

Fischschutz und Fischabstieg in Österreich – Teilbericht 5

Konzeptstudie Murau

Mitfinanziert von:



Fischschutz und Fischabstieg in Österreich – Teilbericht 5

Konzeptstudie Murau

Wien, 2019

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

Autoren: Simon Führer, Bernhard Zeiringer, Günther Unfer (Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement)

Fotonachweis: sofern nicht anders angegeben: Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, BOKU Wien

Wien, 2019. Stand: 19. Juli 2019

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist.

Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtssprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Förderung:

Das Forschungsprojekt wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus, durch das Land Niederösterreich, Land Oberösterreich, Land Salzburg, Land Steiermark sowie den Verein Kleinwasserkraft Österreich und den Österreichischen Fischereiverband (unter Beteiligung der LFV NÖ, ÖO, Tirol und dem WFA) finanziert. Die Abwicklung der Umweltförderung erfolgte durch die Kommunalkredit Public Consulting.

Inhalt

Einleitung.....	6
1 Untersuchungsstandort	8
1.1 Anlagenbeschreibung.....	9
1.1.1 Geschichte der Kraftwerksanlage	9
1.1.2 Aktueller Anlagenbestand.....	9
1.1.3 Exkurs – Fischpassierbarkeit und Fischbestand	11
1.1.4 Hydrologische Randbedingungen	12
2 Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg	17
2.1 Barrieretypen und Bemessungsgrößen	18
2.1.1 Exposition und Anströmbedingungen.....	21
2.1.2 Lichte Stabweite	22
2.2 Rahmenbedingungen am Standort Murau	22
2.2.1 Zielfischarten und lichte Stabweite.....	22
2.2.2 Wanderkorridor.....	23
2.2.3 Triebwasserkanal und Anströmgeschwindigkeiten.....	24
3 Variantenüberblick	26
3.1 Triebwasserkanal.....	27
3.1.1 Barriere vor Triebwasserkanal.....	27
3.1.2 Barriere im Triebwasserkanal.....	28
3.1.3 Turbinenpassage.....	35
3.2 Grundablass und bewegliches Wehr	35
3.3 Festes Wehr.....	36
4 Variantenbewertung & Fazit.....	37
Barriere vor Triebwasserkanal	38
Barriere im Triebwasserkanal	39
Tabellenverzeichnis.....	42
Abbildungsverzeichnis	43

Literaturverzeichnis	45
Anhang	48

Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Fischschutz und Fischabstieg in Österreich“, wurde die Thematik des Fischabstieges in österreichischen Fließgewässern erstmals genauer untersucht. Antizipierte Ergebnisse des Projekts sollten dazu beitragen, Lösungsvorschläge für die österreichische Fluss- bzw. Kraftwerkslandschaft zu erarbeiten und den Beitrag bzw. die Notwendigkeit des Fischabstieges zur Erreichung des Sanierungs- und Erhaltungszieles „guter ökologischer Zustand/gutes ökologisches Potential“ für relevante Fischregionen zu klären. Das Augenmerk richtet sich dabei auf Kleinkraftwerke unterschiedlicher Gewässertypen in Österreich.

Neben drei Fallstudien – an der Thaya in Niederösterreich, der Seeache in Oberösterreich sowie dem Fritzbach und der Kleinarler Ache in Salzburg – an denen bereits bestehende Fischabstiegsanlagen in Hinblick auf deren Funktion überprüft werden – werden gegenständlich unterschiedliche Möglichkeiten zur Lösung der Abstiegsproblematik an einem hypothetischen Fallbeispiel – dem Kleinwasserkraftwerk Murau – an der oberen Mur aufgezeigt und diskutiert. Konkret zielt die Konzeptstudie auf potentielle Maßnahmen im Kontext Fischschutz und Fischabstieg an einer bestehenden Kraftwerksanlage in der Äschenregion ab, wobei neben einer Beurteilung der ökologischen Wirkung, der Umsetzungsaufwand (unter Berücksichtigung einer Nutzung bestehender Anlagenteile) sowie der Betrieb bzw. die Wartung qualitativ beurteilt werden. Die Äsche, die als eine der bedeutendsten heimischen Arten gilt und österreichweit durch Wanderungseinschränkungen in Zusammenhang mit Wanderhindernissen stark betroffen ist, weist speziell in der Mur noch bedeutende Bestände auf. Folglich ist die Gewährleistung sicherer/verletzungsfreier Wanderkorridore insbesondere für diese Fischart dringend gefordert.

Für die Bereitstellung von Informationen und Unterlagen danken wir den Murauer Stadtwerken als Kraftwerksbetreiber, im Besonderen Herrn Ing. Kurt Woitischek.

Nachstehende Kernfragen werden in vorliegender Konzeptstudie bearbeitet:

- Welche Wanderkorridore können in Abhängigkeit der hydrologischen Bedingungen von Fischen aktuell für den Abstieg genutzt werden?
- Können aktuell gebotene Wanderkorridore ganzjährig und verletzungsfrei passiert werden?
- Welche Verbesserungsmöglichkeit hinsichtlich Fischschutz und Fischabstieg könnten am gegenständlichen Kraftwerksstandort potentiell realisiert werden?

1 Untersuchungsstandort

Der Kraftwerksstandort Murau (Abbildung 1) liegt östlich der Stadt Murau im Bundesland Steiermark an der Oberen Mur (Fkm 377,0 – Berichtsgewässernetz) im Detailwasserkörper 802720001. Die Mur, die auf einer Höhe von rd. 2.050 m ü. A. in den Radstätter Tauern im Bundesland Salzburg entspringt, legt bis zum Kraftwerk Murau rd. 285 km zurück und umfasst dabei ein Einzugsgebiet von rd. 1.700 km². Der Mittelwasserabfluss (MQ) liegt bei rd. 36 m³/s¹.



Abbildung 1: Übersicht des Kraftwerkstandorts Murau mit Fischaufstiegshilfe (FAH) sowie Ober- und Unterwassersituation

Im Bereich Murau ist die Mur der Bioregion *Unvergletscherte Zentralalpen* und der Fischregion *Hyporhithral* (Äschenregion) zugeordnet (NGP, 2015). Neben der Äsche sind Bachforelle und Koppe als Leitarten definiert (BAW, 2017; adaptiertes Leitbild im Abschnitt *Murau–Judenburg* (Fkm 378,50–328,00) nach Woschitz & Parthl, 2008).

¹ Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2015: Pegel Gestüthof (HZB-Nr. 211086), Reihe 1976–2015; Pegelstelle rd. 2,5 km flussab der Kraftwerksanlage Murau

1.1 Anlagenbeschreibung

1.1.1 Geschichte der Kraftwerksanlage

Das Kraftwerk wurde in den Jahren 1907–1908 mit drei Francis-Turbinen (Leistung je 100 kW) an einer natürlichen Felsschwelle (Kögelhofkatarakt) östlich von Murau auf Beschluss des Murauer Gemeinderats errichtet. 1954 wurde das Kraftwerk im Zuge der Neuerrichtung der Wehranlage um einen weiteren Maschinensatz (Francis-Schachtturbine mit Ausleitungsstollen, 500 kW) erweitert. In folge energiewirtschaftlicher Überlegungen wurde die Anlage in den Jahren 1983–1985 grundlegend umgebaut. Im Zuge der Arbeiten wurde die Wehranlage durch den Einbau einer hydraulischen Stauklappe modernisiert, das Kraftwerkhaus neu errichtet und die drei bestehenden Francis-Turbinen durch eine Kaplan-S-Turbine (2.000 kW) ersetzt. Gleichzeitig wurde der Einbau einer zweiten Kaplan-S-Turbine (2.000 kW) baulich vorgesehen, die schließlich im Jahr 2002 installiert wurde. Die Francis-Schachtturbine blieb bestehen. Im Jahr 2004 wurde die Fischpassierbarkeit im Rahmen eines 4-jährigen LIFE-Projekts (EU-Förderprogramm „LIFE Natur“ – Inneralpines Flussraummanagement Obere Mur) durch Errichtung einer Fischaufstiegshilfe (FAH) wiederhergestellt.

1.1.2 Aktueller Anlagenbestand

Die Kraftwerksanlage verfügt aktuell über drei Maschinensätze (2 Kaplan S-Turbinen, 1 Francis-Schachtturbine) und eine Gesamtleistung von 4.500 kW. Der Ausbaudurchfluss (Q_A) beträgt insgesamt 60 m³/s. Davon entfallen 5,6 m³/s auf die Francis-Schachtturbine, die bei höherer Wasserführung der Mur (ab ca. 55 m³/s) zugeschaltet wird. Ausgehend vom Stauziel der Wehranlage (797,80 m ü. A.) ergibt sich bei Niederwasser ($WSP_{NNQ} = 788,50$ m ü.A.) eine maximale Fallhöhe von 9,30 m.

Nachstehende Abbildung zeigt die zentralen Teile der Kraftwerksanlage, die im Wesentlichen aus Einlaufbauwerk, Triebwasserkanal, Krafthaus und FAH (linkes Ufer), dem Grundablass (Gewässer Mitte) sowie der Wehranlage (rechtes Ufer) besteht. Die großräumige Anordnung dieser Anlagenteile spielt im Zusammenhang mit den vorherrschenden hydrologischen Bedingungen sowie der konkreten Ausführung spezifischer Teile (z.B. lichte Rechenweite) für auf- und abstiegswillige Fische eine zentrale Rolle (z.B. verfügbare Wanderkorridore, Auffindbarkeit, Rechenpassierbarkeit)!

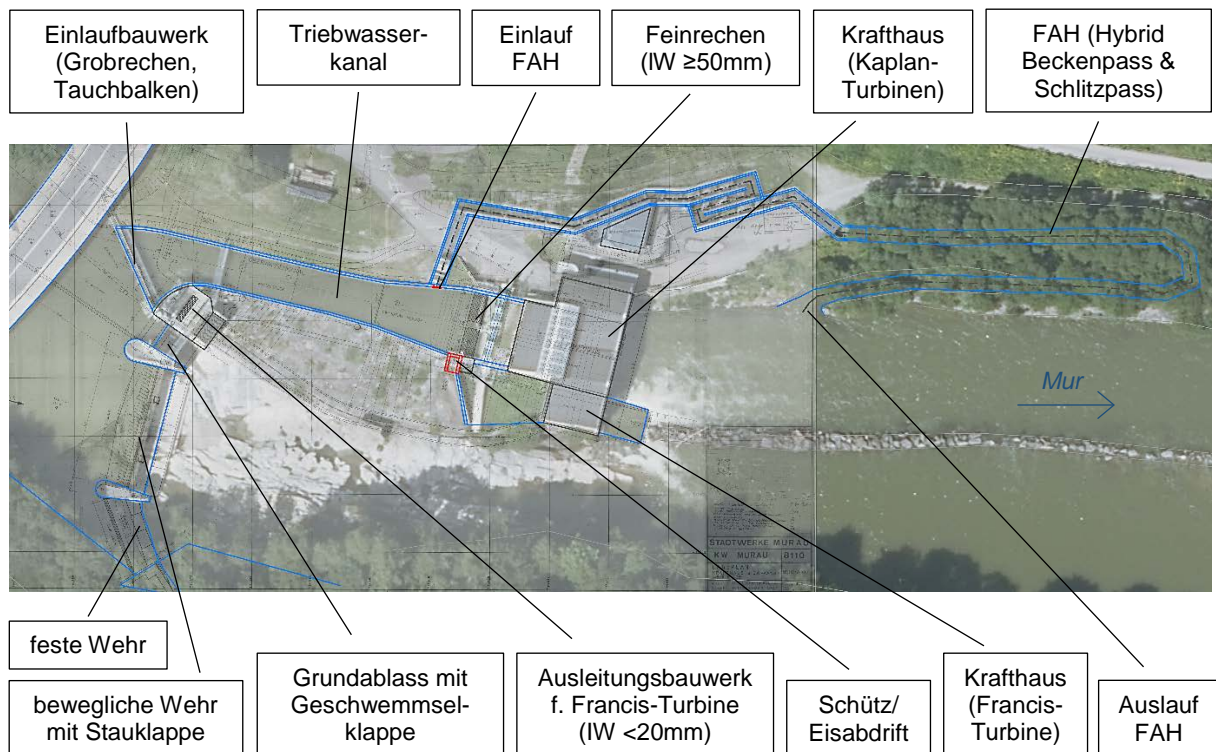


Abbildung 2: Kraftwerksanlage mit spezifischen Anlagenteilen

Das schräg angeordnete Einlaufbauwerk (Breite: rd. 14 m), situiert am linken Murofer, besteht aus Grobrechen (lichte Stabweite: 35 cm) samt Rechenreinigungsanlage und Tauchbalken. Anfallendes Rechengut wird i.d.R. entnommen, kann bei Erfordernis aber auch über die spezielle Reinigungsvorrichtung in Richtung des Grundablasses geleitet werden. Das Verschlussorgan des Grundablasses (Breite: rd. 5 m) ist mit einer aufgesetzten und separat steuerbaren Geschwemmselklappe ausgestattet, sodass Rechengut im Bedarfsfall durch kurzes Absenken der Klappe ins Unterwasser gespült werden kann. Ferner kann die Klappe zur Feinregulierung des Stauwasserspiegels genutzt werden.

Neben Einlaufbauwerk und Grundablass befindet sich die Wehranlage, bestehend aus einem beweglichen Wehr (lichtes Wehrfeld rd. 22 m) mit hydraulischer Wehrklappe und einem festen Wehr (rechtes Ufer). Die Wehrklappe kann im Hochwasserfall zur Gänze abgesenkt werden bzw. bei Überwasser zur Regulierung des Stauwasserspiegels genutzt werden.

Der rd. 60 m lange Triebwasserkanal schließt linksufrig an das Einlaufbauwerk an und weist im mittleren Abschnitt eine Breite von 6,8 m bzw. eine Wassertiefe von rd. 4,3 m auf. Im flussabgelegenen Einlaufbereich der beiden Kaplan-Maschinensätze (Turbinenvorhof) weitet sich der Triebwasserkanal auf insgesamt 11,2 m. Die beiden Einlaufschächte sind durch einen 1,2 m breiten Einlaufpfeiler getrennt. Zum Schutz der Kaplan-Turbinen ist zwischen Einlaufpfeiler und Ufermauer je ein konventioneller Feinrechen mit vertikalen Rechenstäben

(lichte Stabweite $\geq 50\text{mm}$, Horizontalneigung 90° , Vertikalneigung 65°) vorgeschaltet. Anfallendes Rechengut wird über eine automatische Reinigungsvorrichtung in die dahinterliegende Spülrinne gehoben und linksufrig entnommen.

Im Bereich des Turbinenvorhofs ist rechtsufrig und unmittelbar flussauf des Feinrechens ferner ein Spülschütz situiert, das im Bedarfsfall die Abdrift von Eis ins Unterwasser ermöglicht. Am gegenüberliegenden linken Ufer befindet sich rd. 7 m flussauf der beiden Feinrechen die Einlauföffnung der FAH.

Im Regelbetrieb erfolgt die Abarbeitung von Wasser über die beiden Kaplan-Turbinen. Zusätzlich wird Triebwasser ab einer Wasserführung der Mur von rd. $55\text{ m}^3/\text{s}$ über ein separates Ausleitungsbauwerk (rechtsufrig am oberen Ende des Triebwasserkanals) unterirdisch in Richtung Krafthaus abgeleitet und an der Francis-Schachtturbine abgearbeitet. Zum Schutz der Francis-Turbinen ist am Ausleitungsbauwerk ein Feinrechen mit vertikalen Rechenstäben und einer lichte Stabweite $<20\text{mm}$ vorgeschaltet.

Im Unterwasser trennt ein rd. 200 m langes Leitwerk den eingetieften Turbinenauslaufbereich (linkufrig) vom Tosbecken der Wehranlage (Altbett der Mur, rechtsufrig) ab, wodurch sich bei einer Wasserführung der Mur $\leq Q_A$ (kein Überwasser) ein ausgeprägter Ruhigwasserbereich unterhalb der Wehranlage ergibt. Dies begünstigt im Allgemeinen die großräumige Auffindbarkeit des linkufrig, rd. 25 m flussab der Turbinenauslässe situierten FAH-Einstiegs.

1.1.3 Exkurs – Fischpassierbarkeit und Fischbestand

Die Fischpassierbarkeit der Kraftwerksanlage ist seit Errichtung der FAH im Rahmen des EU-LIFE-Natur Projektes „Inneralpines Flussraummanagement Obere Mur“ im Jahr 2004 gegeben. Konkret wurde eine Kombination aus Beckenpass (24 Becken) und Schlitzpass (20 Becken) mit einer Gesamtlänge von 230 m am linken Ufer realisiert (Wiesner et al., 2007). Flussaufwärts wandernde Fische können nach Passage des naturnahen bzw. technischen Abschnitts in den Triebwasserkanal aussteigen, und weiter flussauf ins Oberwasser ausschimmen. Die Dotation ($150\text{--}450\text{ l/s}$) der FAH kann entsprechend der Ansprüche des Fischartenspektrums im Jahresverlauf (Frühjahrs- bzw. Herbstlaicher) variabel eingestellt werden. Somit können für Äsche, Huchen und Regenbogenforelle (Frühjahrs-laicher) sowie Bachforelle (Herbstlaicher) erhöhte Dotationen während der Laichzeiten bereitgestellt werden.

