



Optimierung der Coanda-Rechen für Schweizer Gewässer

Optimization of Coanda-screens for Swiss water bodies

Max Witek, Imad Lifa

Kurzfassung

Die Fassung von Wasserkraftanlagen an meist geschiebereichen Gebirgsbächen erfolgt in der Schweiz überwiegend durch Fallrechen (Tiroler-Wehre). Seit einigen Jahren werden dafür alternativ vermehrt auch Coanda-Rechen eingesetzt. Im Rahmen einer Forschungsarbeit der FH Graubünden (finanziert durch das Bundesamt für Energie – Forschungsprogramm Wasserkraft) wurden verschiedene in Betrieb stehende Anlagen analysiert. Dabei konnten die bekannten Vorteile bestätigt werden, wie zum Beispiel das Fernhalten eines grossen Anteils der Feststoffe und des Geschwemmsels vom Triebwassersystem, Selbstreinigung des Rechens, geringe Betriebskosten, bei Verzicht auf einen Sandfang geringere Anlagekosten sowie eine anzunehmende Fischfreundlichkeit. Im zweiten Schritt wurden in der Versuchshalle der VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) an der ETH Zürich ein Versuchsstand im Massstab 1:1 aufgebaut, um Versuche zu den Themen Geschiebeabweisung, Schluckvermögen und hydraulisches Verhalten durchführen zu können. Hierbei wurden marktübliche Rechen getestet. Im dritten Schritt wurden Versuche zur Fischverträglichkeit im Abstieg gemacht, um für die proklamierte Fischfreundlichkeit konkrete Messdaten zu ermitteln.

Die Ergebnisse der Versuchsanlage spiegeln die Ergebnisse aus den Feldversuchen wider. Es zeigt sich, dass die weit verbreiteten Behauptungen zum hohen Abweisungsgrad von Feststoffen nicht korrekt sind, wodurch weiterhin oft Massnahmen zum Ausscheiden der Feinanteile notwendig sind. Ausserdem liegt das erreichbare Schluckvermögen wesentlich höher als die oftmals in der Literatur publizierten 140 l/s.lfm.

Die Fischfreundlichkeit der Coanda-Rechen konnte in den Laborversuchen bestätigt werden. Der Abstieg über den Coanda-Rechen stellt für Bachforellen (Referenzfisch für alpine Gewässer in der Schweiz) kein Risiko dar, solange die anderen Anlageteile (Unterwasser etc.) passend ausgelegt sind. In Summe konnten mit dem Projekt wertvolle Daten für die Dimensionierung und Auslegung künftiger Anlagen gefunden werden. Darüber hinaus konnte die oftmals diskutierte Fischfreundlichkeit mit konkreten Daten unterlegt werden.

Abstract

In Switzerland, hydroelectric power plants on mostly bed loaded mountain streams are mainly captured by means of fall screens (Tyrolean weirs). For some years now, Coanda screens have been increasingly used as an alternative. Within the scope of a research project of the University of Applied Sciences of the Grisons (financed by the Swiss Federal Office of Energy - Hydropower research program), various operating plants were analysed. The well-known advantages have been confirmed, such as the removal of a large proportion of solids and alluvium from the motive water system, self-cleaning of the screen, low operating costs, lower installation costs if no sand trap is used, and the assumed fish-friendliness. In a second step, a 1:1 scale test rig was set up in the VAW test hall at the ETH Zurich in order to carry out tests on bed load rejection, absorption capacity and hydraulic behaviour. Commercially available Coanda screens were tested. In a third step, tests on fish-friendliness in the descent were carried out in order to obtain concrete measurement data for the proclaimed fish-friendliness.

The results of the test facility reflect the results of the field tests. It turns out that the widespread claims about the high degree of rejection of solids are not correct, which means that measures to eliminate the fines are still often necessary. Furthermore, the achievable swallowing capacity is higher than the often-published 140 l/s.m.

The fish-friendliness of the Coanda-screens could be confirmed in the laboratory tests. The descent over the Coanda-screens does not pose a risk for brown trout (reference fish for alpine waters in Switzerland) as long as the other components of the facility (downstream etc.) are suitably designed.

