

2020

Sanierung Fischgängigkeit



Stauwehr Rongellen
Vorprojekt

Pascal Barrea
Kraftwerke Hinterrhein AG
Oktober 2020

Allgemeines

Autor/-in	Pascal Barrea KHR Leif Karcheter H-S Water Engineering AG Pio Pitsch ecowert GmbH
Dateiname und Pfad	Rongellen Bericht Vorprojekt.docx
Dokumentnummer	1
Geltungsbereich	
Vertraulichkeit	
Bedeutung	
Urheberrechte	
Version	2
Genehmigung	

Änderungskontrolle

Version	Autor/-in	Datum	Seiten	Änderung
2	PBa	21.10.2020		div. Kapitel ergänzt

Verteiler

Version	Datum	Wer	Anzahl Exemplare

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
2	Projektgrundlagen	1
3	Vorprojekt.....	2
	3.1 Sanierungsziel	2
	3.2 Zielarten.....	2
	3.3 Variantenbeschrieb.....	2
	3.4 Fischtenschutz.....	4
	3.5 Energieverluste	10
	3.6 Betriebssicherheit	12
	3.7 Hochwassersicherheit.....	13
	3.8 Unterhalt	14
	3.9 Machbarkeit	15
	3.10 Risiken	16
	3.11 Kosten	16
4	Beurteilung.....	18
	4.1 Fischtenschutz.....	18
	4.2 Energieverluste.....	19
	4.3 Betriebs- und Hochwassersicherheit, Unterhalt.....	19
	4.4 Machbarkeit	23
	4.5 Risiken.....	24
	4.6 Kosten	24
	4.7 Bewertungsmatrix.....	24
5	Zusammenfassung und Empfehlung	25
	Literaturverzeichnis.....	26
	Anhang 1: Abschätzung Anströmwinkel θ	27
	Anhang 2: Diagramme (Q , $v_{\text{Anström}}$ bzw. v_{normal})	28
	Anhang 3: Vorprojektpläne.....	29

Beilage 1: Variantenstudium

1 Ausgangslage

Die Kraftwerke Hinterrhein AG (KHR) nutzt seit den 1960er Jahren die Wasserkraft des Hinterrheins. Unter anderem betreibt KHR auch das Kraftwerk Thusis, welches zur Energieversorgung einer Karbidfabrik in Thusis schon 1899 erstmals in Betrieb war. Das Betriebswasser wird mittels eines Stauwehrs in Rongellen gefasst. Die Ausbauwassermenge des Kraftwerks beträgt heute 6 m³/s und weist eine mittlere Jahresproduktion von 16.2 GWh auf. Aufgrund diverser Gesetzesänderungen sind Massnahmen für die Wiederherstellung der Fischgängigkeit der Fliessgewässer umzusetzen. Gemäss kantonalen Planung ist für das Stauwehr Rongellen eine Sanierungspflicht bezüglich Fischschutz ermittelt worden. Als Sanierungsziel wird einzig der ausreichende Schutz vor Verdriftung von Fischen ins Triebwassersystem festgelegt. Bezüglich möglicher Massnahmen kommt der Sanierungsbericht zum Schluss, dass eine Verringerung der lichten Weite beim Schutzrechen von heute 35 mm auf max. 20 mm zielführend ist.

Zum Schutz vor Verdriftung von Fischen ins Triebwassersystem wurden im Zuge eines Variantenstudiums diverse Lösungsvarianten wie Verhaltensbarrieren, Lenkung und physische Barrieren geprüft. Das Variantenstudium erfolgte durch KHR, wobei der fischereibiologische und gewässerökologische Fachbereich durch die Zusammenarbeit mit dem Umweltfachbüro ecowert GmbH abgedeckt wurde.

Schliesslich ging der Rechen als physische Barriere bei entsprechender Auslegung als zielführende Massnahme aus dem Variantenstudium hervor. Das AJF GR stimmte mit ihrer Stellungnahme vom 12.09.2018 dem Resultat des Variantenstudiums zu, wobei zusätzlich auch ein Rechenstababstand von 15 mm im Licht geprüft werden soll. Im Zuge des Vorprojekts werden umsetzbare Horizontal- und Vertikalrechensysteme, welche möglichst den Anforderungen bezüglich Fischschutz, Betriebs- und Hochwassersicherheit sowie Wirtschaftlichkeit erfüllen evaluiert. Der definitive Variantenentscheid erfolgt in Rücksprache mit dem AJF GR (Prüfung Vorprojekt). Die Erarbeitung des Vorprojekts erfolgt analog dem Variantenstudium in Zusammenarbeit mit dem Umweltfachbüro ecowert GmbH. Das Planungsbüro für Kleinwasserkraft H-S Water Engineering AG nimmt dabei ein Beratungsmandat in technischer Hinsicht wahr.

2 Projektgrundlagen

Projektgrundlage für das Vorprojekt bildet das Variantenstudium. Ferner wird auf die Kapitel Nr. 3 bis 5 hingewiesen, welche Angaben und Beschreibungen zur bestehenden baulichen Anlage, zur Ökologie und Hydrologie liefern.

Weiter bilden folgende Grundlagen Basis für dieses Projekt:

Dokumente

- | | |
|---|------------|
| • Schlussbericht der strategischen Planung zur Wiederherstellung der Fischwanderung | Dez. 2014 |
| • Sanierungsanordnung der Regierung des Kantons Graubünden | 06.04.2016 |
| • Variantenstudium KHR (Beilage 1) | Sep. 2018 |
| • Stellungnahme AJF GR zum Variantenstudium KHR | 12.09.2018 |

Pläne

- | | |
|---|------------|
| • Ausführungsplan 41.10.1869 WF Rongellen, Situation | 1969 |
| • Ausführungsplan 156.12.1874 Wasserfassung Rongellen | 1969 |
| • Ausführungsplan 41.10.1881 Druckstollen, LP m 0-700 | 1968 |
| • Ausführungsplan 41.10.1884 Druckstollen, QP | 1968 |
| • Ausführungsplan 1-72461a Einlaufrechen | 14.03.1997 |
| • Konstruktionszeichnung 41.21.243138 Einlaufrechen | 01.09.2014 |

3 Vorprojekt

Im Zuge des Vorprojekts wird die aus dem Variantenstudium hervorgegangene Empfehlung weiterbearbeitet. Das Vorprojekt sieht primär die Evaluierung eines Rechensystems mit einem Rechenstababstand von 20 mm im Licht als Variante 1 Vertikalrechen mit Rechenreinigungsmaschine (RRM) und als Variante 2 Horizontalrechen mit RRM vor. Auf Wunsch des AJF GR fliesst zusätzlich die Prüfung eines Rechenstababstands von 15 mm im Licht mit ein.

Wie die erweiterte Untersuchung im Variantenstudium zeigt, stellen der Horizontalrechen und Vertikalrechen grundsätzlich gleichwertige Lösungen dar. Während der Horizontalrechen betreffend Fischschutz zu bevorzugen ist, konnte betreffend Hochwasser- und Betriebssicherheit noch keine Lösung abschliessend bevorzugt werden.

Die Variantenevaluation erfolgt anhand der Prüfung und Beurteilung folgender Eigenschaften:

- Fischschutz
- Energieverluste
- Betriebs- und Hochwassersicherheit
- Unterhalt
- Machbarkeit
- Risiken
- Kosten

3.1 Sanierungsziel

Das Sanierungsziel besteht einzig darin, einen ausreichenden Schutz vor Verdriftung von Fischen ins Triebwassersystem zu bewerkstelligen. Der Sanierungsbericht der strategischen Planung kommt bezüglich Massnahmen zum Fischschutz zum Schluss, dass eine Verringerung der lichten Weite beim Einlaufrechen von heute 35 mm auf max. 20 mm zielführend ist. Ein Abstiegsbypass oder eine Fischaufstiegshilfe ist nicht Gegenstand der Verfügung.

3.2 Zielarten

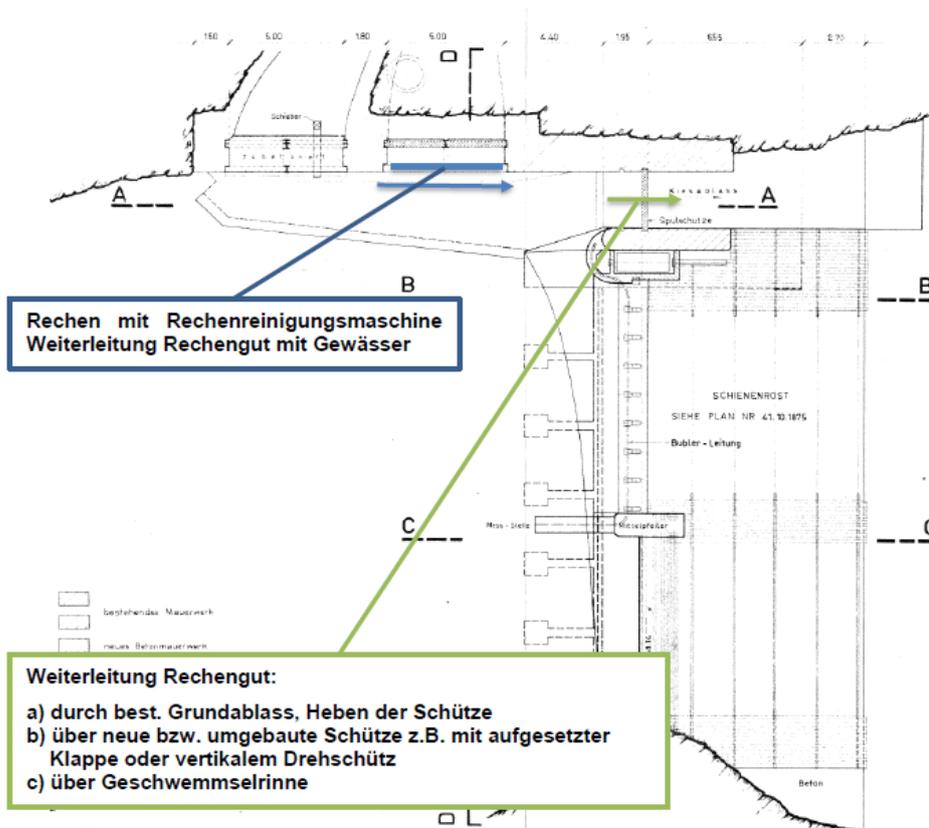
Gemäss Sanierungsverfügung werden im betroffenen Gewässerabschnitt die Bach- und Seeforelle sowie die Groppe als Zielarten definiert. Bezüglich der zu schützenden Entwicklungsstadien der jeweiligen Zielarten werden keine expliziten Angaben gemacht.

3.3 Variantenbeschreibung

Wie aus der strategischen Planung und dem Variantenstudium hervorgeht, kann der Verdriftung von Fischen in den Triebwasserweg mit einer physischen Barriere entgegengewirkt werden. Damit die Anlage weiterhin betriebssicher und wirtschaftlich betrieben werden kann ist eine zuverlässige Reinigungseinrichtung zwingend erforderlich, welche durch die regelmässig auftretenden Hochwasserereignisse am Hinterrhein keinen Schaden nimmt.

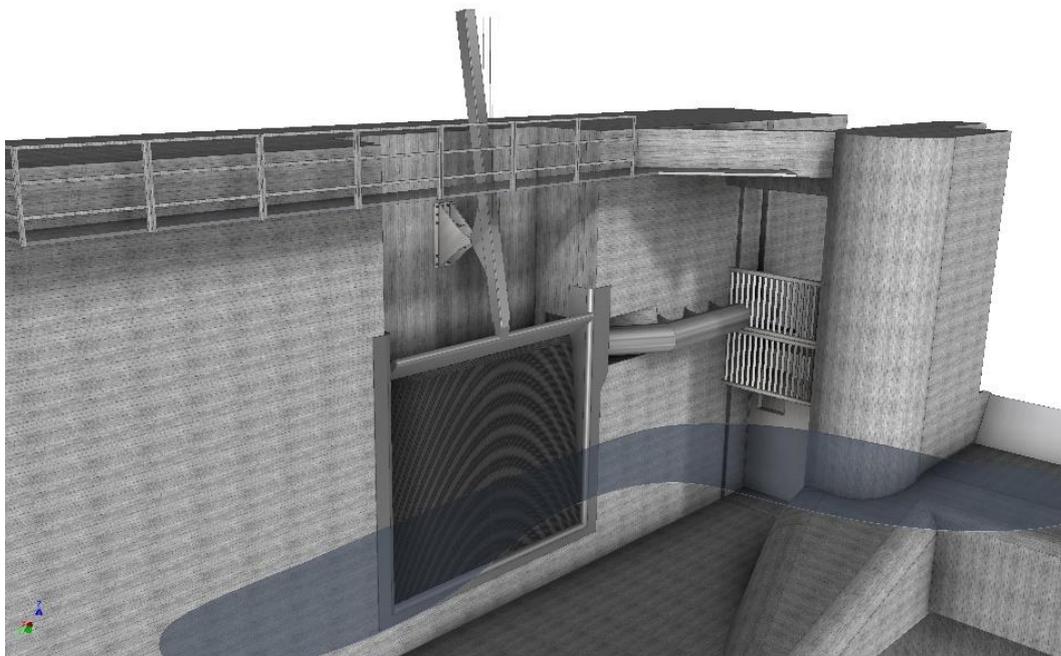
Die Erschliessungsmöglichkeiten des Stauwehrs Rongellen sind sehr beschränkt. Das Sammeln und Abführen des Rechenguts ist dadurch mit einem gewissen Aufwand verbunden. Daher sieht das System eine Rechanlage mit RRM vor, bei welcher das Rechengut ins Unterwasser bzw. mit dem Gewässer weitergeleitet werden kann.

Die nachfolgende Skizze veranschaulicht das Systemprinzip.