Die Funktionsfähigkeit der FAH wurde in den Jahren 2004–2005 im Zuge einer rd. 13-monatigen Untersuchungsperiode nachgewiesen (Wiesner et al., 2007): Im Zeitraum vom

22.10.2004 bis 22.11.2005 wurden neben dem Aufstieg von 6.747 Ind. (64% Äsche, 16% Bachforelle, 20% Regenbogen; 0,3% sonstige Arten) auch der Abstieg von 372 Ind. (23% Äschen, 44% Bachforellen, 30% Regenbogenforellen, 3% sonstige Arten) durch Einsatz einer Doppelreuse dokumentiert. Der Anteil an Absteigern liegt demnach bei rd. 5%.

Bei den Absteigern zeigte sich im Jahresverlauf im Herbst 2004 (55 Ind.) bzw. 2005 (78 Ind.) eine klare Dominanz der Bachforelle (80% bzw. 72%). Im Frühjahr 2005 (239 Ind.) zeigte sich eine vergleichsweise ausgeglichene Verteilung zw. Bachforelle (26%), Äsche (34%) und Regenbogenforelle (38%). Bezüglich der Entwicklungsstadien wurden – mit Ausnahme von Äschenjungstadien (0+ Jahrgang) – bei Äsche, Bachforelle und Regenbogenforelle alle Altersklassen in der Abwärtsreue dokumentiert.

Im Zuge der Untersuchungen wurde der Gesamtbestand im Unterwasser (KW Murau bis Gestüthofbrücke) mit rd. 1.970 Ind./ha bzw. rd. 440 kg/ha geschätzt (Herbstbefischung 2004). Da die gefangenen Fische ab einer Körperlänge von rd. 10 cm farblich mit Elastomer-Tags markiert wurden und zusätzliche farblich/örtlich unterscheidbare Markierungen bei einer Passage (flussauf, flussab) der Reuse erfolgten, konnten auch Mehrfachpassagen der FAH detektiert werden. Dabei wurden auch Fische registriert, die zwischen den Wiederaufstiegen nicht über die FAH abstiegen. Durch die Zuordnung der zwischenzeitlichen Abflussbedingungen konnte aber ein Abstieg über die Wehrklappe angenommen (Überwassersituation) oder ausgeschlossen werden (keine Überwassersituation), wobei letzteres auf den Abstieg über die Turbinen schließen lässt. Da keine Detailuntersuchungen in puncto Turbinenpassage (z.B. Erhebung von Mortalitätsrate) durchgeführt wurden, konnten diesbezüglich keine quantitativen Aussagen abgeleitet werden. Allerdings wurden Fische im Zuge der Reusenentleerungen auf äußere Verletzungen kontrolliert, wobei die Schädigung einer Regenbogenforelle in Folge der Turbinenpassage dokumentiert wurde.

Zur Abschätzung der Mortalitätsraten an Kaplan-turbinen kann an dieser Stelle daher nur auf die Literatur (Teilbericht 01) verwiesen werden. Dabei sind standort- und anlagenspezifische Mortalitätsraten zwischen 5 und 20 % für juvenile Salmoniden beschrieben (DWA, 2005; Höfer & Riedmüller, 1996). Ebel (2013) berechnete für Salmoniden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche an Kaplan-turbine eine mittlere Mortalität von 13 %.

1.1.4 Hydrologische Randbedingungen

Zur Charakterisierung der hydrologischen Bedingungen am Untersuchungsstandort wird die rd. 2,5 km flussab der Kraftwerksanlage gelegene Pegelstelle Gestüthof (HZB-NR. 211086) herangezogen:

Abbildung 3 zeigt die Abfluss- und Temperaturbedingungen (Monatsmittelwerte) im langjährigen Mittel (Reihe 1976–2015). Der mittlere Abfluss liegt in den Wintermonaten im Bereich von rd. 10–25 m³/s und steigt im Frühjahr bis rd. 80 m³/s (mittleres Frühjahrsmaximum rd. 150 m³/s). Im Herbst liegt der Abfluss im Mittel bei rd. 25–40 m³/s. Die natürliche Variabilität des Abflussgeschehens beeinflusst u.a. die Verfügbarkeit potentieller Abstiegsmöglichkeiten für Fische, da beispielsweise bei Überschreitung des Ausbaudurchflusses ($Q_{Mur} > Q_A$) die Wehrklappe überströmt wird, sodass neben einem Abstieg über den Triebwasserkanal auch ein Abstieg über die Wehrklappe erfolgen kann. In Bezug auf die morphologischen Bedingungen im Unterwasser (Katarakt) spielt auch die tatsächlich auftretende Überwassermenge (Wasserpolster) in Hinblick auf eine verletzungsfreie Abwärtswanderung eine wesentliche Rolle.

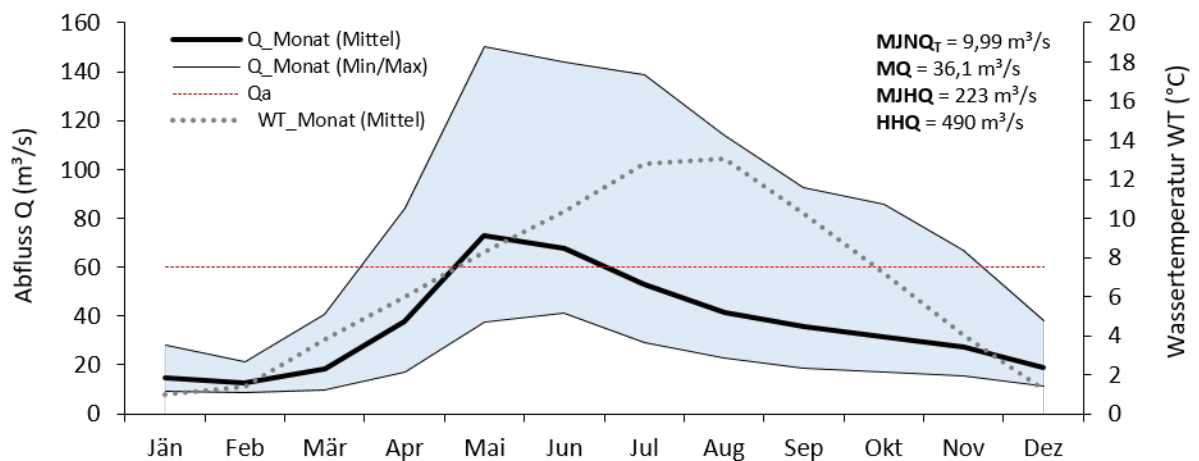


Abbildung 3: Abfluss- und Temperaturganglinie (Monatsmittelwerte: Min/Max/Mittel) am Pegel Gestüthof (211086) mit Ausbaudurchfluss (Q_a), (Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018; Reihe: 1976-2015), Statistische Kennzahlen: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2015 (Reihe 1976–2015).

Gemäß den beschriebenen Zusammenhängen ist eine detailliertere Betrachtung im Hinblick auf die Konzeption verletzungsfreier Abstiegsvarianten erforderlich: Nachfolgende Abbildung zeigen die mittleren Überschreitungstage in Abhängigkeit des Abflusses. Es zeigt sich, dass der Ausbaudurchfluss von 60 m³/s im langjährigen Mittel an 52 Tagen je Jahr überschritten wird (Überwasser). Dementsprechend ergibt sich an rd. 300 Tagen je Jahr kein Wehrüberfall, sodass in dieser Zeit ausschließlich der Triebwasserkanal als Wanderkorridor zu Verfügung steht!

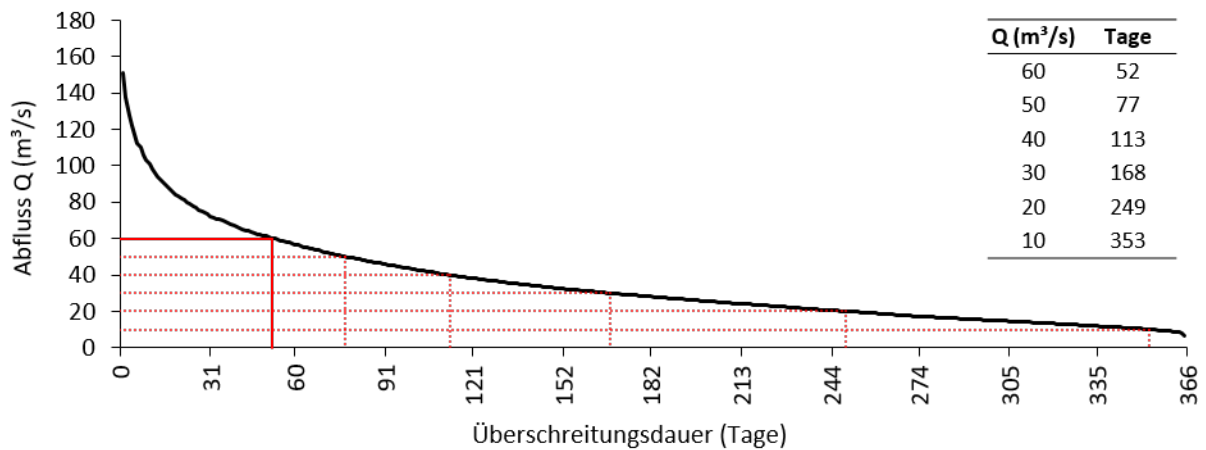


Abbildung 4: Überschreitungsdauerlinie am Pegel Gestüthof (211086) mit ausgewählten Überschreitungen (rote Linien bzw. Tabelle), (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).

Im Jahresverlauf (Abbildung 5) zeigt sich, dass in den Monaten November bis März praktisch keine Überwassersituationen auftreten. Folglich kann in dieser Zeit ausschließlich der Triebwasserkanal als Wanderkorridor genutzt werden. Die Tage mit Überwasser liegen primär zwischen Mai (im Mittel rd. 20 Tage) und Juli (im Mittel rd. 5 Tage), unterliegen aber natürlicherweise einer gewissen Streuung.

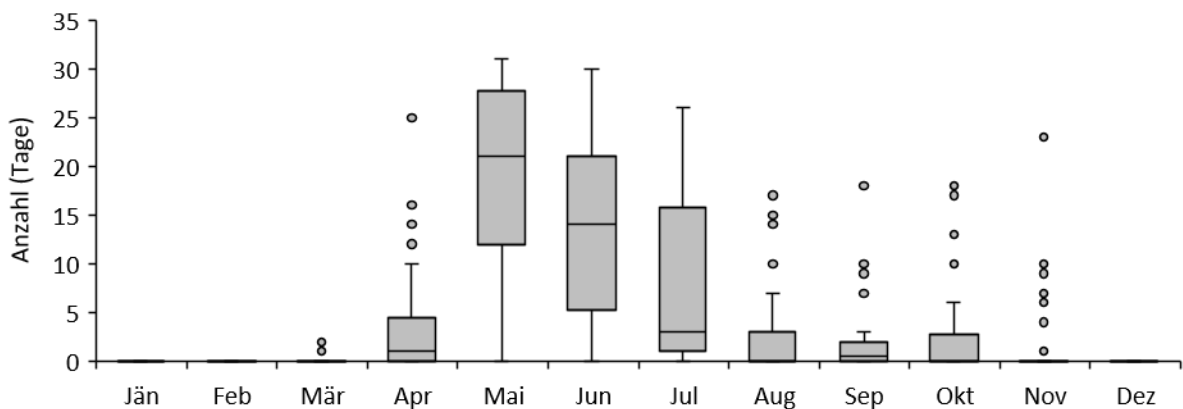


Abbildung 5: Tage mit Abflussbedingungen $>60 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Gestüthof (211086), (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).

Zur weiteren Veranschaulichung werden drei Jahre betrachtet, die im Bereich Murau repräsentativ als Nassjahr (2009), Regeljahr (2006) und Trockenjahr (2003) herangezogen werden können. Anhand der Ganglinien (Abbildung 6) zeigt sich, dass der Ausbaudurchfluss im Nassjahr von Anfang April bis Mitte Juli durchgehend sowie im September vorübergehend überschritten wurde. Auch das Regeljahr zeigt in den Frühjahrs- und Sommermonaten

deutliche Überschreitungen, die allerdings von Perioden ohne Überwasser abgelöst werden. Im Gegensatz dazu zeigen sich im Trockenjahr nur einzelne Überwassertage (Mai, Oktober, November).

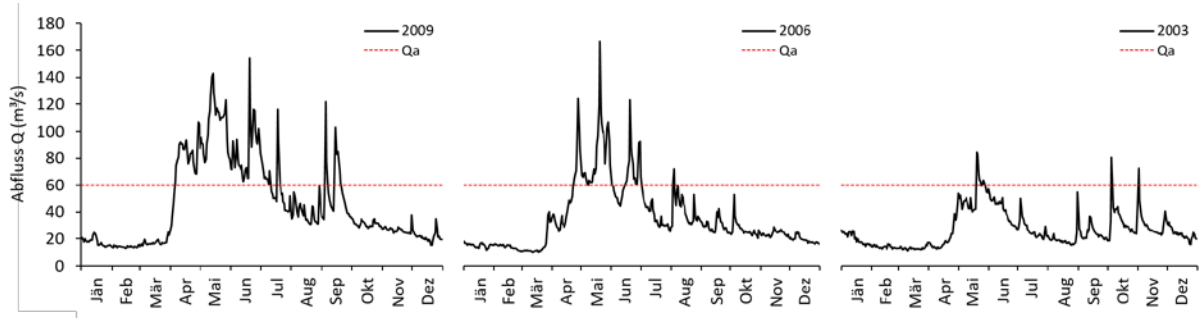


Abbildung 6: Abflussganglinie am Pegel Gestüthof (211086): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006) und Trockenjahr (2003), Ausbaudurchfluss (Qa) in Rot, (Tagesmittelwerte; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).

Zur Abschätzung abstiegsrelevanter Überwassersituationen (Auftrittszeitpunkt und Abflussmenge) in Bezug auf die großräumige Auffindbarkeit vorhandener bzw. alternativ möglicher Wanderkorridore (Triebwasserkanal bzw. Wehrfeld) und in Hinblick auf die morphologische Situation im Unterwasser der Wehranlage (Katarakt), werden Abflussklassen getrennt nach Monaten herangezogen:

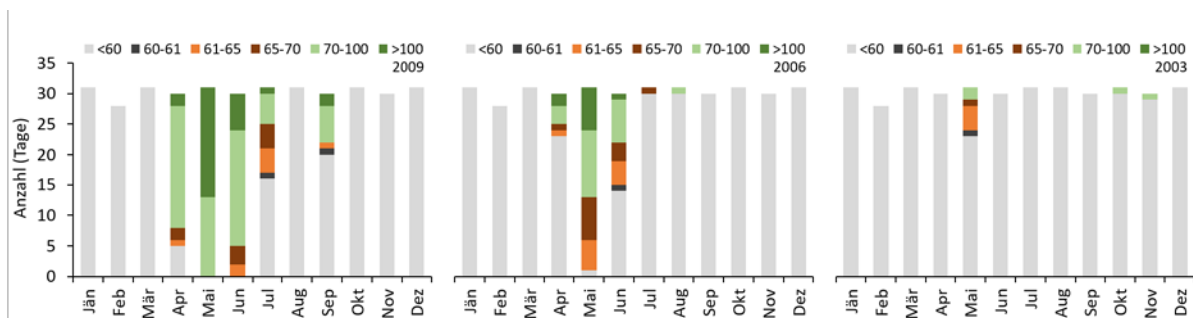


Abbildung 7: Abflussbedingungen je Monat am Pegel Gestüthof (211086) gruppiert nach Abflussklassen (<60; 60-61; 61-65; 65-70; 70-100, >100 m³/s): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006), Trockenjahr (2003); (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).

Es zeigt sich, dass im Nass- und Regeljahr Überwasser (>60 m³/s) v.a. zwischen Mai und Juli auftreten. Am häufigsten herrschen dabei Abflüsse zwischen 70-100 m³/s. Im Unterschied zu geringeren Überwässern, die auch über die Geschwemmselklappe abgegeben werden können, ist bei höheren Abflüssen eine (Teil-)Absenkung der Wehrklappe notwendig.

Unabhängig davon ist ein nachweislich verletzungsfreier Abstieg über eine der beiden Klappen aufgrund des Katarakts wahrscheinlich erst mit entsprechenden Maßnahmen (z.B. Fischrutsche) bzw. in Kombination mit morphologischen Maßnahmen im Unterwasser möglich!