Overall, the project provided valuable data for the planning and dimensioning of future installations. Furthermore, it was possible to back up the often-discussed fish-friendliness with actual data.

1 Einleitung

Im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsprojekts SI/501288-01 im Jahr 2016 wurden 22 bestehende Anlagen in Bezug auf die Betriebserfahrungen analysiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass viele Akteure im Markt auf dieselben wissenschaftlichen Ressourcen zurückgreifen, deren Wurzeln in der Entwicklungsphase des Coanda-Rechens liegen.

2 Methode

2.1 Grundlagen und Recherche

Für das Forschungsprojekt wurden alle relevanten Publikationen analysiert und ihre Aussagekraft für den Schweizer Markt überprüft.

Basierend auf den offenen Fragestellungen aus Praxis und bisherigen Publikationen sowie den Feldtests aus dem Vorprojekt wurden die Labortests samt Versuchsstand an der VAW entwickelt.

Durch den Feldversuch konnte nachgewiesen werden, dass die Behauptung mancher Hersteller, dass 90% der Partikel mit jeweils einem Durchmesser des halben Stababstands abgeschieden werden, nicht zutrifft. Daher sollte im Forschungsprojekt die Abscheidungscharakteristik sowie das tatsächliche Schluckvermögen der marktüblichen Coanda-Rechen untersucht werden. Das Projekt wurde um den Bereich Fischgängigkeit erweitert und die Auswirkungen des Abstieges über den Coanda-Rechen an Bachforellen erprobt.

2.2 Versuchsanlage

Bis März 2018 wurde der Versuchsstand an der VAW der ETH Zürich errichtet und in den darauffolgenden 2 Monaten schrittweise adaptiert und in Betrieb genommen. Die Coanda-Rechen können einfach gewechselt werden, die Rechen haben eine Breite von 1.115 m und werden von einer ausreichend langen Zulaufstrecke mit maximal 300 l/s Wasser versorgt. Der Zulauf kann mittels einer MID-Messung gemessen und reguliert werden. Ergänzend können Pegelstände, Fliessgeschwindigkeiten und andere Parameter gemessen werden. Unter dem Coanda-Rechen ist ein Ablauf vorhanden, wo das Geschiebe, welches den Rechen passiert, mittels Geschiebesack aufgefangen und später analysiert werden kann.

Im Februar 2019 wurde die Anlage auf eine überströmte Rechenbreite von 50 cm umgebaut. Dies erfolgte, um eine völlige Überströmung der Rechen zu erreichen und bei höheren spezifischen Durchflüssen bis zu 600 l/s.lfm die tatsächliche maximale Abflusskapazität der Rechen zu ermitteln. Bei den Tests in der ursprünglichen Konfiguration mit 1.115 m Breite hatte sich gezeigt, dass die von den Herstellern angegebenen Abflusskapazitäten problemlos erreicht werden konnten. Neben einer seitlichen Plexiglaswand am Rechen wurde hierzu auch die Zulaufstrecke erhöht und auf 50 cm Breite verschmälert.

In dieser Konfiguration wurden im August 2019 dann die Fischversuche durchgeführt, hierzu wurde bei der Anlage das Unterwasser so umgebaut, dass es dem Fischabstieg mittels Einstau des Beckens unterhalb des Rechens gerecht werden konnte.

2.3 Kapazitätstests

Alle zur Verfügung stehenden Rechen wurden ohne Geschiebe auf ihre maximale Schluckfähigkeit getestet. Hierzu wurde die Wassermenge im Zulauf sowie die Wassermenge, die nicht durch den Rechen geschluckt wurde und im Unterwasser landete, gemessen und gegenübergestellt. Da mit den ursprünglichen Zuflussmengen von maximal 300 l/s (entspricht 269 l/s.lfm) die maximale Schluckfähigkeit nicht erreicht werden konnte, wurden im zweiten Schritt nach Verschmälerung der Anlage auf 0.5m die marktüblichsten Rechen noch einmal mit höheren Durchflüssen von bis zu 600 l/s.lfm getestet. Aus diesen Daten konnte die maximale theoretische Schluckfähigkeit extrapoliert werden.