3.3.1 Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

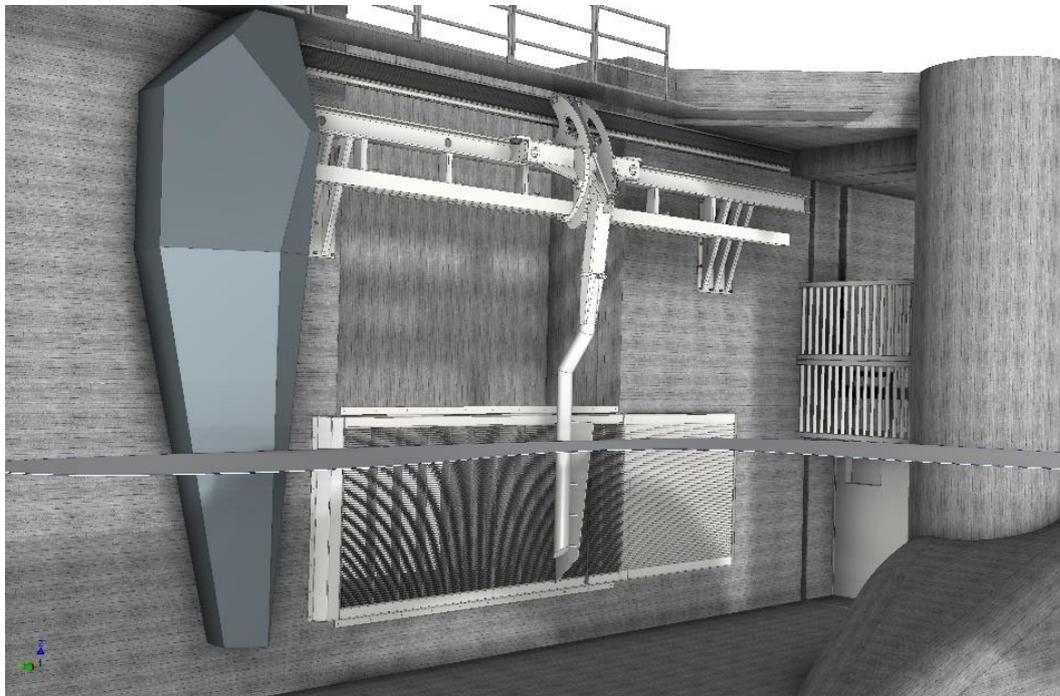
Die Variante 1 beinhaltet einen Vertikalrechen mit RRM und Geschwemmselrinne zur Weiterleitung des Rechenguts ins Unterwasser.



Systementwurf Vertikalrechen mit RRM, Bild: Wild Metal GmbH

3.3.2 Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

Die Variante 2 stellt einen Horizontalrechen mit RRM dar. Dabei ist die Weiterleitung des Rechenguts mittels Spülung über den Grundablass ins Unterwasser vorgesehen.



Systementwurf Horizontalrechen mit RRM, Bild: Wild Metal GmbH

3.4 Fischschutz

Ursprünglich beschränkte sich die Funktion einer Rechenanlage darauf, die Grösse des im Gewässer mitgeführten Schwemmguts auf die jeweilige Nutzungsanforderung einer Anlage zu verringern. Zunehmend besteht die Aufgabe einer Rechenanlage auch darin, Fische am Eindringen in das Triebwassersystem zu hindern und Verletzungen zu vermeiden. Dabei spielen der lichte Stababstand, das Rechenstabprofil und dessen Ausrichtung, sowie hydraulische Grössen wie der Anströmwinkel und die Anströmgeschwindigkeit in Bezug auf die Schutzfunktion eine massgebende Rolle.

3.4.1 Lichte Weite

Die lichte Weite des Rechenstababstandes wird einerseits durch Nutzungsanforderungen einer Anlage und andererseits durch Anforderungen an den Fischschutz, welche turbinenbedingte Schäden sowie Schäden infolge Anpressung vermeiden sollen, definiert. Letztere bedingen in der Regel einen engeren Stababstand.

Die Verdriftung von Fischen ins Triebwassersystem kann nur dann vermieden werden, wenn der Rechen als physisch undurchlässige Barriere wirkt. Die lichte Weite des Rechens ist daher so zu bemessen, dass die definierten Zielarten und Zielstadien den Rechen physisch nicht passieren können. Die Auslegung einer maximal zulässigen lichten Weite von physisch undurchlässigen Barrieren hängt demzufolge mit der Körperbreite und Körperhöhe der jeweiligen Zielart sowie deren Entwicklungsstadien zusammen.

Für die nachfolgende Auslegung der lichten Weite hinsichtlich den Fischschutzanforderungen wird die Zielart Bachforelle, in diesem Falls auch repräsentativ für die Seeforelle, herangezogen. Betreffend der Zielart Groppe wird auf das Kapitel 3.4.5 Sohlenleitwand verwiesen.

Ermittlung der lichten Weite physisch undurchlässiger Barrieren nach [3]

Zielart	Zielstadium	TL [mm]	b _{Relat} [-]	h _{Relat} [-]	s [mm]
Bachforelle	juvenil	100	0.1	0.19	10
	Übergang juv/ad	150	0.1	0.19	15
	adult	200	0.1	0.19	20

Tabelle 1: TL = Totallänge des Fisches, b_{Relat} = relative Körperbreite, h_{Relat} = relative Körperhöhe, s = max. zul. Lichte Weite

Für Barrieren mit Stabstruktur: $s \leq b_{\text{Fisch,Relat}} \times TL$

Die oben dargestellte Tabelle zeigt auf, für welche Entwicklungsstadien die Barriere bei entsprechendem Stababstand s physisch nicht passierbar ist. Bei physisch undurchlässigen Rechen können turbinenbedingte Schäden ausgeschlossen werden. Es sind jedoch Fischschäden infolge Anpressung an den Rechen möglich. Diese hängen mit den Anströmverhältnissen zusammen, welche in den folgenden Kapiteln behandelt sind.

3.4.2 Anströmwinkel θ

Das rechtwinklig zur Fließrichtung abgehende Entnahmebauwerk beim Stauwehr Rongellen liegt am linken Flussufer. Der Rechen ist am Beginn des Entnahmekanals und in Verlängerung der Uferlinie angeordnet. Bedingt durch die situative Anordnung erfährt der Rechen eine horizontale Schräganströmung. Der Anströmwinkel θ schliesst den Winkel zwischen Anströmvektor und Barriere ein.

Der Anströmwinkel wurde während dem Betrieb der Anlage mit einem mittleren Durchfluss von $Q = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ vor Ort abgeschätzt (vgl. Anhang 1). Im ersten Rechenfeld wurde er auf $\theta_1 = \text{ca. } 35^\circ$ und im zweiten Rechenfeld auf $\theta_2 = \text{ca. } 48^\circ$ geschätzt. Für die mit dem Anströmwinkel zusammenhängenden Berechnungen und weiteren Betrachtungen wird der Mittelwert **Anströmwinkel $\theta = 42^\circ$** herangezogen.

3.4.3 Anströmverhältnisse

Anströmverhältnisse sind bei Neubauten derart auszulegen, dass die zu schützenden Individuen den Kontakt mit dem Rechen vermeiden können und Fischschäden durch Anpressung an den Rechen möglichst vermieden werden. Die diesbezüglich bestehenden Verhältnisse der Bestandsanlage in Rongellen werden in diesem Kapitel beschrieben.

Zur weiteren Betrachtung werden die Messwerte (Stundenwerte) der turbinieren Wassermengen aus den Jahren 2015 bis 2018 herangezogen, also die vorherrschende Situation nach den im Zuge der Gesamterneuerung der Kraftwerksanlagen der KHR ausgeführten Veränderungen. Die Messwerte entsprechen dem durch das KW ausgeleiteten Durchfluss Q in m^3/s , woraus sich mit der durchströmten Querschnittsfläche A die Anströmgeschwindigkeit $v_{\text{Anström}}$ berechnen lässt.

$$V_{\text{Normal}} = \frac{Q}{A}, \text{ mit } A = 2 \times 2.42 \text{ m} \times 2.07 \text{ m} = 10.02 \text{ m}^2$$

Damit ist die über die Rechenfläche gemittelte und unmittelbar vor dem Rechen wirkende Anströmgeschwindigkeit gemeint.

Wird der Rechen schräg angeströmt, verkleinert sich die projizierte Fläche und die Anströmgeschwindigkeit erhöht sich bei gleichem Durchfluss in Abhängigkeit des Anströmwinkels θ . Für die Beurteilung des Fischschutzes ist jedoch die orthogonal an die Rechenfläche wirkende Komponente V_{Normal} massgebend. Diese sollte die Grenzwerte gemäss Tabelle 3 nach Möglichkeit einhalten.

Die nachfolgenden Diagramme veranschaulichen die Durchflussmengen (Abbildung 1) und die damit zusammenhängenden Anströmgeschwindigkeiten (Abbildung 2) der Jahre 2015 bis 2018.

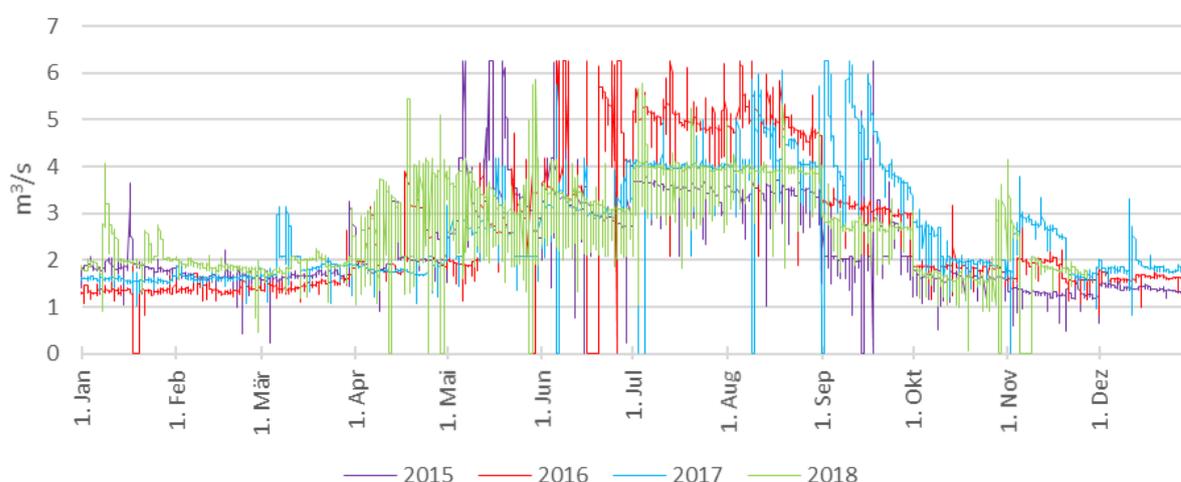


Abbildung 1: Abflussganglinien Messwerte 2015 bis 2018 (Messung über Leitschaukelstellung)

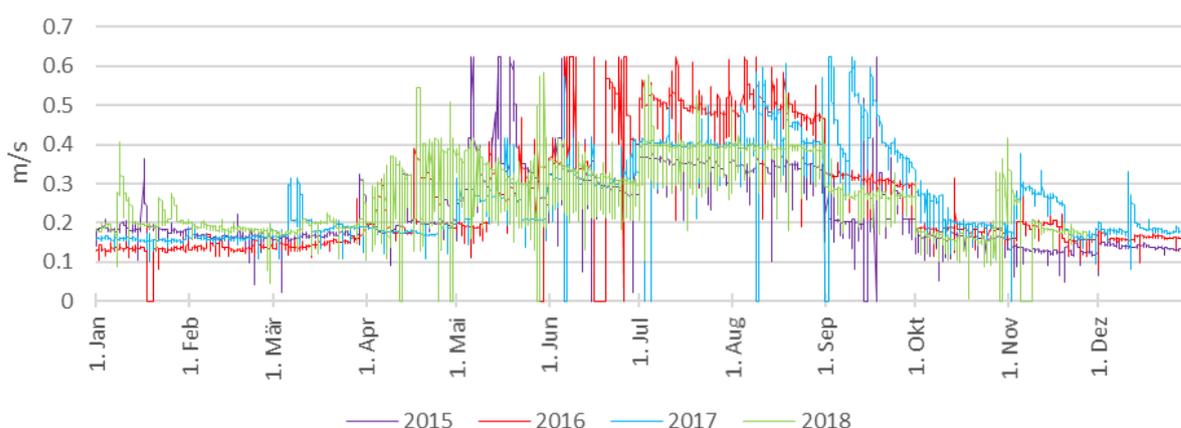


Abbildung 2: Ganglinie der Normal-Anströmgeschwindigkeit an den Rechen in den Jahren 2015 bis 2018

Das KW Thusis besitzt eine Ausbauwassermenge von 6 m³/s. Wie aus Abbildung 1 zu entnehmen ist, werden Durchflussspitzen bis 6 m³/s nur während den Sommermonaten und nur sporadisch erreicht. In den Monaten November bis April sowie Juli bis September ist jeweils eine Trendlinie der Durchflussmenge erkennbar. Während den Wintermonaten bewegen sich die Durchflussmengen in der Regel zwischen 1 und 2 m³/s. Die Normal-Anströmgeschwindigkeit bewegt sich vorwiegend im Bereich von 0.1 bis 0.2 m/s.

Damit Fischschäden infolge Anpressung an den Rechen vermieden werden, wird vorausgesetzt, dass die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Zielart bzw. -stadien die Anströmgeschwindigkeit übertrifft. Die zu wählenden Rechensysteme sind so auszulegen, dass die senkrecht zum Rechen ausgerichtete Komponente der Normal-Anströmgeschwindigkeit die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Zielart nicht übersteigt.

$$v_{\text{Normal}} \leq u_{\text{Opt}}$$

v_{Normal} : Normalgeschwindigkeit [m/s]

u_{Opt} : maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit [m/s], $t = 200 \text{ min}$, $T = 5 \text{ °C}$

Gemäss [1] Checkliste Best practice des BAFU soll die maximal auftretende Normal-Anströmgeschwindigkeit 0.5 m/s nicht überschreiten. G. Ebel gibt in seiner Publikation einen Wert von 0.38 m/s für juvenile Bachforellen und 0.66 m/s für adulte Bachforellen an [3].

Zielart	Zielstadium	TL [m]	t [s]	T [°C]	u _{Opt} [m/s]
Bachforelle	juvenil	0.10	12'000	5.0	0.38
	Übergang juv/ad	0.15	12'000	5.0	0.53
	adult	0.20	12'000	5.0	0.66

Tabelle 2: Zusammenstellung der max. Dauerschwimmgeschwindigkeit nach [3]; TL = Totallänge des Fisches, t = Schwimmdauer, T = Wassertemperatur, u_{Opt} = max. Dauerschwimmgeschwindigkeit

Wird die Dauerkurve (Abbildung 3) betrachtet, so kann festgehalten werden, dass die Grenzwerte für juvenile Bachforellen an rund 300 Tagen im Jahr eingehalten werden. Dies ist eine Funktionsdauer, die auch im Zusammenhang mit Fischaufstiegsanlagen angestrebt wird (vergl. DWA-M 509). Der Grenzwert für die adulten Exemplare wird praktisch immer unterschritten.

