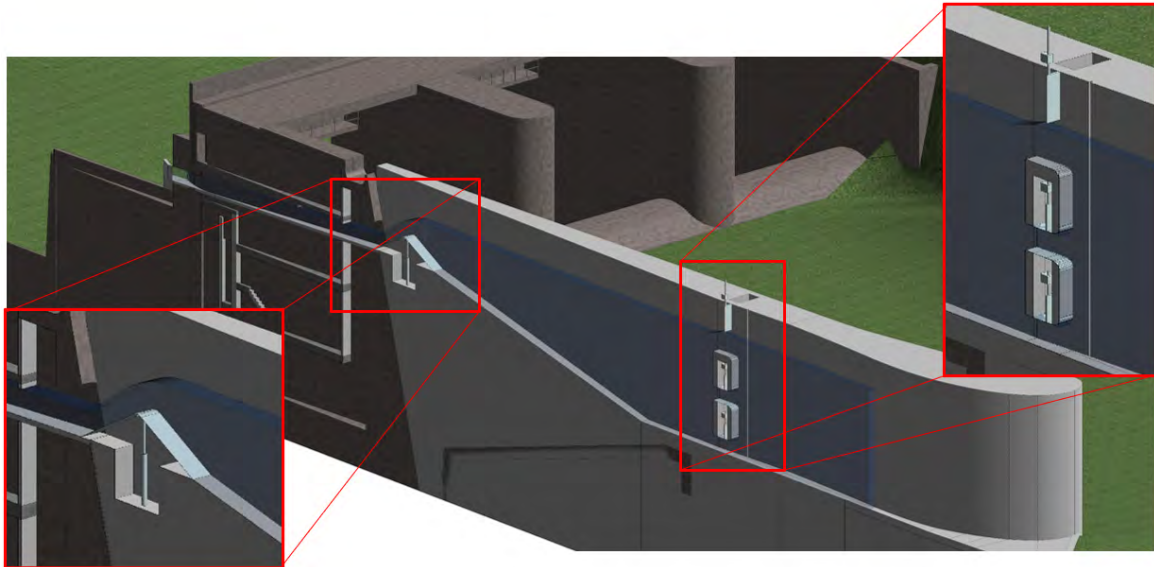


Abbildung 43: Visualisierung der Organe (links: Dachwehr, rechts: Einlaufschleier) im Bypass.

## 8.6 Hydraulik im Bypass

Der Bypass führt die Fische durch den Trennpfeiler ins UW der Anlage. Der Bypass-Kanal weist eine Breite von 1 m und eine Länge von knapp 26 m auf. Das Gefälle liegt, abgesehen vom Zulaufbereich über dem Dachwehr, konstant bei 2.8 %.

Der Zufluss kann über das Dachwehr reguliert und auch bei abgesenktem Staupegel bis  $Q_{30}$  konstant bei rund  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  gehalten werden. Dies entspricht 1 % der Ausbauwassermenge des Kraftwerks. Im Bypass resultieren Fliesstiefen von 0.9 m und Geschwindigkeiten von 4.5 bis 5 m/s.

## 8.7 Unterwasserbedingungen

Die Einleitung der Fische im UW des Bypasses erfolgt in einem freien Überfall in das Tosbecken unterhalb des maschinennahen Wehrfeldes 1.

Die unterschiedlichen Pegellagen sind in Abbildung 44 visualisiert. Bei geringen Abflussmengen in der Aare ist im UW von Bannwil bereits der Rückstau des Unterliegerkraftwerks Wynau/Schwarzhäusern spürbar. Der Unterwasserpegel in Bannwil sinkt somit auch bei Niedrigwasser nicht unter den Staupegel in Wynau von 408.08 m ü. M. Somit resultiert ein minimales Wasserpolster von 7.1 m bis zum Grund des Tosbeckens, resp. 4.1 m bis zur Oberkante der Betonstörkörper.

Gemäss Tabelle 4 sollte die Fallhöhe beim Bypassauslauf 2.5 m nicht überschreiten. Diese Randbedingung lässt sich in Bannwil baulich nicht bzw. nur schwer und verbunden mit hohen Kosten realisieren. Die maximale Fallhöhe beträgt rund 5.1 m. Gemäss [7] ist der Abstieg übers Wehr hingegen bis zu einer Fallhöhe von 13 m unproblematisch. Aufgrund dessen wird erwartet, dass der Ausstieg beim Bypassauslauf für die Fische verletzungsfrei stattfindet trotz der Nichteinhaltung des Grenzwertes.

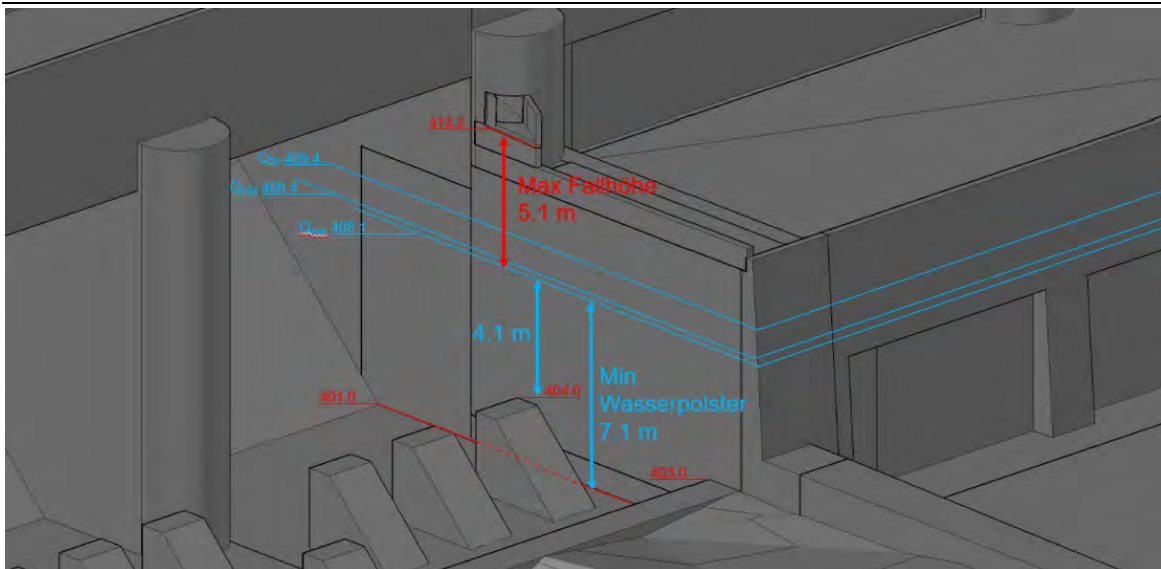


Abbildung 44: Visualisierung des Bypass-Auslaufs mit unterschiedlichen Wasserständen

## 8.8 Auswirkungen des Fischleitrechens auf die Turbinenanströmung

Durch ungleichmässige Anströmbedingungen kommt es zu einem Wirkungsgradverlust der Turbine. Um suboptimale Bedingungen zu erkennen, wurden zwei Kriterien angewendet:

1. **Kriterium der Quadrantenbeaufschlagung:** Die Geschwindigkeit in einem Quadranten darf sich nicht mehr als 10 % von der mittleren Normalgeschwindigkeit des gesamten Fliessquerschnitt unterscheiden.
2. **Kriterium der Einlaufhälftenbeaufschlagung:** Der tatsächliche Abfluss einer Einlaufhälfte sollte weniger als 2.5 % von der Hälfte des Abflusses vom Fliessquerschnitt betragen.

Durch den Vergleich der Turbinenbeaufschlagung zwischen dem Istzustand und dem Zustand mit dem FLR kann der Einfluss des Rechens beurteilt werden. In Abbildung 45, links sind die Quadranten- und Einlaufhälftenbeaufschlagungen bei einem Turbinenabfluss von  $402 \text{ m}^3/\text{s}$  und geschlossenem Wehr dargestellt. Dabei lässt sich erkennen, dass die beiden Kriterien nur bei T1 eingehalten werden. Bei T3 hingegen sind die Anströmbedingungen am schlechtesten. Nach Einbau des FLR (siehe Abbildung 45, rechts) werden die Kriterien vor allen Turbineneinläufen eingehalten. Dies liegt insbesondere an der Verlängerung des Trennpfeilers.

Durch den Abfluss übers Wehr verbessern sich die Anströmbedingungen auf die Turbine im Istzustand, sodass die Kriterien vor allen drei Turbinen (knapp) eingehalten werden (siehe Abbildung 46, links). Durch den FLR wird die Schräganströmung der Turbinen gegenüber dem Istzustand verringert (Kriterium der Einlaufhälftenbeaufschlagung, siehe Abbildung 46, rechts). Jedoch verlagert sich der Strömungsschwerpunkt in die untere Turbinenhälfte, wodurch die Quadrantenbeaufschlagung bei den Turbinen 1 und 3 über den Schwellenwert des Kriteriums fällt.

Schlussendlich kann gesagt werden, dass das System aus verlängertem Trennpfeiler und FLR im Schnitt zu einer Verbesserung der Anströmung führt. Insbesondere ist dies auf die Verlängerung des Trennpfeilers und dadurch entstehende Unterbindung der Schräganströmung bei geschlossenem Wehrfeld zurückzuführen.



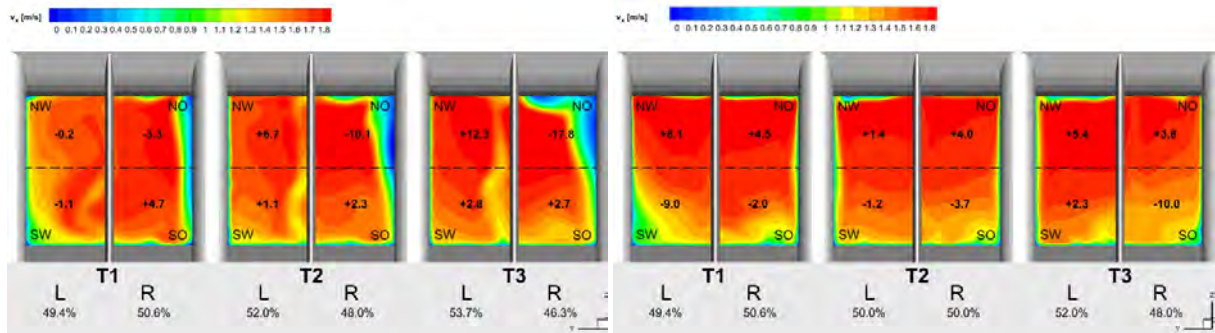


Abbildung 45: Übersicht der Quadranten- sowie Einlaufhälftenbeaufschlagungen bei einem Turbinenabfluss von 402 m<sup>3</sup>/s und geschlossenen Wehrfeldern. Auf der linken Seite ist der Istzustand und rechts der Zustand mit dem FLR und verlängertem Trennpfeiler dargestellt.

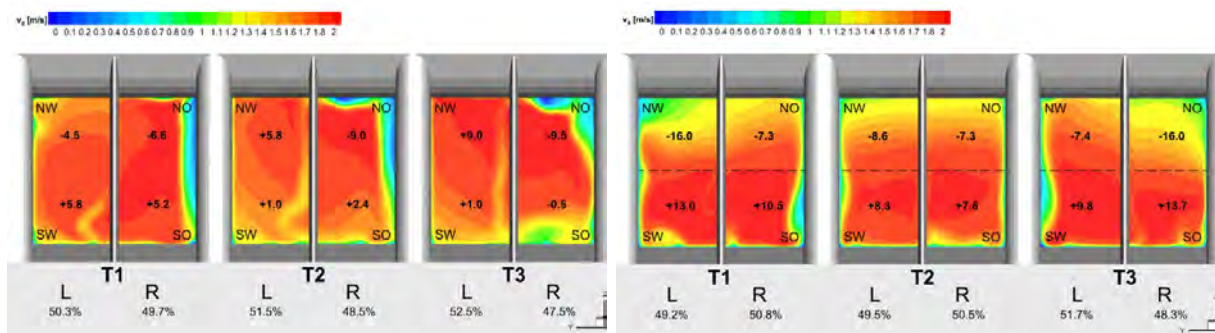


Abbildung 46: Übersicht der Quadranten- sowie Einlaufhälftenbeaufschlagungen bei einem Turbinenabfluss von 454 m<sup>3</sup>/s und einem Wehrabfluss von 231 m<sup>3</sup>/s. Auf der linken Seite ist der Istzustand und rechts der Zustand mit dem FLR und verlängertem Trennpfeiler dargestellt.