Im Triebwasserkanal spielen die vorherrschenden Strömungsbedingungen im Zusammenhang mit Abschirm- bzw. Leiteinrichtungen (z.B. Rechen) für abwärtswandernde Fische eine zentrale Rolle. Entsprechend sind die wesentlichen Abflussklassen getrennt nach Monaten nachstehend dargestellt:

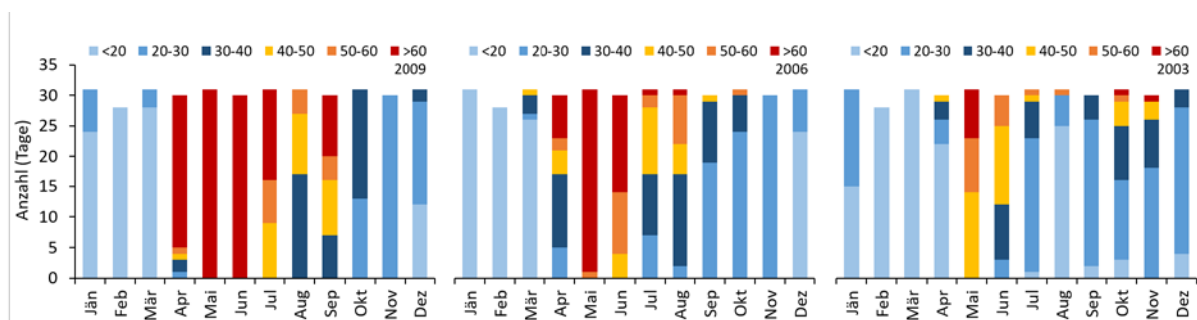


Abbildung 8: Abflussbedingungen je Monat am Pegel Gestüthof (211086) gruppiert nach Abflussklassen (<20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60, >60 m³/s): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006), Trockenjahr (2003); (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).

Mit Ausnahme einzelner Tage zeigen sich in allen drei Jahren von November bis März im wesentlichen Abflussbedingungen ≤ 30 m³/s. Entsprechend der Geometrie des Triebwasserkanals² liegt die mittlere Fließgeschwindigkeiten bei Abflüssen ≤ 30 m³/s bei rd. ≤ 1 m/s. Bei Abflüssen zwischen 30–60m³/s liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit im Bereich von rd. 1–2 m/s.

² mittlerer Abschnitt TW-Kanal: Breite=6,8 m; Wassertiefe=4,3 m

2 Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg

Um an Wasserkraftanlagen einen effizienten und verletzungsfreien Abstieg von Fischen ins Unterwasser sicherzustellen, sind Maßnahmen erforderlich, die auf eine Vermeidung von Fischschänden abzielen (Ebel, 2013; Larinier & Travade, 2002) und weitreichende Anforderungen erfüllen müssen (Kriewitz et al., 2015):

- **Schutz für heimischen Fischarten aller Altersstadien**
- Geringe **Erzeugungsverluste**
- verhältnismäßige **Investitionskosten** bei hoher **Planungssicherheit**
- **Betriebssicherheit, Wartungsaufwand**

Nach Ebel (2013) können dabei nachstehende Ansätze verfolgt werden, wobei die gegenwärtig verfügbaren Schutzkonzepte letztlich nicht alle oben genannten Anforderungen ganzheitlich erfüllen können (Bös et al., 2012; Kriewitz et al., 2012):

- **Fischschutz-, Fischleit- und Bypass-Systeme**, die ein Einschwimmen von Fischen in nachgeschaltete Triebwasserwege durch verhaltensbeeinflussende Reize verhindern, ein gezieltes Leiten von Fischen in Richtung der Abstiegsmöglichkeit bewirken und einen verletzungsfreien Abstieg über eine Umgehung ermöglichen.
- **Fischschonende Turbinenkonzepte**, die einen schonenden und verletzungsfreien Abstieg durch das Kraftwerk bzw. die Turbine ermöglichen.
- **Fischschonender Anlagenbetrieb** unter Einsatz gezielter Nutzwasserverteilungen
- **Fang und Transport** absteigender Fische

Gegenständliche Konzeptstudie fokussiert ausschließlich auf Fischschutz- bzw. Fischleitsysteme, die auf ein Abschirmen und Umleiten von Fischen unter Verwendung geeigneter Barrieren abzielen. Dabei ist die Anordnung alternativer Abwanderungskorridore (z.B. Bypässe, geöffnete Wehrfelder) zwingend notwendig (Kriewitz et al., 2015), da andernfalls freilich ein Schutz von Fischen gewährleistet werden kann, die Abwanderung jedoch verzögert oder unterbrochen wird und folglich negative Effekte, wie beispielsweise erhöhter Prädatorendruck oder Nahrungsmangel auftreten können (Castro-Santos & Haro 2010; DWA 2005).

2.1 Barrieretypen und Bemessungsgrößen

Barriere können entsprechend ihrer physikalischen Eigenschaft optische, akustische, elektrische und hydraulisch-taktile Reize bei Fischen auslösen und zielen im Kontext Fischschutz auf die Ausbildung von Vermeidungsreaktionen ab. Im Allgemeinen kann zwischen mechanischen Barrieren (z.B. Rechen, Tauch-, Sohlleitwand) und Verhaltensbarrieren (z.B. Scheuchanlagen) unterschieden werden:

Mechanische Barrieren, die ursprünglich v.a. zum Schutz der Turbinen installiert wurden, können in Abhängigkeit der lichten Stabweite bzw. der Körperabmessungen des Zielfisches physisch undurchlässig oder durchlässig sein: An **physisch undurchlässigen Barrieren** („mechanisch-physische Barrieren“) – wie beispielsweise Feinrechen – werden aufgrund optischer bzw. hydraulisch-taktile verhaltenswirksamer Reize Vermeidungsreaktionen bei Fischen ausgelöst. Bei zu hohen Anströmgeschwindigkeiten (abhängig von Fischart und Altersstadium) ist allerdings ein Anpressen von Fischen an die Barriere möglich. Dies führt insbesondere bei bestehenden Kraftwerksanlagen zu Herausforderungen, da die Anströmgeschwindigkeit aufgrund der festgelegten Geometrie des Triebwasserwegs vorgegeben ist. **Physisch durchlässige Barrieren** („mechanische Verhaltensbarrieren“) – wie beispielsweise Grobrechen, Louver, Bar Rack, Tauchwand – sind zwar grundsätzlich für Fische passierbar, können aber ebenfalls durch verhaltenswirksame Reize eine gezielte Vermeidungsreaktion bzw. Leitwirkung bei Fischen auslösen. (u.a. Kriewitz, 2015; Ebel, 2013)

Sensorische Verhaltensbarrieren zielen darauf ab, Fische durch Reize anzuziehen (attraktive Wirkung) oder zu scheuchen (repulsive Wirkung), wobei entsprechende Reaktionen beispielsweise durch Luftblasen, elektrische Felder, Licht oder Schall ausgelöst werden können. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind entsprechende Systeme nicht unumstritten. Neben Gewöhnungseffekten werden vielfach artspezifische und größenselektive Wirkungen erzielt, die auch im direkten Zusammenhang mit der Anströmgeschwindigkeit stehen. (u.a. Ebel, 2013; Bös et al., 2012; DWA, 2005)

Nach Rost et al. (2014) kann die **Kombination verschiedener Barrieretypen** zu einer weiteren Verbesserung der Fischschutz bzw. Leitwirkung führen. Neue Systeme, wie der Seilrechen bzw. der elektrifizierte Seilrechen, stellen eine Kombination aus mechanischen Barrieren und sensorischer Verhaltensbarriere dar und werden aktuell in Forschungsprojekten der Universität Innsbruck untersucht.

Nach Ebel (2013) weisen mechanische Barrieren das größte Potential für die Vermeidung von Fischschäden an Kraftwerksanlagen auf, wobei das Verhalten von Fischen im Nahbereich der Barriere von den Anströmbedingungen, Exposition und lichter Stabweite beeinflusst wird.

In Abhängigkeit der Exposition können Barrieren wie folgt eingeteilt werden:

- Barrieren ohne Neigung bzw. mit geringer Neigung (konventionelle Rechen)
- in der Grundrissperspektive geneigte Barrieren („Leitrechen“, vgl. Abbildung 9, links)
- deutlich zur Sohle geneigte Barrieren („Flachrechen“, vgl. Abbildung 9, rechts)

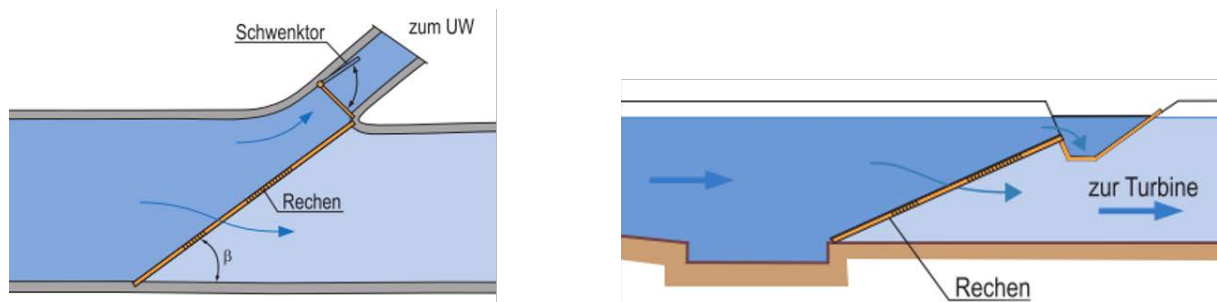


Abbildung 9: „Leitrechen“ mit seitlich angeordnetem Bypass im Grundriss (links); „Flachrechen“ mit oberflächennaher Abstiegsrinne im Längenschnitt (rechts), (aus: Dumont et al., 2005)

Konventionelle Rechen (z.B. Feinrechen) sind i.d.R. in einem Winkel von rd. 90° zur Hauptströmungsrichtung angeordnet und meist in einem Winkel von 70–80° zur Sohle geneigt (Ebel, 2013). Entsprechend ihrer Exposition wird weder eine laterale noch eine vertikale Leitwirkung erzielt, sodass Fische angebotene Bypässe entweder zufällig finden, flussauf abwandern oder bei ausreichender Ermüdung durch die Barriere verdriftet oder angepresst werden können (Kriewitz, 2015; Pavlov, 1989). Entsprechend sind konventionelle Barrieren so auszulegen, dass die Anströmgeschwindigkeit (V_A) die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Zielarten bzw. -Stadien nicht überschreitet (Ebel, 2013).

Leitrechen sind in der Grundrissperspektive geneigt (Empfehlung: $\beta < 25^\circ$), i.d.R. mit horizontalen Rechenstäben ausgestattet und bieten vorteilhafte Eigenschaften (laterale Leitwirkung, geringe Aufenthaltszeit, größere zulässige Anströmgeschwindigkeit) und sollten daher in Kombination mit Bypässen bevorzugt als Schutz- bzw. Leiteinrichtung eingesetzt werden (u.a. Cuchet & Rutschmann, 2014; Ebel, 2013; Raynal et al., 2013; Larinier 2008, Dumont, 2005; Larinier 2002; Taff 1986, Pavlov 1989). Nach Ebel (2013) sind Rechensysteme mit horizontaler Schräganströmung (Leitrechen) so auszulegen, dass die Normalgeschwindigkeit (V_N) die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Zielarten bzw. -stadien nicht überschreiten darf.

Flachrechen sind deutlich zur Sohle geneigt ($\alpha < 45^\circ$) erzielen keine laterale Leitwirkung. Die Rechenstäbe sind i.d.R. vertikal ausgerichtet. Die Ausprägung einer vertikalen Leitwirkung ist

nicht eindeutig geklärt, wobei Nachweise bei geringer lichte Stabweite, Anströmgeschwindigkeit bzw. Oberwassertiefen erzielt wurden. (Cuchet & Rutschmann, 2014; Cuchet et al. 2011; Hassinger, 2011; Ebel, 2010). Nach Hefti (2012) ist die horizontale Neigung der vertikalen Neigung vorzuziehen, da sonst bodenorientierte Arten benachteiligt sein könnten. Nach Ebel (2013) sind Rechensysteme ohne horizontale Schräganströmung (Flachrechen bzw. konventionelle Rechen) so auszulegen, dass V_A die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Zielarten bzw. -Stadien nicht überschreitet.

Bypässe, die als Rohrleitungen oder offenes Gerinne mit Freispiegelabfluss ausgeführt sein können, sollen abwandernde Fische rasch und verletzungsfrei am Gefahrenbereich vorbei ins Unterwasser führen. Im Falle von Flachrechen können Fische über ein oder mehrere Öffnungen oberflächennah in eine Sammelrinne ausschwimmen und werden verletzungsfrei über einen Bypass ins Unterwasser geführt. Bei Horizontalrechen erfolgt die Abwanderung ins Unterwasser über einen am flussab gelegenen Ende der Barriere angeordneten Bypass. Nach Ebel (2013) soll die Fließgeschwindigkeit im Eintrittsprofil im Bereich von 0,3–1,5 m/s liegen, wobei steile Geschwindigkeitsgradienten im Allgemeinen vermieden und Fließgeschwindigkeiten von 4,5 m/s innerhalb des Bypasses nicht überschritten werden sollen.

Neben den genannten Typen existieren **weitere Systeme**, wie beispielsweise Louver bzw. Bar Racks (siehe z.B. Albayrak et al., 2017), Fischhebetrog (Hassinger, 2018), Seilrechen (Böttcher et al., 2019; 2018; 2015), E-Seilrechen (Aufleger et al., 2017a; 2017b) bzw. im Allgemeinen Anordnungen entsprechend dem Leitrechen-Bypass-System (Ebel, Gluch & Kehl, 2015).

Der Fischhebetrog ist eine neue Entwicklung, die aktuell am Aare-Kraftwerk Schifffahrtskanal (Industrielle Betriebe Interlaken) getestet wird. Das System (Hassinger, 2018) zielt darauf ab, die abwärtsgerichtete Wanderung mit der Reinigung von Rechen zu kombinieren, wobei oberwasserseitig des Feinrechens eine in vertikaler Richtung bewegliche Hebevorrichtung angebracht ist, die in regelmäßigen Abständen Fische und Rechengut nach oben befördert.

Als Seilrechen wird die Kombination einer mechanischen Barriere, ausgeführt durch horizontal gespannte Stahlseile, und einer Verhaltensbarriere, die durch Schwingungen der Stahlseile (Seilrechen) bzw. insbesondere durch Elektrifizierung der Stahlseile im Niederspannungsbereich (E-Seilrechen) erfolgt, bezeichnet. Wird der Rechen in einem flachen Winkel ($<45^\circ$) gegenüber der Anströmrichtung angeordnet, kann eine Leitwirkung in Richtung eines Bypasses erzielt werden, sodass die Systeme hinsichtlich ihrer Wirkungsweise den Leitrechen-Bypass-Systemen zuzuordnen sind. Beide Systeme wurden u.a. in Hinblick auf eine Nachrüstung an Bestandsanlagen entwickelt: Die flexiblen Stahlseile ermöglichen

ein vergleichsweise einfaches Verfahren zur Rechenreinigung, da die Stahlseile einzeln oder gruppenweise entspannt werden, wodurch Treibholz und andere Schwimmstoffe mobilisiert werden können. Im Hochwasserfall (bei eingestelltem Turbinenbetrieb) werden alle Seile auf der Sohle abgelegt, sodass der gesamte Fließquerschnitt für Geschwemmsel, Sedimente und Abfluss durchgängig ist. Die Systeme sind ausschließlich zum Fischschutz, nicht aber zum Turbinenschutz geeignet, sodass ein zusätzlicher Turbinenschutzrechen mit Rechenreinigung erforderlich bleibt (Böttcher et al., 2018; Aufleger et al., 2017a).