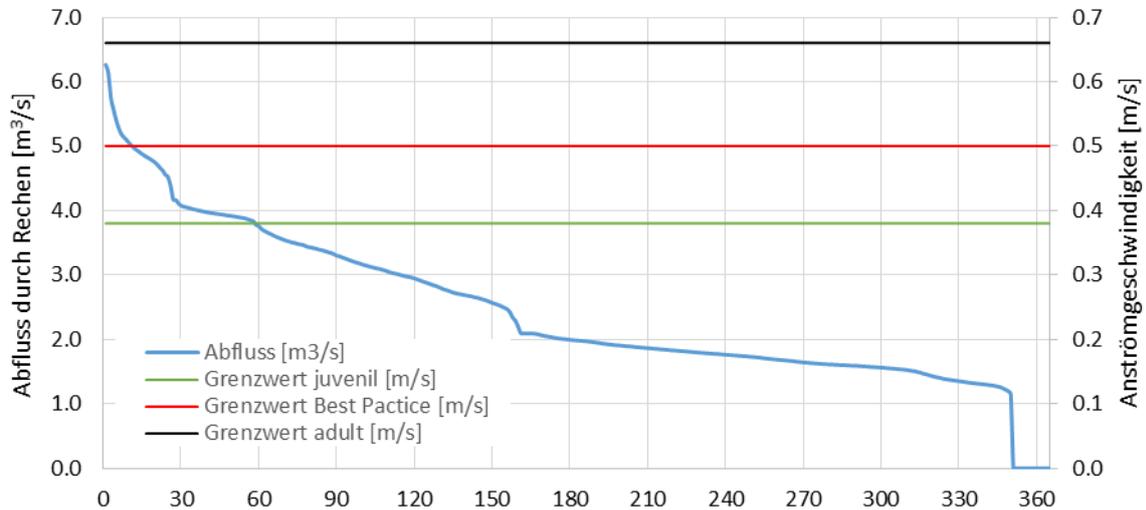


Abbildung 3: Abflussdauerkurve Periode 2015 bis 2018 mit korrespondierender v_{Normal}

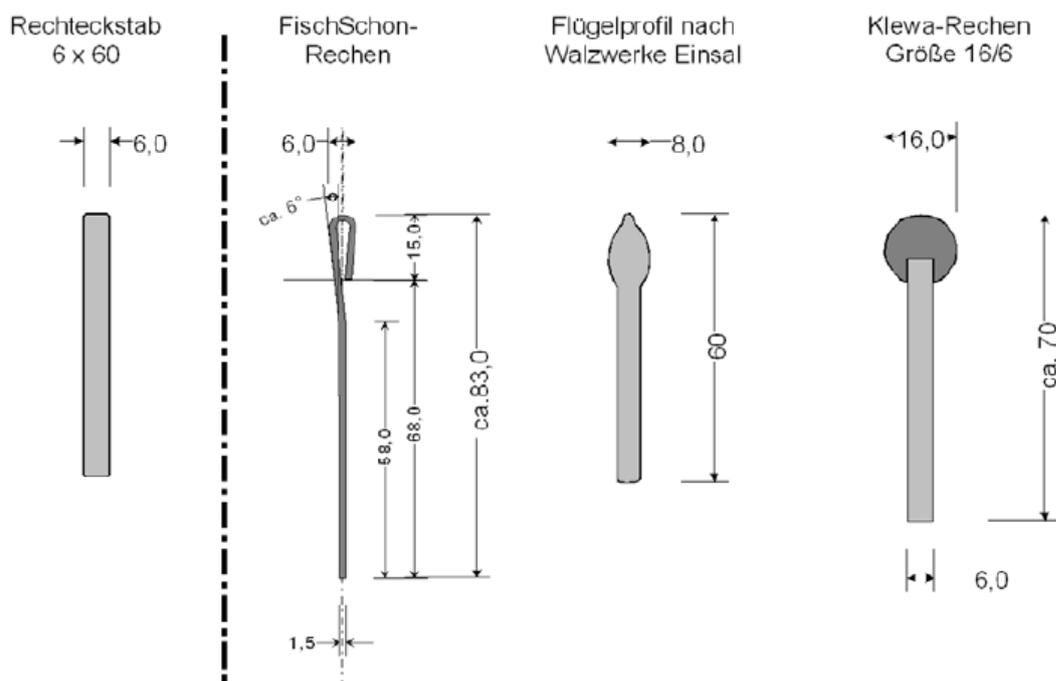
Die nachfolgende Tabelle stellt die Mittelwerte der Durchflussmenge während den erwähnten Zeiträumen, sowie die Anzahl Tage, an welchen die orthogonale Anströmgeschwindigkeit den Grenzwert von 0.5 m/s respektive 0.38 m/s überschreitet, dar.

Jahr	November bis April Winterhalbjahr		Juli bis September Sommerhalbjahr	
	Q _{Mittel} m ³ /s (Trend Nov. - April)	Tage $v_{Normal} > 0.50$ m/s ($v_{Normal} > 0.38$ m/s)	Q _{Mittel} m ³ /s (Trend Juli - Sept.)	Tage $v_{Normal} > 0.5$ m/s ($v_{Normal} > 0.38$ m/s)
2015	1.5	Keine (keine)	~ 3.5	6.1 (12)
2016	1.5	Keine (keine)	~ 4.9	28.8 (76)
2017	1.9	Keine (keine)	~ 4.0	8.6 (79)
2018	1.8	Keine (0.5)	~ 3.9	1.8 (67)
				Ø 11.3 Tage/Jahr (58.6)

Tabelle 3: Beurteilung des Grenzwerts im Hinblick auf die Wanderzeit

3.4.4 Rechenstabprofil

Bedingt durch die Exposition gegenüber Hochwasser und dem Umstand, dass sich aus Platzgründen kein Grobrechen im Einlaufbereich vorschalten lässt, muss das gewählte Rechenstabprofil nebst einer fischschonenden Form auch eine gewisse Robustheit gegenüber den Hochwassereinwirkungen und in Bezug auf hydraulische Verluste eine geeignete Form aufweisen. Rechenprofile, die von einem Hersteller als "Fischschon-Rechen" bezeichnet wurden, sind aus leicht verformbaren und schwingungsempfindlichen Blechen gefertigt und daher für den Einsatz im alpinen Bereich ungeeignet. Rechteckprofile werden aufgrund der hohen Strömungsverluste und den scharfen Kanten nur noch in Spezialfällen oder in Kombination mit anderen Profiltypen verwendet.



Ausschnitt aus [1] Checkliste Best practice des BAFU, Quelle: R. Hassinger, Uni Kassel

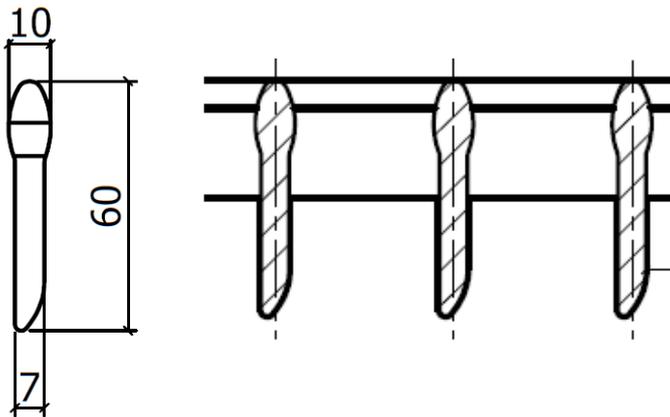
Für den vorliegenden Einsatzbereich werden vorzugsweise Rechenprofile mit einer strömungsoptimierten Form oder mit einem kreisförmigen Kopf verwendet. Da die Anströmgeschwindigkeit und der Stababstand so klein wie möglich zu halten sind, treten die Rechenverluste oft zu Gunsten eines niedrigen Reinigungsaufwands in den Hintergrund. Diesbezüglich werden vermehrt und als Alternative zum strömungsoptimierten Walzprofil, Rundstähle mit einem aufgeschweissten Rechtecksteg angewendet. Sie vereinen folgende Vorteile:

- Reduzierte Verletzungswahrscheinlichkeit für Fische aufgrund des kantenlosen Profilkopfes
- Gute Reinigungseigenschaften und geringere Tendenz zur Verstopfung aufgrund der punktuellen Engstelle
- Günstig in der Herstellung (im Vergleich zu Sonderprofilen)
- moderate Strömungsverlustbeiwerte von ca. 1.61 [-] (im Vergleich: ungünstiger Rechteckquerschnitt = 2.42, strömungsoptimiertes Rechenstabprofil = 0.76)

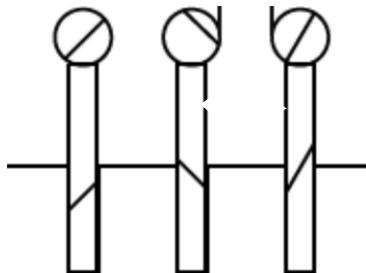
Bei Horizontalrechen neigen die Abstände zwischen den Stäben durch das ebenfalls horizontal angetragene Geschwemmsel leichter zu verstopfen. Daher ist diese Stabform insbesondere für horizontal ausgerichtete Rechen von Vorteil, da sie sich leichter reinigen lassen. Besonders verklemmte Ästchen werden beim Rundprofil nur punktuell gehalten und lassen sich somit leicht

ter mit der Reinigungsvorrichtung lösen oder durch den Rechen hindurcharbeiten. Bei Flachstählen wie auch bei den strömungsoptimierten Profilen erfolgt eine flächige Fixierung, welche das Treibgut durch den Reinigungsprozess zwischen die Stäbe einarbeitet. Oftmals hilft dann nur eine händische Entfernung des Treibguts.

Dieser Sachverhalt gilt grundsätzlich auch für Vertikalrechen, wobei hier die Anordnung quer zur Wasseroberfläche bezüglich Rechenverlegung vorteilhaft zu bewerten ist.



Rechenprofil: Föh-Profil 60x10x7, Formbeiwert 0.76



Rechenprofil bestehend aus Flachstahl mit aufgeschweisstem Rundstahl: z.B. Rechentiefe ca. 70 mm, Kopfbreite 16 mm, Stabbreite ca. 8 mm, Formbeiwert 1.61

3.4.5 Leitfunktion

Dem Fischschutz in Form eines Feinrechens kann eine Leitfunktion zugewiesen werden, um abwandernden Fischen den Weg zu einem Abstiegsbypass zu leiten. Zu diesem Zwecke werden die Rechenstäbe vorzugsweise horizontal in einem Winkel von $\theta < 45^\circ$ zur Anströmrichtung und rechtwinklig zum Wasserspiegel angeordnet. Dadurch entsteht eine für Fische wahrnehmbare Tangentialströmung entlang der Rechenstäbe bis zum Ende der Barriere. Am abströmenden Ende des Rechens ist eine Öffnung in ein kontinuierlich dotiertes Abstiegsgerinne bereitzustellen, über welches der Fisch ins Unterwasser absteigen kann.

Bei Vertikalrechenanlagen kann durch den Anstellwinkel zur Sohle eine Leitwirkung zur Wasseroberfläche erzeugt werden, welche jedoch im Vergleich zur Horizontalanströmung als weniger effizient eingestuft werden [3]. Der Winkel zur Sohle sollte in dieser Hinsicht ebenfalls flacher als 45° angeordnet werden.

Gemäss dem Schlussbericht der strategischen Planung zur Wiederherstellung der Fischwanderung ist der Fischabstieg über die bestehende Dotieröffnung in der Spülschütze sowie bei

Überlaufsituationen möglich. Am betrachteten Standort wird daher im Rahmen der verfügbaren Sanierung auf weiterführende Massnahmen diesbezüglich verzichtet.

3.4.6 Sohlenleitwand

In Bezug auf den Fischschutz wirkt sich eine Sohlenleitwand günstig aus. Durch eine Sohlenleitwand wird die Leitwirkung verstärkt. Dies vor allem für sich bodennah aufhaltende Individuen, wie beispielsweise die Groppe.

Das Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie BGF Halle (D) empfiehlt eine Sohlenleitwandhöhe von $> 0.15 \times$ Wassertiefe oder min. 0.5 m.

In Rongellen besteht schon heute eine Sohlenleitwand dessen Höhe 1.0 m misst. Es darf dementsprechend davon ausgegangen werden, dass für die an der Sohle lebende Groppe die Anforderungen an den Fischschutz erfüllt werden und keine weiteren Schutzmassnahmen notwendig sind.

3.4.7 Bypass

Gemäss Sanierungsverfügung sind betreffend Fischabstieg keine Massnahmen notwendig und damit auch nicht verfügt.

3.4.8 Wirkungskontrolle

Für die Wasserfassung in Rongellen beziehen sich die für den Fischschutz verfügbaren Massnahmen einzig auf die Gestalt und Dimensionierung des Einlaufrechens. In diesem Fall reicht eine technische Wirkungskontrolle aus. Nach der baulichen Umsetzung wird ein versiertes Ökobüro mit der Bauabnahme beauftragt. Dabei sind folgende, für den Fischschutz relevanten Parameter zu überprüfen und zu dokumentieren.

- Maximaler Stababstand des Einlaufrechens (im Licht)
- Anströmungsgeschwindigkeit zum Rechen bei unterschiedlichen Abflussgrössen und Fassungenmengen
- Höhe der Sohlenleitwand

Die Ergebnisse der Kontrolle werden in einem Bericht zuhanden des AJF verfasst.

Die Kosten für die Wirkungskontrollen werden im Rahmen des Bauprojekts ausgewiesen

3.5 Energieverluste

Wie bereits im Variantenstudium aufgezeigt, setzen sich die in Bezug auf das vorliegende Projekt relevanten Energieverluste aus den Rechenverlusten und den Wasserverlusten, welche durch Spülungen zwecks der Rechenreinigung erforderlich sind, zusammen.

Die im Variantenstudium ausgeführten Berechnungen dienen als Grundlage und werden, wo erforderlich angepasst und ergänzt.