2.4 Abweisungsgrad Feststoffe

Für die Ermittlung der Abweisungsgrade wurden insgesamt drei standardisierte Geschiebemischungen eingesetzt. Das Korngerüst ist typisch für Schweizer Wildbäche. Es wurden 2 Geschiebemischungen aus Kantkorn eingesetzt (0-4 mm sowie 0-16 mm) und eine Geschiebemischung aus Rundkorn (0-8 mm). Von diesen Ausgangsgeschiebemischungen wurden jeweils 5 Sieblinien erstellt, um genauen Aufschluss über die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials zu erhalten. Die Siebanalysen wurden mit Hilfe einer Haver-Analysensiebmaschine EML 450 Digital Plus T mit Siebaufsätzen zu 400 mm Durchmesser aus Edelstahl-Metalldrahtgewebe durchgeführt.

Insgesamt wurden 237 Versuche durchgeführt und ausgewertet. Zusätzlich wurden im November 2018 Versuche mit partieller Überströmung am Standardrechen Sb18 1.0 mm durchgeführt, um eine Vereisung oder einen anderen, ähnlichen Betriebszustand mit partieller Funktionslosigkeit zu simulieren. Dies wurde durch stellenweises Bekleben des untersuchten Rechens erreicht und mit unterschiedlichen Durchflüssen getestet. Die Geschiebeversuche wurden mit dem Geschiebetyp 0 – 4 mm Kantkorn durchgeführt.

Die Probeaufgabe erfolgte mit einem Geschiebesack direkt in die Zulaufstrecke. Das Geschiebe, welches den Rechen passierte, konnte mittels Gewebesäcken aus Polyethylen mit 0.18 mm Maschenweite unter dem Rechen aufgefangen werden. Dieses Material wurde für die weitere Untersuchung in einem Trocknungsofen getrocknet und anschliessend der Siebanalyse unterzogen. Dabei wurde die selbe Siebmaschine verwendet, mit welcher bereits das Ausgangsmaterial untersucht wurde.

2.5 Fischgängigkeit

Die Bachforelle ist die häufigste Fischart in alpinen Gewässern und dient daher als Versuchsfisch. Für den Versuch wurden Wildfische verwendet. Zuchtfische

als Ersatz sind keine Alternative, da diese oft ein anderes Verhalten als Wildfische zeigen. Die Fische wurden mittels Elektrofischerei in einem alpinen Fließgewässer im Schanielabach (GR) gefangen und anschliessend ins Labor transportiert. Die Transportbehältnisse wurden mit Bachwasser gefüllt und ständig belüftet. Im Labor musste die Temperatur und Wasserqualität durch Wassertausch langsam an die Hälterungsbecken angepasst werden, um Stress bei den Fischen zu vermeiden.

Vor der Einhälterung wurden die Fische vermessen, gewogen und markiert (PIT-Tag). Das PIT-Tagging erfolgte anhand der Standard operating procedure (Vollzugshilfe BAFU: Fang, Markierung und Beprobung von freilebenden Wildtieren). Nach der Markierung wurden sie in die Hälterungsbecken gegeben und erst am nächsten Tag für die Experimente verwendet. Die Fischtanks und das Wasser für die Versuche wurden aus demselben Kreislauf entnommen, um Probleme mit der Akklimatisierung zu vermeiden. Für die Erhebung der biometrischen Daten (Längen/Gewicht, Verletzungsanalyse) und das Markieren (PIT-Tag) wurden die Fische anästhesiert.