## 8.9 Hochwassersicherheit

Der Einfluss des FLRs und der damit verbundenen Trennpfeilverlängerung auf die Hochwassersituation wurde durch numerische Modellrechnungen [4] analysiert. Dabei wurden die Kapazität am Wehr sowie die Pegel im Istzustand mit den Resultaten für den Projektzustand verglichen. Durch diesen relativen Vergleich dieser beiden Zustände entfallen absolute Modelleffekte. Die berechneten Kapazitäten und Pegel können jedoch von den im Rahmen von anderen Studien berechneten Werten abweichen, was auf die unterschiedlichen Modellansätze und Parameter zurückzuführen ist.

Für den Fall des Bemessungshochwassers ( $Q_{\text{B}}$ ) wurde die Abflusskapazität im Istzustand für zwei Wehrfelder (n-1-Regel) anhand der 3D Simulation auf je 655 m<sup>3</sup>/s berechnet. Die Gesamtkapazität der Anlage beträgt unter Berücksichtigung einer passiven Abgabe von 270 m<sup>3</sup>/s über die Maschine rund 1'580 m<sup>3</sup>/s. Bei der Simulation mit dem FLR konzentriert sich die Strömung durch den verlängerten Trennpfeiler am rechten Aareufer und wird noch stärker in die Aussenkurve gedrückt. Es kommt wehrseitig zu leichten Ablösungen beim Trennpfeilerkopf. Die Gesamtkapazität verringert sich dadurch um ca. 5 % auf 1'500 m<sup>3</sup>/s. Die Abflusskapazität im Istzustand liegt für das Sicherheits-hochwasser ( $Q_{\text{S}}$ ) unter Berücksichtigung aller Wehrfelder und der passiven Abgabe von 270 m<sup>3</sup>/s über die Maschinen bei 2'250 m<sup>3</sup>/s (660 m<sup>3</sup>/s je Wehrfeld). Auch hier führt der Einbau des FLR mit dem verlängerten Trennpfeiler zu einer Kapazitätsreduktion von ungefähr 5 %. Werden die erwarteten Wasserspiegelhöhen einmal ohne und mit Trennpfeiler (siehe Abbildung 47) betrachtet, kommt es zu einer Erhöhung von etwa 15 cm im Nahbereich des OW der Anlage. Wie weit sich diese Erhöhung ins OW auswirkt, konnte aufgrund der Modellgrenzen nicht untersucht und sollte in der nächsten Planungsphase noch überprüft werden. Insbesondere um die Auswirkungen auf den Konzessionspegel in Wangen a.A. darzulegen.

Die Untersuchung bietet einen ersten Anhaltspunkt über die Auswirkungen der Trennpfeilverlängerung bei extremen Hochwasserereignissen. Insgesamt kann angenommen werden, dass der Einfluss auf die Abflusskapazität eher gering ist. Es sind aber weitere Abklärungen notwendig und to-

lerierbare Auswirkungen mit den zuständigen Behörden zu diskutieren und festzulegen. Erfahrungsgemäss führen insbesondere die Hochwasserereignisse aus der Emme zu hohem Schwemmgutanfall am WKW BAN [6]. Dieser Aspekt wurde in der vorliegenden Untersuchung beispielsweise nicht berücksichtigt und muss separat beurteilt werden.

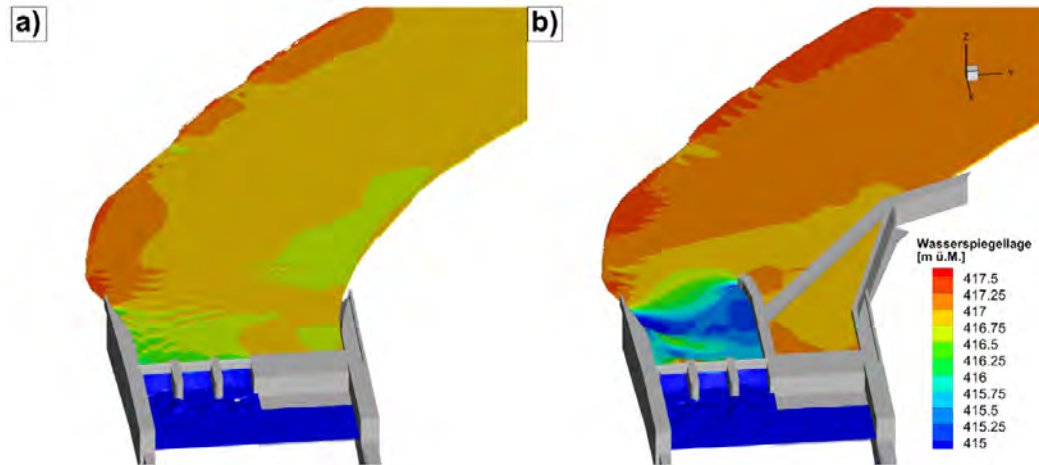


Abbildung 47: Simulationsergebnis der Wasserspiegellagen bei  $Q_s$  im a) Istzustand und b) Bestvariante

## 8.10 Betrieb

Ein Eintrag von Schwemmholz/Geschwemmsel in den Bypass ist soweit möglich zu vermeiden. Zur Gewährleistung eines einwandfreien und dauerhaften Betriebs des Bypasses ist das Verschliessen der oberflächennahen Einstiegsöffnung bei grossem Schwemmholzanfall zu prüfen. Die Anströmverhältnisse am Einstieg werden bei hohem Schwemmholzanfall als ungünstig eingeschätzt, weshalb ein Verschliessen der oberflächennahen Einstiegsöffnung als akzeptabel erachtet werden kann. Zumal dadurch das Verkeilen vom Schwemmholz im Bypass und daraus resultierende aufwändige Reinigungsarbeiten, welche oftmals mit Betriebsunterbrüchen verbunden sind, verhindert werden können. Eine Interessenabwägung zwischen Verfügbarkeit des oberflächennahen Einstiegs in den Bypass bei hohem Schwemmholzanfall und eines reibungslosen Betriebs ist in der weiteren Projektplanung in Absprache mit Experten und Behörden zu erstellen.

Es wird zwangsläufig zum Eintrag von Geschwemmsel kommen. In diesem Fall muss mit einfachen Massnahmen das Geschwemmsel aus dem Bypass entfernt werden können. Es wird vermutet, dass das Geschwemmsel unmittelbar beim Einlauf in den Bypass stecken bleiben kann. Die Breite des Bypasses verunmöglicht eine maschinelle Reinigung. Daher könnte nach den Einlauföffnungen seitlich eine 4 m lange und 2 m breite Aussparung im Bypass vorgesehen werden. Die Dimensionen dieser Aussparung richten sich an die Grösse des Greifers der RRM. So könnte mit dem Greifer auch sohlennahes Geschwemmsel oder Kiesablagerungen entfernt werden. Die Auswirkung dieser Aussparung ist im weiteren Projektverlauf numerisch zu prüfen. Es ist zu erwarten, dass die Reinigungsnische die Stömungsverhältnisse lokal beeinträchtigt welche zu Meidereaktionen der Fische führen kann. Daher empfiehlt das Planerteam die Nische während des Normalbetriebs mit Dammtafeln zu verschliessen, welche zu Reinigungszwecken entfernt werden können.

## 8.11 Wirkungskontrolle

### 8.11.1 Einleitung

Um die Wirksamkeit des Rechen-Bypass-Systems zu untersuchen, gilt es entsprechende Massnahmen vorzunehmen. Durch die Wirkungskontrolle soll einerseits die Leiteffizienz des FLR und andererseits beurteilt werden können, ob die Fische das geplante System nutzen und verletzungsfrei absteigen können. Eine umfassende Wirkungskontrolle aller Anlageteile inklusive Wehr und Maschinen einer Anlage dieser Grösse wie Bannwil bietet eine grosse Herausforderung. So wird es wohl kaum möglich sein, die Leiteffizienz des Rechens absolut zu beurteilen und die Abstiegszahlen über

die einzelnen Korridore genau zu kennen. Es scheint zentral, die Ziele der Wirkungskontrolle festzulegen und die Massnahmen spezifisch darauf auszurichten.

Im Kontext eines möglichen Bauprojektes sollte unter Berücksichtigung der aktuellen Methoden und Kenntnisse ein detailliertes Konzept für die Wirkungskontrolle erarbeitet werden. Das Konzept und deren Anforderungen sind mit Fachexperten und Behörden abzustimmen und in der weiteren Projektplanung zu berücksichtigen. Die vorgeschlagenen Varianten können je nach Anforderungen an die Wirkungskontrolle einzeln oder in Kombination eingesetzt werden.

Im Rahmen des vorliegenden technischen Vorprojekts werden verschiedene Varianten für die Wirkungskontrolle auf Konzeptstufe vorgeschlagen und in den nachfolgenden Kapiteln umschrieben.

### **8.11.2 Beurteilung der Leiteffizienz mittels Sonar**

Um die Leiteffizienz des FLR zu beurteilen, könnten beispielsweise Sonar-Messgeräte eingesetzt werden. Ein zeitgleiches Monitoring über die gesamte Rechenbreite von 100 m wird allerdings aufgrund des eingeschränkten Blickwinkels des Sonars als herausfordernd eingeschätzt. Es ist deshalb denkbar, während unterschiedlichen Mess- bzw. Monitoring-Kampagnen jeweils Teilbereiche (z.B. jeweils eines der drei Rechenfelder) zu beobachten. Ein zeitgleiches Erfassen der Bewegungen vor und hinter dem FLR wird als weitere Herausforderung erachtet. Es ist zu prüfen, inwieweit die Bewegungen der Fische vor dem Sonar erfasst und mit Sicherheit beurteilt werden kann, ob die Fische den FLR passieren oder nicht. Zudem muss geprüft werden, ob die Beobachtung mittels Sonar auch für kleine Fische zweckdienlich ist.

### **8.11.3 Beurteilung der Auffindbarkeit mittels Kamerasystem**

Zur Beurteilung der Auffindbarkeit könnte eine Kameravorrichtung an den Einstiegsöffnungen des Bypasses platziert werden. Mittels Kamerabeobachtungen vor den Einstiegsöffnungen könnte auch das Verhalten der Fische und allfällige Such- oder Meidereaktionen am Einstieg festgestellt werden. Die hohen Trübstofffrachten, welche die Aare insbesondere während Emme-Hochwassern mit sich führt, werden für ein Kameramonitoring eine grosse Herausforderung darstellen. Es ist davon auszugehen, dass die Bewegungen der Fische im Bereich der Einstiegsöffnungen nicht durchgehend erfasst werden können.

### **8.11.4 Beurteilung der Passierbarkeit mittels Fangkammer**

Als Alternative ist es denkbar, die abwandernden Fische am Bypassauslauf mittels einer Fangkammer zu fangen, um diese zählen zu können. Hierbei wurde an eine Vorrichtung aus Metall mit einer feinmaschigen Wandkonstruktion gedacht, welche unter dem Bypassauslauf im UW platziert (blauer Standort, Abbildung 48) und täglich entleert würde. Diese Konstruktion sollte so konzipiert sein, dass sie für die Zählung z.B. mittels Führungsschienen einfach aus dem UW gehoben werden könnte. Die Zählrichtung darf die Hochwassersicherheit nicht beeinträchtigen, so ist davon auszugehen, dass sie während Hochwasserereignissen entfernt werden muss, sobald das Wasser über das maschinen-nahe Wehrfeld abfließt. In dieser Zeit wären keine Fischzählungen mittels Fangkammer möglich.

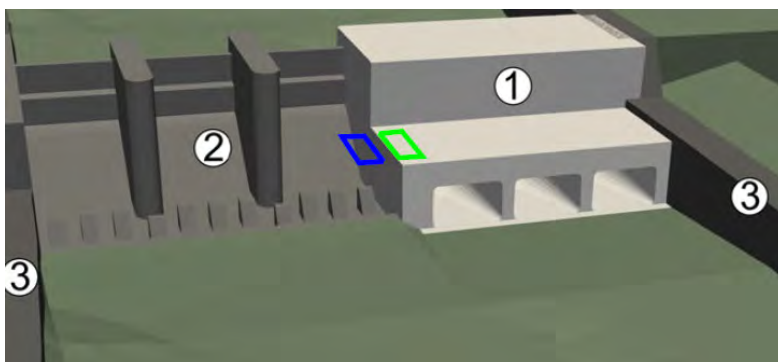


Abbildung 48: Mögliche Standorte zur Positionierung von Fangkammern für die Fischzählung.