3.5.1 Rechenverluste

Die Rechenverluste werden nach der Formel von *Kirschmer* in Ergänzung mit *Mosonyi* und *Meusberger* berechnet und für die Varianten Vertikal- sowie Horizontalrechen mit den Rechenstababständen 20 mm und 15 mm ermittelt. Für die Formbeiwerte der Rechenstäbe werden die unter Kapitel 3.4.4 Rechenstabprofil aufgeführten Werte verwendet. Der Durchfluss wird mit $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ für ein Vollast-Szenario, respektive mit $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ für das Teillast-Szenario angesetzt.

Um die Produktionseinbussen zu quantifizieren, werden verschiedene Szenarien hinsichtlich Stababstand und Verlegungsgrad untersucht. Mit dem Grad der Verlegung ist die geschwemmselfbedingte Verkläuerungen der Rechenfläche beschrieben. In der einschlägigen Literatur geht man von einem Verlegungsgrad von 0 bis 25% aus.

Die daraus abgeleiteten Produktionseinbussen werden anteilmässig auf die Fallhöhe umgerechnet:

$$\text{Minderproduktion} = \text{Jahresproduktion} \times \frac{\Delta h_{\text{Rechen}}}{\text{Fallhöhe}}$$

Übersicht Rechenverluste bei Volllast = 6 m³/s (Teillast = 3 m³/s)

Stababstand s	Verluste Vertikalrechen		Verluste Horizontalrechen	
	Δh [cm]	P _{min} [MWh/Jahr]	Δh [cm]	P _{min} [MWh/Jahr]
0% Verlegung				
s = 35 mm (best. Rechen)	1.0 (0.3)	0.486	-	-
s = 20 mm *	3.4 (0.9)	1.458	1.4 (0.4)	0.648
s = 15 mm *	4.1 (1.0)	1.620	2.1 (0.5)	0.810
Stababstand s	Verluste Vertikalrechen		Verluste Horizontalrechen	
25% Verlegung	Δh [cm]	P _{min} [MWh/Jahr]	Δh [cm]	P _{min} [MWh/Jahr]
s = 35 mm (best. Rechen)	6.1 (1.5)	2.430	-	-
s = 20 mm *	10.2 (2.6)	4.212	4.2 (1.0)	1.620
s = 15 mm *	10.8 (2.7)	4.374	5.5 (1.4)	2.268

Tabelle 4: Rechenverluste in Abhängigkeit des lichten Stababstands (* neues Design Rundstahl mit Rechtecksteg)

Die Rechenverluste fallen für den Horizontalrechen aufgrund der vorteilhafteren Anströmung geringer aus. Beim Vertikalrechen entsteht durch die horizontale Schräganströmung eine Strömungsumlenkung an den Stäben (gem. Beobachtung ca. 42° zur Uferlinie), welche sich in Form von höheren Verlusten bemerkbar macht.

Ausgehend von einem mittleren Abfluss von 3 m³/s ergeben sich die überschlagsmässigen Angaben in Tabelle , wobei von einer mittleren Jahresproduktion von 16.2 GWh ausgegangen wird. Gemessen an der Nutzfallhöhe von gut 100 m sind die Produktionseinbussen für sämtliche Szenarien jedoch überschaubar und mit < 5 MWh/a zu quantifizieren (entspricht bei aktuellen Marktpreisen etwa einem monetären Verlust von CHF 250.00/Jahr).

3.5.2 Wasserverluste

Für den Rechen ist zwingend eine automatische Reinigungsvorrichtung vorzusehen, da mit dem reduzierten Stababstand eine händische Reinigung nicht zumutbar ist. Das Rechengut wird gemäss gängiger Praxis nicht aus dem Wasser entnommen, da es die Lebensgrundlage für Mikroorganismen und Kleinstlebensformen im Gewässer darstellt. Die Weitergabe ins Unterwasser erfolgt bei einem Vertikalrechensystem meist über eine Spülrinne, welche am oberen Ende des Rechens das mit der Harke abgestreifte Rechengut abschwemmt. Die Spülrinne ist entweder eingestaut oder wird über eine Pumpe mit Wasser beschickt. Letzteres wäre für die betrachtete Anlage vorzusehen, um das Spülwasser über den Grundablassschütz führen zu können.

Bei Horizontalrechensystemen wird das Treibgut seitlich mit der Fliessrichtung zu einer Abschwemmöffnung (Senkschütz, Klappe) befördert, welche mit Herannahen der Rechenharke den Abflussquerschnitt ins Unterwasser frei gibt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Abschwemmöffnung möglichst nahe am Ende des Rechens platziert wird, damit die Sogwirkung das abgestreifte Rechengut so gut wie möglich erfasst.

Beide Spülvorrichtungen benötigen Wasser, welches der Energieproduktion vorenthalten wird und somit als Minderproduktion zu werten ist. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, ob das

Spülwasser mit dem Dotierwasser kombiniert werden kann, was insbesondere für die Variante mit Horizontalrechen zu begrüssen wäre. Damit könnte die Schwallabgabe in die Restwasserstrecke während der Sommermonate (Dotierwasser = 600 l/s) aufgehoben und im Winter (Dotierwasser = 300 l/s) auf 200 l/s minimiert werden. Der ausgedehnte Kolk im Anschluss an die Wehranlage (Wasserfläche ca. 100 - 200 m²) würde zudem den kurzfristigen Mehrabfluss erheblich abfedern, womit der Spülvorgang für die aquatische Fauna im Unterwasser als unproblematisch einzustufen ist.

	Vertikalrechen	Horizontalrechen
Spülsystem	Pumpe ~50 l/s	Klappe 500 l/s
Wasserverbrauch pro Rechenzyklus	3 m ³ (ca. 60s)	15 m ³ (ca. 30s)
Jährlicher Verbrauch bei 1'000 Zyklen	3'000 m ³	6'000 ¹ -15'000 m ³
Produktionseinbusse bei 0.22 kWh/m ³	0.7 MWh/a	1.3 - 3.3 MWh/a
Ertragsausfall bei 50.00 CHF/MWh	35.00 CHF/a	65.00 - 165.00 CHF/a

Tabelle 5: Wasserverluste infolge Rechenreinigung

Mit der automatisierten Rechenreinigung mit Abschwemmvorkehrung kann die Stauraumentleerung infolge Rechenreinigung zukünftig auf ein Minimum reduziert werden.

3.6 Betriebssicherheit

Der Einbau des Fischschutzes wird sich, sofern die Reinigungsanlage zuverlässig funktioniert, nicht negativ auf die Betriebssicherheit der Wasserkraftanlage auswirken. Andernfalls würde dies eine Verschlechterung gegenüber der heutigen Situation bedeuten. Diesbezüglich muss der Vertikalrechen gegenüber dem Horizontalrechen aus den folgenden Gründen besser gewertet werden:

- Die Harke kann beim Vertikalrechen komplett aus dem Wasser entnommen und gewartet werden. Beim Horizontalrechen muss dafür der Stauraum entleert werden, was bei hohen Abflüssen ohne Wasserhaltung nicht möglich ist. Dieser Aspekt hat auch Gültigkeit im Hinblick auf die Hochwassersicherheit.
- Der Vertikalrechen kann auch während des Betriebs händisch gereinigt werden, was beim Horizontalrechen praktisch nicht möglich ist.
- Der Ablauf der Reinigungsbewegung ist bei der Rechenreinigungsanlage des V-Rechens symmetrisch. Die Harke wird zentrisch über den Rechen gezogen (gleichmässige Belastung von Harke und Rechen). Beim H-Rechen erfolgt durch den langen Hebel eine Verwindung des Harkenarms, welche zu einer ungleichmässigen Belastung und Abnutzung des Materials führt. Aus den erhöhten Belastungen in alpinen Gewässern können dadurch frühzeitige Ermüdungs- und Betriebsausfälle hervorgehen.

Bezüglich der reduzierten Stabweite ergeben sich keine erkennbaren Nachteile für den Betrieb der Anlagen. Die lichte Weite der Rechenstäbe ist nach Meusburger (2002) so zu wählen, dass die eingetragenen Partikel nicht mehr als 2 - 4% des Laufraddurchmessers betragen. Für den betrachteten Standort bedeutet dies ein Stababstand von 20 mm bei 3% des Laufraddurchmessers von 680 mm.

¹ Erfolgt die Spülung mit der Restwasserdotierung, so kann der Wasserverlust reduziert werden, was jedoch eine Anpassung des Grundablassschiebers zur Folge hat.

3.7 Hochwassersicherheit

Infolge des steilen Taleinschnitts steigt der Wasserspiegel sprunghaft an. Bei Hochwasser führt der Hinterrhein beträchtliche Mengen an Schwemmholz und Geschiebe mit sich. Die Wehranlage ist in solchen Situationen bis auf Höhe des Betriebsgebäudes den Wassermassen ausgesetzt. Dies führt bereits heute schon zu Verklausungen und Beschädigungen an der bestehenden Anlage (Abbildung 4).



Abbildung 4: Hochwassersituation und Verklausung durch Schwemmholz

Während Hochwasserereignissen ist das KW Thusis ausser Betrieb. Dies ist im Mittel 3-mal pro Jahr (10-Jahres Mittelwert) der Fall.

Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

Der Vertikalrechen – inklusive der Reinigungsharke – lässt sich in der Nische hinter der Betonflucht der Geschieberinne unterbringen. Er ist somit vor vorbeiziehenden Gegenständen im Hochwasserfall geschützt. Die Disposition ermöglicht ferner die Anbringung einer schräg angeordneten offenen oder geschlossenen Tauchwand, welche in erster Linie dem Schutz der Spülrinne dient. Diese hat zudem den Vorteil, dass die gesamte Grundablassnische bei Hochwasser besser geschützt wird und grössere Gegenstände über das Wehrfeld geleitet werden.

Die Antriebe der Reinigungsmaschine können ölhydraulisch mit zwei Zylindern ausgeführt werden (1 x Teleskoparm Harke Ein-/Ausfahren, 1 x Harke Ein-/Ausschwenken). Diese sind weitgehend unempfindlich gegen direkte Bewetterung und Stauwasser.

Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

Der Horizontalrechen bildet mit der landseitigen Betonflucht eine Fläche, welche rechtwinklig zur Wasseroberfläche angeordnet ist. Die dazugehörige Rechenreinigungsanlage erfolgt sozusagen als Aufputz-Konstruktion und ragt in den Fliessquerschnitt der Geschieberinne. Sie bietet damit ein Angriffspunkt für Äste und Baumstämme, welche mit der Hochwasserfracht mitgetragen werden. Da sich die Stauhaltung im Hochwasserfall praktisch in einen Wildbach verwandelt, ist die Belastung des Hebelarms sehr hoch und eine Beschädigung sehr wahrscheinlich. Die Harke müsste für diesen Fall in einer Art Einhausung geparkt werden, welche ebenfalls in den Gewässerraum hineinragt und dadurch die Anströmung des Rechens und der Geschieberinne negativ beeinflusst (Verwirbelungen, Rückströmzone).

Es ist zu erkennen, dass der Vertikalrechen mit der vorgesehenen Teleskoprechenreinigungsmaschine für die Hochwassersituation deutlich besser geeignet ist.

3.8 Unterhalt

Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

Problemanalyse/Inspektion/Unterhalt:

- Das Rechenfeld ist von oben einsehbar. Eine Verlegung der Stäbe ist, sofern die Wassertrübung dies zulässt, optisch erkennbar, oder bei trübem Wasser mit einem Hacken zu ertasten. Die Zugänglichkeit kann mit einem umklappbaren Bediensteg über der Spülrinne gewährleistet werden.
- Die Rechenharke kann zur Inspektion aus dem Wasser entnommen werden und über den besagten Bediensteg korrigiert oder ausgewechselt werden.
- Die Spülpumpe kann für Unterhaltszwecke nach oben gezogen werden.
- Die Hydraulikzylinder sind ebenfalls zugänglich, das Aggregat wird im Betriebsgebäude untergebracht. Druck und Bewegungen werden überwacht. Störungen werden per Alarm an die Steuerung übermittelt.
- Es muss davon ausgegangen werden, dass die Rechenreinigungsmaschine und die Spülrinne im Anschluss an ein Hochwasser händisch von grobem Geschwemmsel befreit werden muss. Dies kann über einen herabklappbaren Bediensteg über der Spülrinne erfolgen. Eine Absenkung des Stauraums ist diesbezüglich nicht nötig.

Wartung / Reparatur / Ersatz:

- Üblicherweise besteht der Rechen aus mehreren nebeneinander stehenden Elementen, die im Falle einer Beschädigung ausgewechselt werden können. Aufgrund der geringen Abmessungen werden die Stäbe in Längsrichtung nicht gestossen. Für einen Wechsel der Rechenelemente muss das Stauziel abgesenkt werden.
- Die geschweisste Stahlkonstruktion kann vom Werkpersonal respektive von einem ortsansässigen Metallbauer repariert oder ersetzt werden.
- Die Spülpumpe ist ein Standardprodukt, welches durch ein anderes ersetzt werden kann. Die Spülrinne ist nach oben geöffnet und einsehbar. Da das Wasser hinter dem Rechen gefasst wird, ist die Belastung durch Geschwemmsel vernachlässigbar, zumal Schmutzwasserpumpen zum Einsatz kommen.
- Die Hydraulikkomponente und Sensorik sind Standardprodukte und können dementsprechend vom Werkpersonal respektive von einer lokalen Hydraulikfachfirma repariert oder ersetzt werden.

Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

Problemanalyse / Inspektion / Unterhalt:

- Das Rechenfeld ist nicht einsehbar. Durch die horizontale Ausrichtung ist eine Verlegung zwischen den Stäben nur durch eine Trockenlegung des Rechens aussagekräftig zu beurteilen. Diesbezüglich ist eine Entleerung des Stauraums notwendig.
- Aufgrund des langen Harkenarms und der fehlenden Zugänglichkeit muss für eine Inspektion der Putzleisten der Staubereich entleert werden.
- Probleme an den Antrieben können oft nur über den Lieferanten erkannt und beurteilt werden, was zu Stillstandzeiten nebst Kosten für Drittpersonal führt.

- Es muss davon ausgegangen werden, dass die Rechenreinigungsmaschine und das Absenkschütz am Grundablass im Anschluss an ein Hochwasser händisch von grobem Gschwemmsel befreit werden muss. Sollte sich Holz oder Geschiebe im Fahrweg der Rechenharke festsetzen und eine Spülung der Geschieberinne nicht zum gewünschten Erfolg führen, muss zur Beseitigung der Stauraum entleert werden.