Für das eigentliche Experiment wurden die Fische mittels Netz schonend aus den Hälterungsbecken entnommen. Jeder Fisch wurde vor Versuchsbeginn unter Anästhesie auf allfällige Verletzungen untersucht, in dem er beidseitig in einer Küvette mit Wasser fotografiert wurde. Anschliessend konnte sich der Fisch für eine Stunde im Aufwachbecken erholen, bis er mittels Eimer in das Startabteil des Kanals gebracht und freigelassen wurde. Die Fische passierten anschliessend den Coanda-Rechen und fielen ins Unterwasser, wo sie schonend abgefangen wurden. Die Fallhöhe misst 1.4 m (Oberkante Wehr bis Wasserspiegel Unterwasser), die Kolktiefe betrug 1.3 m. Die Fische wurden aus dem Unterwasser abgefischt, anästhesiert und erneut fotografiert. Schliesslich wurde der Fisch wieder ins Hälterungsbecken entlassen. Das zeitaufwändige Protokollieren der Fische erfolgte später anhand der Fotos.

In die Versuche wurden die 2 häufigsten Rechen auf dem Markt einbezogen. Dabei wurden zwei verschiedenen Durchflüsse (100 und 300 l/s.lfm) und zwei verschiedene Grössenklassen von Bachforellen (unter bzw. 16 cm Länge) getestet. Pro Konfiguration wurden 12 Replikationen mit je 3 Forellen durchgeführt. Jede Forelle wurde zweimal verwendet, zusätzlich wurde zur Kontrolle von Handlingeffekten Kontrollfische eingesetzt. Gesamt wurden 216 Bachforellen in 4 Versuchswochen eingesetzt.

Die Fotos wurden intensiv auf Verletzungen untersucht, wobei das Foto vor dem Versuch mit dem Foto danach verglichen wurde. Hauptsächlich wurden mittels der Fotos Schuppenverluste ermittelt, da sonst keine Verletzungen festgestellt werden konnten.

3 Ergebnisse

3.1 Kapazitätstests

Das maximale Schluckvermögen lag so weit entfernt von den Angaben der Hersteller, dass das ursprüngliche Versuchsdesign der Anlage an seine Grenzen stieß. Daher wurden die Kapazitätstests mit der auf 0.5 m verschmälerten Anlage vervollständigt, untenstehend in Abbildung 1 sind die ermittelten Schluckfähigkeiten dargestellt. Dabei konnte pro untersuchtem Rechen eine Extrapolation der zu erwartenden maximalen Schluckfähigkeit beim zugehörigen Zufluss erstellt werden, sowie Daten zur wirtschaftlich sinnvollen Schluckfähigkeit gewonnen werden. Ergänzend zu den Daten muss noch erwähnt werden, dass die Rechen von Wild Metal häufig zusätzlich mit einem Schutzrechen verbaut werden, der das Schluckvermögen beeinträchtigen wird. Umgekehrt konnte der Rechen von Höhenergie aufgrund der Versuchsanlage nicht mit dem optimalen Einbauwinkel getestet werden, sodass bei optimalen Einbaubedingungen bei diesem Rechen das Schluckvermögen noch gesteigert werden kann.