2.1.1 Exposition und Anströmbedingungen

Im Allgemeinen kann an geneigten Barrieren zwischen Anström-, Normal- und Tangentialgeschwindigkeit unterschieden werden:

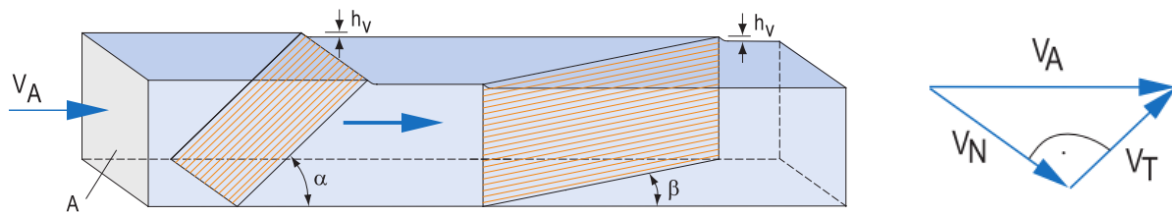


Abbildung 10: Anströmgeschwindigkeit (V_A), Normalgeschwindigkeit (V_N), Tangentialgeschwindigkeit (V_T) und Verlusthöhe (h_v) an unterschiedlich geneigten Barrieren (aus: Dumont et al., 2005)

Die Anströmgeschwindigkeit (V_A) entspricht der mittleren Geschwindigkeit im Querprofil und kann anhand der Kontinuitätsbeziehung ermittelt werden: $V_A = Q/A$. Es ist zu beachten, dass infolge Geometrieänderungen, Rauigkeitseinflüsse und der zeitlichen Variabilität des Abflusses abweichende Geschwindigkeiten auftreten können. Die Normalgeschwindigkeit (V_N) entspricht dem senkrecht auf die Barriere wirkenden Strömungsvektor: $V_N = \sin(\alpha \text{ bzw. } \beta) \cdot V_A$. Die Tangentialgeschwindigkeit (V_T) entspricht der parallel zur Barriere wirkenden Strömungskomponente: $V_T = \cos(\alpha \text{ bzw. } \beta) \cdot V_A$. Bei Neigung von Barrieren verringert sich bei gegebener V_A mit abnehmendem Anströmwinkel der normal auf die Barriere wirkende Strömungsvektor (V_N); die Tangentialgeschwindigkeit (V_T) erhöht sich dabei. An konventionellen Barrieren ohne Schräganströmung ($\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$) gilt: $V_A = V_N$; $V_T=0$. (u.a. Ebel, 2013; Adam & Lehmann, 2011; Dumont, 2005)

Bei zu hohen Anströmgeschwindigkeiten werden die verhaltensbiologisch erwünschten Effekte (Abschirmen bzw. Leiten) nicht wirksam, so dass Fische an die Barriere angepresst werden können (Ebel, 2013). Um dies zu vermeiden, werden Anströmgeschwindigkeiten $<0,5 \text{ m/s}$ empfohlen (u.a. Dumont, 2013; DWA, 2005). Nach Ebel (2013) ist dieser Grenzwert

zur biologisch begründeten Dimensionierung von mechanischen Barrieren allerdings nur wenig geeignet, da zum Schutz aller abwandernden Fische und Entwicklungsstadien geringere Anströmgeschwindigkeiten erforderlich sind. Da die Einhaltung von $V_A < 0,50$ m/s an Bestandsanlagen aufgrund der gegebenen Einlaufgeometrien praktisch nur durch Reduktion der Triebwassermenge erfolgen kann, empfiehlt Ebel die zulässige Anströmgeschwindigkeit anhand der Schwimffähigkeit der Zielfischart und des Anströmwinkels der Barriere zu ermitteln.

2.1.2 Lichte Stabweite

Die lichte Stabweite steht mit der Erzeugung von Reizen in direkter Beziehung und ist maßgeblich für die Ausbildung von Vermeidungsreaktionen an einer Barriere verantwortlich. Die Bemessung erfolgt in Abhängigkeit der Körperabmessungen der Zielfischarten bzw. Altersstadien, wobei eine physische Passierbarkeit der Zielfische ausgeschlossen werden muss. So ist beispielsweise zum Schutz juveniler Stadien von Äsche und Bachforelle eine lichte Stabweite ≤ 10 mm erforderlich (Ebel, 2013). Zum vollkommenen Schutz aller Altersstadien (u.a. Larven) sind allerdings sehr geringe lichte Stabweiten von nur wenigen Millimeter erforderlich. Da bei Verringerung der lichte Stabweite die hydraulischen Verluste sowie der Aufwand zur Reinigung des Rechens steigen, kann aufgrund der Stababstände unter Berücksichtigung einer wirtschaftlichen Betriebsweise der Kraftwerksanlage mitunter kein vollkommener Schutz für alle Fischarten bzw. Altersstadien gewährleistet werden. Durch den Einsatz optimierter Stabgeometrien und -oberflächen können aber hydraulische Verluste und ein Verletzungsrisiko für Fische verringert werden. Zur Orientierung gibt Ebel (2013) bei einer lichten Stabweite von 20 mm und $V_A = 0,5$ m/s Verlusthöhen von 1 cm bei konventionellen Rechen (vertikale Stäben; $\alpha=75^\circ$; $\beta=90^\circ$), Flachrechen (vertikale Stäben; $\alpha=45^\circ$; $\beta=90^\circ$) und Leitrechen (horizontale Stäben; $\alpha=90^\circ$; $\beta=45^\circ$) an. Bei einer lichten Stabweite von 10 mm steigen die Verlusthöhen auf 2–3 cm an. Bei $V_A = 1$ m/s liegen die Verlusthöhen bei einer lichten Stabweite von 20 mm bei 4–5 cm, bei 10 mm Stababstand bei 9–12 cm.

2.2 Rahmenbedingungen am Standort Murau

2.2.1 Zielfischarten und lichte Stabweite

Entsprechend der vorherrschenden Leitbildfischfauna zielen Maßnahmen am Kraftwerksstandort Murau insbesondere auf den Schutz bzw. verletzungsfreien Abstieg der Leitarten Äsche und Bachforelle ab. Dabei sollen speziell subadulte bzw. adulte Altersstadien (Körpergröße ≥ 20 cm) effektiv von einer Turbinenpassage abgehalten und in Richtung einer

verletzungsfreien Abstiegsmöglichkeit geleitet werden. Die maximal zulässige lichte Stabweite bei mechanischen Barrieren liegt demnach bei 20 mm (Ebel, 2013).

2.2.2 Wanderkorridor

An der Kraftwerksanlage sind gegenwärtig keine Anlagenteile installiert, die explizit auf einen verletzungsfreien Abstieg von Fischen abzielen. Eine flussabgerichtete Wanderung von Fischen ist dennoch nicht ausgeschlossen (Abbildung 11) und wurde für die FAH im Zuge der FAH-Funktionsprüfung nachgewiesen (Wiesner et al., 2007). Die Verfügbarkeit potentieller Wanderkorridore, wie beispielsweise FAH, Spülschütz oder Wehrklappe ist dabei von den hydrologischen Gegebenheiten abhängig.

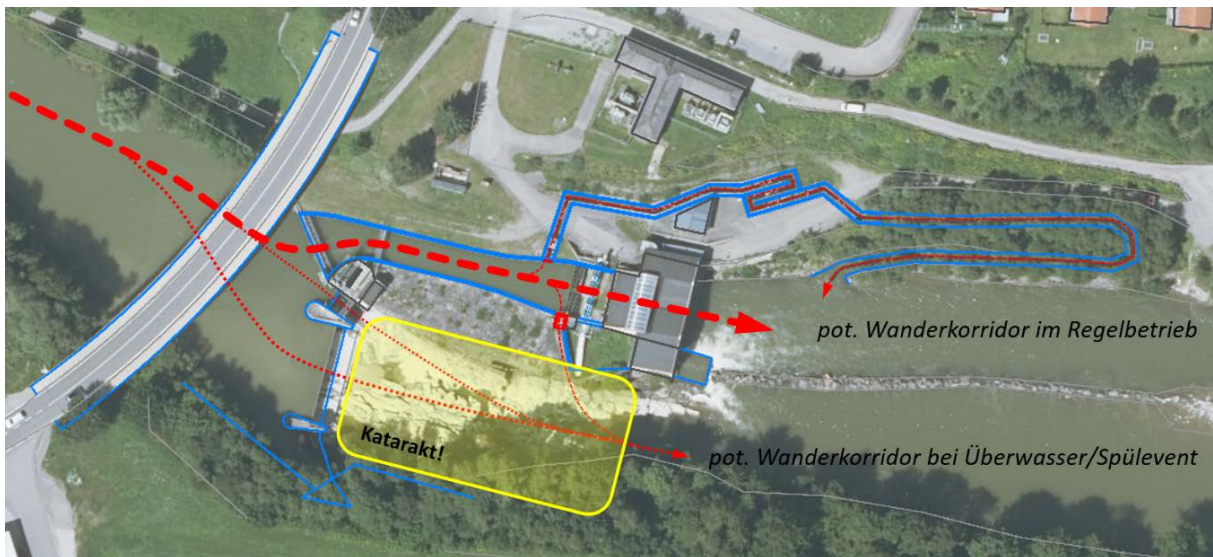


Abbildung 11: Aktuelle Abstiegsmöglichkeiten am Kraftwerk Murau im Regelbetrieb ($Q_{Mur} \leq Q_A$) und bei Überwasser ($Q_{Mur} > Q_A$)

Im Regelbetrieb ($Q_{Mur} \leq Q_A$, Grundablass und Wehrklappe geschlossen) ist eine flussabwärts gerichtete Wanderung ausschließlich über den Triebwasserkanal möglich. Entsprechende Bedingungen ergeben sich an rd. 300 Tagen je Jahr (kein Wehrüberfall; siehe Kap. 1.1.4). Einschwimmenden Fischen stehen dabei mehrere Abstiegsmöglichkeiten zur Verfügung: Es ist davon auszugehen, dass Fische in Richtung der Hauptströmung über die Turbinen abstiegen, da der gegenwärtige Feinrechen im Einlaufbereich der beiden Kaplan-Turbine mit einer lichte Stabweite >50 mm für alle vorkommenden Fischarten bzw. Altersstadien passierbar ist. Im Gegensatz dazu können am Einlaufbauwerk der Francis-Schachtturbine, die nur bei einer Wasserführung der Mur > 55 m³/s zugeschaltet wird, aufgrund des gegenwärtigen Feinrechens mit einer lichten Stabweite <20 mm jedenfalls Adultstadien abgehalten werden. Zusätzlich ist eine Abwanderung ins Unterwasser über die FAH

(kleinräumige Auffindbarkeit der Einlauföffnung erforderlich) bzw. zeitweilig über den linksufrig situierten Spülschütz zur Eisabdrift möglich.

Während Überwassersituationen ($Q_{Mur} > Q_A$) ist eine Abwanderung unter Voraussetzung entsprechender Überströmhöhen auch über die überströmte Wehrklappe bzw. die auf den Grundablassschütz aufgesetzte Geschwemmselklappe möglich. Entsprechende Bedingungen ergeben sich im langjährigen Mittel an rd. 52 Tagen je Jahr (siehe Kap. 1.1.4). In Sonderfällen (Hochwasser- bzw. Spüleignis) kann eine Abwärtswanderung auch über den gezogenen Grundablass bzw. über das geöffnete Wehrfeld bei Staulegung erfolgen.

2.2.3 Triebwasserkanal und Anströmgeschwindigkeiten

Der Triebwasserkanal (Abbildung 12) weist eine Breite von (1) rd. 14 m im Bereich des Einlaufbauwerks, (2) rd. 6,8 m im mittleren Abschnitt, (3) rd. 9,9 m im Bereich des FAH-Einlaufs sowie (4) insgesamt 11,2 m im Einlaufbereich der beiden Kaplan-Maschinensätze (Turbinenvorhof) auf, wobei die beiden Einlaufschächte durch einen 1,2 m breiten Einlaufpfeiler getrennt sind. Die Tiefe beträgt rd. 4,3 m (Position 1-3, 5) bzw. rd. 5,3 m (Position 4) im Bereich der Einlaufschächte bzw. Rechenanlage.

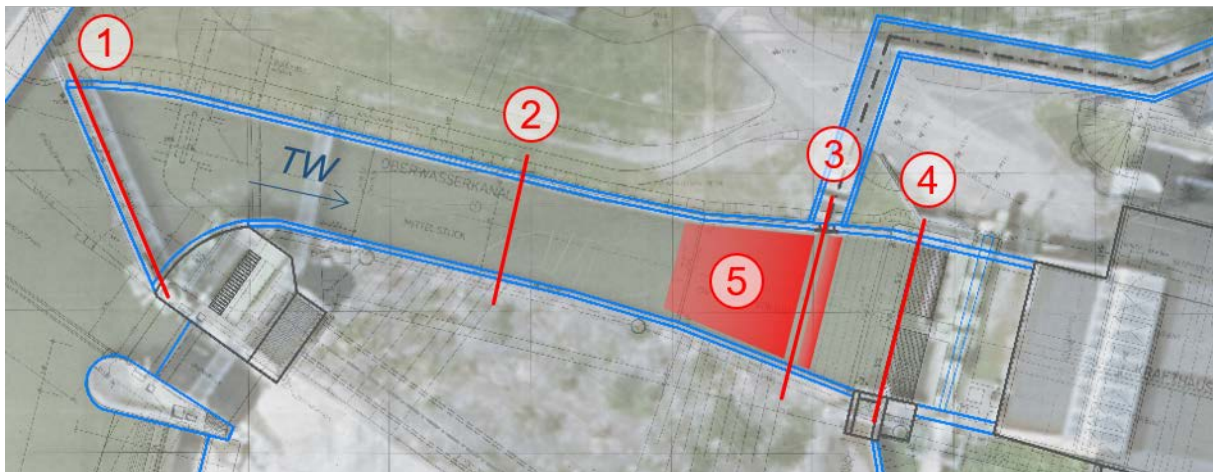


Abbildung 12: Triebwasserkanal mit repräsentativen Profilen (Position 1-4) in Abhängigkeit der Breite; Position 5 kennzeichnet den Übergangsbereich zw. Mittelstück und Vorhof

Tabelle 1 gibt einen Überblick der mittleren Fließgeschwindigkeit ($v = Q/A$) je Profil in Abhängigkeit des Abflusses. Q_{max} entspricht dabei dem Ausbaudurchfluss, wobei die Ausleitungswassermenge der Francis-Turbine von $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ berücksichtigt wird (Profil 2-5). Q_{168} entspricht einem Abfluss von $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (halber Gesamtausbaudurchfluss).

Tabelle 1: Kennwerte je Profil: Ausbaudurchfluss (Q_{max}); Mittelwasserabfluss (MQ); halber Gesamtausbaudurchfluss (Q_{168}); Breite (B), Tiefe (T) bzw. Fläche (A) Triebwasserkanal, Anströmgeschwindigkeit (V_A) in Abhängigkeit der Abflusskennwerte

Pos.	Profil *)	Q_{max} (m^3/s)	MQ (m^3/s)	Q_{168}^{**} (m^3/s)	B (m)	T (m)	A (m^2)	$V_A(Q_{max})$ (m/s)	$V_A(MQ)$ (m/s)	$V_A(Q_{168})$ (m/s)
1	Einlaufbauwerk (Grobrechen)	60,0	36,1	30,0	14	4,3	60,2	0,99	0,60	0,50
2	Mittelstück	54,4	36,1	30,0	6,8	4,3	29,24	1,86	1,23	1,03
3	Vorhof (Höhe FAH)	54,4	36,1	30,0	9,9	4,3	42,57	1,28	0,85	0,70
4	Einlaufschacht (Feinrechen)***)	54,4	36,1	30,0	10	5,3	53	1,03	0,68	0,57
	Bereich FAH (Mittel Pos. 2,3)	54,4	36,1	30,0	8,4	4,3	35,91	1,52	1,01	0,84

*) Annahme: normale Anströmung

***) Q_{168} entspricht einem Abfluss von $30m^3/s$ (halber Gesamtausbaudurchfluss; vgl. Seite 12, Abbildung 4)

***) ohne Mittelpfeiler

Wie in Tabelle 1 gezeigt, liegt die Anströmgeschwindigkeit (V_A) bei Q_{max} (Ausbaudurchfluss) im Bereich von rd. 1 m/s (Einlaufbauwerk, Pos. 1) bzw. 1,86 m/s (Mittelstück, Pos. 2). Bei halben Ausbaudurchfluss (Q_{186}) liegt V_A im Bereich von 0,5 m/s (Einlaufbauwerk, Pos. 1) bzw. rd. 1 m/s (Mittelstück, Pos. 2).

Da die maximal zulässige Anströmgeschwindigkeit ($V_{A,zul}$) nach Ebel (2013) bei konventionellen Barrieren ($\alpha = \beta = 90^\circ$) für Äsche und Bachforelle bei 0,38 m/s (Körperlänge ≥ 10 cm) bzw. 0,66 m/s (Körperlänge ≥ 20 cm) liegt und somit bei Q_{max} sowie Q_{168} deutlich überschritten wird, ist zur Abschirmung der Turbinenpassage mittels einer Barriere innerhalb des Triebwasserkanal ein entsprechender Neigungswinkel zur Vermeidung von Fischschäden infolge Anpressens erforderlich. Dabei verringert sich – bei gleichbleibender V_A – die vorherrschende Normalgeschwindigkeit (V_N) mit kleiner werdendem Neigungswinkel (Fläche der Barriere wird vergrößert), wodurch $V_{A,zul}$ zunimmt:

Nach Ebel (2013) liegt $V_{A,zul}$ für beide Arten bei einem horizontalen Anströmwinkel (Leitrechen) von 45° bei 0,54 m/s (Körperlänge ≥ 10 cm) bzw. 0,93 m/s (Körperlänge 20 cm) sowie bei $0,9$ m/s (Körperlänge 10 cm) bzw. 1,56 m/s (Körperlänge ≥ 20 cm) bei 25° . Entsprechend wird bei einer Neigung von 45° $V_{A,zul}$ für Adultstadien erst ab Abflüssen von rd. $< 30 m^3/s$ unterschritten, bei einer Neigung von 25° auch bei Q_{max} . Da für vertikale Anströmwinkel (Flachrechen) keine gesonderten Kennwerte vorliegen, werden diese von Barrieren mit horizontaler Anströmung übernommen (Größenordnung).

3 Variantenüberblick

Nachfolgend werden unterschiedliche Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen in Bezug auf Fischschutz und Fischabstieg am Kraftwerksstandort Murau konzeptionell aufgezeigt, wobei die ökologische Wirkung von Maßnahmen im Vordergrund steht. Ökonomische bzw. technische Aspekte, wie beispielsweise Umsetzungsaufwand und laufende Aufwände durch Betrieb und Wartung werden grob eingeschätzt.