Wartung / Reparatur / Ersatz:

- Aufgrund der Länge des Rechens müssen die Rechenstäbe einmal gestossen werden. Auch bei geringen Verformungen kann ein Absatz am Stoss entstehen, die den Verschleiss der Putzleiste erhöhen. Eine Reparatur des Rechens und der Ersatz und Justierung der Putzleiste erfolgt bei entleertem Stauraum.
- Die Konstruktion der Rechenreinigungsmaschine ist um Einiges komplizierter als der vergleichbar einfache Teleskoparm des Vertikalrechenreinigers. Durch den knapp 6 m langen Arm der Rechenharke, wirken enorme Kräfte auf die Antriebe und den Rechen. Die üblicherweise verbauten Servomotoren sind im Vergleich zu Hydraulikzylindern sehr teuer und bedürfen einer eigenen Programmierung. Die Produktverfügbarkeit und die Lieferzeiten können längere Stillstandzeiten der Anlage zur Folge haben. Erfolgt der Antrieb hydraulisch, dann müssen lange Schleppleitungen eingebaut werden, welche ca. alle 3-5 Jahre ersetzt werden müssen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass sich die Variante 2 hinsichtlich Unterhalt, Reparatur und Ersatz gegenüber der Variante 1 als nachteilig erweist.

3.9 Machbarkeit

Für beide Varianten gibt es zahlreiche gut funktionierende Beispiele. Aufgrund der bestehenden baulichen Gegebenheiten besteht für die Variante mit Vertikalrechen weniger Unsicherheit für die Konstruktion. In der vertieften Planung ist auf folgende Ausführungsdetails zu achten:

Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

- Linienführung der Spülrinne
- Zugänglichkeit der Putzleiste und der Hydraulikzylinder
- Anordnung der Tauchwand über der Geschieberinne

Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

- Der Gschwemmseltransport über den durchströmten Teil des Rechens hinaus ist mit einem Fangkorb an der Harke zu garantieren. Die Einhausung des Harkenarms ist dementsprechend anzupassen, dass auch dieser vor Hochwasser sicher ist.
- Der Verlandung des Schwenkbereichs ist im laufenden Betrieb zu beobachten. Die Konstruktion muss dementsprechend ausgelegt werden, dass sie keinen Schaden nimmt, wenn sie mit Geschiebeanlandungen in Berührung kommt.
- Der Abstand zum Absenkschütz (Grundablass) ist nach Möglichkeit zu verkürzen, um die Sogwirkung zu verbessern. Hierbei ist zu beachten, dass der Bewegungsfreiheit der Harke durch den Trennpfeiler eingeschränkt wird.
- Zugänglichkeit der Rechenreinigungsmaschine, des Bahnträgers und der Schleppkabelführung

Gesamthaft kann festgehalten werden, dass die zu lösenden Details der Variante 2 mit grösseren technischen Herausforderungen verbunden sind als bei Variante 1. Dies birgt auch die Gefahr, dass bei einer Umsetzung von Variante 2 im Nachgang Verbesserungen durchgeführt werden müssen.

3.10 Risiken

Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

- **Dauerhaftigkeit:** Das Rechenfeld wie die Reinigungsmaschine ist in einer Nische untergebracht und somit vor der Hauptströmung bei Hochwasser geschützt. Dieser Sachverhalt darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass insbesondere der Harkenarm von vorbeiziehende Ästen und Baumstämmen tangiert und beschädigt werden kann. Durch eine Tauchwand über der Geschieberinne kann die Hauptströmung weiter zum Wehr gedrängt werden, wodurch die Rechenreinigung durch den Rückstau etwas besser geschützt wird. Das Rechenfeld wird entsprechend dem Ist-Zustand beansprucht. Das Risiko von Beschädigungen und Betriebsausfällen ist daher als gering zu beurteilen.
- **Funktion und Nachbesserungsrisiko:** Gestützt auf die vielen Vertikalrechen vergleichbarer Bauart und Funktionsweise darf von einem geringen Risiko zur Nachbesserung ausgegangen werden.

Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

- **Dauerhaftigkeit:** Die exponierte Anordnung des Rechenreinigers darf aufgrund der Hochwasserbelastung als nennenswertes Risiko betrachtet werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass Beschädigungen infolge Hochwassereinwirkung gegenüber Variante 1 öfter eintreten werden. Hinzu kommt, dass durch den knapp 6 m langen Arm der Rechenharke, enorme Kräfte auf die Antriebe und den Rechen wirken, welche eine Ermüdung des Materials begünstigen.
- **Funktion:** Der Abstand vom Einlauf bis zur Abschwemmvorrichtung ist mit über 6 m länger als das Rechenfeld für sich alleine (5 m). Es besteht ein Risiko, dass das abgestreifte Rechengut nicht bis zur Spülvorrichtung transportiert werden kann (der Strömungseinfluss nimmt mit der Entfernung zur Absturzöffnung exponentiell ab). Um diesem Sachverhalt entgegenzuwirken, muss ein Korb an der Harke angebracht werden, welcher wiederum Angriffspunkt für Äste und Baumstämme darstellt. Zudem müsste die Hochwassereinhauung grösser gestaltet werden, was wiederum den Fliessquerschnitt in der Geschieberinne beeinträchtigt und damit weitere Probleme verursachen kann. Eine Verlandung der Geschieberinne könnte zudem die Bodenfreiheit der Harke aufheben und den Fahrweg blockieren.
- **Nachbesserungen:** Das Risiko zur nachträglichen Anpassung der Konstruktion im Laufe des Betriebs darf als erheblich angenommen werden, da die Rahmenbedingungen für die Deinstallation eines Horizontalrechenreinigungssystems nur bedingt gegeben sind.

An dieser Stelle sei betont, dass die Risiken des Horizontalrechens die des Vertikalrechens überwiegen.

3.11 Kosten

In der nachstehenden Zusammenstellung werden die Kosten für die Planung und Bau aufgeführt. Die Baumassnahmen reduzieren sich primär auf die Stahlwasserbauinstallationen und vorbereitenden Tiefbau- und Baumeisterarbeiten. Die Position der Anlage erfordert hinsichtlich der Arbeitssicherheit entsprechende Vorkehrungen in Form von Baupodesten, Gerüsten und Dämmen zum Schutz vor Hochwasser. Je nach Variante muss das bestehende Gebäude auf die neuen Einrichtungen angepasst werden. Dazu müssen Teile der bestehenden Stahl- und

Betonsubstanz abgebrochen und an anderer Stelle ergänzt werden. Die Kostenschätzung stützt sich auf kürzlich realisierte Projekte und Richtofferten der einschlägigen Lieferanten. Die Kostengenauigkeit kann einem Vorprojekt entsprechend mit $\pm 20\%$ angenommen werden. Kosten für eine allfällige Wirkungskontrolle werden hier nicht berücksichtigt.

Variante 1: Vertikalrechen mit RRM

Vorleistungen	30'000.00
Vorbereitung, Tiefbau (Baumeister)	100'000.00
Ausbauarbeiten (Bauhandwerker)	20'000.00
Einrichtungen und Ausrüstungen (Stahlwasserbau, Steuerung)	233'000.00
Übrige Aufwendungen (Bewilligungen, Bauherrenleistungen, Honorare)	128'000.00
Produktionsausfälle (3 Monate Stillstand ca. 2'000 MWh à 50 CHF;/MWh)	100'000.00
Produktionseinbusse infolge Rechenverlust < 5 MWh/a --> wird vernachlässigt	0.00
Produktionseinbusse infolge Spülwasserverlust < 5 MWh/a --> wird vernachlässigt	0.00
Reserven für Unvorhergesehenes 10%	58'000.00
Total Projektkosten in CHF exkl. MWST	669'000.00

Tabelle 6: Variante 1: Kostenschätzung für Vertikalrechen mit RRM

Variante 2: Horizontalrechen mit RRM

Vorleistungen	30'000.00
Vorbereitung, Tiefbau (Baumeister)	75'000.00
Ausbauarbeiten (Bauhandwerker)	20'000.00
Einrichtungen und Ausrüstungen (Stahlwasserbau, Steuerung)	293'000.00
Übrige Aufwendungen (Bewilligungen, Bauherrenleistungen, Honorare)	128'000.00
Produktionsausfälle (3 Monate Stillstand ca. 2'000 MWh à 50 CHF;/MWh)	100'000.00
Produktionseinbusse infolge Rechenverlust < 5 MWh/a --> wird vernachlässigt	0.00
Produktionseinbusse infolge Spülwasserverlust < 5 MWh/a --> wird vernachlässigt	0.00
Reserven für Unvorhergesehenes 10%	62'000.00
Total Projektkosten in CHF exkl. MWST	708'000.00

Tabelle 7: Variante 2: Kostenschätzung Horizontalrechen mit RRM

Der Unterschied der beiden Varianten ist aufgrund der Planungstiefe (Vorprojekt) und der hohen Begleitkosten für Vorbereitungsmaßnahmen und Produktionsausfälle vernachlässigbar klein.

4 Beurteilung

Unter diesem Kapitel werden die in Kap. 3 dargestellten Inhalte und Erkenntnisse beurteilt.

4.1 Fischschutz

Grundsätzlich kann eine physische Barriere, in Form eines Feinrechens, nur soweit einen Schutz vor Verdriftung bieten, wenn der Rechen ein Durchschwimmen der zu schützenden Fische verhindert. Gemäss dem heutigen Wissensstand kann durch die Reduktion des lichten Stababstands der Durchgang auf die limitierende Körperdimension reduziert werden. Insbesondere für kleine Arten und juvenile Exemplare müssen diese Abstände sehr gering ausfallen, um einen vollumfänglichen Schutz zu gewährleisten. Eine Verringerung des Stababstands steht jedoch im Konflikt mit der Funktionstauglichkeit der Rechenanlage. An dieser Stelle gilt es ein gesundes Verhältnis zu erreichen, welches einem zufriedenstellenden Fischschutz aber auch einem wirtschaftlichen Betrieb der Anlage nachkommt.

Anströmwinkel

Rechenanlagen mit horizontaler Schrāganströmung und horizontaler Rechenstabanordnung weisen nach heutigem Kenntnisstand verhaltensbiologische Vorteile auf und sollten daher bevorzugt werden, wenn dadurch eine Leitwirkung zu einem Abstiegsbypass hergestellt werden kann.

Mit einem beobachteten Anströmwinkel $\theta = 42^\circ$ ist die tangentielle Komponente im Verhältnis ca. 10% grösser als die normale Komponente des Anströmvektors, was eine Leitwirkung zum abströmenden Ende des Rechens bewirkt.

Mit $v_{\text{tangential}} > v_{\text{normal}}$ wird ein Verhältnis von 1 : 1.1 erreicht.

Das Stauwehr Rongellen ist eine Bestandsanlage, welche durch die Anordnung des Einlaufbauwerkes zum Gewässer zwar eine horizontale Schrāganströmung begünstigt, mangels einer geeigneten Bypasseinrichtung lässt sich diesbezüglich aber kein direkter Nutzen ableiten. Die Schrāganströmung verursacht jedoch unmittelbar vor dem Rechen diffuse Strömungsbedingungen wie bei einem Louver², welche von Fischen gemieden werden.

Anströmverhältnisse

Die maximale Anströmgeschwindigkeit von 0.5 m/s gemäss [1] Checkliste Best practice des BAFU werden im Winterhalbjahr nicht annähernd und im Sommerhalbjahr nur sporadisch an einzelnen Tagen bis maximal 0.6 m/s überschritten. Im betrachteten Zeitraum 2015 bis 2018 wurde eine Überschreitung durchschnittlich an 11 Tagen pro Jahr erreicht. Dabei ist zu erwähnen, dass während solche Spitzen auftreten, in den meisten Fällen auch eine Überlaufsituation herrscht. Während dem Winterhalbjahr bewegen sich die Anströmgeschwindigkeiten zwischen 0.1 bis 0.2 m/s. Der Grenzwert von 0.38 m/s für juvenile Bachforellen kann für durchschnittlich 300 Tage im Jahr eingehalten werden.

² Kriewitz, C.R. (2015). Leitrechen an Fischabstiegsanlagen: Hydraulik und fischbiologische Effizienz. VAW-Mitteilungen 230

Der Vergleich zwischen der berechneten Normal-Anströmgeschwindigkeit und den Dauerschwimmgeschwindigkeiten der Bachforelle gemäss [3] zeigt, dass nur die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit der Bachforellen TL = 10 cm (juvenil) während dem Sommerhalbjahr überschritten wird.

Hinsichtlich des Fischschutzes darf zusammenfassend festgehalten werden:

- $v_{\text{normal}} = 0.66 \text{ m/s} \leq u_{\text{opt}} \text{ adult TL } = 0.20\text{m} \rightarrow$ ganzjährig erfüllt,
- $v_{\text{normal}} = 0.53 \text{ m/s} \leq u_{\text{opt}} \text{ juvenil/adult TL } = 0.15\text{m} \rightarrow$ an rund 354 Tagen/Jahr erfüllt
- $v_{\text{normal}} = 0.38 \text{ m/s} \leq u_{\text{opt}} \text{ juvenil TL } = 0.10\text{m} \rightarrow$ an rund 300 Tagen/Jahr erfüllt

Rechenstabprofil und Anordnung

Aus Erfahrung werden bei kleinen Stababständen Profile mit einer möglichst punktuellen Engstelle gewählt. Das Rundprofil mit aufgeschweisstem Flachstahl hat sich diesbezüglich für Horizontal- und Vertikalrechen bewährt.

Sohlenleitwand

Mit der schon heute bestehenden Sohlenleitwand von 1.0 m Höhe, werden die Vorgaben bezüglich Fischschutz – insbesondere für die Zielart Groppe – bereits erfüllt.

4.2 Energieverluste

Aufgrund der beobachteten Schräganströmung entstehen an den vertikal- (Variante 1) im Vergleich zu den horizontal angeordneten Rechenstäben weniger Höhenverluste. Dieser Umstand wurde im Variantenstudium unzureichend berücksichtigt. Aufgrund der nutzbaren Fallhöhe von 100 m sind die Produktionseinbussen durch den Einlaufverlust mit jährlich unter 5 MWh sehr gering und gegenüber dem Ist-Zustand nur schwer nachzuweisen und dementsprechend zu vernachlässigen.

Die Energieverluste hinsichtlich der Spülung sind mit unter 5 MWh pro Jahr ebenfalls sehr gering und können vernachlässigt werden. Dies gilt vor allem dann, wenn die Spülung – wie vorgesehen – mit der Dotierwasserabgabe kombiniert wird.