Als alternativer Standort könnte die Fläche über dem Dammbalkenlager zur Platzierung der Fangkammer genutzt werden (grüner Standort, Abbildung 48). Dies bedingt, dass der Bypassauslauf so gestaltet wird, dass er während der Fischzählungen gedreht werden kann, um die Fische nicht ins UW des Wehrfeldes 1, sondern in die Fangkammer zu leiten. Diese Variante hat den Nachteil, dass allfällige Auswirkungen der Kurve am Bypassauslauf und die Eintrittsbedingungen im UW in der Wirkungskontrolle nicht berücksichtigt werden können. Die Variante wäre jedoch günstiger realisierbar und steht nicht im Konflikt mit der Hochwassersicherheit, da die Fangkammer nicht im Abflussquerschnitt des Wehrs zu liegen käme.

Eine Aussage bezüglich Leiteffizienz des FLR ist ausschliesslich mittels Fangkammer nicht möglich. Um Aussagen zum Anteil der über den Bypass absteigenden Fische zu machen, müssen zusätzlich Fangmassnahmen mit Hamen durchgeführt werden. Diese Methode ist sehr aufwändig und teuer.

Die Fangkammer ist in beiden Varianten nur während der Fischzählung im Einsatz. Sie hat keine Funktion in der Fischabstiegsanlage und kann nach Abschluss des Monitorings entfernt werden.

### **8.11.5 Beurteilung von Auffindbarkeit und Passierbarkeit mittels PIT-Tag**

Gegebenenfalls könnte auch mittels PIT-Tags eine Aussage darüber gemacht werden, ob und wie oft Fische den Bypass benutzen. Die Antennen könnten in den Einstiegsöffnungen, im Bereich des Dachwehrs und am Bypass-Ausstieg platziert werden. Mit dieser Positionierung ist es möglich, allfällige Verzögerungen im Abstieg aufzudecken und die Auswirkungen der einzelnen Abschnitte des Abstiegs zu kennen.

## **8.12 Weitere Optimierungen der Bestvariante**

Für die Projektierung des Leitrechen-Bypass-Systems auf Stufe Vorprojekt wurde u.a. die hydraulische Optimierung einzelner Anlagenteile nicht mehr weiter vorangetrieben. Entsprechend werden für die weiteren Planungsphasen folgende Optimierungsansätze vorgeschlagen, wobei die Liste nicht abschliessend ist:

- Durch das Absetzen des FLRs vor die Pfeiler der Wehrbrücke könnte die Anströmung des FLRs weiter verbessert werden. Aus statischen Gründen können die Dimensionen der Rechenbrückenpfeiler nicht weiter reduziert werden. Die numerischen Modellierungen haben gezeigt, dass die Anströmung des FLRs durch den Rückstau am Pfeiler beeinflusst wird. Durch das Absetzen der Leitrechenebene vom Brückenpfeiler kann dieser Effekt voraussichtlich weiter reduziert werden.
- Je nach Betriebszustand stehen die Pfeiler der Rechenbrücke nicht optimal in der Strömung. Um diesen Einfluss zu reduzieren, wurden die Pfeiler aufgelöst. In der weiteren Planung sind Form und Ausrichtung der Pfeiler mit den häufigen Betriebszuständen abzustimmen und zu optimieren, um Verluste zu minimieren und die Anströmung des FLRs zu verbessern.
- Durch die Form und Ausgestaltung des Trennpfeilers zwischen Maschinenhaus und Wehranlage kann die Anströmung des Bypasses zusätzlich verbessert werden. Durch die Reduktion von Ablösungen kann eine geradlinigere Strömung generiert werden. Den verschiedenen Betriebszuständen sowie der Hochwassersituation (Abflusskapazität am Wehr) ist dabei Rechnung zu tragen.
- Die Neigung der Rampe nach den Einstiegsöffnungen in den Bypass und die Position des Dachwehrs ist auf die Strömung und den Abfluss zu optimieren. Mit den aktuellen Abmessungen legt sich die Strömung nicht unmittelbar an der Sohle an. Entsprechend ist die Rampe etwas steiler zu gestalten, um die Fische optimal zu leiten.
- Die Ufermauer auf der orographisch linken Seite zwischen Rechenbrücke und Maschineneinlauf ist zusammen mit dem Wiederlager der Rechenbrücke hydraulisch zu optimieren und auf die neue sich einstellende Form der Kurvenbank im OW abzustimmen. Durch die Verlängerung des Trennpfeilers zwischen Maschinenhaus und Wehranlage werden die Ablagerungen am Gleitufer im Bereich des Brückenwiederlagers voraussichtlich reduziert.
- Zur Reduktion der Produktionseinbussen könnte die Abflussmenge im Bypass minimiert werden. Dadurch könnte auch die Geometrie des Bypass durch den Trennpfeiler reduziert und besser an die engen Platzverhältnisse angepasst werden.

## 9 BAUABLAUF UND WASSERHALTUNG

Der Bauablauf sieht eine Ausführung in 3 Etappen während laufenden Betrieb vor. Es ist jedoch je nach Etappe mit betrieblichen Einschränkungen zu rechnen (siehe Abbildung 49).

### Etappe 1

In der ersten Etappe wird der Baugrubenabschluss mittels Spundwand und Verstärkungen durch Fangedämmen erstellt. Die Baugrube umfasst das linksufrige Rechenbrückenfundament bis und mit den zwei Zwischenpfeilern der neuen Rechenbrücke und reicht bis rund 5 m oberwasserseitig des Einlaufes der Maschine 1. Aufgrund von Umläufigkeiten ist die Baugrube auch landseitig (hinter der Ufermauer) abzuschliessen.

In der Etappe 1 werden das linksufrige Rechenbrückenfundament, die Einlaufsohle, die Anpassungen der Ufermauer, die zwei Rechenbrückenpfeiler sowie die Rechenbrücke betoniert. Zudem erfolgt die Montage des linken und des mittleren Einlaufrechens.

Die Zufahrt erfolgt linksufrig mittels Rampe in die Baugrube. Für den Bau sind Baukrane und Pontons sowie Hilfsbrücken unumgänglich.

### Etappe 2

Nach dem Rückbau der Baugrubenabschlüsse der Etappe 1 erfolgen die Rammarbeiten ab Ponton für die 2. Etappe. Die Spundwandabschlüsse führen vom Trennpfeiler zwischen der Maschine 2 und 3 entlang der zu bauenden Verlängerung des Trennpfeilers T3 und WF1 und zurück bis zum Trennpfeiler des Wehrs 1 und 2.

Die zweite Etappe umfasst den gesamten Bau der Verlängerung des Trennpfeilers inkl. Bypass und Einbau der Stahlwasserbaukomponenten. Die Erschliessung dieser Etappe erfolgt ausschliesslich über Baukrane. Eine mögliche Optimierung könnte eine Erschliessung mittels Hilfsbrücke sein.

### Etappe 3

Der Baugrubenabschluss der 3. Etappe erfolgt mittels Fangedamm vom neuen Trennpfeiler bis in die Flucht des rechten Rechenbrückenpfeilers. Von dort aus werden Spundwände auf die neue Betonsohle des Einlaufbereichs gestellt, so dass die Baugrube zurück am Trennpfeiler abschliesst.

Mit dieser Baugrube können die Betonsohle und die Rechenbrücke des rechten Rechenfelds erstellt werden. Zudem wird der Einlaufrechen im Trockenem montiert.

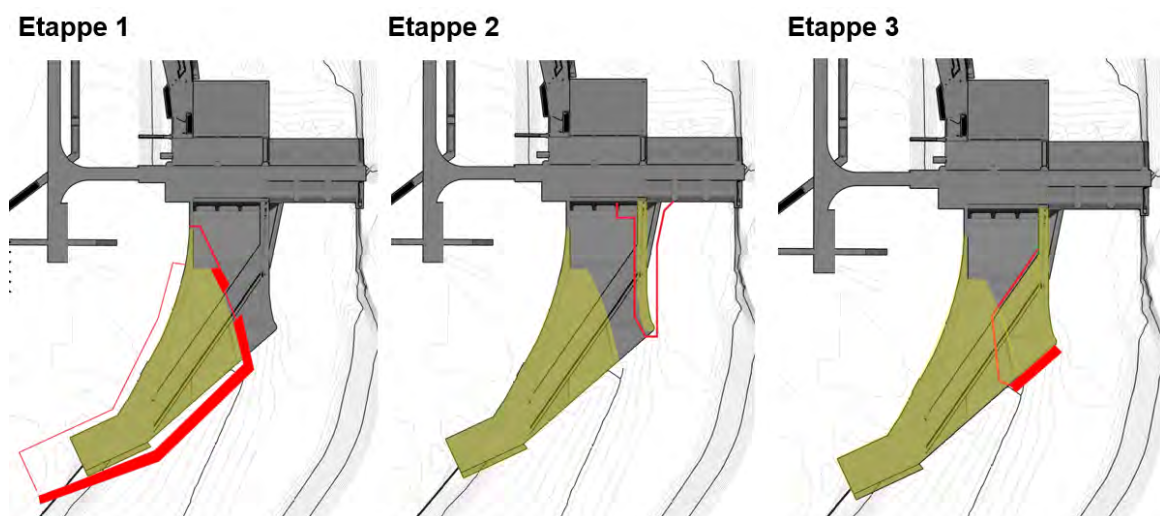


Abbildung 49: Mögliche Baugrubenetappierung

Die Bauzeit wird auf rund 3 Jahre geschätzt.

Aus den Bauetappen gehen folgende Produktionseinbussen hervor:

- Etappe 1 M1 Einschränkung 50 % (Dauer 1 Jahr)
- Etappe 2 M3 Einschränkung 100 % (Dauer 1 Jahr)
- Etappe 3 M1 bis M3 Einschränkung 50 % (Dauer 1 Jahr)
- Baugruben: Für den Bau- und den Rückbau der Baugruben wurden jeweils 3 Monate Stillstand aller Maschinen angenommen, was einen Totalausfall von 9 Monaten ergibt.

## 10 KOSTENSCHÄTZUNG

### 10.1 Gesamtkosten

Die Baukosten basieren auf Einheitspreisen und Erfahrungen ausgeführter Projekte (Preisbasis 2021). Die Kostengenauigkeit beträgt 30 %. Die Produktionseinbussen wurden mit 56 CHF/MWh berechnet. Sie sind jedoch sehr stark vom Strompreis abhängig.

Die Investitionskosten für das Leitrechen-Bypass-System werden auf CHF 68 Mio. geschätzt. Darin enthalten sind nebst den Baukosten Produktionseinbussen während der Bauzeit von CHF 15.8 Mio., welche nahezu einen Viertel der Kosten ausmachen, Planerleistungen, allgemeine Kosten (Geometer, Vermessung, Gebühren, Projektnebenkosten), Bauherrenleistungen und Finanzierungskosten.

Werden die Produktionseinbussen (vgl. Kap.10.2) sowie Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten (vgl. Kap. 10.3) über 40 Jahre und die Kosten für die Wirkungskontrolle aufgerechnet, resultieren Gesamtkosten von CHF 102 Mio.

Tabelle 7: Gesamtkostenschätzung (+/- 30 %)

| <b>Gesamtkostenschätzung</b>  | <b>CHF</b>         |
|---|--------------------|
| <b>a) Planungskosten</b>  | <b>11'520'000</b>  |
| Planerhonorare  | 9'620'000          |
| Bauherrenleistungen   | 1'900'000          |
| <b>b) Baukosten</b>   | <b>38'765'000</b>  |
| Baukosten (Hoch-/Tief-/Wasser-/Stahlwasser-/Metallbau inkl. Gebäude-/Leittechnik) | 38'005'000         |
| Allgemeine Kosten (Geometer, Vermessung, Gebühren, Projektnebenkosten)            | 760'000            |
| <b>c) Produktionseinbussen Bauphase</b>   | <b>15'800'000</b>  |
| Produktionseinbussen Bauzeit  | 15'800'000         |
| <b>d) Produktionseinbussen Betrieb (über 40 Jahre)</b>                            | <b>4'800'000</b>   |
| jährliche Rechenverluste am Leitrechen  | 0                  |
| jährlicher Wasserverlust Bypass (4.5 m <sup>3</sup> /s)                           | 120'000            |
| <b>e) Wirkungskontrolle</b>   | <b>1'500'000</b>   |
| Grobkostenschätzung Wirkungskontrolle   | 1'500'000          |
| <b>f) Unterhalt und Erneuerung</b>  | <b>27'763'009</b>  |
| jährliche Betriebs- und Instandhaltungskosten                                     | 132'000            |
| jährliche Erneuerungskosten   | 562'075            |
| <b>g) Weitere Kosten</b>  | <b>2'000'000</b>   |
| Finanzierungskosten   | 2'000'000          |
| <b>Total CHF exkl. MWST (+/- 30 %)</b>  | <b>102'148'009</b> |
| <b>davon Investitionskosten (Kostenpunkte a, b, c und d)</b>                      | <b>68'085'000</b>  |

## 10.2 Produktionseinbussen

Die Produktionseinbussen während des Betriebs der FAM setzen sich grundsätzlich aus dem Rechenverlust, welcher sich auf die Fallhöhe auswirkt, und aus der Wassermenge des Bypasses zusammen. Gemäss [4] beträgt die resultierende Verlusthöhe  $\Delta h$  durch den FLR 0.4 - 2.6 cm je nach Anströmungswinkel und Anströmungsgeschwindigkeit (Unterteilung in Bereiche mit 20°, 30° und 50°, siehe Kap. 7.1 & [4]). Aufgrund der geringen Verlusthöhe sowie der verbesserten Turbinenanströmung durch die Verlängerung des Trennpfeilers, wird der Energieverlust durch den FLR nicht weiter berücksichtigt.