Da die großräumige Auffindbarkeit von Abstiegsmaßnahmen in einem direkten Zusammenhang mit den vorherrschenden hydrologischen Bedingungen steht (Wanderkorridor entlang der Hauptströmung), werden mögliche Varianten entsprechend ihrer großräumigen Lage (linkes Ufer: Triebwasserkanal; Flussmitte: Grundablass und bewegliche Wehr; rechtes Ufer: feste Wehr) gegliedert (Abbildung 13).



Abbildung 13: Großräumige Lage möglicher Fischschutz- bzw. Fischabstiegsvarianten

3.1 Triebwasserkanal

Wie bereits in Kap. 2.2.2 beschrieben, ist eine flussabwärts gerichtete Wanderung im Regelbetrieb ($Q_{\text{Mur}} \leq Q_A$, Grundablass und Wehrklappe geschlossen) ausschließlich über den Triebwasserkanal möglich. Gemäß den hydrologischen Bedingungen wird Q_A im langjährigen Mittel an 52 Tagen je Jahr überschritten (Reihe 1976-2015). Dementsprechend ergibt sich an rd. 300 Tagen je Jahr kein Wehrüberfall, sodass in dieser Zeit ausschließlich der Triebwasserkanal als Wanderkorridor zu Verfügung steht (Kap. 1.1.4). Im Jahresverlauf zeigt sich in Nass- und Trockenjahren von Oktober bis März kein Wehrüberfall, während im Mai im Mittel mit rd. 20 Überwassertagen zu rechnen ist (Kap. 1.1.4).

3.1.1 Barriere vor Triebwasserkanal

Werden flussab wandernde Fische bereits vor einer Einwanderung in den Triebwasserkanal am Einlaufbauwerk abgehalten, wird eine potentielle Passage aller Turbinen vermieden (Kaplan- und Francis-Turbinen). Zur Abschirmung können unterschiedliche Barrieretypen eingesetzt werden, wie beispielsweise ein dem Grobrechen nachgeschalteter Feinrechen mit entsprechender lichten Weite. Alternativ können Fische durch die Elektrifizierung (Niedervolt-Bereich) des bestehenden Grobrechens (sicherheitsrelevante Aspekte sind zu beachten!) oder durch Errichtung einer Scheuchanlage von einer Einwanderung in den Triebwasserkanal abgehalten werden, wobei ein vergleichsweise geringer Errichtungsaufwand sowie eine geringe Beeinflussung der hydraulischen Bedingungen (Verluste) zu erwarten ist.

Da der Triebwasserkanal allerdings auch als Wanderkorridor für flussauf wandernde Fische dient (Einmündung FAH im unteren Bereich des Triebwasserkanals), ist an einer entsprechenden Barriere ein schmaler Wanderkorridor (z.B. Schlitz im Bereich der linksufrigen Triebwasserkanalmauer, Teilelektrifizierung bzw. Isolation) freizuhalten, der freilich wiederum ein Risiko für ein Einschwimmen darstellt. Entscheidend ist daher eine Verlegung der Einlauföffnung der FAH.

Aus ökologischer Sicht ergibt sich die günstigste Anordnung hinsichtlich Fischschutz und Fischabstieg bei einer vollständigen Abschirmung des Triebwasserkanals und bei gleichzeitiger Verlegung der Einlauföffnung der FAH flussauf in Richtung Stau, wobei zusätzlich eine Abstiegsmöglichkeit im Bereich zw. Grundablass und Ausleitungsbauwerk der Francis-Turbine bereitgestellt wird (Abbildung 14). Dies begründet sich v.a. durch die ganzjährige Anströmung des Triebwasserkanals (großräumige Auffindbarkeit der Abstiegsmöglichkeit durch Hauptströmung gegeben) sowie dadurch, dass am Einlaufbauwerk im Vergleich zu potentiellen Varianten innerhalb des Triebwasserkanals

geringere Anströmgeschwindigkeiten auftreten. Unter Annahme einer frontalen Anströmung ($V_A=V_N$) über den gesamten Querschnitt liegt V_A am Einlaufbauwerk bei Q_{\max} bei rd. 1 m/s (bei Q_{168} bei rd. 0,5 m/s). $V_{A,zul}$ (0,66 m/s für Stadien ≥ 20 cm und einem Anströmwinkel von 90° , vgl. Ebel, 2013) wird erst bei Abflussbedingungen im Bereich von MQ unterschritten. Da sich bei erhöhter Wasserführung (Einzug auch über Francis-Turbine) die Anströmbedingungen ändern (flachere, aber auch zunehmende Geschwindigkeitsvektoren), könnte sich ein gewisser Leiteffekt in Richtung des Grundablasses bzw. einer potentiellen Abstiegsöffnung ergeben, der jedenfalls im Zuge von Detailuntersuchen überprüft werden sollte.

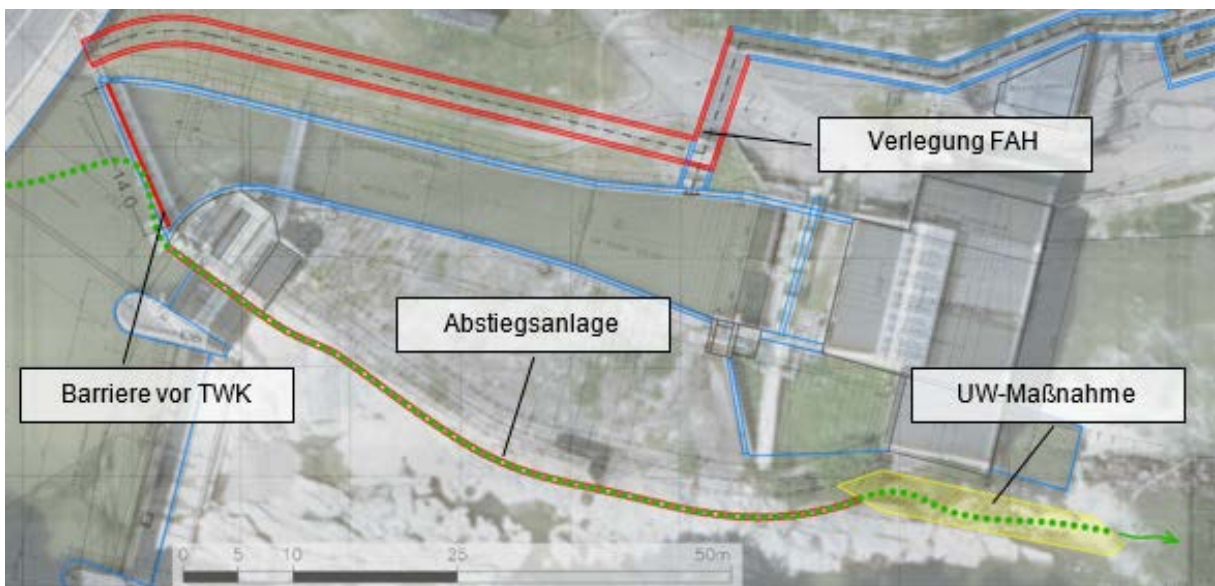


Abbildung 14: Abschirmung des Triebwasserkanals mittels Barriere (z.B. Feinrechen, Elektrifizierung Grobrechen), Verlegung der Einlauföffnung der FAH flussauf in Richtung Stau, Bereitstellung einer Abstiegsmöglichkeit am flussab gelegenen Ende des Grobrechens sowie unterwasserseitige Maßnahme (Katarakt)

Im Allgemeinen ist mit einem hohen Errichtungsaufwand zu rechnen, da neben der Verlegung des FAH-Einlaufbereichs (neuralgischer Punkt im Bereich der Brücke) v.a. aufwändige Umbauten zur Realisierung der Abstiegsöffnung (beengte Platzverhältnisse zw. Grundablass und Einlaufbauwerk, ggf. Modifizierung Geschwemmselklappe) sowie ergänzende Maßnahmen im Unterwasser (Fischrutsche, entsprechende UW-Anbindung im Bereich des Katarakts) erforderlich sind.

3.1.2 Barriere im Triebwasserkanal

Fischen, die in den Triebwasserkanal einschwimmen, stehen mehrere Abstiegsmöglichkeiten zur Verfügung: Aktuell ermöglicht ausschließlich die FAH eine verletzungsfreie Abwanderung

ins Unterwasser. Neben einer gelegentlichen Abstiegsmöglichkeit über den linksufrig situierten Spülschütz zur Eisabdrift, der freilich aufgrund der unterwasserseitigen Bedingungen (Katarakt) ein Verletzungsrisiko birgt, stellt insbesondere eine Abwanderung entlang der Hauptströmung über die Kaplan-Turbinen ein Verletzungsrisiko dar, da der aktuell vorgeschaltete Feinrechen mit einer lichte Stabweite >50 mm einen unzureichenden Fischschutz darstellt.

3.1.2.1 Adaptierung der bestehenden Rechenanlage (Kaplan-Turbinen)

Bei Umsetzung einer wirksamen Barriere im Einlaufbereich der beiden Kaplan-Turbinen, beispielsweise durch Elektrifizierung der bestehenden Rechenanlage oder durch Errichtung eines konventionellen Vertikalrechen mit einer lichte Stabweite ≤ 20 mm, ergibt sich keine Einschränkung der FAH, sodass dort Fische weiterhin uneingeschränkt flussauf bzw. flussab wandern können. Allerdings ergibt sich im Falle eines konventionellen Stabrechens bei geringeren lichten Stabweiten erhöhte Reinigungsintervalle und insbesondere erhöhte hydraulische Verluste. Unabhängig vom Barrieretyp ergibt sich ein hohes Risiko für ein Anpressen von Fischen. Da die vorherrschende Anströmgeschwindigkeit im Bereich der Einlaufschächte bei rd. 1 m/s bei Q_{\max} bzw. bei rd. 0,6 m/s bei Q_{168} liegt, ist jedenfalls eine Vergrößerung der Rechenfläche (Neigung der Barriere) erforderlich. Ferner wird auch eine lange Verweildauer im Triebwasserkanal begünstigt, da ein unmittelbares Auffinden der Einlauföffnung der FAH ohne Leitsystem nicht zuverlässig gewährleistet werden kann. Entsprechend würde eine Adaptierung der bestehenden Rechenanlage nur hinsichtlich des Fischschutzes und nur bedingt hinsichtlich des Fischabstiegs eine Verbesserung darstellen.

3.1.2.2 Leitrechen

Die Variante Leitrechen (Barriere mit horizontaler Schräganströmung) zielt auf die Nutzung der FAH am linken Ufer als Abstiegsanlage (Subvariante FAH) oder die Verwendung des rechtsufrig situierten Spülschützes als Abstiegsöffnung (Subvariante Spülschütz) ab. Konkret sollen Fischen von einer Passage der beiden Kaplan-Turbinen abgeschirmt und gleichzeitig verletzungsfrei in Richtung Abstiegsöffnung (FAH oder Spülschütz) bzw. Unterwasser geleitet werden. Aus ökologischer Sicht sind die beiden Subvarianten gleichwertig. Aus konstruktiver Sicht ergeben sich jedoch Unterschiede, die sich u.a. im Errichtungsaufwand widerspiegeln. Als Leitrechen kann ein starrer Horizontalrechen, der als Ersatz zur bestehenden Rechenanlage eingesetzt wird, oder ein neuartiges System mit flexiblen Stahlseilen (Seilrechen) verwendet werden. Insbesondere bei Elektrifizierung der Stahlseile (E-Seilrechen) können größerer lichte Stabweiten angedacht werden, sodass ein gleichzeitiger Einsatz zusätzlich zur bestehenden Rechenanlage möglich ist. Unabhängig vom Barrieretyp kann $V_{A,zul}$ durch eine entsprechende Neigung trotz der hohen V_A im

Triebwasserkanal (rd. 1,5 m/s bei Q_{\max} bzw. rd. 0,8 m/s bei Q_{168} ; vgl. Abbildung 12, Pos. 5) eingehalten werden.

Die *Subvariante FAH* erfordert für den Abstieg keine zusätzliche Wasserabgabe. Bestehende Daten belegen die Nutzung als Abstiegsanlage (Kap. 1.1.3), wobei im Kontext Fischschutz ein hohes Optimierungspotential im Bereich der kleinräumigen Auffindbarkeit (Lage Einlauföffnung) bei gleichzeitiger Abschirmung der Turbinenpassage gegeben ist: Um optimale Einstiegsbedingungen für boden- und oberflächennah wandernde Fische zu gewährleisten, ist der aktuell nicht gegebene Sohlanschluss zw. Triebwasserkanal und FAH herzustellen. Um den Fließquerschnitt innerhalb des Triebwasserkanals nicht zu beeinflussen, kann eine Anrampung der FAH erfolgen. Die Einstiegsöffnung (wirksame Öffnung unter WSP (BxH): 1x1,2 m) kann als schmaler Schlitz bis zur Sohle oder bis in Sohlnähe in Kombination mit einer geringen Anrampung im Triebwasserkanal ausgeführt werden. Ferner könnte eine zweite Einlauföffnung in Sohlnähe errichtet werden, die Fische über eine Bypassleitung mit geringem Gefälle in Richtung FAH leitet.

Da $V_{A,zul}$ (0,93 m/s für Fischlängen ≥ 20 cm) bei einer Neigung von 45° erst ab Abflussbedingungen $< Q_{168}$ eingehalten werden kann (Abbildung 15), ist eine Verkleinerung des Anströmwinkels auf 25° erforderlich (Abbildung 16). Dabei kann $V_{A,zul}$ für Fischlängen ≥ 10 cm auch bei Abflussbedingungen $\leq Q_{168}$ eingehalten werden. Neben einer Vergrößerung der Rechenlänge, könnten aufgrund der Platzverhältnisse im Einlaufbereich der FAH Zwänge hinsichtlich der Rechenreinigung auftreten. Bei Umsetzung einer elektrifizierten Barriere sollte eine Isolation der Rechenstäbe im unmittelbaren Einlaufbereich erfolgen. Zur Gewährleistung einer optimalen Anbindung (aktuell kein Sohlanschluss) ist jedenfalls eine Adaptierung des Einlaufbereichs (z.B. Anrampung) entscheidend.



Abbildung 15: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 45°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann nur bedingt einhalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \leq Q_{168}$), Profilsicht: siehe Anhang (Abbildung 21)

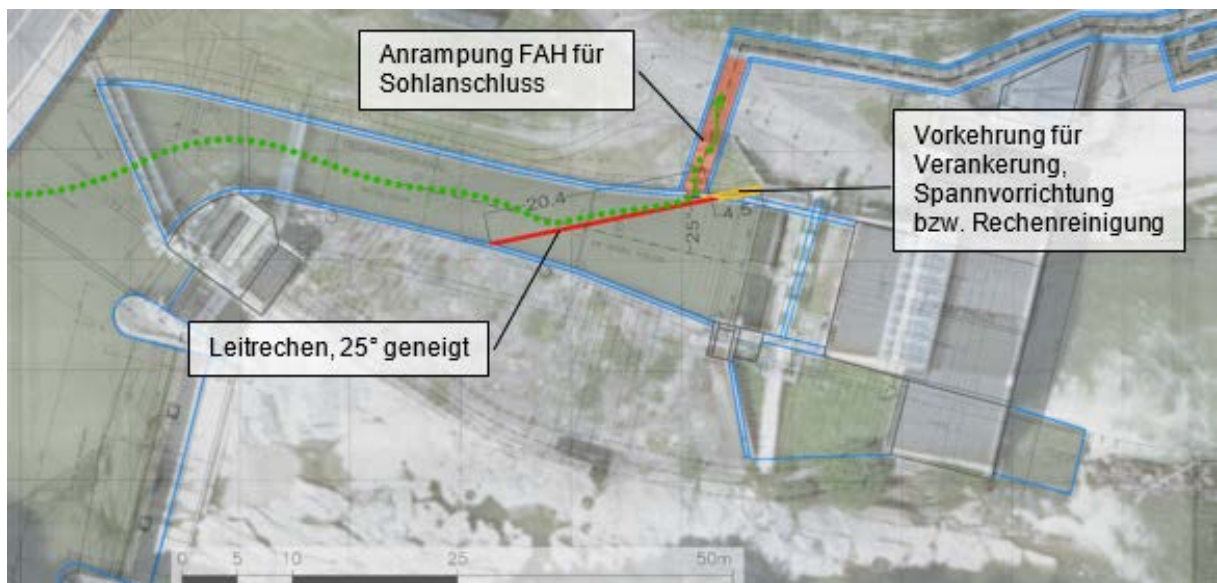


Abbildung 16: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 25°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} eingehalten werden, Profilsicht: siehe Anhang (Abbildung 22)

Die *Subvariante Spülschütz* erfordert die Adaptierung des bestehenden, unmittelbar flussauf der Rechenanlage am rechten Ufer des Triebwasserkanals situierten Spülorgans (Sohlschluss, Abstiegsklappe o.ä.) sowie eine permanente oder periodische Dotierung der Abstiegsanlage, die beispielsweise über eine angeschlossene Fischrutsche erfolgen kann (Abbildung 17). Dabei sind entsprechende Wassertiefen an der Rutsche (z.B. Vermeidung von Frostschäden) und im Bereich des Katarakts (u.a. Unterwasseranbindung auch bei Niederwasser, Vermeidung von Verletzungen im Ausstiegsbereich, Schutz vor Prädatoren)

einzuhalten. Da die Leiteinrichtung die FAH nicht beeinträchtigt darf, muss der linksufrige Anschlagspunkt flussab der FAH liegen. Dadurch ergibt sich allerdings eine maximal mögliche Neigung der Barriere von rd. 65° (Länge rd. 11,8 m; Fläche rd. 50 m²), wodurch $V_{A,zul}$ für Fischlängen ≥ 20 cm erst ab Abflussbedingungen $< Q_{168}$ eingehalten werden kann. Zusätzliche Zwänge ergeben sich durch die gegenwärtige Rechenanlage. Die Anordnung einer separaten Abstiegsöffnung am rechten Ufer flussauf des Spülschützes ist nicht möglich (Beeinträchtigung der FAH).