Es ist zu erwarten, dass die Energieverluste, welche durch die Entleerung des Stauraums entstehen, mit der automatisierten Rechenreinigungsmaschine deutlich reduziert werden können.

4.3 Betriebs- und Hochwassersicherheit, Unterhalt

4.3.1 Betriebssicherheit

Die bestehende Fassung Rongellen befindet sich in einer Schlucht und ist dadurch schwer zugänglich. Zu Unterhalts- und Wartungszwecken ist die Fassung nur über einen ca. 30m hohen Treppenturm erreichbar.

Dieser, topografisch sehr anspruchsvolle Standort ist zudem mit folgenden betrieblichen Problemen konfrontiert:

- Hochwasser
- Eisbildung
- Algenproblem
- Rechenreinigung
- Steinschlag

Schon heute muss für die Aufrechterhaltung der Stromproduktion ein beträchtlicher Aufwand gegen die Rechenverlegung betrieben werden. Um die Stromproduktion zukünftig mit einem Feinrechen gewährleisten zu können, ist eine funktionierende und weitgehend störungsfreie Rechenreinigungsmaschine vorausgesetzt.

Gemäss den Ausführungen in Kapitel 3.6 ist diesbezüglich der Vertikalrechen (Variante 1) gegenüber dem Horizontalrechen zu bevorzugen. Der Vertikalrechen bietet zudem den Vorteil, dass dieser sich während eines Ausfalls der RRM weiterhin von Hand mittels einer Harke reinigen lässt.

Im Hinblick auf den Betrieb ist ein lichter Stababstand von 20 mm einem mit 15 mm zu bevorzugen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass Anlagen mit kleinen Rechenabständen filigraner konstruiert werden, um automatisch gereinigt werden zu können. Konkret bedeutet dies, dass bei einem kleineren Stababstand die Fertigungstoleranzen für den Rechen und die Reinigungseinrichtung viel genauer eingehalten werden müssen und dementsprechend auch eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Verschleiss und mechanischer Beanspruchung besteht. Eine Störungsbehebung wirkt sich in den meisten Fällen auf den sicheren Betrieb aus und hat einen Stillstand der Anlage zur Folge.

Die mechanische Beanspruchung durch Geschiebe und Geschwemmsel ist an einem Gewässer im Gebirge ungleich grösser als im Mittelland, was in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen ist und für beide Varianten Gültigkeit hat.

4.3.2 Hochwassersicherheit

Die Einflüsse bei Hochwasserereignisse stellen hohe Anforderungen an den Rechen und die Rechenreinigungsanlage, insbesondere im Hinblick auf den lichten Stababstand.

Laut Aussage namhafter Rechenhersteller ist bereits eine Konstruktion mit 20 mm Stababstand für den besagten Standort an einem hochalpinen Gewässer hinsichtlich Stabilität, Dauerhaftigkeit und Funktionstauglichkeit, bedenklich. Dies aus dem Grund, weil mit abnehmendem Stababstand schwächere Stabprofile verwendet werden und das Risiko für eine vollständige Verlegung und für Eisbildung steigt.

Um den Anforderungen bezüglich Geschiebetrieb und Schwemmholz gerecht zu werden, müsste ein 15 mm Rechen mit mindestens vergleichbar massiven Stabprofilen eines 20 mm Rechens ausgestattet werden (modifizierte Ausführung). Dadurch wird die Rechenkonstruktion sehr massiv, was sich wiederum auf die Verlegung und Ausbildung negativ auswirkt. Siehe auch weiterführende Abschnitte.

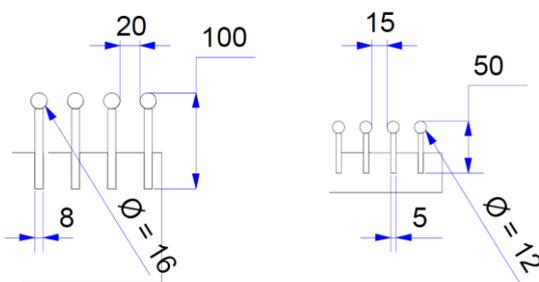


Abbildung 5: Standarddimensionen für Rechenprofile 20 mm (links) und 15 mm (rechts)

Die automatische Rechenreinigungsanlage kann im Hochwasserfall nicht zur Vorbeugung der Verklauung betrieben werden, weshalb diese für die Dauer des Hochwassers deaktiviert werden muss.

Aus Sicht der Betriebssicherheit und der Dauerhaftigkeit ist im Hinblick auf die regelmässig auftretenden Hochwasser, ein Feinrechen mit weniger als 20 mm Stababstand nicht zu empfehlen.

Im Hinblick auf die Rechenreinigungsvorrichtung lässt sich für den Vertikalrechen eine widerstandsfähigere Lösung finden. Aus besagten Gründen empfiehlt sich bezüglich der Hochwassersicherheit die Variante 1 Vertikalrechen mit 20 mm Stababstand.

4.3.3 Unterhalt

Der Aufwand für die bestehende Rechenanlage beschränkt sich heute hauptsächlich auf die Reinigung des Rechens, dieser ist dafür umso intensiver. Abgesehen davon, sind an der Rechenanlage keine grösseren Unterhaltsaufwände erwähnenswert, auch nicht nach einem Hochwasser.

Indem die lichte Weite der Rechenstäbe verringert wird ohne gleichzeitig Massnahmen gegen die Rechenverlegung zu treffen, werden nebst den Energieverlusten Reinigungsaufwände unweigerlich stark zunehmen. Unter der Annahme, dass eine RRM den Anforderungen an die Betriebssicherheit nicht genügt, besteht das Risiko, dass die Aufwände trotz RRM höher werden als dies heute der Fall ist. Von dieser Perspektive aus gesehen, wäre die Variante 1 vor der Variante 2 zu wählen, da neben dem Unterhalt auch die Aufwendungen für Reparatur und Ersatz deutlich geringer ausfallen.

Auswirkungen des Rechenstababstands

Eisbildung

Während der Wintermonate ist der Kraftwerksbetrieb dem reduzierten Zufluss im Hinterrhein angepasst. Bei der bestehenden Anlage tritt ein bis zweimal im Winter eine Vereisung des Einlaufrechens (lichte Weite aktuell 35mm) auf. Diese Vereisungen werden derzeit zur Sicherstellung des Betriebes durch das Anlagepersonal in einer aufwändigen Aktion vor Ort entfernt. Mit der Reduktion des lichten Stababstandes wird sich das Problem häufen, weshalb 20 mm gegenüber 15 mm klar vorzuziehen ist. Wie im vorhergehenden Abschnitt bereits erwähnt, ist an diesem Standort nur ein modifizierter 15 mm Rechen realisierbar. Das bedeutet, dass das Rechenprofil insgesamt tiefer gewählt werden muss, um die nötige Stabilität und Dauerhaftigkeit zu gewährleisten.

Der engere Stababstand und vor allem das tiefere Profil eines modifizierten 15 mm Rechens würde zu einer erheblichen Zunahme der Vereisungsgefahr führen. Es ist mit deutlich mehr Einsätzen zur Enteisung des Rechens und den damit verbundenen Produktionsausfällen zu rechnen.

Die automatische Rechenreinigungsmaschine eignet sich erfahrungsgemäss nicht zur Entfernung der Vereisung, respektive kann die Situation noch verschärfen, falls niedergedrückte Eisplatten das Rechenfeld verlegen.

Algenproblem

Der Hinterrhein zwischen Zillis und Thusis weist während der Sommermonate vermehrt fädige Algen im Gewässer auf. Die Algen wachsen hauptsächlich im benetzten Bereich der Flusssohle an Steinen und Felsen.



Abbildung 6: Algenfetzen im Staubereich



Abbildung 7: Algenbelegung best. Rechen

Von Zeit zu Zeit lösen sich Algenfäden und treiben auf der ganzen Wassertiefe verteilt bis sie am Rechen hängen bleiben. Dadurch verkleinert sich der Nettoquerschnitt des Rechens kontinuierlich. Durch die Installation einer automatischen Rechenreinigung verringert sich die personalintensive Reinigung von Hand.

Mit einer Verkleinerung des lichten Stababstandes wird durch die Algen zunehmend eine Verstopfung der Stäbe erfolgen, weil diese, im Vergleich zu festem Geschwemmsel wie Holz, durch den Reinigungsprozess in die Stabzwischenräume gepresst werden können.

Insbesondere bei einer modifizierten Ausführung des 15 mm Rechens besteht die Gefahr, dass der Rechenkamm bei der Reinigung nicht tief genug in das Profil einwirken kann um die eingetragenen Algen zu mobilisieren.

Rechenreinigung

Eine manuelle Reinigung wie bisher, insbesondere während erhöhtem Algenaufkommen und Eisbildung ist bei einem Feinrechen von 20 mm Stababstand oder kleiner nicht zumutbar.

Deshalb wird mit der Installation des neuen vertikalen Rechens, eine vollautomatische Rechenreinigungsmaschine implementiert.

Grundsätzlich reinigt der Rechenkamm der Rechenreinigungsmaschine die Stirnseite der Profile. Die Zwischenräume können nur bis zu einer gewissen Tiefe durch die «Kammwirkung» gereinigt werden, der Rest muss durch die Profiltiefe abgeschwemmt werden. Ist nun ein Rechenprofil besonders tief, vergrössert sich der Weg, welchen der Fremdkörper durchlaufen muss, respektive die Spülwirkung wird mit zunehmender Profiltiefe verringert. Auch ein kleinerer Abstand zwischen den Profilstäben reduziert die Spülwirkung, es erfolgt eine (kontinuierliche) Verstopfung des Rechens.

Aus diesem Grund werden mit kleineren Stababständen vorzugsweise filigranere und kürzere Profilstäbe eingesetzt.

Die Herstellung filigraner Feinrechen ist heutzutage fertigungstechnisch auch in der nötigen Genauigkeit (Parallelität der Rechenstäbe) ohne weiteres möglich und wird im Mittelland ohne grossen Geschiebetrieb und Schwemmholz flächendeckend eingesetzt.

Wird ein solcher 15 mm Rechen durch erhöhten Geschiebe- und/oder Schwemmholztrieb nur geringfügig beschädigt, d.h. die Rechenprofile sind nicht mehr exakt parallel ausgerichtet und der Kamm der Rechenharke kann nicht mehr anliegend zwischen die Stäbe greifen, ist die Reinigungswirkung nicht mehr gegeben. Der Rechen müsste ausgebaut und beim Hersteller neu ausgerichtet werden. Dies führt zu erheblichen betrieblichen Einschränkungen.

Wird nun der 15 mm Rechen gebirgsbachtauglich ausgelegt (modifizierte Ausführung), ist die Reinigungswirkung in der Profiltiefe wie oben beschrieben massiv kleiner. Dieser Rechen müsste dann vermehrt manuell gereinigt werden. Dazu ist der Staubereich jeweils abzulassen um mittels Rückspülung und Handharken den Rechen aufwändig zu säubern.

4.3.4 Fazit

Unabhängig der Rechenstabausrichtung kann festgehalten werden, dass je geringer die Rechenstababstände sind, desto höher die Unterhaltsaufwände ausfallen. Die Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Mechanik werden erhöht, die zu verbauenden Teile filigraner und somit auf Verschleiss anfälliger.

Aus sicherheitstechnischen und betrieblichen Gründen wird vom Einsatz eines Feinrechens mit weniger als 20 mm Stababstand dringend abgeraten.

Für Gebirgsbäche, insbesondere in der vorliegenden Einbausituation und der topografischen Lage (Schluchtsituation), müsste eine modifizierte (verstärkte) Version des 15 mm Rechens eingesetzt werden. Dies hätte eine erhebliche Verschlechterung der Reinigungswirkung durch die Rechenreinigungsmaschine zur Folge. Die Anlage droht zu verstopfen. Ferner erhöht sich im Winter die Vereisungsgefahr. Die Folgen wären vermehrte aufwändige Handreinigungen unter Einstellung des Produktionsbetriebs und Ablassen des Stauraums.

Aus diesen Gründen werden 15 mm Rechen vorwiegend in Gewässern des Mittellandes und nicht in Gebirgsbächen eingesetzt.

Ein allfälliger mechanischer Schutz des Feinrechens (Grobrechen, Abweiser etc.) in der bestehenden Situation ist nicht möglich. Dazu wäre eine Neukonzeption der gesamten Fassung notwendig.

4.4 Machbarkeit

Aufgrund der bestehenden Gebäudeanordnung sind weder für den Vertikal- noch den Horizontalrechen ideale Rahmenbedingungen für den Einbau vorzufinden. Für den Einbau des Vertikalrechens müssen allerdings verhältnismässig weniger Kompromisse eingegangen werden, weshalb im Hinblick auf die Umsetzbarkeit zu Gunsten von Variante 1 zu entscheiden ist.

4.5 Risiken

Für die Variante 2 (Horizontalrechen) muss die Funktion der Geschwemmselbeseitigung in Frage gestellt werden. Ferner bestehen Bedenken hinsichtlich der Freihaltung des Fahrwegs durch Holz und Geschiebe. Gesamthaft besteht für diese Varianten ein höheres Nachbesserungsrisiko sowie die Wahrscheinlichkeit für ein frühes Versagen der beweglichen Komponenten aufgrund zu hoher Beanspruchungen.

4.6 Kosten

Aufgrund der geringen Abweichung von nicht einmal 10%, können beide Varianten bezüglich der Kosten als gleichwertig betrachtet werden.

4.7 Bewertungsmatrix

Kriterien (Faktor Gewichtung)	best. Rechen Vertikalrechen s=35mm	Variante 1a Vertikalrechen mit RRM s=20 mm	Variante 1b Vertikalrechen mit RRM s=15 mm	Variante 2 Horizontal- rechen mit RRM
Fischschutz (3)	-3	+3	+6	+6
Energieverluste (1)	+1	+1	+1	+1
Betriebssicherheit (2)	0	+2	0	0
Hochwassersicherheit (2)	+2	+2	0	-2
Unterhalt (1)	-1	+1	0	-2
tech. Machbarkeit (2)	+2	+2	+2	0
Risiken (1)	+1	+1	0	-1
Investitionskosten (2)	+4	0	0	0
Total	+6	+12	+9	+2

+2	sehr gut
+1	gut
0	Mässig
-1	unbefriedigend
-2	schlecht

5 Zusammenfassung und Empfehlung

Die Verhältnismässigkeit an sich lässt sich nur aufgrund von Erfahrungen ähnlicher Anlagen an ähnlichen Gewässern abschätzen. Das tatsächliche Ausmass der Verdriftung von Fischen in den Triebwasserweg am Stauwehr Rongellen wurde nie erhoben.