Als Wassermenge für den Bypass, welche im Schnitt an 323 Tagen von Relevanz ist (365 – 42, da an 42 Tagen Wehrüberfall herrscht), fallen 4.5 m<sup>3</sup>/s an. Mit einem mittleren Energiegleichwert von 0.0166 kW/m<sup>3</sup> des WKW BAN, lässt sich der jährliche Energieverlust wie folgt berechnen:

$$E = 4.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 60\text{s} \cdot 60\text{min} \cdot 24\text{h} \cdot 323\text{d} \cdot 0.0166 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 2.1 \text{ GWh/a}$$

Dies entspricht rund 1.4 % der mittleren Jahresproduktion von 150 GWh. Die jährlichen Erlöseinbussen werden mit CHF 120'000.- beziffert (56 CHF/MWh).

## 10.3 Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten

Die Betriebs- und Instandhaltungskosten basieren auf Erfahrungswerten bestehender Anlagen und werden aufgrund des Betriebsaufwandes und die Entsorgung von Schwemmgut auf jährlich rund CHF 132'000.- geschätzt.

Die Erneuerungskosten wurden auf der Basis der durchschnittlichen Lebensdauer der Anlagenteile berechnet:

- Bau: 80 Jahre
- Baunebengewerbe: 40 Jahre
- Stahlwasserbau: 40 Jahre
- Steuerung/LET: 20 Jahre

Es resultieren jährliche Erneuerungskosten von CHF 562'075.-, was rund 0.8 % der Investitionskosten entspricht.

## 10.4 Kosten Wirkungskontrolle

Die Kostenschätzung für die Wirkungskontrolle basieren auf Erfahrungswerten von in Planung oder Realisierung stehender Fischaufstiegshilfen.

## 11 ZUSAMMENFASSUNG, ERKENNTNISSE UND AUSBLICK

Im Rahmen des technischen Vorprojekts zur Planung von Fischabstiegsmassnahmen am Kraftwerk Bannwil wurden durch die Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) der ETH Zürich numerische Modellierungen zur Positionierung eines Fischleitrechens durchgeführt [4]. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Anströmungsbedingungen insbesondere bei Blockkraftwerken sehr herausfordernd sind, um eine wirksame Leitströmung zu erzeugen. Die Modelluntersuchungen haben gezeigt, dass bedeutende bauliche Eingriffe erforderlich sind und eine Verlängerung des Trennpfeilers ins Oberwasser unumgänglich scheint, um eine Leitwirkung am Rechen zu erzeugen.

Es wurden verschiedene Anordnungen von Leitrechen hinsichtlich Anströmbedingungen und Fischleitwirkung untersucht. Viele Varianten mussten aufgrund der ungünstigen Anströmung wieder verworfen werden. Schlussendlich konnten zwei Haupt-Varianten gefunden werden, für welche mit zusätzlichen baulichen Anpassungen eine Fischleitwirkung erwartet werden kann. In einer der Varianten ist der Leitrechen zum Ufer hin ausgerichtet und kann mit einem uferseitigen Bypass kombiniert werden. In der anderen Variante ist der Leitrechen zum Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehr hin ausgerichtet und führt in einem Bypass durch den Trennpfeiler.

Diese beiden Varianten wurden einander im Variantenvergleich gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die technische Machbarkeit für beide Varianten gegeben, jedoch mit grossen baulichen Anpassungen verbunden ist. Eine Fischleitwirkung kann bei beiden Varianten erwartet werden. Es gibt jedoch, bei beiden Varianten Bereiche mit ungenügender Leitwirkung, welche aber räumlich begrenzt sind. Die geringeren Anströmgeschwindigkeiten des Leitrechens, die kleineren räumlichen Konflikte mit bestehenden Anlageteilen sowie insbesondere die günstigere Ausrichtung des Rechens hinsichtlich der Rechenreinigung sowie die grosszügigeren Platzverhältnisse uferseitig zum Abtransport des Schwemmgutes sprechen in Bannwil eindeutig für die Variante mit einem Bypass im Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehranlage. Dieser Variantenentscheid ist jedoch abhängig der lokalen Gegebenheiten in Bannwil und nicht ohne weiteres übertragbar auf andere Anlagen.

Bei der gewählten Bestvariante handelt es sich um ein Leitrechen-Bypass-System des Typs Bar Rack, mit der Stabform f-CBR und einem lichten Stababstand von 50 mm. Die Rechenebene wird in einem Winkel von 35° zur Turbinenachse positioniert und vom Ufer zum Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehranlage hin ausgerichtet. Der insgesamt rund 100 m lange Rechen wird in drei Rechenebenen mit Breiten von jeweils 33 m und Höhen von 7.80 bis 9.80 m unterteilt. Der bestehende Trennpfeiler zwischen Maschinenhaus und Wehr wird bis zum Anschlusspunkt des Leitrechens um rund 35 m verlängert. Um die Anströmung auf die Rechenebene zu verbessern und eine Leitwirkung am Rechen zu generieren, muss der Trennpfeiler um weitere etwa 30 m über die Rechenebene hinaus ins Oberwasser verlängert, leicht abgewinkelt und ausgerundet werden. Die Rechenreinigung wird über die befahrbare Rechenbrücke mittels zwei Bagger-RRMs sichergestellt. Das Schwemmgut kann durch mitgeführte Mulden uferseitig abtransportiert und entsorgt werden. Ein Abschwemmen des Schwemmholzes Richtung Wehr wird durch eine Abschwemmöffnung im Trennpfeiler ermöglicht.

Der Einstieg in den Bypass wird durch drei mittels Schützen verschliessbare Öffnungen sichergestellt, wobei eine bodennah, eine auf halber Höhe und eine oberflächennah angeordnet werden. Der Abfluss im Bypass wird über ein Dachwehr gesteuert, durch welches der Abfluss im Bypass trotz abgesenktem Staupiegel bei Hochwasser bis zur Abflussmenge  $Q_{30}$  in der Aare konstant bei ca. 4.5 m<sup>3</sup>/s gehalten werden kann. Die Betriebswassermenge im Bypass entspricht rund 1 % der Ausbauwassermenge des Kraftwerks. Der Bypass kann durch den bestehenden Trennpfeiler mit einem leichten Radius ins UW des linken Wehrfeldes 1 geführt werden.

Die technische Machbarkeit eines Leitrechen-Bypass-Systems konnte damit aufgezeigt werden. Bezüglich biologischer Wirkung sowie Betrieb der Anlage bestehen jedoch noch Unsicherheiten, da bisher keine vergleichbaren Anlagen realisiert wurden.

Die Investitionskosten belaufen sich auf rund CHF 68 Mio. exkl. MWST und beinhalten Erlöseinbussen von rund CHF 16 Mio. während der Bauzeit. Die Gesamtkosten, welche Produktionseinbussen sowie Betriebs-, Instandhaltungs- und Erneuerungskosten über 40 Jahre sowie eine Grobkostenschätzung für die Wirkungskontrolle beinhalten, werden auf rund CHF 102 Mio. exkl. MWST geschätzt.

Infolge der beschriebenen Herausforderungen, bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich des Betriebs und der Leiteffizienz sowie den prognostizierten hohen Kosten, werden parallel zum technischen Vorprojekt der Bestvariante alternative Fischabstiegsmassnahmen im Rahmen des Syntheseberichts



---

untersucht. In einem weiteren Schritt gilt es seitens BAFU über das weitere Vorgehen zu entscheiden. Konkret kann dies die Weiterbearbeitung der hier beschriebenen Anlagendisposition eines Fischleit-rechen-Bypass-System oder einer im Synthesebericht erarbeiteter alternativer Fischabstiegs-mass-nahme sein.

BKW Energie AG  
Hydraulische Kraftwerke  
Grid- & Hydro-Engineering



Stephan Egli

Ressortleiter  
Kraftwerks- und Wasserbau



Sandra Krähenbühl

Projektleiterin

## Anhang 1 Abkürzungen

|            |   |
|------------|---|
| AWA        | Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern  |
| BAFU       | Bundesamt für Umwelt  |
| BDS        | Barotrauma Detection System   |
| BFG        | Bundesgesetz über die Fischerei   |
| CBR        | Curved Bar Rack   |
| $d_m$      | massgebender Durchmesser  |
| EnG        | Energiegesetz vom 30. September 2016 (SR 730.0)   |
| EnV        | Energieverordnung vom 1. November 2017 (SR 730.01)  |
| EZG        | Einzugsgebiet   |
| FAH        | Fischaufstiegshilfe   |
| FAM        | Fischabstiegsmassnahme  |
| FLR        | Fischleitrechen   |
| FLW        | Fischleitwirkung  |
| GSchG      | Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (SR 814.20) |
| GSchV      | Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (SR 814.201)                                      |
| IKAP       | Interkantonale Aareplanung  |
| JGK        | Juragewässerkorrektur   |
| KWWB       | Kraftwerk Wildegg-Brugg (Axpo)  |
| MBR        | Modified Bar Rack   |
| OW         | Oberwasser  |
| $Q_A$      | Ausbauwassermenge   |
| $Q_B$      | Bemessungshochwasser  |
| $Q_M$      | mittlerer Abfluss   |
| $Q_S$      | Sicherheitshochwasser   |
| $Q_{30}$   | Abfluss, der an 30 Tagen im Jahr überschritten wird   |
| $Q_{330}$  | Abfluss, der an 330 Tagen im Jahr überschritten wird  |
| RRM        | Rechenreinigungsmaschine  |
| S          | Überlebensrate (Survival) von Fischen bei Maschinendurchgang                                    |
| TL         | Totallänge (von Fischen)  |
| UW         | Unterwasser   |
| VAR        | Verband-Aare-Rheinwerke   |
| VAW        | Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich  |
| $v_n$      | Normalkomponente der Fliessgeschwindigkeit (senkrecht zur Rechenebene)                          |
| $v_t$      | tangentiale Geschwindigkeitskomponente (tangential zur Rechenebene)                             |
| VSP        | Vertikalschlitzpass (Vertical-Slot-Pass)  |
| WKW BAN    | Wasserkraftwerk Bannwil (BKW)   |
| WSP        | Wasserspiegellage   |
| $\alpha$   | alpha, Anströmwinkel  |
| $\Delta h$ | Differenz zweier Wasserspiegellagen   |
| $\zeta$    | zeta, Verlustbeiwert  |

---

## Anhang 2 Grundlagen und Literatur

- [1] FishConsulting GmbH: Radiotelemetrische Untersuchungen zum Fischabstieg am Kraftwerk Bannwil. 30.08.2023.
- [2] Sensormessungen der Wehrpassage in Über- und Unterströmung sowie der Turbinenpassage am Wasserkraftwerk Bannwil. Jeffrey A. Tuhtan und Gert Toming – Technische Universität Tallinn. Mai 2023. (vgl. Beilage 3)
- [3] Herzog Ingenieure AG: WKW Bannwil, Einmalige Sicherheitsüberprüfung. 15.03.2023.
- [4] Fischleitrechen Wasserkraft Bannwil – Numerische Modelluntersuchung», 4413, VAW, Mai 2022. (vgl. Beilage 2).
- [5] Amt für Wasser und Abfall (AWA), Sanierungsverfügung Bannwil, Wasserkraftrecht Nr. 45056, Aare, Wiederherstellung der freien Fischwanderung inkl. Schutz der Lebensräume der Wassertiere, 25.03.2022.
- [6] BKW: Betriebshandbuch WKW Bannwil. 15.03.2022.
- [7] BAFU (Hrsg.) 2022: Wiederherstellung der Fischwanderung. Gute Praxisbeispiele für Wasserkraftanlagen in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2205: 109 S.
- [8] BAFU: Messstation Aare Murgenthal (LH2063), Jahrestabellen, *hydrodaten.admin.ch*.
- [9] BAFU: Messstation Aare Murgenthal (LH2063), Hochwasserstatistik, 7.4.2021, *hydrodaten.admin.ch*.
- [10] WSL: Extremhochwasser an der Aare, Projekt EXAR, 2021.
- [11] BAFU: Faktenblätter zur Seeregulierung, Regulierung Jurarandseen. Juni 2020.
- [12] BKW: Sanierung Fischgängigkeit, Fischaufstieg, WKW Bannwil, Dossier Baugesuch. 26.02.2020.
- [13] Amt für Wasser und Abfall (AWA), Sanierungsverfügung Bannwil, Wasserkraftrecht Nr. 45056, Aare, 21.08.2015
- [14] Kriewitz, C.R.: Leitrechen an Fischabstiegsanlagen: Hydraulik und fischbiologische Effizienz. VAW-Mitteilungen 230, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, 2015.
- [15] Kt. BE (TBA), SO (AfU) und AG (BVU): Sanierungsplanung Geschiebehaushalt, Aare Bielersee – Rhein, Schlussbericht. 07.11.2014.
- [16] Kt. AG, BE und SO: Interkantonale Aareplanung: Strategische Planung Sanierung Fischgängigkeit, Fischwanderhilfen bei Aarekraftwerken, Einheitliche Grundsätze der Kantone. Version 1.1., 15.08.2014.
- [17] DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 509, Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Mai 2014.
- [18] Ebel G.: Fischschutz und Fischabstieg am an Wasserkraftanlagen, Handbuch Rechen- und Bypasssysteme, Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, Band 4, 2013.
- [19] Dumont Ulrich, Keuneke Rita: Vergleich von Prognosemodellen zur Berechnung der Turbinenbedingten Fischmortalität. WasserWirtschaft, Nr. 9, 2010.

### Anhang 3 Datentabellen zur Abschätzung der Fischüberlebensraten bei der Turbinenpassage

Tabelle 8: Überlebensraten S für salmonidenspezifische Prognosemodelle

| Survival - salmonidenspezifisch |          |           |     |
|---------------------------------|----------|-----------|-----|
| TL                              | Monten 2 | Turnpenny | L&D |
| 0.1                             | 96       | 98        | 93  |
| 0.2                             | 93       | 94        | 91  |
| 0.3                             | 90       | 90        | 89  |
| 0.4                             | 86       | 86        | 87  |
| 0.5                             | 83       | 81        | 85  |
| 0.6                             | 79       | 76        | 83  |
| 0.7                             | 76       | 71        | 80  |
| 0.8                             | 72       | 66        | 78  |
| 0.9                             | 69       | 61        | 75  |
| 1                               | 65       | 55        | 72  |

Tabelle 9: Überlebensraten S für aalspezifische Prognosemodelle

| Survival - Aal |      |             |          |     |
|----------------|------|-------------|----------|-----|
| TL             | Ebel | Von Raben 2 | Monten 2 | L&D |
| 0.1            | 100  | 97          | 97       | 74  |
| 0.2            | 100  | 95          | 93       | 71  |
| 0.3            | 92   | 92          | 90       | 67  |
| 0.4            | 81   | 89          | 86       | 64  |
| 0.5            | 71   | 87          | 83       | 60  |
| 0.6            | 60   | 84          | 79       | 56  |
| 0.7            | 49   | 81          | 76       | 53  |
| 0.8            | 38   | 79          | 72       | 49  |
| 0.9            | 27   | 76          | 69       | 46  |
| 1              | 16   | 73          | 66       | 42  |

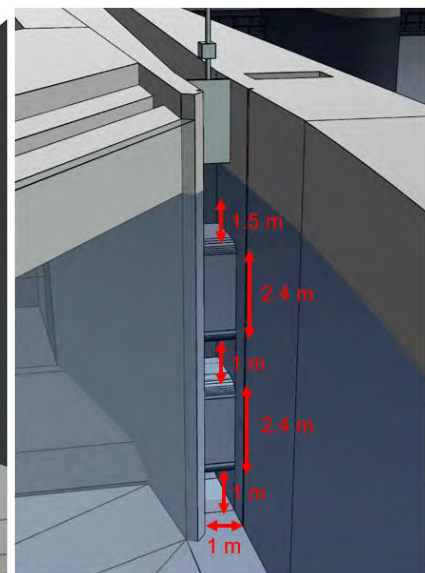
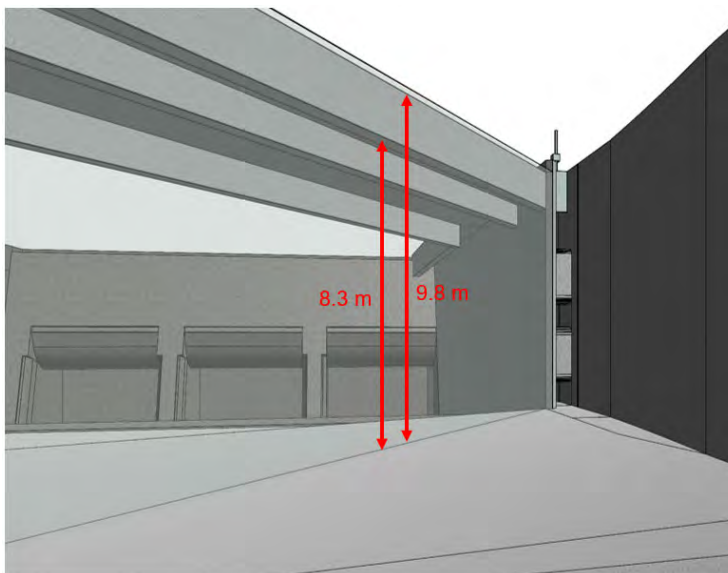
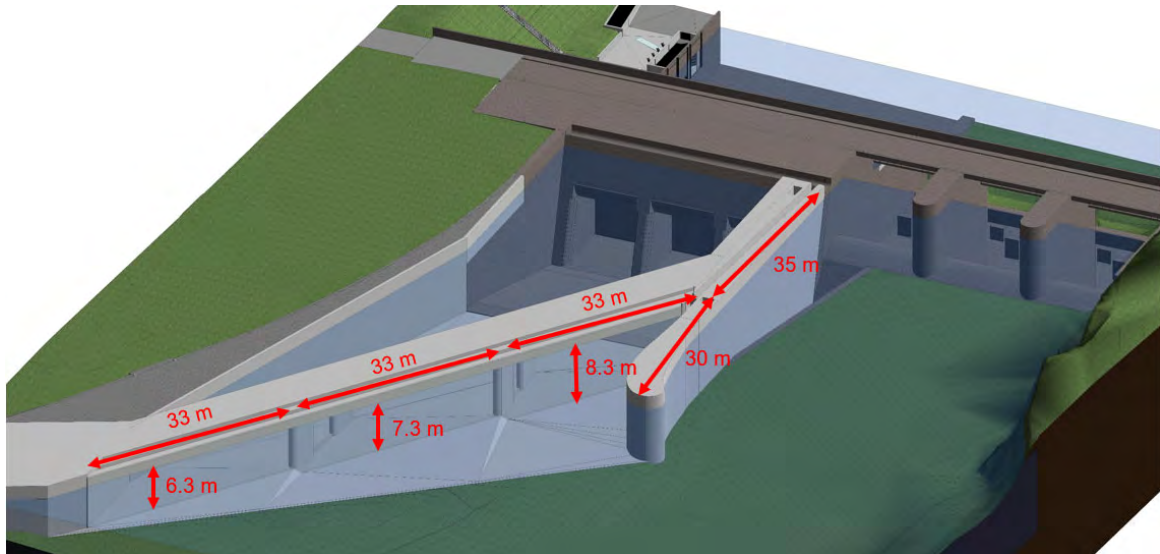
Tabelle 10: Überlebensraten S für artunspezifische Prognosemodelle

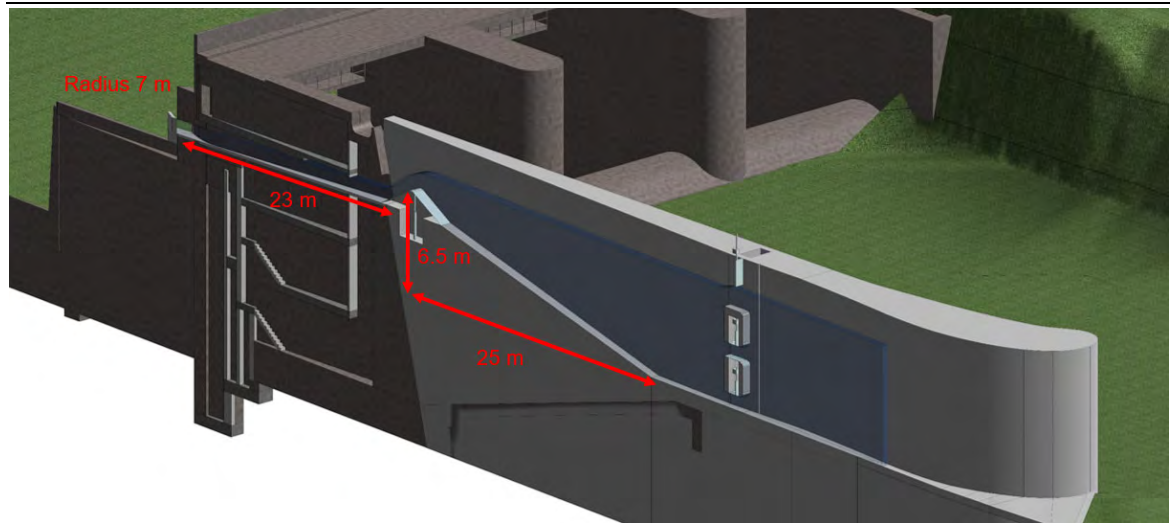
| Survival - artunspezifisch |          |             |     |
|----------------------------|----------|-------------|-----|
| TL                         | Monten 1 | Von Raben 1 | L&D |
| 0.1                        | 96       | 94          | 94  |
| 0.2                        | 93       | 88          | 92  |
| 0.3                        | 89       | 81          | 89  |
| 0.4                        | 85       | 75          | 85  |
| 0.5                        | 81       | 69          | 81  |
| 0.6                        | 78       | 63          | 77  |
| 0.7                        | 74       | 57          | 73  |
| 0.8                        | 70       | 50          | 68  |
| 0.9                        | 66       | 44          | 63  |
| 1                          | 63       | 38          | 58  |

Tabelle 11: Überlebensraten S bei Teillast für salmonidenspezifisches Prognosemodell

| Survival - Teillast salmonidenspezifisch |                          |     |     |     |     |     |     |
|--|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TL                                       | Q <sub>Aus-</sub><br>bau |     |     |     |     |     |     |
|  |                          | 75% | 70% | 65% | 60% | 55% | 50% |
| 0.1                                      | 98                       | 97  | 97  | 97  | 96  | 96  | 95  |
| 0.2                                      | 94                       | 92  | 92  | 91  | 90  | 89  | 88  |
| 0.3                                      | 90                       | 87  | 86  | 85  | 83  | 82  | 80  |
| 0.4                                      | 86                       | 81  | 80  | 78  | 76  | 74  | 71  |
| 0.5                                      | 81                       | 75  | 73  | 71  | 68  | 66  | 62  |
| 0.6                                      | 76                       | 68  | 66  | 63  | 60  | 57  | 52  |
| 0.7                                      | 71                       | 62  | 59  | 56  | 52  | 48  | 42  |
| 0.8                                      | 66                       | 55  | 52  | 48  | 43  | 38  | 32  |
| 0.9                                      | 61                       | 48  | 44  | 40  | 35  | 29  | 22  |
| 1  | 55                       | 41  | 36  | 32  | 26  | 19  | 11  |

## Anhang 4 Visualisierung Bestvariante

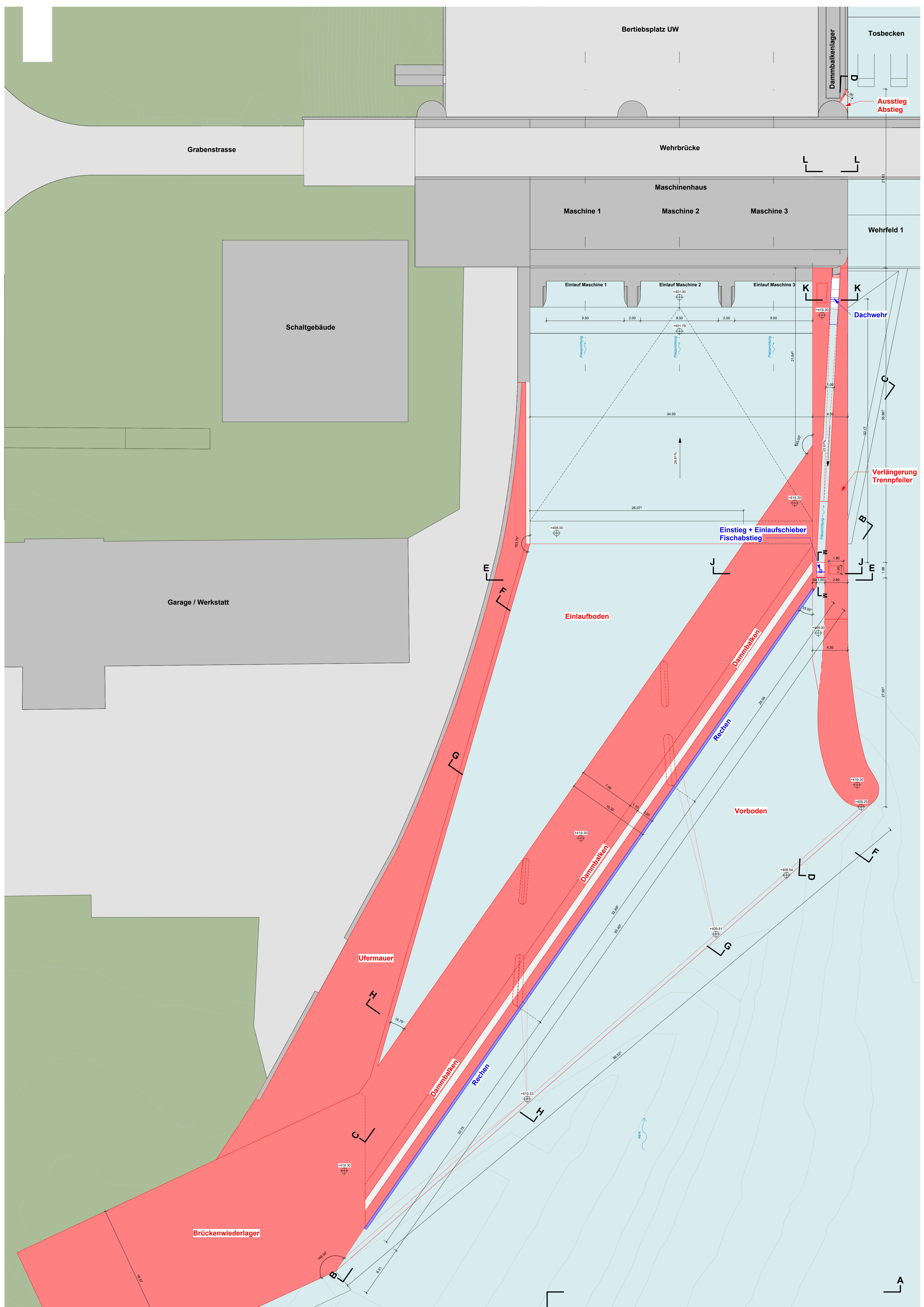




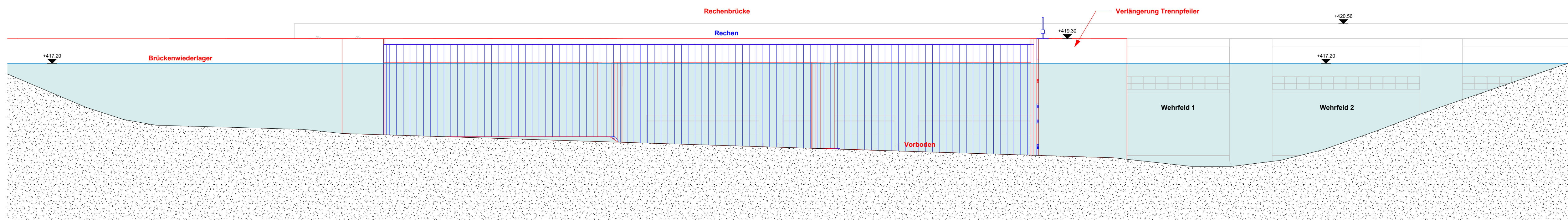
## Anhang 5 Planbeilagen

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| Situation     | 01017.BA.00051.01 |
| Längsschnitte | 01017.BA.00158.01 |
| Querschnitte  | 01017.BA.00159.01 |

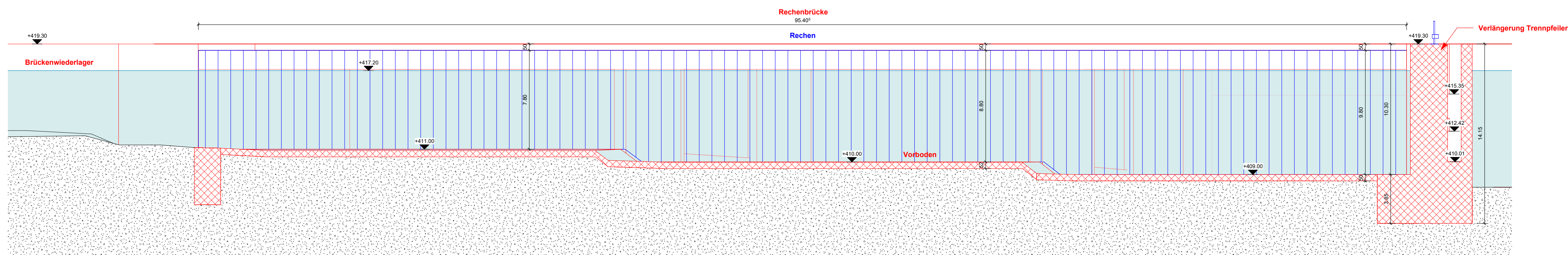




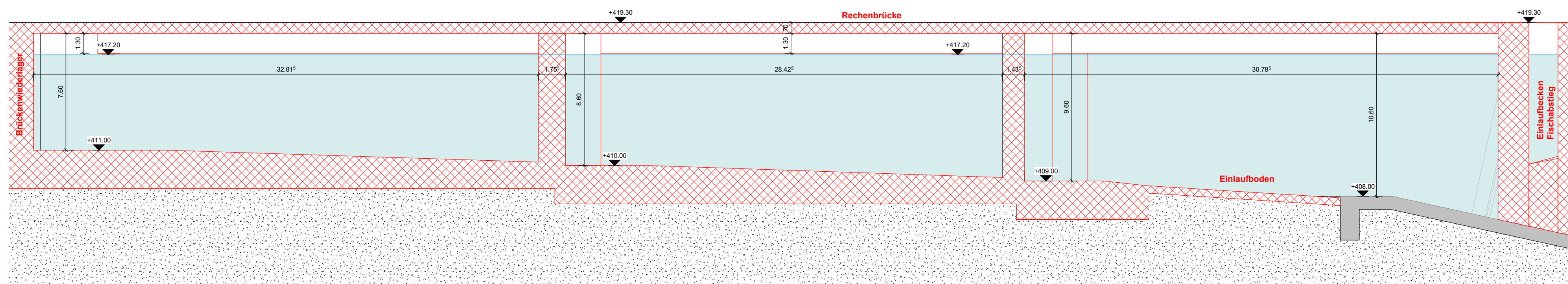
|   |  |                   |            |         |
|---|--|-------------------|------------|---------|
| <b>WKW BANNWIL</b>  |  | <b>Vorprojekt</b> |            |         |
| <b>Abstieg Fischpass</b>  |  | Masstab           | Datum      | Name    |
| <b>Situation</b>  |  | 1:200             | 21.07.2022 | nadas   |
| <b>Rechenbrücke</b>   |  | geprüft           | 04.08.2022 | zinsi   |
|   |  | freigegeben       | 04.08.2022 | kraes01 |
|   |  | Grösse            | 594 x 841  |         |
| <b>BKW</b> BKW Energie AG Viktoriaplatz 2 3013 Bern<br>Tel. +41 58 477 51 11, Fax. +41 58 477 56 35 |  | 01017.BA.00051.01 |            |         |



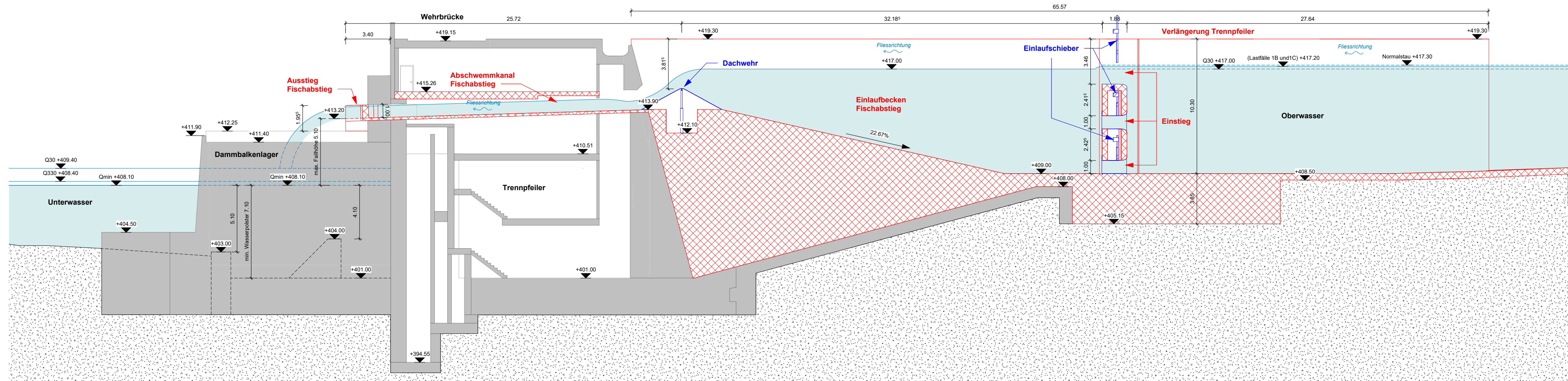
Ansicht A-A 1:200



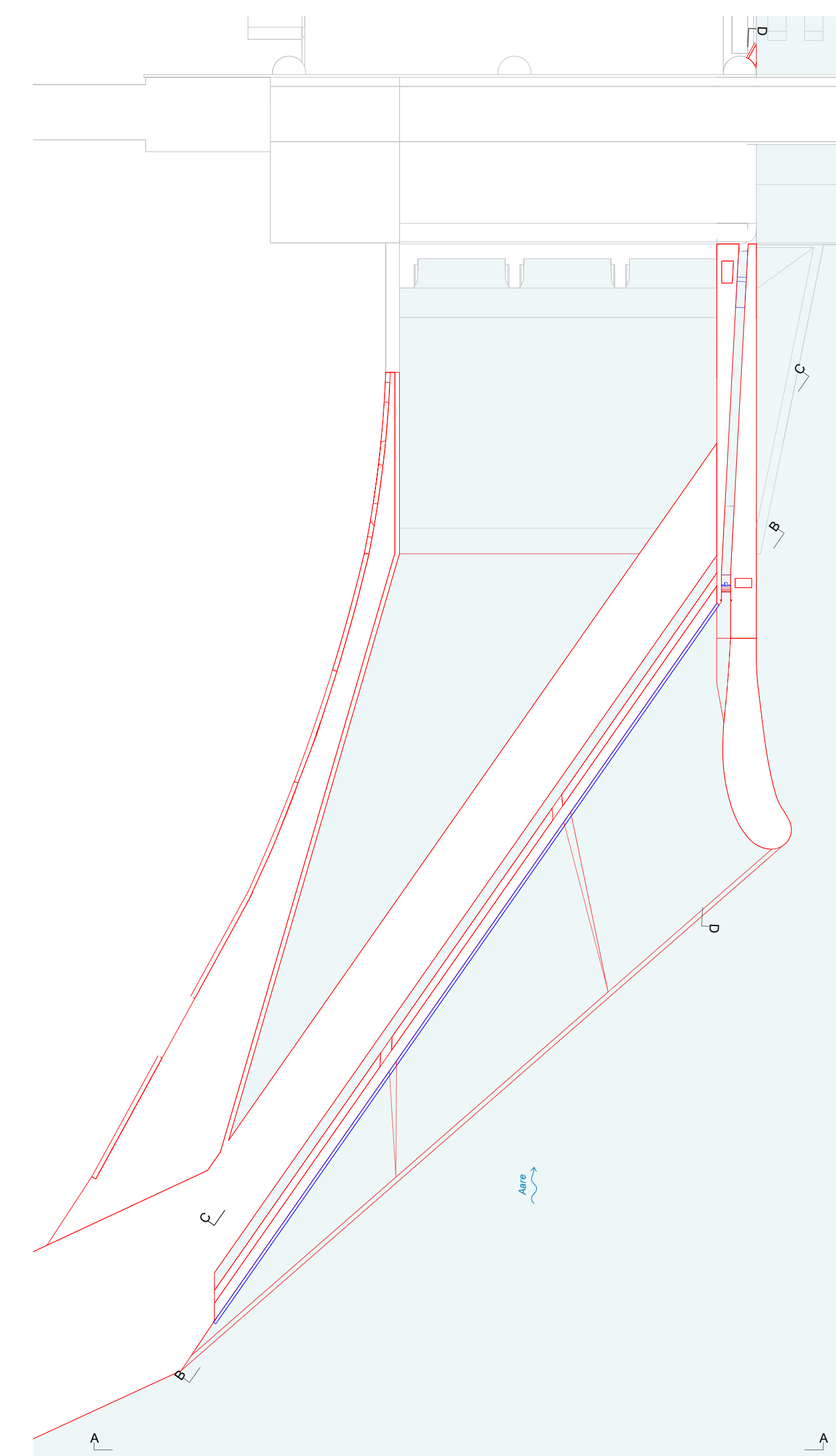
Schnitt B-B 1:200



Schnitt C-C 1:200

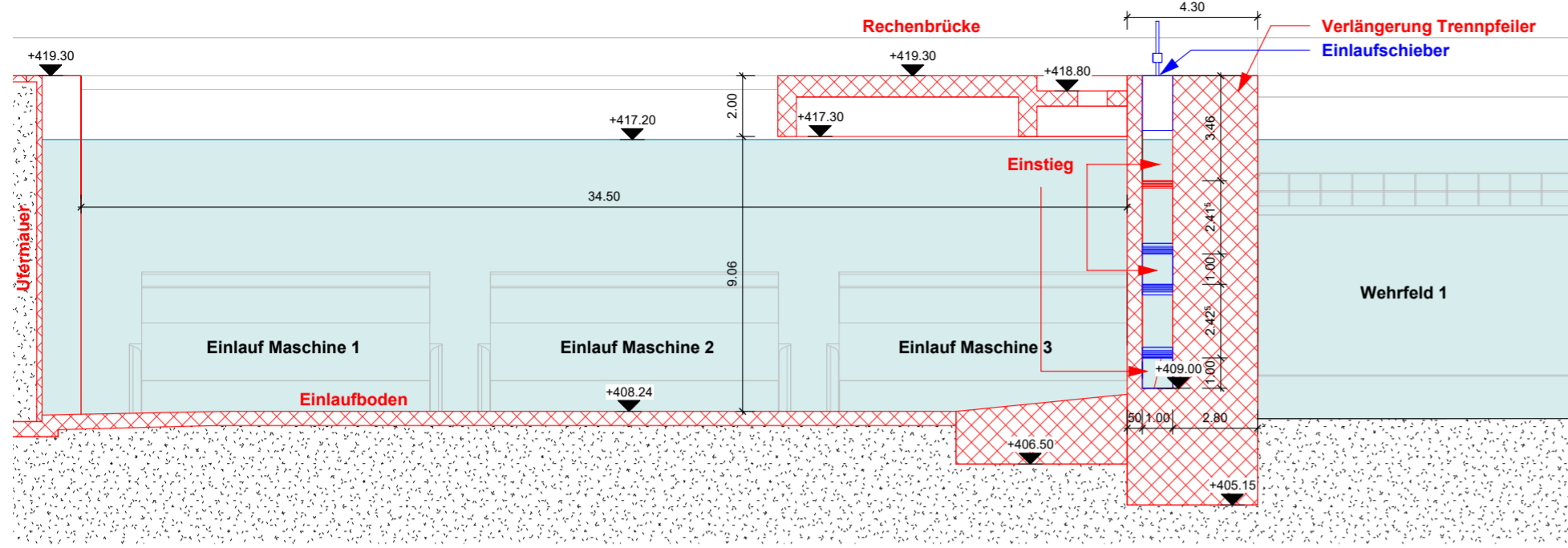


Schnitt D-D 1:200

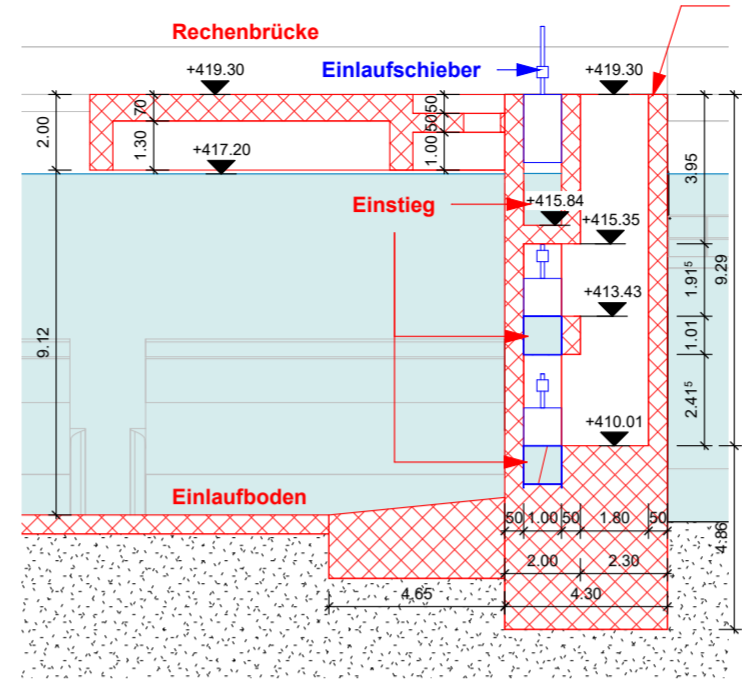


Situation 1:500

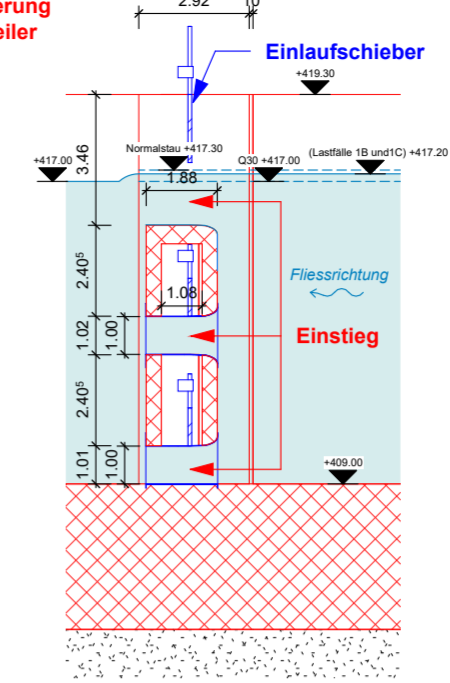
|   |       |                   |            |
|---|-------|-------------------|------------|
| <b>WKW BANNWIL</b>  |       | <b>Vorprojekt</b> |            |
| <b>Abstieg Fischpass<br/>Längsschnitte<br/>Rechenbrücke</b>   | 1:200 | erstellt          | 21.07.2022 |
|   | 1:500 | geprüft           | 04.08.2022 |
|   |       | freigegeben       | 04.08.2022 |
|   |       | Grösse            | 594 x 841  |
| <b>BKW</b> BKW Energie AG Viktoriaplatz 2 3013 Bern<br>Tel. +41 58 477 51 11, Fax. +41 58 477 56 35 |       | 01017.BA.00158.01 |            |



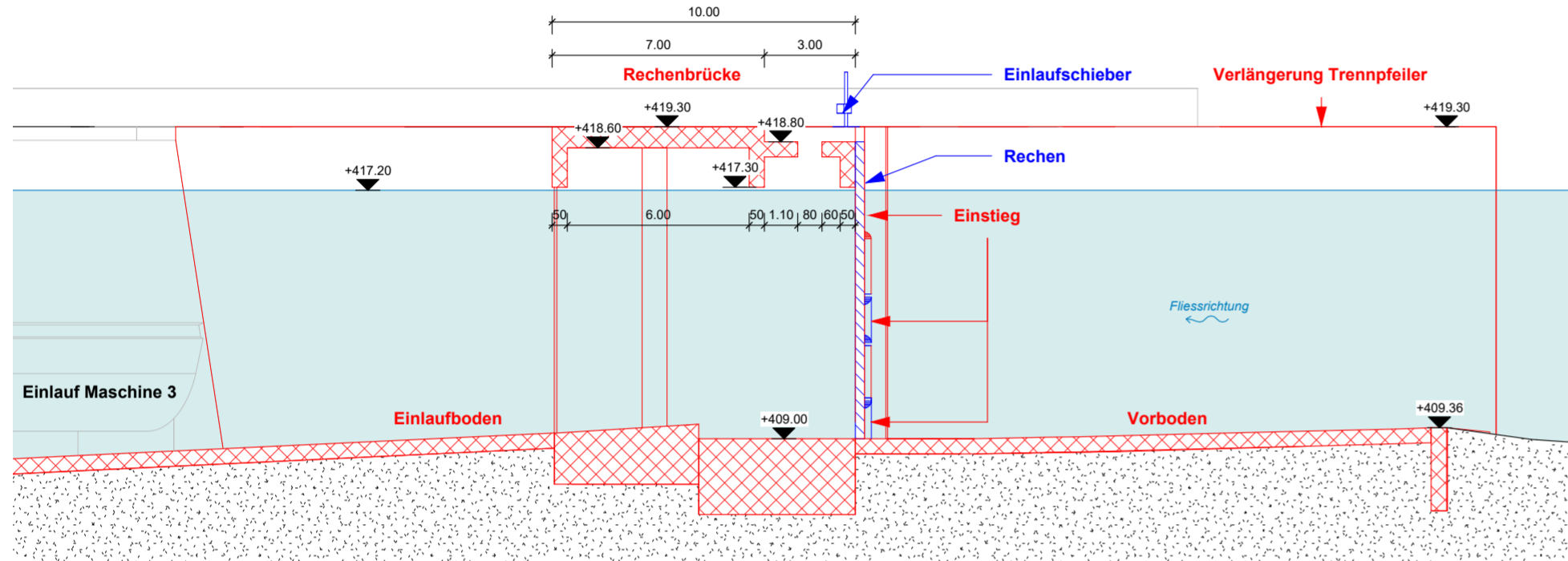
Schnitt E-E 1:200



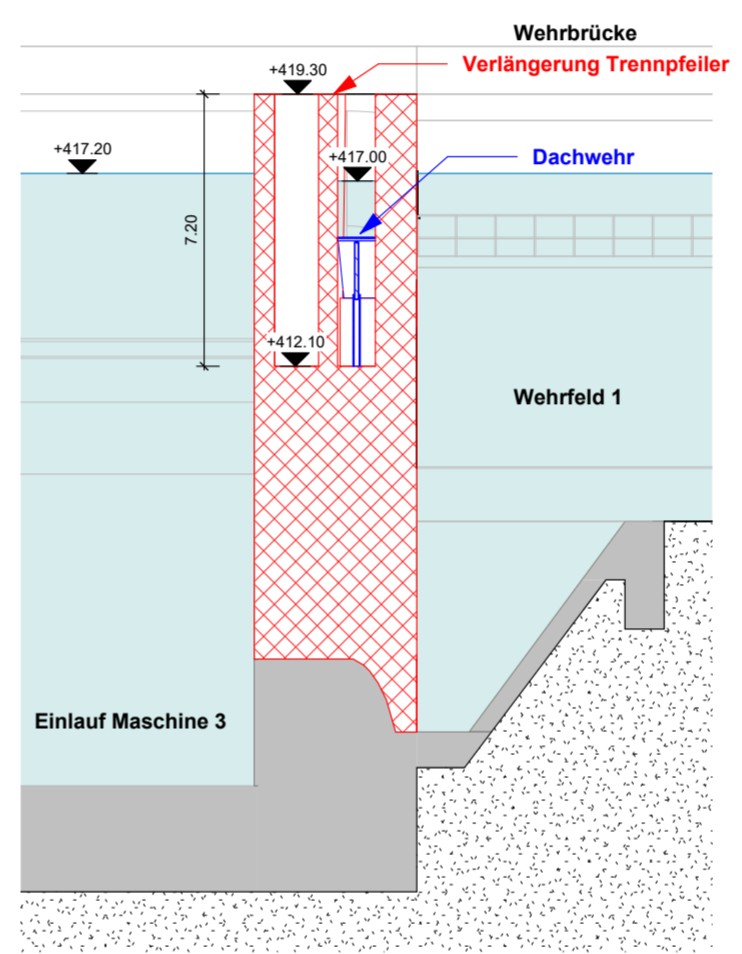
Schnitt J-J 1:200



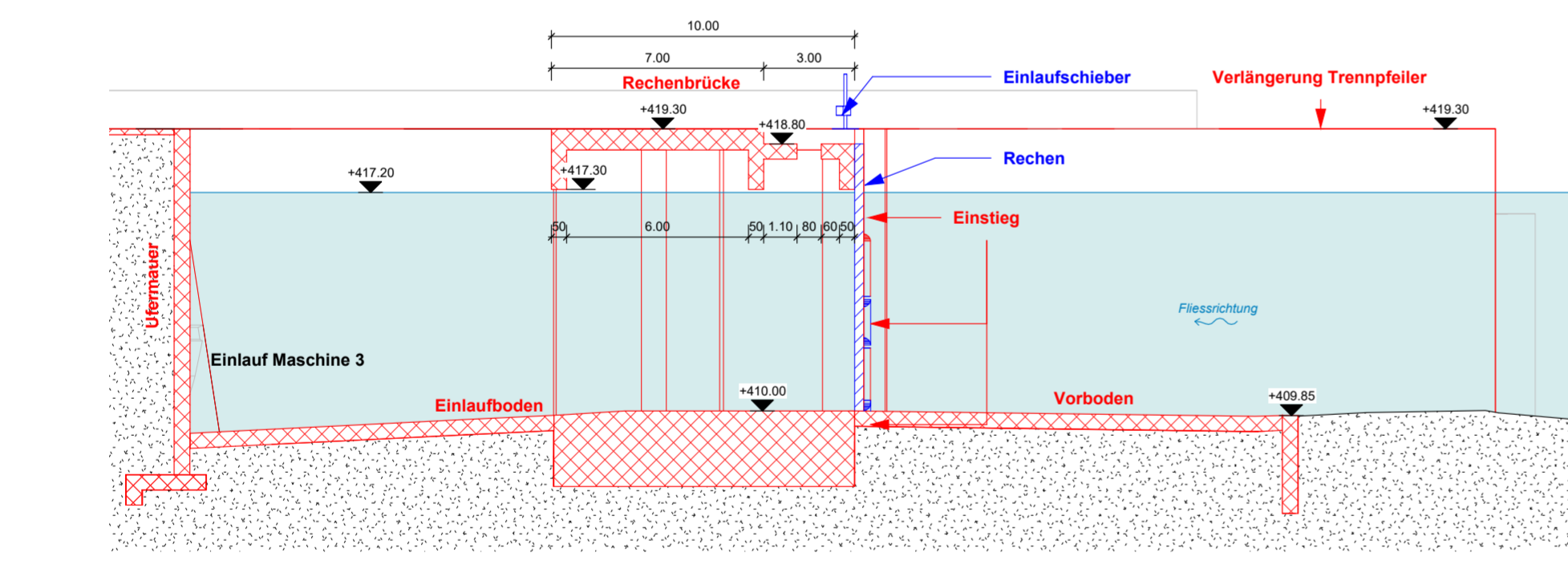
Schnitt M-M 1:200



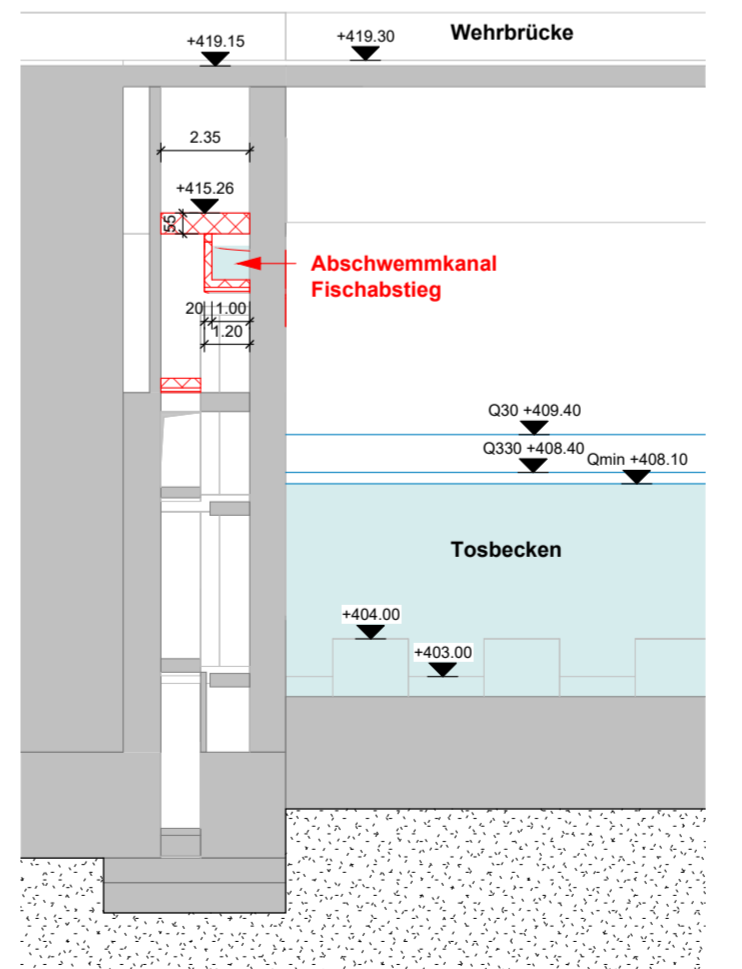
Schnitt F-F 1:200



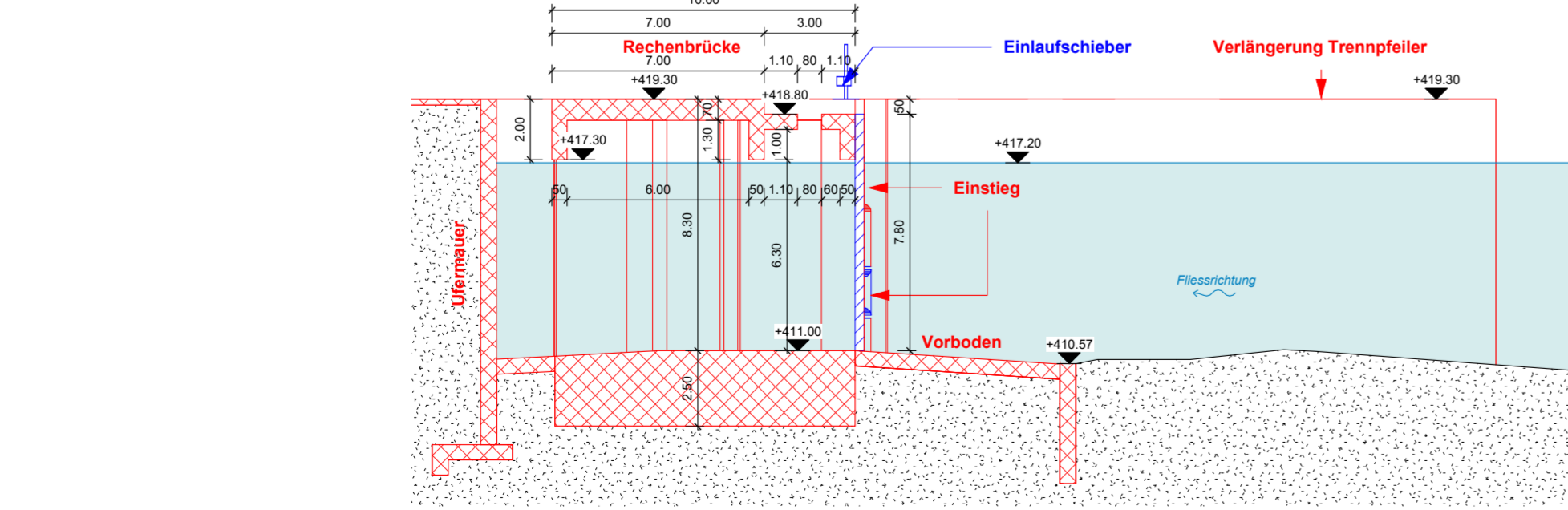
Schnitt K-K 1:200



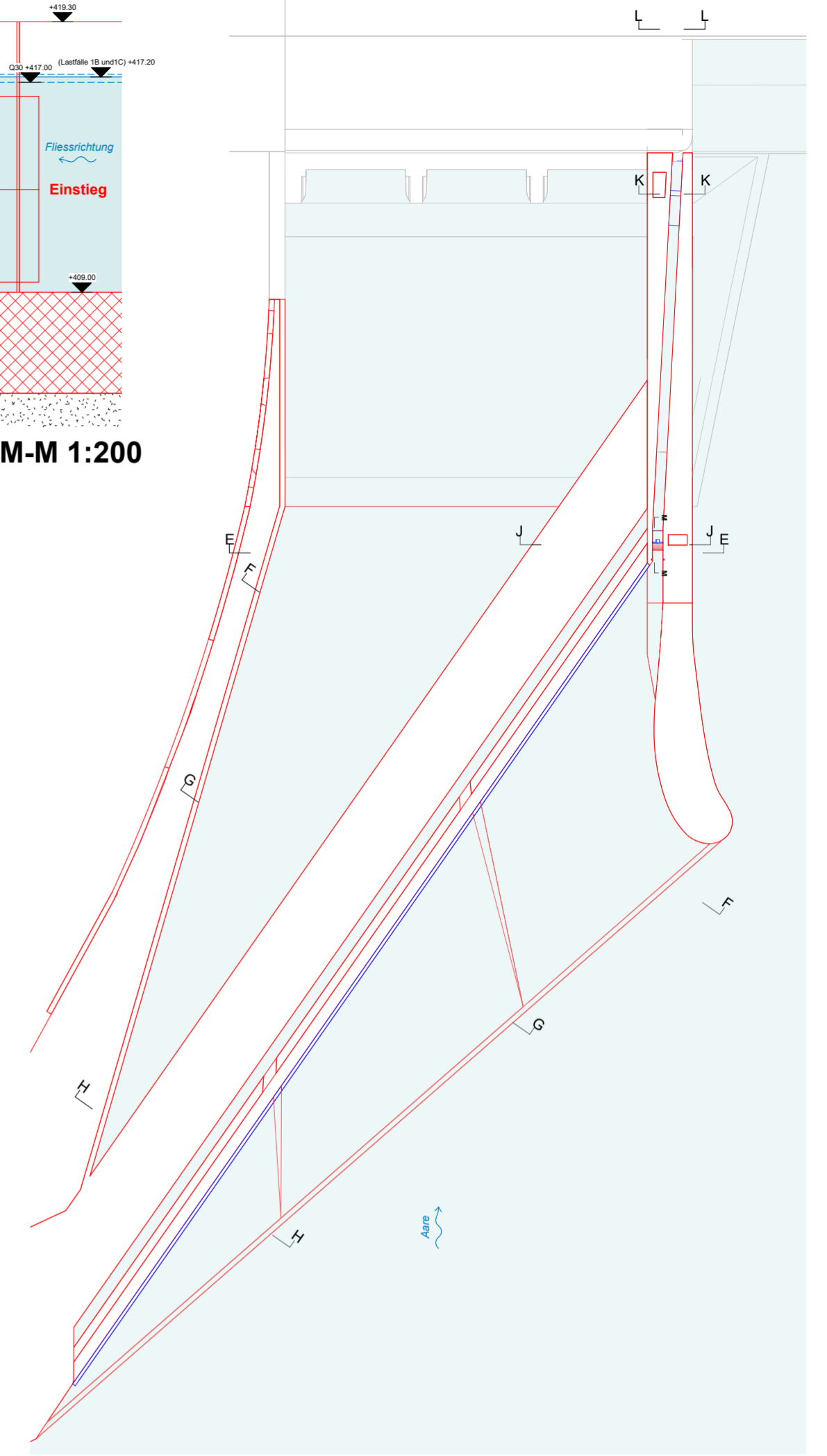
Schnitt G-G 1:200



Schnitt L-L 1:200



Schnitt H-H 1:200



|   |         |                   |            |         |
|---|---------|-------------------|------------|---------|
| <b>WKW BANNWIL</b>  |         | <b>Vorprojekt</b> |            |         |
| <b>Abstieg Fischpass<br/>Querschnitte<br/>Rechenbrücke</b>  | Masstab |                   | Datum      | Name    |
|   | 1:200   | erstellt          | 22.07.2022 | nadas   |
|   |         | geprüft           | 04.08.2022 | zinsi   |
|   |         | freigegeben       | 04.08.2022 | kraes01 |
|   | Grosse  | 420 x 594         |            |         |
| <b>BKW</b> BKW Energie AG Viktoriaplatz 2 3013 Bern<br>Tel. +41 58 477 51 11, Fax. +41 58 477 56 35 |         | 01017.BA.00159.01 |            |         |