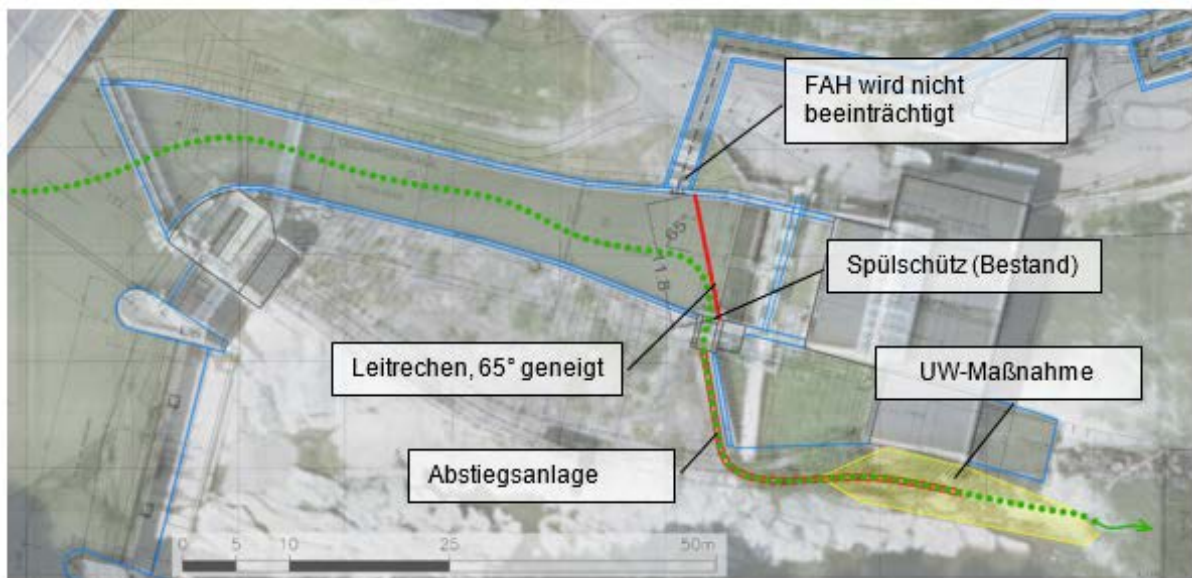


Abbildung 17: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 65°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (Spülschütz); $V_{A,zul}$ kann nur bedingt eingehalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \ll Q_{168}$)

3.1.2.3 Flachrechen

Alternativ zu einem Leitrechen kann auch eine in der Grundrissperspektive geneigte Barriere umgesetzt werden (Flachrechen). Fische können dabei in Richtung der Wasseroberfläche geleitet werden, wobei FAH und Spülschütz aus ökologischer Sicht gleichwertige Abstiegsvarianten darstellen. Aus konstruktiver Sicht ist die Nutzung der rechtsufrigen Spülschützöffnung nur sehr schwer möglich, da die erforderliche Neigung der Barriere zur Einhaltung von $V_{A,zul}$ nicht realisiert werden kann (Zwänge durch Tauchbalken und Spülrinne). Allerdings kann die Anordnung einer separaten Abstiegsöffnung flussauf (gegenüberliegend FAH) erfolgen, wobei ergänzend zur Dotierung der FAH eine Abgabe von Dotierwasser über die Abstiegsanlage erforderlich ist.

Unabhängig einer potentiellen Subvariante (links- oder rechtsufrige Einlauföffnung) wird ein Flachrechen (z.B. Vertikalrechen mit Reinigungsanlage) anstelle der bestehenden Rechenanlage eingesetzt. Aufgrund der hohen Anströmgeschwindigkeiten im Triebwasserkanal (rd. 1,5 m/s bei Q_{max} bzw. rd. 0,8 m/s bei Q_{168} ; vgl. Abbildung 12, Pos. 5) ist eine entsprechende vertikale Neigung zur Sohle erforderlich. Da für Flachrechen in Ebel (2013) keine maximal zulässigen Anströmgeschwindigkeiten ($V_{A,zul}$) vorliegen, werden diese von Barrieren mit horizontaler Anströmung übernommen. Zur Abfederung längerer Aufenthaltszeiten von Fischen im Nahbereich des Rechens (Auffindbarkeit) wird jedoch ein geringerer Neigungswinkel angesetzt: $V_{A,zul}$ könnte zwar bei einem Neigungswinkel von 25° und Q_{max} für Fischlängen ≥ 20 cm bzw. Q_{168} für Fischlängen ≥ 10 cm eingehalten werden, aus zuvor genannten Grund wird aber eine Neigung 20° vorgeschlagen (Abbildung 18). Unabhängig davon ergeben sich aufgrund der Aufweitung des Triebwasserkanals im Turbineneinlaufbereich (Vorhof) in der Grundrissperspektive trapezförmige und somit schwierig zu reinigende Rechenflächen.

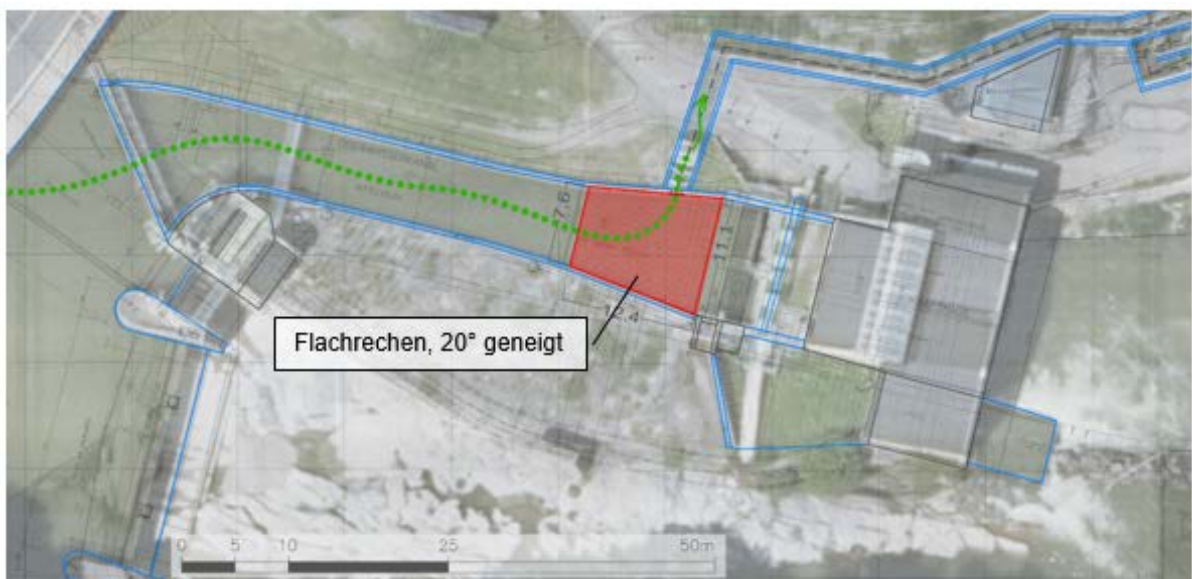


Abbildung 18: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Flachrechen (Anströmwinkel 20°) und vertikale Leitung von Fischen in Richtung Wasseroberfläche bzw. Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} einhalten werden, Profilsicht: siehe Anhang (Abbildung 23)

Bei massiver Ausführung und sehr flacher Neigung ($\leq 15^\circ$) könnte ein Flachrechen zusätzlich auch als Sammel- und Entnahmebauwerk für Treibgut genutzt werden, wobei gezielt Schwimmholz für die thermische Verwertung (Heizkraftwerk) gewonnen werden könnte (Betreiberwunsch). Dabei würde der Grobrechen am Einlaufbauwerk entfernt und ein entsprechender „Sammelrechen“ samt einer speziellen Entnahme- bzw. Reinigungsanlage

errichtet werden. Im Zuge von Detailplanungen sind Anforderungen hinsichtlich Fischschutz und Fischabstieg zu berücksichtigen, wobei auch eine Kombination mit dem System „Fischhebetrog“ (Hassinger, 2018) denkbar ist.

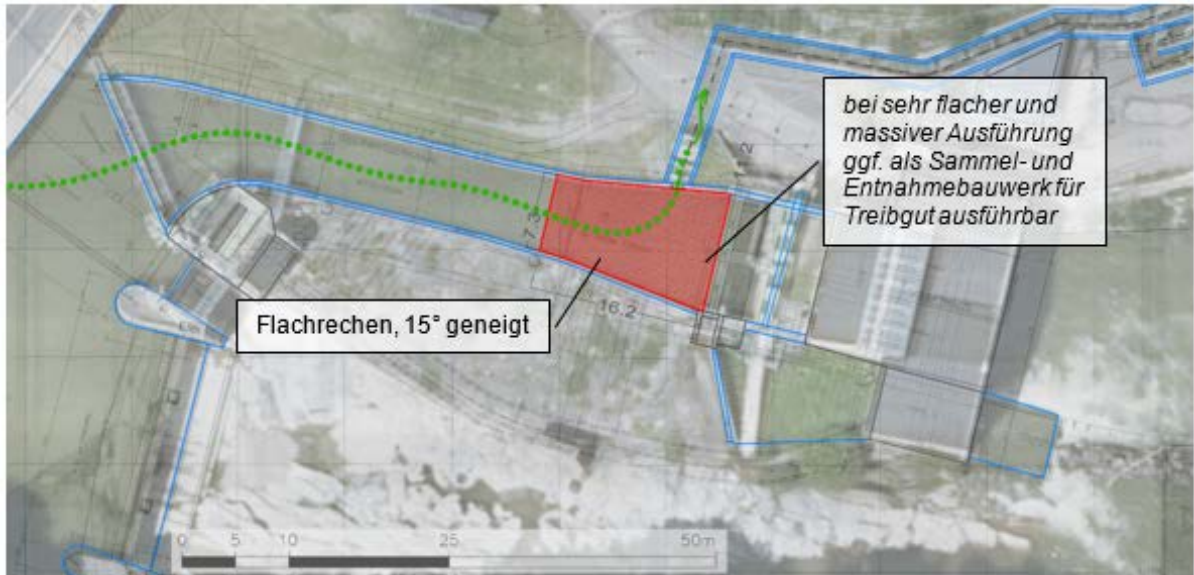


Abbildung 19: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Flachrechen (Anströmwinkel 15°) und vertikale Leitung von Fischen in Richtung Wasseroberfläche bzw. Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} einhalten werden, Profilansicht: siehe Anhang (Abbildung 24)

Als zusätzliche Subvariante wird der „Fischhebetrog“ vorgeschlagen (Hassinger, 2018), der als eine neue Entwicklung die abwärtsgerichtete Wanderung mit der Reinigung des Feinrechen kombiniert. Neben der Neuerrichtung der Rechen- und Hebeanlage ist ein entsprechender Bypass zur Leitung von Fischen in Unterwasser erforderlich, der anhand der bestehenden Spülrinne und in Kombination mit einer Fischrutsche bzw. Abstiegsanlage ausgeführt werden kann (Abbildung 20). Alternativ dazu könnte auch rechtsufrig eine kurze Fischrutsche bzw. ein schmaler Oberwasserkanal in Richtung FAH realisiert werden. Da die vorherrschende V_A im Bereich der Einlaufschächte bei Q_{max} bei rd. 1 m/s bzw. bei rd. 0,6 m/s bei Q_{168} liegt, kann $V_{A,zul}$ (0,66 m/s für Stadien ≥ 20 cm und einem Anströmwinkel von 90°, vgl. Ebel, 2013) erst ab Abflussbedingungen $\leq Q_{168}$ eingehalten werden. Entsprechend sind jedenfalls kurze Hubintervalle bzw. Detailuntersuchungen erforderlich.

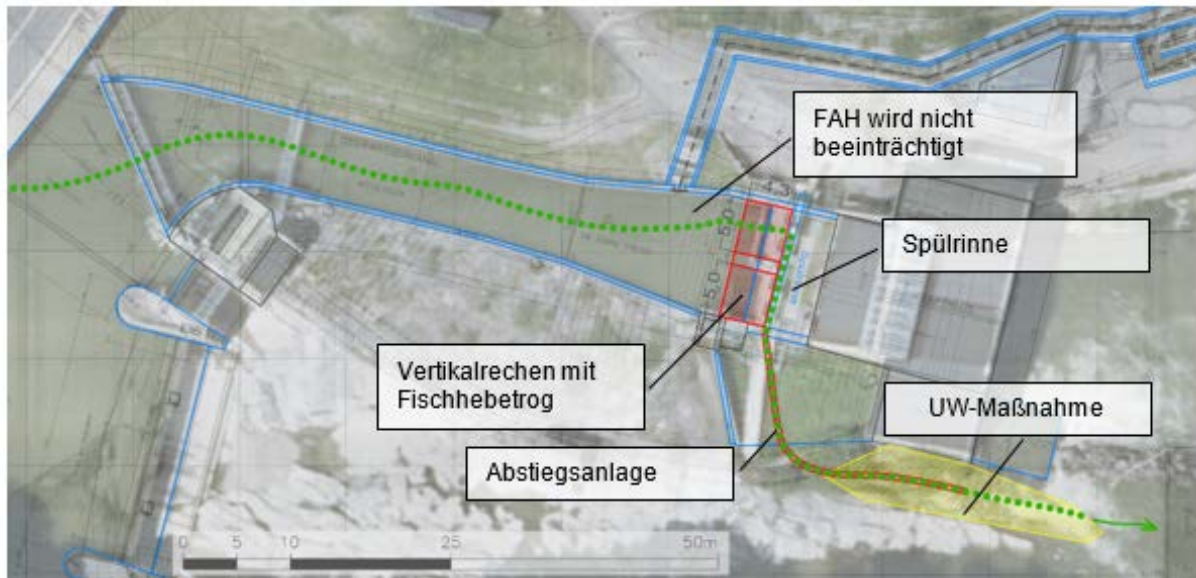


Abbildung 20: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels vertikal geneigten „Fischhebetrogs“ mit Abstieg über Spülrinne und Abstiegsanlage; $V_{A,zul}$ kann nur bedingt eingehalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \leq Q_{168}$)

3.1.3 Turbinenpassage

Ein schonender bzw. verletzungsfreier Abstieg von Fischen durch die Kraftwerksanlage (Turbinenpassage) ist aktuell – und voraussichtlich auch in naher Zukunft – nicht möglich und stellt daher am gegenständlichen Kraftwerksstandort keine Option dar.

3.2 Grundablass und bewegliches Wehr

Zur Gewährleistung der Hochwassersicherheit dürfen bauliche Adaptierungen im Bereich des Grundablasses bzw. der beweglichen Wehranlage (Wehrfeld) den Abflussquerschnitt nicht einengen bzw. die Abflusskapazität nicht verringern. Im Kontext Spülmanagement ist eine grundlegende Änderung der Spül- bzw. Stauanlage, beispielsweise in Hinblick auf das Abspülen von Sedimenten im Bereich der Einlaufschwelle, im Detail abzuklären. Unabhängig davon ist eine Umsetzung von Abstiegsvarianten im beschriebenen Kraftwerksbereich gegenständlich kostenseitig nicht darstellbar. Entsprechend ist ein Abstieg bei Staulegung (Hochwassersituation) sowie bei Überwasser und entsprechenden Überstromhöhen möglich. Soll ein Verletzungsrisiko dabei weitgehend ausgeschlossen werden, sind unterwasserseitig (Katarakt) entsprechende Mindestwassertiefen (Wasserpolster) erforderlich.

Möglich erscheint jedoch eine betriebliche und/oder bauliche Adaptierung der aufgesetzten Geschwemmselklappe, die aktuell zur Abspülung von Rechengut und zur Feinjustierung der

Stauspiegellage bei Überwassersituationen eingesetzt wird. Konkret kann dies in Kombination mit einer Barriere vor dem Triebwasserkanal (vgl. Kap. 3.1.1 bzw. Abbildung 14) und bei Umsetzung unterwasserseitiger Maßnahmen (z.B. Fischrutsche, entsprechende Anbindung ins Unterwasser) erfolgen.

3.3 Festes Wehr

Die Variante zielt auf eine Abstiegsmöglichkeit am rechten Murofer ab. Neben der Errichtung einer Abstiegsöffnung mit Dotier- bzw. Absperrvorrichtung (z.B. Abstiegsklappe) in der Wehrmauer, ist die Umsetzung unterwasserseitiger Maßnahmen (z.B. Fischrutsche, entsprechende Anbindung ins Unterwasser, Mindestwassertiefen) entscheidend. Zur Gewährleistung der Hochwassersicherheit ist die Errichtung eines Leitbauwerks über die gesamte Flussbreite in Richtung der rechtsufrigen Abstiegsöffnung nicht möglich (z.B. Einengung des Abflussquerschnitts, Verklausungsrisiko im Bereich des Wehrfeldes). Dementsprechend ist eine großräumige Auffindbarkeit aus ökologischer Sicht nicht gegeben, da im Jahresverlauf vorrangig der Triebwasserkanal angeströmt wird und als Wanderkorridor zur Verfügung steht (Kap. 1.1.4).

4 Variantenbewertung & Fazit

Im Rahmen der Fallstudie KW Murau an der oberen Mur, betrieben von den Murauer Stadtwerken, werden unterschiedliche Möglichkeiten zum Fischschutz und Fischabstieg dargestellt und diskutiert. Konkret werden potentielle Maßnahmen an der bestehenden Kraftwerksanlage hinsichtlich der ökologischen Wirkung, des Umsetzungsaufwands sowie des Betriebs und der Wartung qualitativ beurteilt.

Derzeit beträgt der Ausbaudurchfluss (Q_A) der Kraftwerksanlage $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Mur führt in diesem Bereich ein Mittelwasser von rd. $36 \text{ m}^3/\text{s}$. Im langjährigen Mittel wird an 52 Tagen im Jahr der Ausbaudurchfluss überschritten. Dementsprechend ergibt sich an mehr als 300 Tagen im Jahr kein Wehrüberfall, sodass in dieser Zeit ausschließlich der Triebwasserkanal als Wanderkorridor zur Verfügung steht. Ein Großteil des Triebwassers ($54,4 \text{ m}^3/\text{s}$) wird über zwei Kaplan-Turbinen am unteren Ende des Triebwasserkanals abgeleitet. Lediglich $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ werden zusätzlich bei höherer Wasserführung der Mur auf die Francis-Schachtturbine am oberen Ende des Triebwasserkanals abgeführt (siehe Kap. 1.1). Der Francis-Schachtturbine ist bereits ein Feinrechen mit einer lichten Weite $< 20 \text{ mm}$ vorgeschaltet. Die maximale Fallhöhe beträgt $9,3 \text{ m}$. Der komplette Maschinensatz verfügt über eine Gesamtleistung von 4.500 kW . Das schräg angeordnete Einlaufbauwerk befindet sich am linken inneren Murofer und besteht aus einem Grobrechen (lichte Stabweite: 35 cm) samt Rechenreinigungsanlage und Tauchbalken. Daran angrenzend befindet sich der 5 m breite Grundablass mit aufgesetzter Geschwemmselklappe. Die Wehranlage besteht aus einem beweglichen Wehr (Flussmitte) mit hydraulischer Wehrklappe und einem festen Wehrkörper (rechtes Ufer). Der rd. 60 m lange Triebwasserkanal mit einer Breite von $6,8 \text{ m}$, bzw. einer Wassertiefe von $4,3 \text{ m}$ im mittleren Abschnitt weitet sich unmittelbar vor den Turbineneinlässen auf insgesamt $11,2 \text{ m}$ aus. Den beiden Turbineneinlässen sind konventionelle Feinrechen mit vertikalen Rechenstäben (lichte Stabweite $\geq 50 \text{ mm}$) vorgeschaltet. Das Rechengut wird über eine automatische Reinigungsvorrichtung in die dahinterliegende Spülrinne gehoben und linksufrig entnommen. Zusätzlich befindet sich unmittelbar vor den Feinrechen rechtsufrig ein Spülschütz, welcher die Abdrift von Eis o.ä. aus dem Triebwasserkanal ins Unterwasser ermöglicht. Am gegenüberliegenden linken Ufer befindet sich die Einlauföffnung der bestehenden Fischaufstiegshilfe. Der Fischaufstieg mit einer Gesamtlänge von 230 m ist linksufrig als Kombinationsbauwerk bestehend aus naturnahen Beckenpass (unterer Teil) und Schlitzpass (oberer Teil) ausgeführt und wird jahreszeitlich unterschiedlich dotiert. Im Zuge der Funktionsüberprüfung hinsichtlich des Fischaufstiegs, wurde auch der Fischabstieg über die FAH dokumentiert, wobei der Anteil an absteigenden Fischen bei rd. 5% lag.

Am gegenständlichen Kraftwerksstandort Murau sollen insbesondere Maßnahmen auf den Schutz bzw. verletzungsfreien Abstieg der Leitarten Äsche und Bachforelle abzielen. Dabei sollen vordergründig subadulte bzw. adulte Altersstadien (Körperlänge ≥ 20 cm) effektiv von einer Turbinenpassage abgehalten und in Richtung einer verletzungsfreien Abstiegsmöglichkeit geleitet werden.

Derzeit erfolgt eine flussabwärts gerichtete Wanderung ausschließlich über den Triebwasserkanal, wenn der Murabfluss geringer dem Ausbaudurchfluss ist (rd. 300 Tage im Jahr, siehe Kap. 1.1.4). Der Wanderkorridor folgt der Hauptströmung über die Kaplan-turbinen. Der gegenwärtige Feinrechen mit einer lichte Stabweite >50 mm stellt keine physische Barriere gegenüber den vorkommenden Fischarten bzw. Altersstadien dar. Im Gegensatz dazu können am Feinrechen vor der Francis-Schachturbine jedenfalls Adultstadien abgehalten werden. Zusätzlich ist eine Abwanderung ins Unterwasser über die FAH (wenn auffindbar) möglich. Bei höheren Wasserführungen der Mur ($Q_{\text{Mur}} > Q_A$) ist eine Abwanderung unter Voraussetzung entsprechender Überströmhöhen auch über die Wehrklappe bzw. Geschwemmselklappe möglich.

Für die Darstellung unterschiedlicher Maßnahmen in Bezug auf Fischschutz und Fischabstieg soll auch besonderes Augenmerk auf die bestehenden Randbedingungen hinsichtlich der Strömungsverhältnisse v.a. im Triebwasserkanal bei unterschiedlichen Wasserführungen gelegt werden. Die Fließgeschwindigkeiten im mittleren Abschnitt des Triebwasserkanals betragen bei voller Beaufschlagung im rd. 1,9 m/s, wobei nach der Aufweitung nahe dem Turbineneinlass eine Reduktion auf rd. 1 m/s erfolgt. In Zeiträumen mit geringeren Wasserführungen der Mur werden auch die Fließgeschwindigkeiten im Triebwasserkanal reduziert (siehe Kap. 2.2.3). Trotzdem werden die vorherrschenden Anströmgeschwindigkeiten im Triebwasserkanals (v.a. im Mittelstück) für die Zielfischarten Äsche und Bachforelle kritisch interpretiert, wodurch eine Schrägstellung oder Neigung der Barriere notwendig ist, um das Risiko des Anpressens von Fischen zu reduzieren.

Für die Beurteilung unterschiedliche Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen in Bezug auf Fischschutz und Fischabstieg am Kraftwerksstandort Murau, sei die ökologische Wirkung (siehe Tabelle 2) von Maßnahmen im Vordergrund gestellt. Ökonomische bzw. technische Aspekte, wie Herstellungsaufwand, Betrieb und Wartung werden grob eingeschätzt. Für die Bewertung werden die Kriterien Abschirmwirkung, Leitwirkung, Fischabstieg, sowie Errichtungsaufwand und betriebliche Instandhaltung herangezogen.

Barriere vor Triebwasserkanal

Eine Abschirmung von Fischen bereits vor dem Triebwasserkanal verhindert die potentielle Passage durch Turbinen. Hierfür kann eine physische Barriere (z.B. Leitrechen, in Form eines

Feinrechen mit entsprechend geringen Stababständen) verwendet werden. Alternativ können Fische mittels einer Hybrid-Barriere (Feinrechen mit größeren Stababständen und Elektrifizierung im Niedervolt-Bereich) abgeschirmt werden, wobei die Effizienz des Abschirmens nach derzeitigen Wissenstand bei derartigen Systemen nicht vollständig geklärt ist. Der Triebwasserkanal müsste jedoch für aufsteigende Fische teilgeöffnet bleiben, was wiederum ein Risiko für ein Einschwimmen absteigender Fische darstellt. Aus ökologischer Sicht ergibt sich im Falle einer vollständigen Abschirmung des Triebwasserkanals (Leitrechen) mit zusätzlicher Erweiterung der FAH (Verlegung der Einlauföffnung der FAH flussauf in Richtung Stau) und der Errichtung einer Fischabstiegshilfe am unteren Ende des Leitrechens zwischen Schachtturbine und Grundablass die ideale Anordnung hinsichtlich effizienten Fischschutz und Fischabstieg. Dies begründet sich v.a. durch die ganzjährige Anströmung des Triebwasserkanals (großräumige Auffindbarkeit der Abstiegsmöglichkeit durch Hauptströmung gegeben) sowie dadurch, dass am Einlaufbauwerk im Vergleich zu potentiellen Varianten innerhalb des Triebwasserkanals geringere Anströmgeschwindigkeiten auftreten. Für diese Variante ist jedoch mit einem sehr hohen Errichtungsaufwand zu rechnen, da neben der Adaptierung der FAH auch aufwändige Umbauten zur Errichtung der Fischabstiegsanlage erforderlich sind.

Barriere im Triebwasserkanal

Über dem Triebwasserkanal können derzeit Fische über die Kaplan-turbine und über die FAH absteigen. Der Feinrechen mit einer lichten Weite >50 mm stellt einen unzureichenden Fischschutz dar. Ein Umrüsten auf einen konventionellen Stabrechen mit geringeren lichten Stabweiten würde erhöhte Reinigungsintervalle und insbesondere erhöhte hydraulische Verluste bedeuten. Da die vorherrschende Anströmgeschwindigkeit im Bereich der Einlaufschächte zu hoch ist (siehe Kap. 3.1.2.1), ist jedenfalls eine Vergrößerung der Rechenfläche erforderlich. Jedoch stellt sich bei dieser Variante keine Verbesserung der Fischleitung zur Abstiegsöffnung (z.B. FAH) dar.

Mit einem **Leitrechen**, einer Barriere mit horizontaler Schräganströmung, können Fische von den beiden Kaplan-Turbinen abgeschirmt und gleichzeitig in Richtung FAH geleitet werden. Der Leitrechen kann in Form eines starren Horizontalrechens, der als Ersatz zur bestehenden Rechenanlage eingesetzt wird, oder zusätzlich zum bestehenden Rechen mit flexiblen Stahlseilen (Seilrechen) errichtet werden. Insbesondere können mittels E-Seilrechen größerer lichte Stabweiten realisiert werden. Unabhängig vom Barrieretyp kann der hohen Anströmgeschwindigkeit im Triebwasserkanal mit einer entsprechend großen Neigung entgegengewirkt werden. Lediglich der Einlaufbereich der FAH sollte umgestaltet werden (siehe Kap. 3.1.2.2).

Alternativ zum Leitrechen wird die Umsetzung eines **Flachrechens** im Triebwasserkanal bewertet. Fische können dadurch von der Sohle in Richtung Wasseroberfläche geleitet werden und zumindest das Sohlniveau der Abstiegsöffnung erreichen. Auch hierfür bietet sich die Möglichkeit, den bestehenden Fischaufstieg für einen Fischabstieg zu verwenden. Jedoch müssen die Fische aktiv zur Seite der Abstiegsöffnung schwimmen. Der Flachrechen ersetzt den bestehenden Feinrechen vor den Turbinen. Auch bei dieser Variante ist infolge der hohen Anströmgeschwindigkeiten im Triebwasserkanal eine entsprechend große vertikale Neigung erforderlich. Unabhängig davon ergeben sich aufgrund der Aufweitung des Triebwasserkanals im Turbineneinlaufbereich in der Grundrissperspektive trapezförmige und somit schwierig zu reinigende Rechenflächen.

Bei massiver Ausführung und sehr flacher Neigung könnte der Flachrechen zusätzlich auch als Sammel- und Entnahmebauwerk für Treibgut genutzt werden, wobei gezielt Schwimmholz für die thermische Verwertung (Heizkraftwerk) gewonnen werden könnte (ausdrücklicher Wunsch des Betreibers). Dabei würde der Grobrechen am Einlaufbauwerk entfernt und ein entsprechender „Sammelrechen“ samt einer speziellen Entnahme- bzw. Reinigungsanlage errichtet werden.

Tabelle 2: Bewertung potentieller Varianten am Kraftwerksstandort Murau (ökologische Wirkung von Maßnahmen, negativ -, neutral o, positiv +; Errichtungs-, Betriebs- und Instandhaltungsaufwand, kein ., mittel .., hoch ..., sehr hoch).

Variante	Abschirmwirkung	Leitwirkung	Fischabstieg	Errichtungsaufwand	Betrieb/Wartung
Nullvariante	-	-	(o)*	.	..**
Barriere vor TWK	+++	++	+
Barriere im TWK - Leitrechen	+	++	+
Barriere im TWK - Flachrechen	+	+	+
Grundablass und bewegliches Wehr	-	(-)***	(o)
Festes Wehr	-	-	+

* FAH für den Abstieg möglich

** laut Betreiber hoher Wartungsaufwand der Rechenanlagen bei hohen Abflüssen

*** Leitwirkung nur bei ausreichend Überwasser

Im Bereich des **Grundablasses** und der **beweglichen Wehranlage** sind bauliche Adaptierungen und Einbauten für den Fischabstieg nur schwierig umsetzbar. Die Hochwassersicherheit und Abflusskapazität muss gewährleistet bleiben. Hinsichtlich des Spülmanagements ist eine grundlegende Änderung der Spül- bzw. Stauanlage, beispielsweise im Hinblick auf das Abspülen von Sedimenten im Bereich der Einlaufschwelle, im Detail abzuklären. Unabhängig davon ist eine Umsetzung von Abstiegsvarianten im beschriebenen Kraftwerksbereich gegenständlich kostenseitig nicht darstellbar. Entsprechend ist ein Abstieg bei Staulegung sowie bei Überwasser und entsprechenden Überstromhöhen möglich. Soll ein Verletzungsrisiko dabei weitgehend ausgeschlossen werden, sind unterwasserseitig im Bereich des Katarakts entsprechende Mindestwassertiefen mit ausreichendem Wasserpolster erforderlich. Möglich erscheint jedoch eine betriebliche und/oder bauliche Adaptierung der aufgesetzten Geschwemmselklappe. Konkret kann dies in Kombination mit einer Barriere vor dem Triebwasserkanal und der Errichtung einer Fischabstiegshilfe im Unterwasser erfolgen. Eine Fischabstiegshilfe auf der gegenüberliegenden Seite, am rechten Ufer, im Bereich des **festen Wehres**, ist aus ökologischer Sicht nicht zielführend. Da vorrangig der Triebwasserkanal angeströmt wird, ist dieser Bereich für Fische nur stark eingeschränkt auffindbar. Die Errichtung eines Leitbauwerks über die gesamte Flussbreite steht im Widerspruch zur Hochwassersicherheit und wäre nur schwierig instand zu halten.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennwerte je Profil: Ausbaudurchfluss (Q_{max}); Mittelwasserabfluss (MQ); halber Gesamtausbaudurchfluss (Q_{168}); Breite (B), Tiefe (T) bzw. Fläche (A) Triebwasserkanal, Anströmgeschwindigkeit (VA) in Abhängigkeit der Abflusskennwerte	25
Tabelle 2: Bewertung potentieller Varianten am Kraftwerksstandort Murau (ökologische Wirkung von Maßnahmen, negativ -, neutral o, positiv +; Errichtungs-, Betriebs- und Instandhaltungsaufwand, kein ·, mittel ··, hoch ···, sehr hoch ····).	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht des Kraftwerkstandorts Murau mit Fischaufstiegshilfe (FAH) sowie Ober- und Unterwassersituation	8
Abbildung 2: Kraftwerksanlage mit spezifischen Anlagenteilen	10
Abbildung 3: Abfluss- und Temperaturganglinie (Monatsmittelwerte: Min/Max/Mittel) am Pegel Gestüthof (211086) mit Ausbaudurchfluss (Q_a), (Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018; Reihe: 1976-2015), Statistische Kennzahlen: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2015 (Reihe 1976--2015).	13
Abbildung 4: Überschreitungsdauerlinie am Pegel Gestüthof (211086) mit ausgewählten Überschreitungen (rote Linien bzw. Tabelle), (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).	14
Abbildung 5: Tage mit Abflussbedingungen $>60 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Gestüthof (211086), (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).	14
Abbildung 6: Abflussganglinie am Pegel Gestüthof (211086): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006) und Trockenjahr (2003), Ausbaudurchfluss (Q_a) in Rot, (Tagesmittelwerte; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).	15
Abbildung 7: Abflussbedingungen je Monat am Pegel Gestüthof (211086) gruppiert nach Abflussklassen (<60 ; 60-61; 61-65; 65-70; 70-100, $>100 \text{ m}^3/\text{s}$): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006), Trockenjahr (2003); (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).	15
Abbildung 8: Abflussbedingungen je Monat am Pegel Gestüthof (211086) gruppiert nach Abflussklassen (<20 ; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60, $>60 \text{ m}^3/\text{s}$): Feuchtjahr (2009), Regeljahr (2006), Trockenjahr (2003); (Tagesmittelwerte: Reihe 1976-2015; Quelle: eHYD, Zugriff: 29.10.2018).	16
Abbildung 9: „Leitrechen“ mit seitlich angeordnetem Bypass im Grundriss (links); „Flachrechen“ mit oberflächennaher Abstiegsrinne im Längenschnitt (rechts), (aus: Dumont et al., 2005)	19
Abbildung 10: Anströmgeschwindigkeit (V_A), Normalgeschwindigkeit (V_N), Tangentialgeschwindigkeit (V_T) und Verlusthöhe (h_V) an unterschiedlich geneigten Barrieren (aus: Dumont et al., 2005)	21
Abbildung 11: Aktuelle Abstiegsmöglichkeiten am Kraftwerk Murau im Regelbetrieb ($Q_{\text{Mur}} \leq Q_A$) und bei Überwasser ($Q_{\text{Mur}} > Q_A$)	23
Abbildung 12: Triebwasserkanal mit repräsentativen Profilen (Position 1-4) in Abhängigkeit der Breite; Position 5 kennzeichnet den Übergangsbereich zw. Mittelstück und Vorhof	24
Abbildung 13: Großräumige Lage möglicher Fischschutz- bzw. Fischabstiegsvarianten	26
Abbildung 14: Abschirmung des Triebwasserkanals mittels Barriere (z.B. Feinrechen, Elektrifizierung Grobrechen), Verlegung der Einlauföffnung der FAH flussauf in Richtung	

Stau, Bereitstellung einer Abstiegsmöglichkeit am flussab gelegenen Ende des Grobrechens sowie unterwasserseitige Maßnahme (Katarakt)	28
Abbildung 15: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 45°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann nur bedingt eingehalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \leq Q_{168}$), Profilansicht: siehe Anhang (Abbildung 21)	31
Abbildung 16: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 25°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} eingehalten werden, Profilansicht: siehe Anhang (Abbildung 22)	31
Abbildung 17: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Leitrechen (Anströmwinkel 65°) und Leitung von Fischen in Richtung Abstiegsmöglichkeit (Spülschütz); $V_{A,zul}$ kann nur bedingt eingehalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \ll Q_{168}$)	32
Abbildung 18: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Flachrechen (Anströmwinkel 20°) und vertikale Leitung von Fischen in Richtung Wasseroberfläche bzw. Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} eingehalten werden, Profilansicht: siehe Anhang (Abbildung 23)	33
Abbildung 19: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels Flachrechen (Anströmwinkel 15°) und vertikale Leitung von Fischen in Richtung Wasseroberfläche bzw. Abstiegsmöglichkeit (FAH); $V_{A,zul}$ kann für Fischlängen ≥ 20 cm bei Q_{max} eingehalten werden, Profilansicht: siehe Anhang (Abbildung 24)	34
Abbildung 20: Abschirmung der Kaplan-Turbinen mittels vertikal geneigten „Fischhebetrogs“ mit Abstieg über Spülrinne und Abstiegsanlage; $V_{A,zul}$ kann nur bedingt eingehalten werden (Fischlänge ≥ 20 cm: $Q \leq Q_{168}$)	35
Abbildung 21: Profilansicht Triebwasserkanal: Leitrechen, horizontale Neigung: 45° (siehe Kap. 3.1.2.2)	48
Abbildung 22: Profilansicht Triebwasserkanal: Leitrechen, horizontale Neigung: 25°(siehe Kap. 3.1.2.2)	48
Abbildung 23: Profilansicht Triebwasserkanal: Flachrechen, vertikale Neigung: 20° (siehe Kap. 3.1.2.3)	49
Abbildung 24: Profilansicht Triebwasserkanal: Flachrechen, vertikale Neigung: 15° (siehe Kap. 3.1.2.3)	49

Literaturverzeichnis

Adam, B. & Lehmann, B. (2011): Ethohydraulik - Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Aufleger, M.; Birkmeier B.; Tutzer R.; Böttcher H. (2017a): Der Elektroseilrechen. –Ein hybrides Fischschutzkonzept-. Forum Fischschutz & Fischabstieg, Poster, April 18.-19. 2018, Dresden.

Aufleger, M.; Böttcher, H.; Brinkmeier, B.; Unfer, G.; Zeiringer B. (2017b): Electrified flexible fish fences. In: Proceedings of 37th IAHR World Congress, August 13 – 18, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia.

Bös, T.; Egloff, N.; Peter, A. (2012): Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren, mitteleuropäischen Flusskraftwerken – Zwischenbericht zum Literaturstudium der Eawag, Eawag, Kastanienbaum, Schweiz.

Böttcher, H.; Schlosser, L.; Zeiringer, B.; Unfer, G.; Zeileis, A., Aufleger, M. (2019): Experiments on fish behavior at a fish protection and guidance system (Flexible Fish Fence). Submittend: Ecological Engineering, January 2019.

Böttcher, H.; Falkner, F-J.; Freund, F.; Zeiringer, B. (2018): Der Seilrechen als Fischschutz- und Fischleiteinrichtung an Wasserkraftanlagen. Forschungsbericht, Endbericht, 13.09.2018.

Böttcher, H.; Unfer, G.; Zeiringer, B.; Schmutz, S.; Aufleger M. (2015): Fischschutz und Fischabstieg – Kenntnisstand und aktuelle Forschungsprojekte in Österreich. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft (2015) 67:299–306, DOI 10.1007/s00506-015-0248-5.

Castro-Santos, T.; Haro, A. (2010): Fish guidance and passage at barriers. Pp 62-89. In: Domenici, P. & B. G. Kapoor (Eds.). Fish Locomotion: An Eco-Ethological Perspective. Science Publishers, Enfield, NH.

Cuchet, M.; Rutschmann, P. (2014): Potamodromous fish behavior during downstream migration at inclined screen. In: Proceedings of 10th ISE 2014, Trondheim.

Dumont, U.; Anderer, P.; Schwevers, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

DWA (2005): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle - 2. korrigierte Auflage - Juli 2005. In: Adam, B.; Bosse, R.; Dumont U. et al., (Eds.). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Ebel, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose,

Bemessung und Gestaltung. Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie, Bd. 4., 483 S., Halle (Saale).

Ebel, G.; Gluch, A.; Kehl, M. (2015): Einsatz des Leitrechen-Bypass-Systems nach Ebel, Gluch & Kehl an Wasserkraftanlagen — Grundlagen, Erfahrungen und Perspektiven. WASSERWIRTSCHAFT. 105. 44-50. 10.1007/s35147-015-0530-2.

Hassinger, R. (2018): Erster Fischhebetrog für Rechenreinigung und Fischabstieg in Interlaken in Betrieb. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserbauwerke im Bestand - Sanierung, Umbau, Ersatzneubau und Rückbau. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 60. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 113-122.

Hefti, D. (2012): Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste Best Practice. Bundesamt für Umwelt, Bern, 79 S.

Ismail, A.; Kriewitz, C. R.; Hager, W. H.; Boes, R. M. (2017): An experimental investigation on louvers and angled bar racks. Journal of Hydraulic Research. 56:1, 59-75, DOI: 10.1080/00221686.2017.1289265.

Kriewitz, C. R.; Albayrak, I.; Boes, R.M. (2012): Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken – Zwischenbericht zum Literatur- und Massnahmenstudium.

Kriewitz, C.R. (2015): Leitrechen an Fischabstiegsanlagen: Hydraulik und fischbiologische Effizienz. VAW-Mitteilungen 230, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), (R. M. Boes, ed.), ETH Zürich, Schweiz.

Larinier, M.; Travade, F. (2002): Downstream migration: Problems and facilities. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture (2002) 364 suppl., 181–207.

Larinier, M. (2008): Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. Hydrobiol.: 97-108.

Pavlov, D. S. (1989): Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO Fisheries Technical Paper 308, 97 S., Rome (Food and Agriculture Organisation of the United Nations).

Raynal, S.; Courret, D.; Chatellier, L.; Larinier, M.; David, L. (2013): An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 1. Inclined Trashracks. Journal of Hydraulic Research, 51,156-66.

Rost, U.; Weibel, U.; Wüst, S.; Haupt, O. (2014): Versuche zum Scheuchen und Leiten von Fischen mit elektrischem Strom. WasserWirtschaft 7/8: S. 58–62.

Taft, E. P. (1986): Assessment of downstream migrant fish protection technologies for hydroelectric application. Report prepared for Electric Power Research Institute (No. 2694-1), 360 S., Palo Alto, California (Stone & Webster Engineering Corporation).

Wiesner, C.; Unfer, G.; Tatzber, C.; Müller, B.; Jungwirth, M. (2007): Inneralpines Flussraummanagement Obere Mur - Arbeitspaket F.2.3 – Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Fischwanderhilfe beim Kraftwerk Murau. Studie im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19B Schutzwasserwirtschaft und Bodenwasserhaushalt, Graz, 98.

Anhang

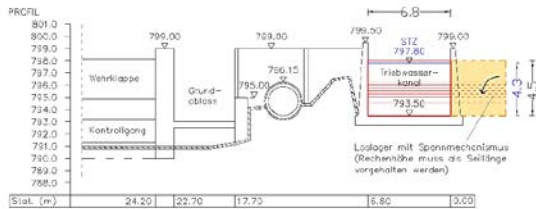
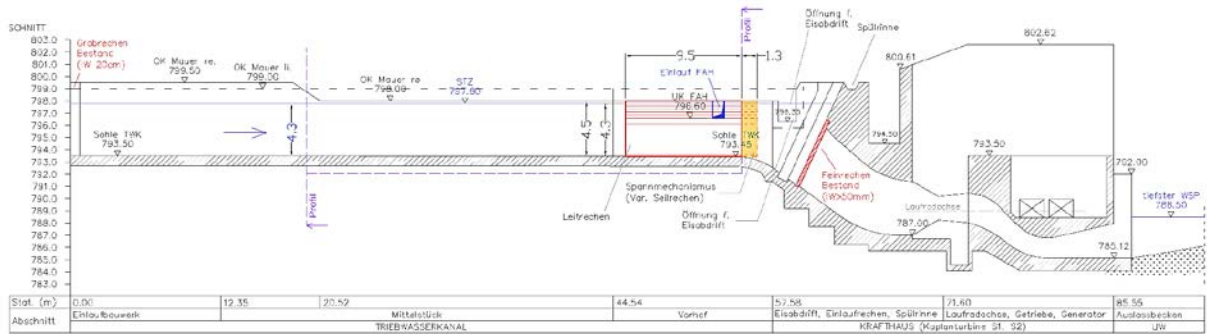


Abbildung 21: Profilsicht Triebwasserkanal: Leitreehen, horizontale Neigung: 45° (siehe Kap. 3.1.2.2)

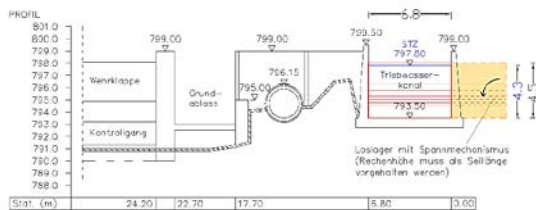
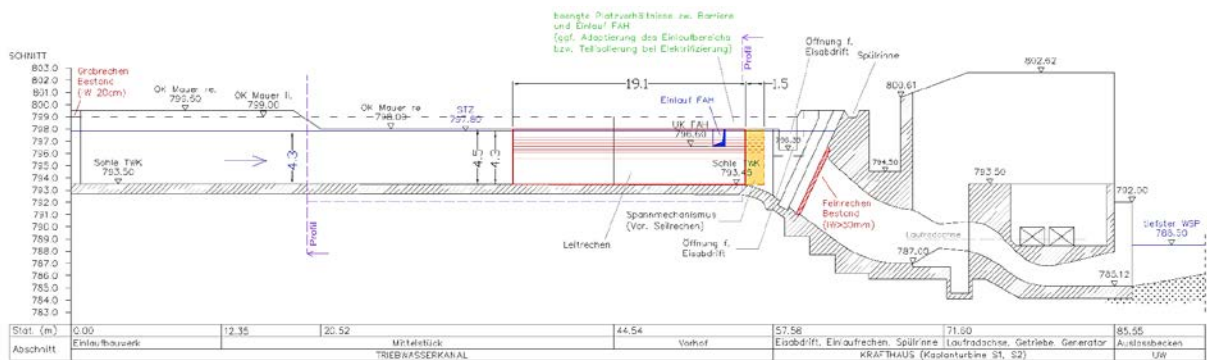


Abbildung 22: Profilsicht Triebwasserkanal: Leitreehen, horizontale Neigung: 25°(siehe Kap. 3.1.2.2)

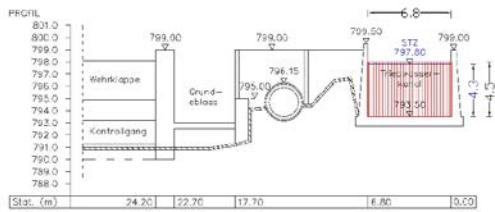
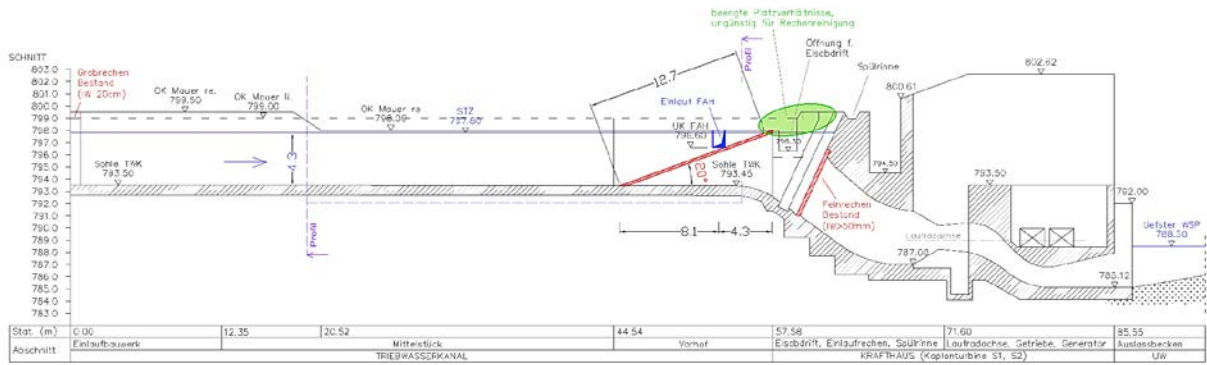


Abbildung 23: Profilsicht Triebwasserkanal: Flachrechen, vertikale Neigung: 20° (siehe Kap. 3.1.2.3)

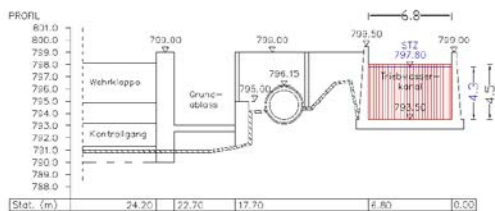
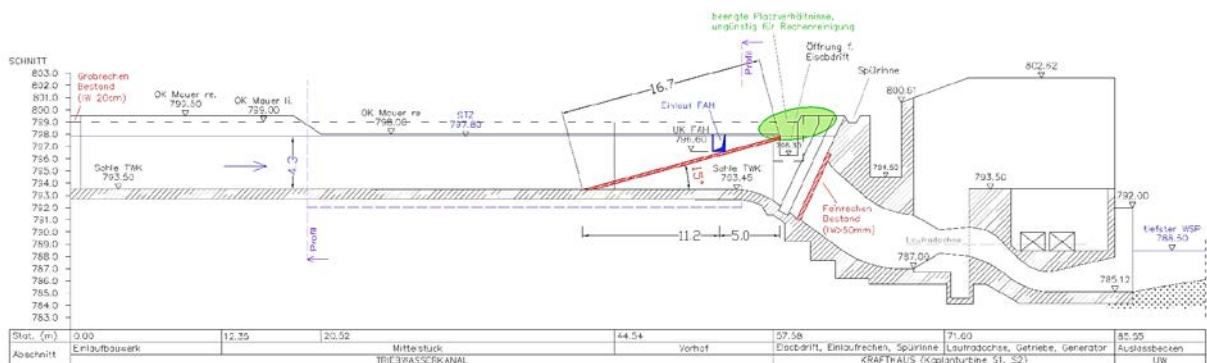


Abbildung 24: Profilsicht Triebwasserkanal: Flachrechen, vertikale Neigung: 15° (siehe Kap. 3.1.2.3)

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

[bmnt.gv.at](https://www.bmnt.gv.at)