Mit diesem Vorprojekt wurden Lösungen für die aus dem Variantenstudium empfohlenen Massnahme erarbeitet und beurteilt. Werden Nutzen, Kosten und Risiken gegenübergestellt, so kann das beste Ergebnis mit der Variante 1 erzielt werden.

Basierend der unter Kapitel 4 dargelegten Beurteilungen im Hinblick auf die biologische Wirkung und den Betrieb empfehlen wir den Vertikalrechen mit RRM und einem Stababstand im Licht von 20 mm als Massnahme zur Sanierung der Wasserfassung Rongellen weiterzuverfolgen und in einem Bauprojekt zu vertiefen.

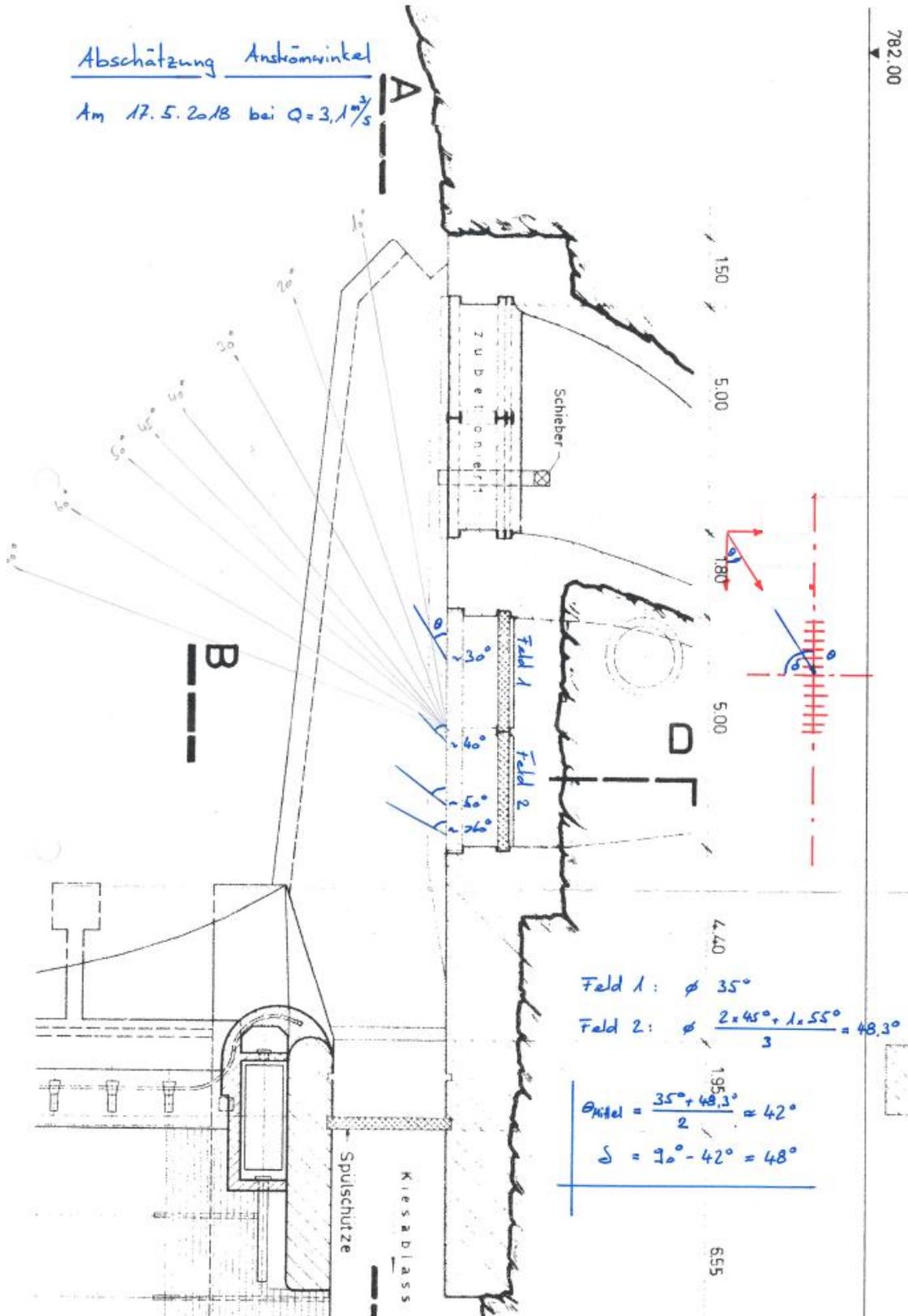
Thusis, im Oktober 2020

Pascal Barrea

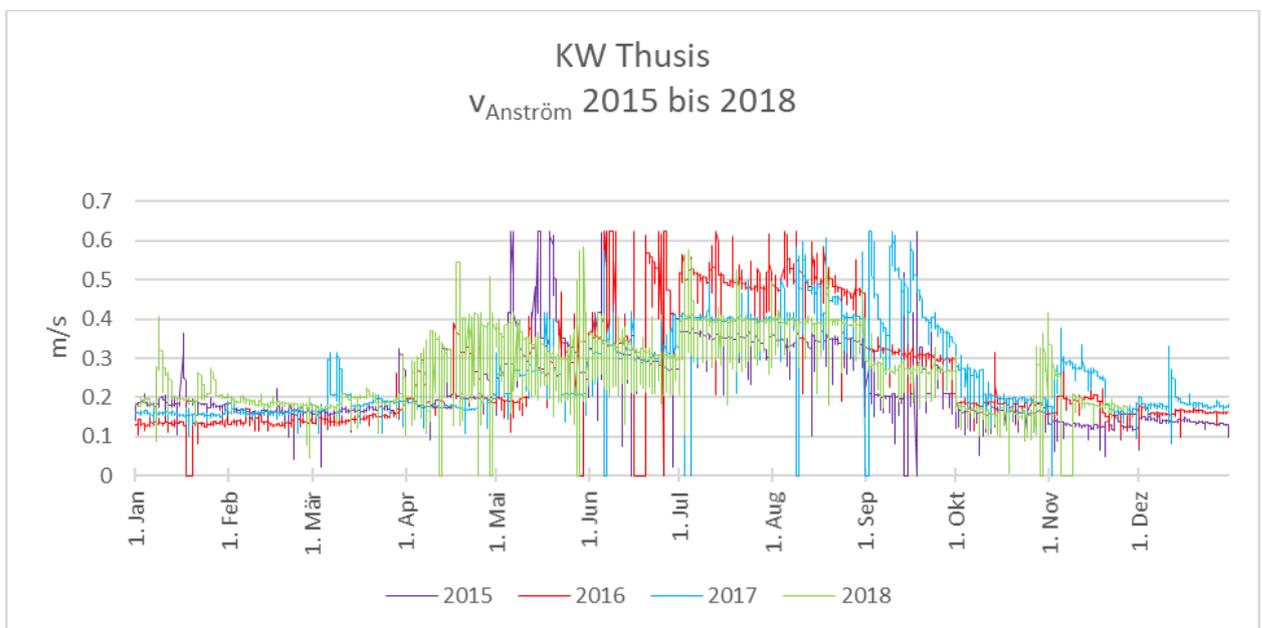
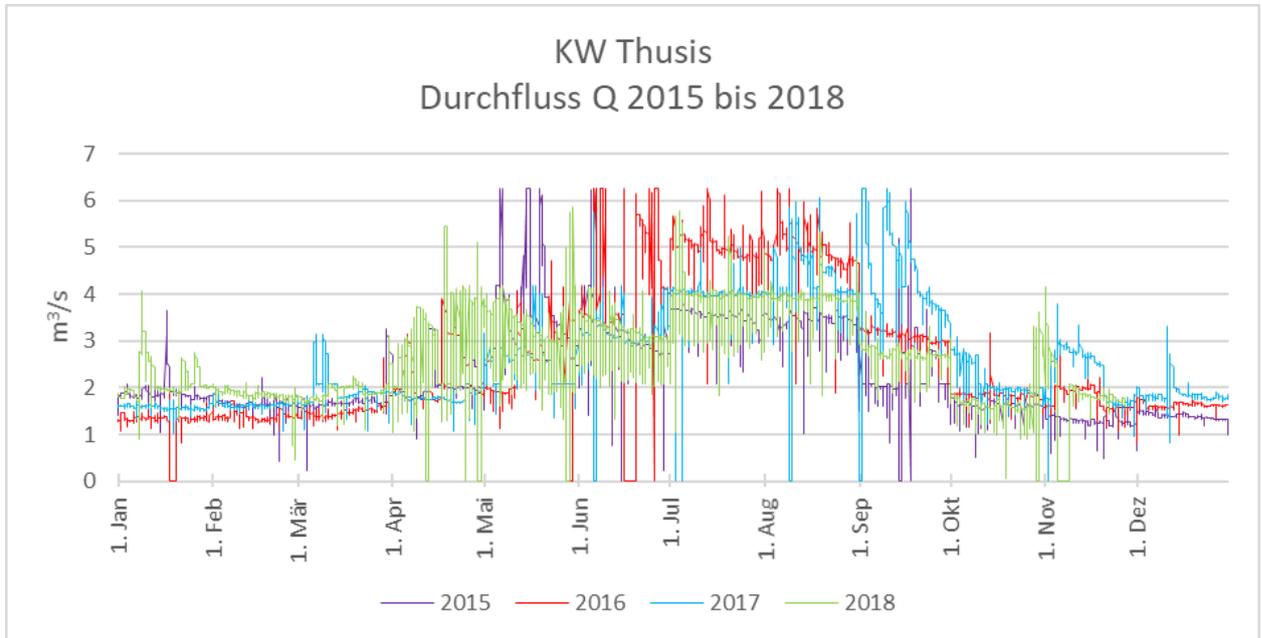
Literaturverzeichnis

- [1] Hefti D. 2012: Wiederherstellung der Fischauf- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste Best practice. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1210: 79 S.
- [2] DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef Mai 2014. Auflage Februar 2016
- [3] Ebel, G. (2018): 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 Dr. Ebel, Band 4, 3. Auflage, 483 S., Halle (Saale).
- [4] Hassinger, Reinhard (2012): Neuartige kombinierte Rechenreinigung mit Fischabstieg. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Staubauwerke - Planen, Bauen, Betreiben. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 47. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 307-316.
- [5] VAW (2002): Mitteilungen 179, Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken, Huber Meusburger, Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor, Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie der ETH Zürich
- [6] Jürgen Giesecke, Stephan Heimerl, Emil Mosony: Wasserkraftanlagen - Planung, Bau und Betrieb, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Vieweg 2014
- [7] Marcel Michel: Fische und Krebse in Graubünden, 2017 Amt für Jagd und Fischerei Graubünden

Anhang 1: Abschätzung Anströmwinkel θ

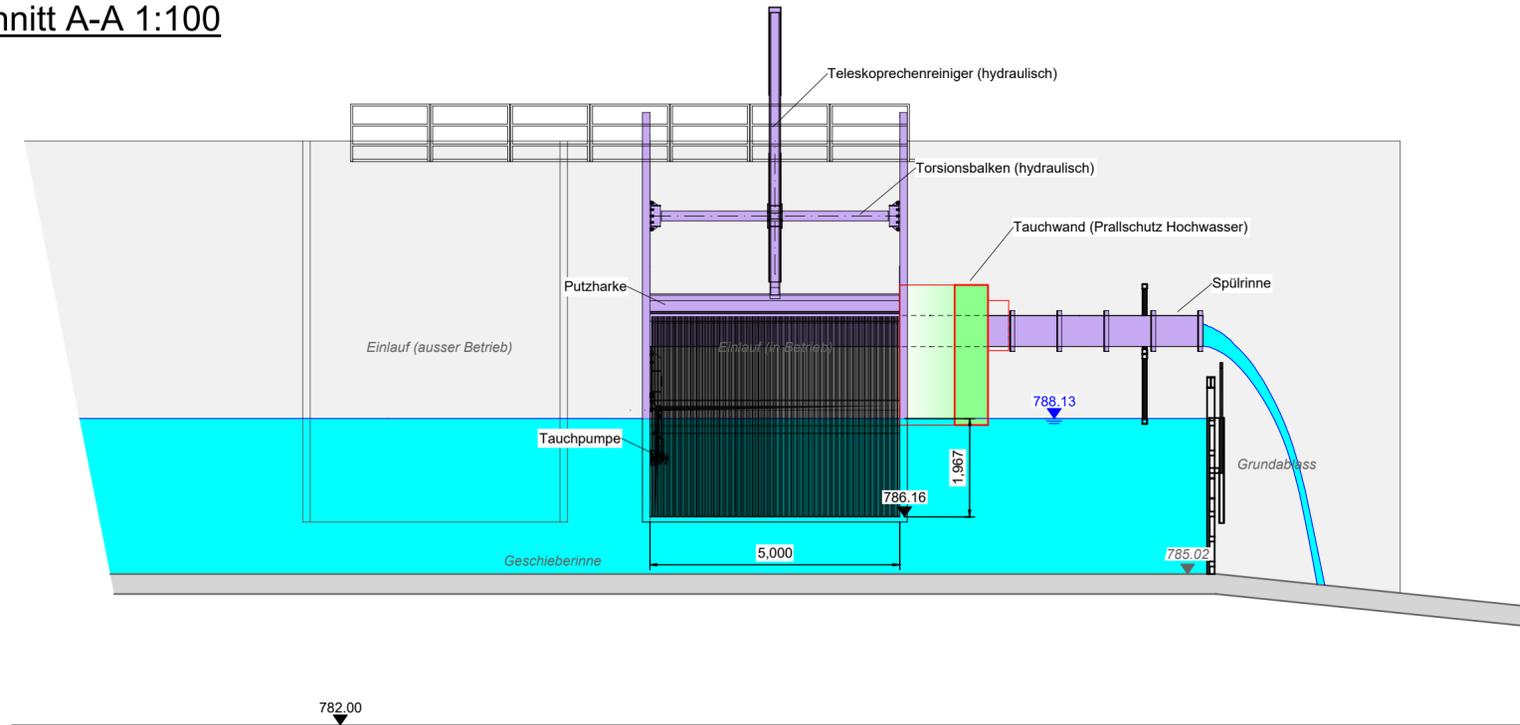


Anhang 2: Diagramme (Q, $v_{Anström}$ bzw. v_{normal})