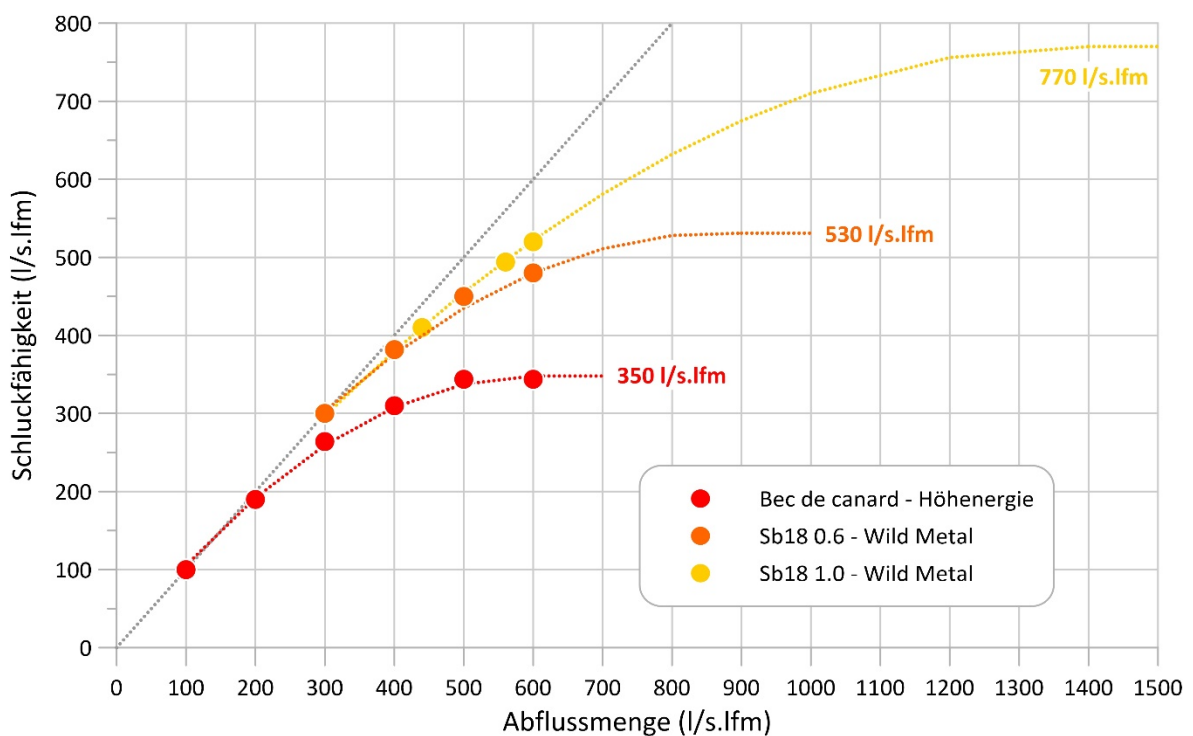


Abb. 1: Schluckvermögen unterschiedlicher Coanda-Rechen

3.2 Ausscheidungsgrad Feststoffe

Je höher der Wasserfluss über den Rechen ist, desto besser ist der Abweisungsgrad. In nachfolgender Abbildung 2 ist für den Standardrechen Sb18 1.0mm der Abweisungsgrad in Abhängigkeit der Durchflussrate dargestellt. Dieses Verhalten wurde ebenso bei den anderen getesteten Rechen beobachtet.

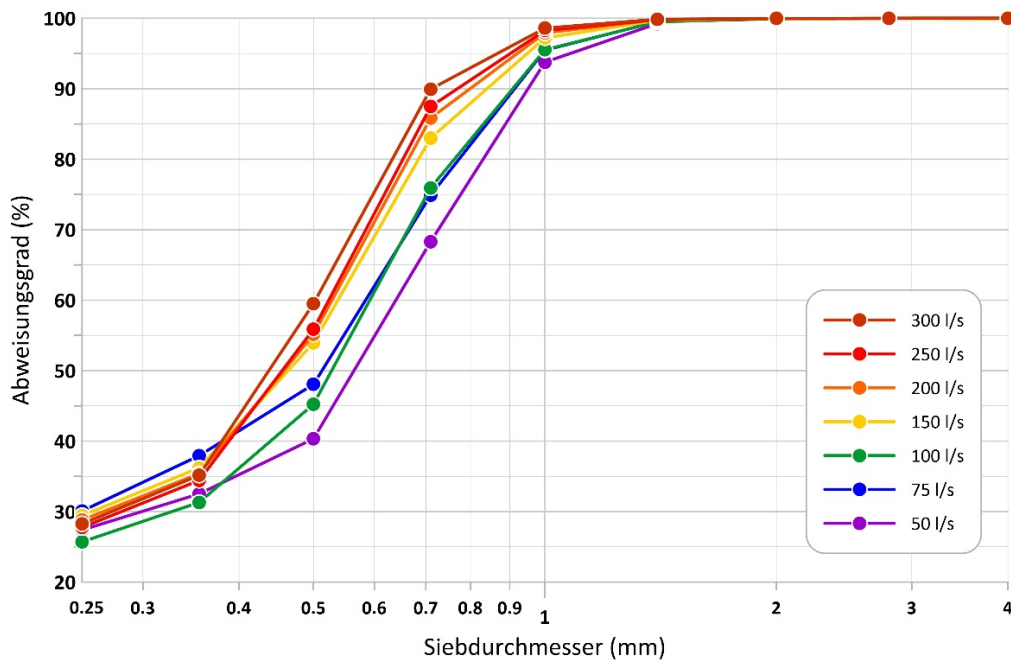


Abb. 2: Abweisungsgrad beim Standardrechen Sb18 1.0mm

Die Abweisungsgrade (Auswertung Stand März 2020) sind in der nachfolgenden Tabelle exemplarisch für den SB18 1.0 mm Rechen dargestellt. Bei Geschiebe mit der halben Spaltweitengrösse ist der Abweisungsgrad beim Sb18 1.0 mm Rechen bestenfalls 36%. Beim Rundkorn werden die feinsten Fraktionen schlechter abgewiesen als beim Kantkorn.

Tab. 1: Abweisungsgrade Sb18 1.0 mm Rechen, aufsummiert für halbe bzw. ganze Spaltweite

Durchfluss (l/s.lfm)	Kantkorn 0-4 mm		Kantkorn 0-16 mm		Rundkorn 0-8 mm	
	Abweisungsgrad (%)		Abweisungsgrad (%)		Abweisungsgrad (%)	
	bis 0.5 mm	bis 1.0 mm	bis 0.5 mm	bis 1.0 mm	bis 0.5 mm	bis 1.0 mm
44.8	31	48	11	40	0	26
67.3	36	55	keine Messung	keine Messung	keine Messung	keine Messung
89.7	30	52	14	50	5	33
134.5	34	59	23	58	7	36
179.4	29	57	13	54	0	28
224.2	32	61	13	58	6	41
269	33	63	14	61	0	34

Die Herstellerangaben von 90% Abweisungsgrad bei der halben Spaltweite wird damit beim Sb18 1.0 mm Rechen klar verfehlt, auch von keinem anderen getesteten Rechen wird dieser Wert erreicht. Im Schlussbericht zum Forschungsbericht sind alle ermittelten Abweisungsgrade genau dokumentiert, wodurch zukünftig Bemessungsgrundlagen für die Auslegung von Sandfängen vorhanden sind.

3.3 Fischabstieg

Wie im Kapitel Methode beschrieben, wurden die Auswirkungen des Fischabstieges über den Coanda-Rechen anhand der Schuppenverluste der einzelnen Exemplare bewertet, da dies die einzigen auftretenden Verletzungen waren. Dazu wurden alle Fotos vor und nach den Versuchen analysiert und die Prozentsätze der Schuppenverluste pro Fisch ermittelt. Dabei lassen sich die Ergebnisse folgendermassen zusammenfassen:

- Die Fische erlitten mit maximal 1% Schuppenverlusten keine gravierenden Verletzungen, die deren Tod bedeuten würden.
- Der statistische Unterschied zwischen Testfischen und Kontrollfischen (ohne Rechenübergang) ist äusserst gering.
- Insgesamt kann der Fischabstieg über die getesteten marktüblichen Coanda-Rechen als vertretbar beurteilt werden.

4 Fazit

Anhand des bestehenden Forschungsprojektes konnten zahlreiche Daten ermittelt werden, die teilweise bisher bestehende Annahmen widerlegen konnten. Auch in Bezug auf die Fischfreundlichkeit des Coanda-Rechens liegen nun konkrete Daten vor. Dennoch bleiben einige Fragen offen. Im Projekt hat sich gezeigt, dass die namensgebenden physikalischen Effekte (Coandaeffekt) bei den untersuchten Rechen nicht zu beobachten waren und die Funktionsweise aktuell zu einem grossen Teil auf dem Abscheren des Wasserfilms basiert. In einem Folgeprojekt könnten Optimierungen der Rechen in Hinblick auf Optimierung der Beschleunigungsplatte, Optimierung des Einbauwinkels und der Rechenform erfolgen.

Adressen der Autoren

Max Witek (korrespondierender Autor)

Prof. Dr. Imad Lifa

Institut für Bauen im alpinen Raum – FH Graubünden

CH-7000 Chur, Pulvermühlestrasse 80

max.witek@fhgr.ch

imad.lifa@fhgr.ch