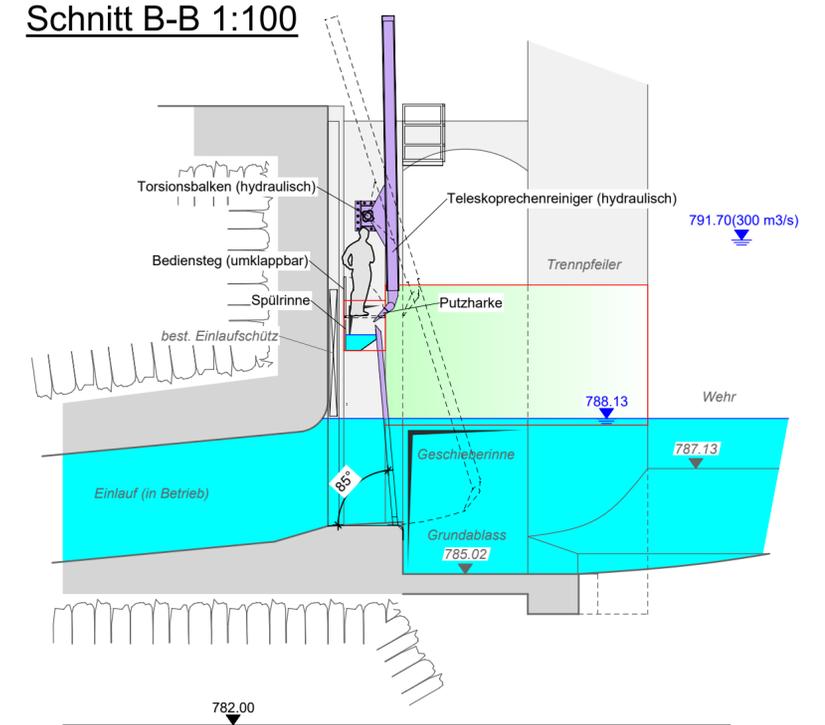


Anhang 3: Vorprojektpläne

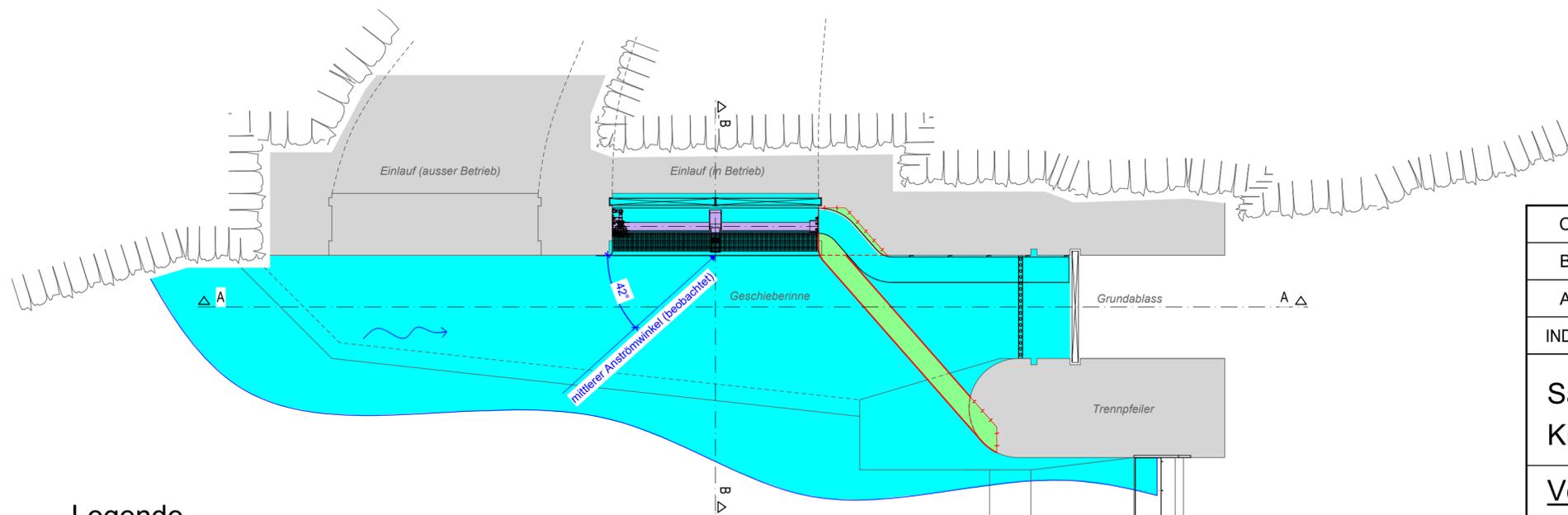
Schnitt A-A 1:100



Schnitt B-B 1:100



Grundriss 1:100



Legende

- Konstruktion bestehend
- Konstruktion Projekt
- Wasserflächen (Ober/Unterwasser)
- Einbauteile neu (Design: Wild-Metall GmbH I-39040 Ratschings)
- anstehendes/gewachsenes Terrain
- Sohlsubstrat

C:				
B:				
A:				
INDEX:	DATUM:	GEZ.:	GEPR.:	BEMERKUNGEN:

Sanierung Fischgängigkeit
Kraftwerk Thusis



Vorprojekt

Wasserrfassung Rongellen: Variante 1

Masstab 1:100

HYDRO-SOLAR

Water Engineering AG

COMPOGNASTRASSE 36 TEL.: +41 81 330 00 66
CH-7430 THUSIS FAX: +41 81 330 00 67
e-mail: info@hsweag.ch

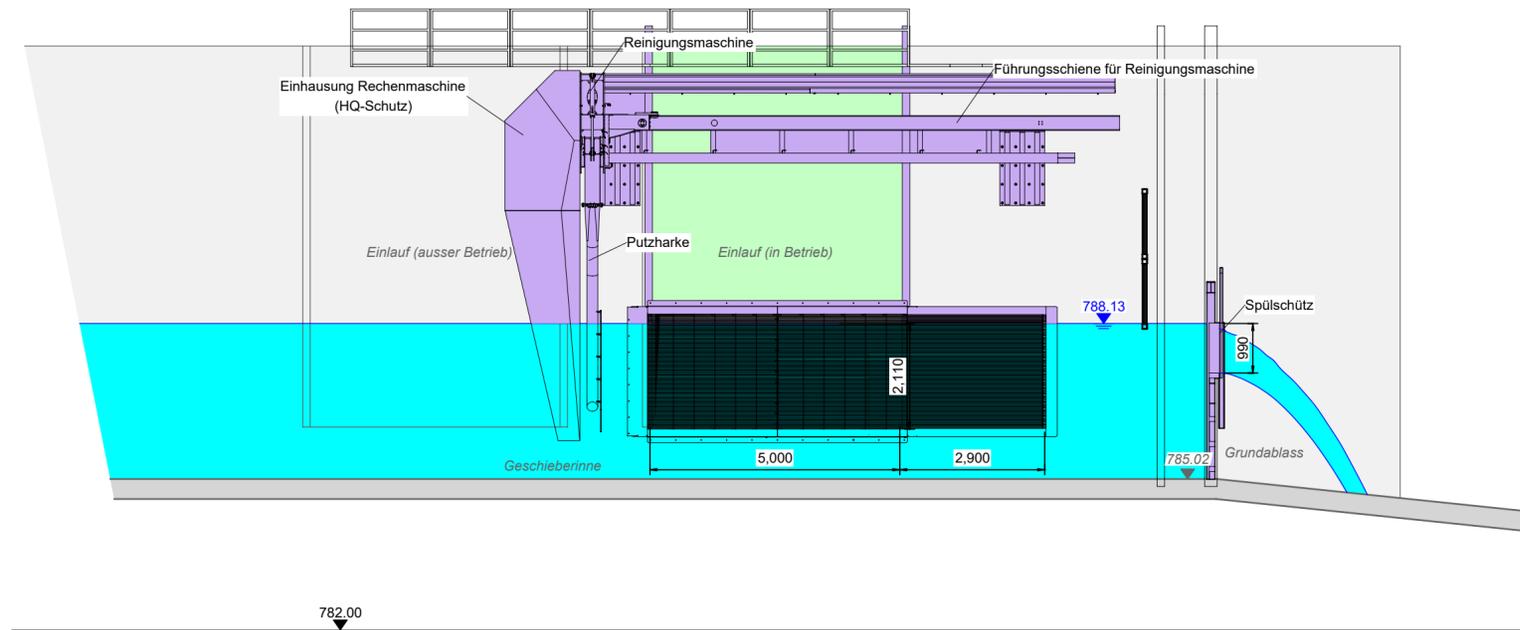
PLAN-NR.: 20.293 - 01

DATUM: NAME:

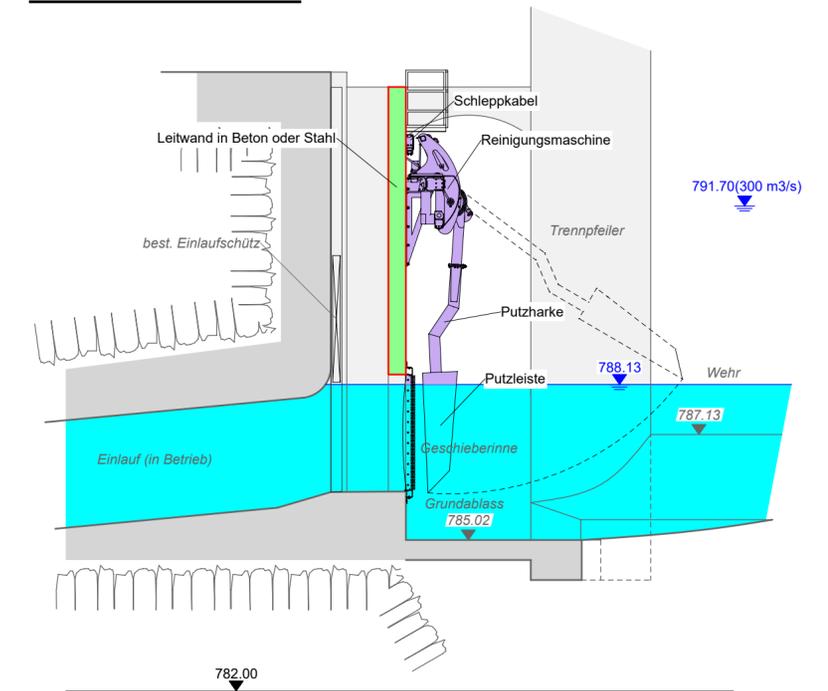
GEZ.: 14.04.2020 kal

GEPR.:

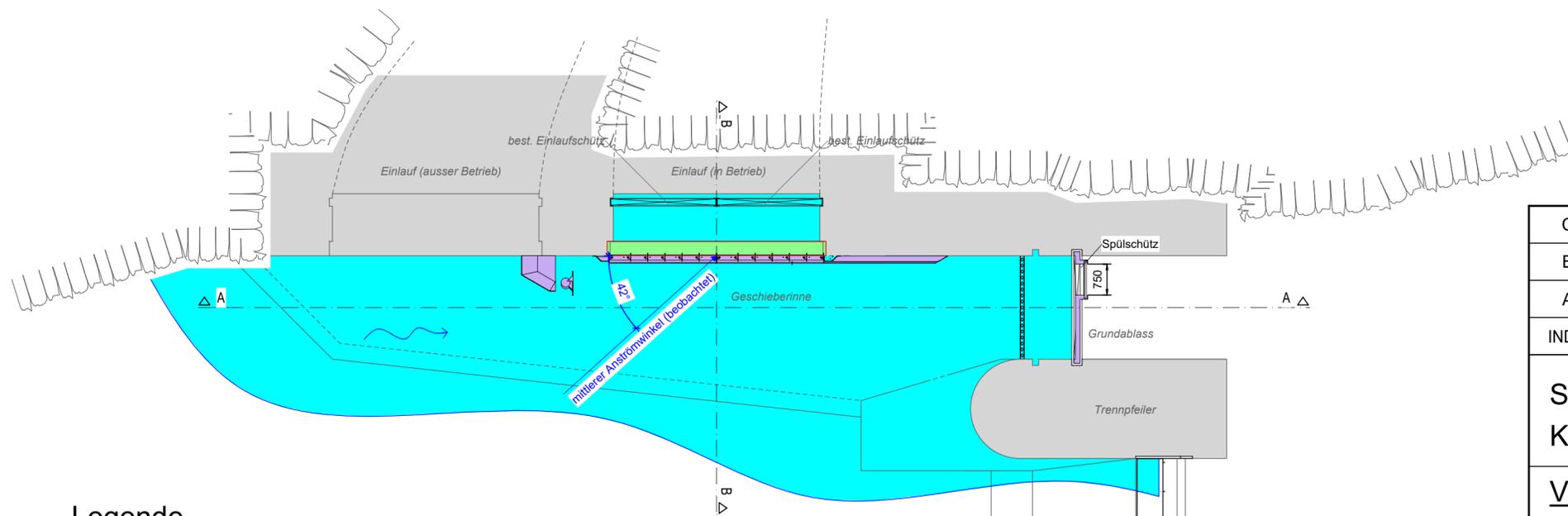
Schnitt A-A 1:100



Schnitt B-B 1:100



Grundriss 1:100



Legende

- Konstruktion bestehend
- Konstruktion Projekt
- Wasserflächen (Ober/Unterwasser)
- Einbauteile neu (Design: Wild-Metall GmbH I-39040 Ratschings)
- anstehendes/gewachsenes Terrain
- Sohlsubstrat

C:				
B:				
A:				
INDEX:	DATUM:	GEZ.:	GEPR.:	BEMERKUNGEN:

Sanierung Fischgängkeit
Kraftwerk Thusis



Vorprojekt

Wasserrfassung Rongellen: Variante 2

Masstab 1:100

HYDRO-SOLAR

Water Engineering AG

COMPOGNASTRASSE 36 TEL.: +41 81 330 00 66
CH-7430 THUSIS FAX: +41 81 330 00 67
e-mail: info@hsweag.ch

PLAN-NR.: 20.293 - 02

DATUM: NAME:

GEZ.: 14.04.2020 kal

GEPR.: