

Optimierter Coanda-Rechen für Wasserkraft und Fisch

Imad Lifa, Seraina Braun, Max Witek, Barbara Krummenacher, Armin Peter, Claudia Beck, Robert Boes

Zusammenfassung

Coanda-Rechen sind Feinrechen mit scharfkantigen und horizontal angeordneten Stäben. Sie nutzen den «aqua shear» oder «Coanda-Effekt», der auf den rumänischen Physiker *Henri Coandă* (1886–1972) zurückzuführen ist. Seit mindestens mehreren Jahrzehnten werden Coanda-Rechen vor allem in den USA im Bergbau eingesetzt. Ihre Spaltweiten liegen im Bereich von ca. 0,2 bis 3,0 mm, so dass Treibgut und schwebende Feststoffteilchen weitgehend vom Triebwassersystem ferngehalten werden. Oft kann auf eine Rechenreinigungsanlage und – sofern die Verhältnisse bzgl. Hydroabrasivverschleiss an elektro-maschinellen Anlagenteilen unkritisch sind – auch auf einen Sandfang verzichtet werden, wodurch sich Bau- und Betriebskosten von Wasserkraftwerken markant reduzieren lassen.

In den USA wird die innovative Technologie des Coanda-Feinrechens häufig angewandt, in der Schweiz bis heute hingegen eher selten und zögerlich. Eine erste Pilotanlage in der Schweiz wurde durch «Energie 2000» gefördert und 1998 am Räppierbach in der Gemeinde Hinterrhein GR erstellt. Bis 2015 wurden hierzulande ca. zwanzig Anlagen errichtet. In Kreisen von Ökologie und Fischerei haben die wenigen in der Schweiz installierten Coanda-Rechen als ausgesprochen fischfreundliche Wasserfassungen rasch Anklang gefunden, da infolge des geringen Stababstands die Fische vom Triebwassersystem ferngehalten werden. Zudem ist der Fischabstieg über den Rechen im Gegensatz zum traditionellen Tirolerwehr mit seinen meist grösseren Spaltweiten problemlos möglich, wenn es im Unterwasser entsprechend tiefe Wasserpolster gibt.

Nebst der Rentabilität müssen die Anlagen möglichst naturnah ausgelegt sein und die Fischwanderung zulassen. Ein Forschungsprojekt untersuchte den Coanda-Rechen bezüglich seiner tatsächlichen Schluckfähigkeit, seines Abweisungsgrades bezüglich Feststoffen sowie allfälliger Beeinträchtigungen der Fische, wenn sie über den Coanda-Rechen absteigen. Einige gängige Ansichten müssen komplett revidiert werden, andere wurden bestätigt.

Résumé

Les grilles Coanda sont des grilles fines avec des barres à arêtes tranchantes et disposées horizontalement. Ils utilisent «l'aquashear» ou «effet Coanda», qui doit son nom au physicien roumain *Henri Coandă* (1886–1972). Depuis au moins plusieurs décennies, les grilles Coanda sont utilisés dans les mines, principalement aux États-Unis. Leur largeur entre les barres se situe dans un espace d'environ 0,2 à 3,0 mm, de sorte que les matières flottantes et les particules solides en suspension sont en grande partie tenues à l'écart du système d'eau motrice. Il est souvent possible de se passer d'un système de nettoyage des grilles et – dans la mesure où les conditions ne sont pas critiques au niveau de l'usure hydro-abrasive des parties électriques et mécaniques de l'installation – d'un dessableur, ce qui permet de réduire considérablement les coûts de construction et d'exploitation des centrales hydroélectriques.

La technologie innovante de la grille fine Coanda est souvent utilisée aux États-Unis, mais jusqu'à présent, son utilisation est plutôt rare et hésitante en Suisse. Une première installation pilote en Suisse a été soutenue par «Energie 2000» et construite en 1998 sur le Räppierbach dans la commune de Hinterrhein GR. Jusqu'en 2015, une vingtaine d'installations ont été construites dans notre pays. Dans les milieux de l'écologie et de la pêche, les quelques grilles Coanda installées en Suisse ont rapidement trouvé un écho favorable en tant que prises d'eau particulièrement respectueuses des poissons, car le faible espace entre les barreaux permet de tenir les poissons à l'écart du système d'eau motrice. De plus, contrairement au barrage tyrolien traditionnel, dont les espaces sont généralement plus larges, la dévalaison des poissons par la grille ne pose aucun problème si l'eau est suffisamment profonde en aval.

Outre la rentabilité, les installations doivent être conçues de manière aussi naturelle que possible et permettre la migration des poissons. Un projet de recherche a examiné la grille Coanda sous l'angle de sa capacité d'absorption réelle, de son degré de rejet des matières solides et des éventuels effets négatifs sur les poissons lorsqu'ils descendent par-dessus la grille Coanda. Certaines idées reçues doivent être complètement revues, d'autres ont été confirmées.

1. Einleitung

Wasserfassungen sind insbesondere an Gebirgsbächen aufgrund der meist grossen Geschiebemengen eine Herausforderung. Auch heute noch ist der überwiegende Anteil der Fassungen mit Tiroler-

wehren ausgerüstet. Es sind vor allem die mitgeführten Feststoffe, welche den Turbinenbauteilen grossen Schaden zuführen können und weshalb ein Entsander vorgeschaltet werden muss. Allerdings können für Fische diese Installationen unüberwindbar sein. Aus diesem Grund und bei den

heutigen Ansprüchen nachhaltiger und naturverträglicher Stromgewinnung entsprechend, wird dieser Typ Wasserfassung in Fischgewässern kritisch betrachtet.

Überwiegend an Gebirgsbächen wird alternativ zum Tirolerwehr seit vielen Jahren der Coanda-Rechen eingesetzt. Aufgrund

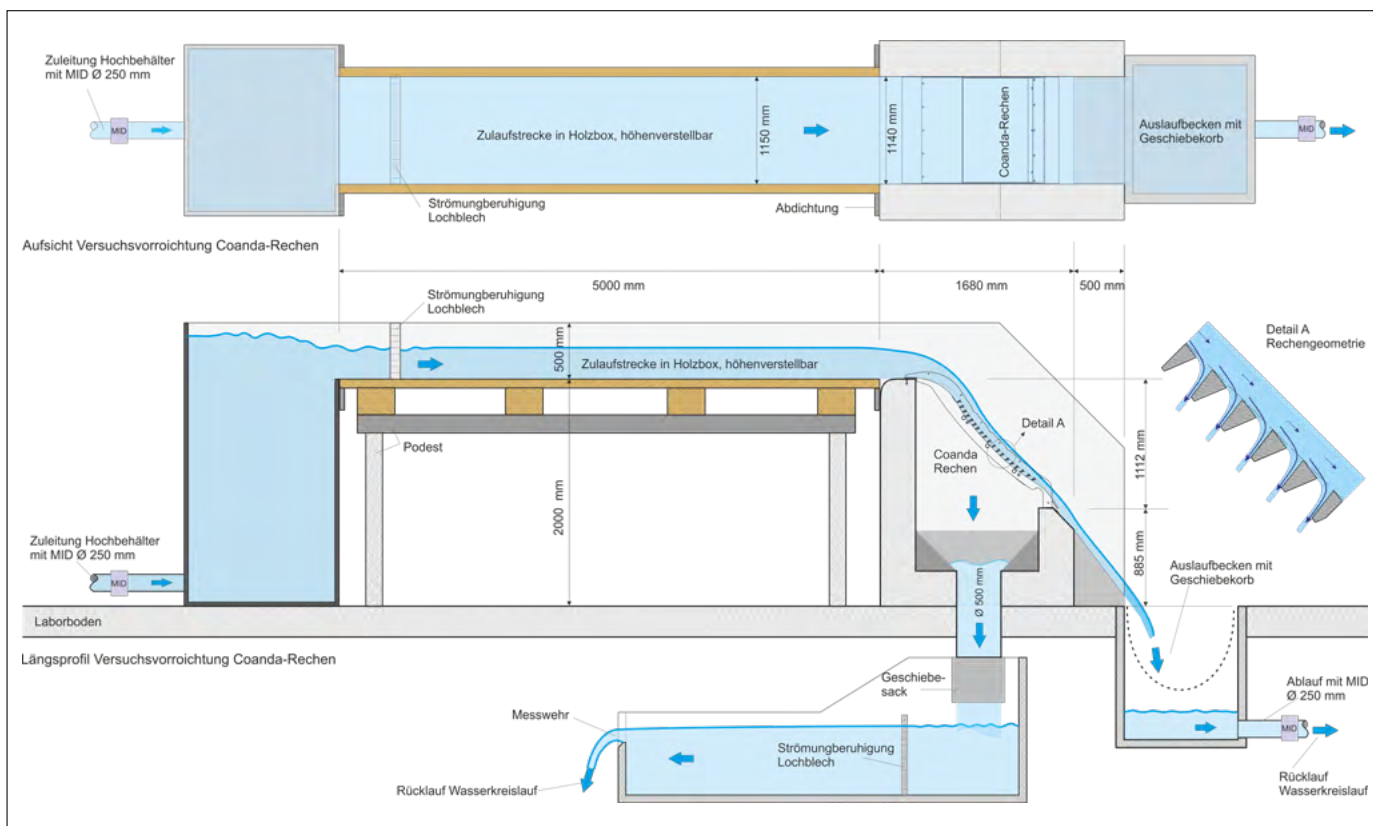


Bild 1: Versuchsvorrichtung.

der geringen Spaltabstände im (Sub-)Millimeterbereich wirkt er wie ein Filter für das Triebwasser und gilt ausserdem als fischfreundliche Variante zum Tirolerwehr. Wissenschaftliche Untersuchungen zu beiden Annahmen existierten aber bislang nicht.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Fachhochschule Graubünden (FHGR) in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich wurde in der Versuchshalle der VAW eine Versuchsvorrichtung im Massstab 1:1 erstellt, um die Fassungskapazität (in der Literatur wird auch häufig das Wort Schluckvermögen verwendet), das hydraulische Verhalten sowie die Geschiebeabweisung von Coanda-Rechen zu testen. Anschliessend wurden ethohydraulische Versuche mit Bachforellen (*Salmo trutta*) aus Wildfang durchgeführt, um die Eignung des Coanda-Rechens als Abstiegshilfe zu untersuchen.

2. Methodik und Vorgehensweise

2.1 Versuchsanlage

Die für diese Forschungsarbeit aufgebaute Versuchsanlage erstreckt sich über zwei Stockwerke. Im oberen Stock ist die Anlage insgesamt 8,5 m lang, 2,4 m hoch und 1,6 m breit. Das Wasser wird über ein Zuleitungsrohr ins Einlaufbecken gepumpt, anschliessend fliesst das Wasser über einen Überlauf in die 5 m lange, 0,85 m hohe



Bild 2: Versuchsstand, Rechenbreite auf 0,5 m verschmälert (Anblick vom Unterstrom).

und 1,115 m breite Zulaufstrecke. Sie führt das Wasser zum Testrahmen, in welcher der zu untersuchende Coanda-Rechen eingespannt wird. Die Rechenbreite beträgt

1,115 m, der Testrahmen ist 1,68 m lang (vgl. Bilder 1 und 2).

Das vom Rechen geschluckte Wasser wird ins untere Stockwerk abgeleitet. Dort

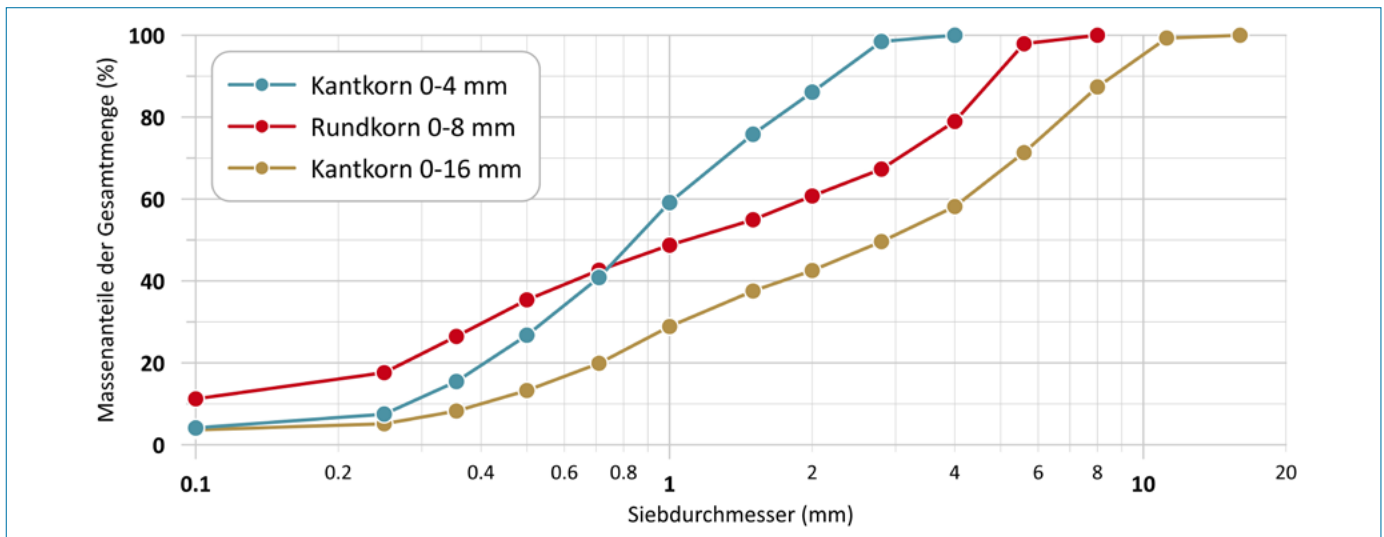


Bild 3: Gemittelte Kurven des Ausgangsmaterials.

durchströmt es zuerst einen Geschiebefang sack, welcher die Entnahme und damit die Untersuchung des Geschiebes ermöglicht, und gelangt schliesslich wieder zurück in den Wasserkreislauf. Das Wasser, welches den Rechen überströmt und somit als Überfallwasser anfällt, gelangt in eine Aussparung im Hallenboden (analog einem Kolk in einem Bach) mit Geschiebekorb, welcher sich ebenfalls im unteren Stockwerk befindet. Dort wird das Geschiebe abgesetzt und das Wasser wieder dem Kreislauf zugeführt (Bild 1).

Aufgrund von Herstellerangaben wurde die maximale spezifische Fassungskapazität von Coanda-Rechen mit weniger als 300l/(s·m) abgeschätzt. Mit den versuchs-technisch maximal möglichen Durchflüssen von 300l/s ergab sich für die Rechenbreite von 1,115m eine spezifische Fassungskapazität von 269l/(s·m).

Bei einigen Klarwasserversuchen sowie bei allen ethohydraulischen Untersuchungen wurde die Rechenbreite mittels eingesetzten Plexiglaswänden auf eine Breite von 0,5m verschmälert (Bild 2). Dadurch konnte eine maximale spezifische Durchflussrate von 600l/(s·m) erreicht werden.

In nachfolgender Tabelle 1 sind alle Rechen aufgelistet, welche im Forschungsprojekt verwendet wurden. Es handelt sich dabei um zehn verschiedene Rechen der Firma Wild Metal GmbH aus Ratschings (I) sowie einen Rechen der Firma Quellfrosch (ehem. Höhenergie) aus St. Gallen.

2.2 Klarwasserversuche

Veränderungen im Zulaufbereich können zu inhomogenen Geschwindigkeitsverteilungen in der Zuströmung führen und die Schluckfähigkeit des Coanda-Rechens beeinflussen. In Versuchen ohne Geschiebe wurde dies untersucht, indem eine Zulaufstrecke mit einem Absatz vor dem Wehrrücken sowie eine ebene Geschiebezulaufstrecke auf Höhe der Wehrkrone getestet wurden. Letzteres (Bild 1) simuliert bis zur Wehrkrone reichende Geschiebeauflandungen. Alle Versuche erfolgten mit einer idealen, geradlinigen, frontalen Anströmung des Coanda-Rechens.

An den zehn unterschiedlichen Rechen der Firma Wild Metal GmbH und dem Rechen von Quellfrosch wurde ohne Geschiebe in einem ersten Schritt die Schluckfähigkeit überprüft und dokumentiert. Da-

bei wurden die Pegelstände und Fließgeschwindigkeiten mit und ohne Einlaufschwelle am Wehr ermittelt.

Ebenso wurden Klarwasserversuche durchgeführt, indem am oberen und unteren Ende respektive an den seitlichen Rändern des Rechens Abklebungen vorgenommen wurden, welche eine Verstopfung simulierten (siehe Bild 4).

2.3 Geschiebeversuche

Es wurden insgesamt drei standardisierte Geschiebemischungen eingesetzt, welche bereits im Vorprojekt (Lifa et. al, 2016) erfolgreich zur Anwendung gekommen waren. Die Kornverteilung ist typisch für Schweizer Wildbäche. Im nachfolgenden Bild 3 sind die gemittelten Siebkurven des verwendeten Ausgangsmaterials dargestellt.

Die beiden gebräuchlichsten Rechen der Firma Wild Metal GmbH (Typ Sb18 0.6 und Sb18 1.0, Tabelle 1, Nr. 2 bzw. 3) wurden dabei der kompletten Serie unterzogen. Sie wurden bei sechs verschiedenen Durchflüssen (50l/s, 100l/s, 150l/s, 200l/s, 250l/s, 300l/s) mit allen drei Geschiebemischungen getestet. Die anderen Rechen wurden einem gekürzten Untersuchungsprogramm unterzogen.

Die Geschiebezugabe erfolgte direkt in die Zulaufstrecke. Das Geschiebe, welches den Rechen passierte, wurde im Geschiebefang sack gesammelt. Dieses Material wurde für die weitere Untersuchung in einem Trocknungsofen getrocknet und anschliessend einer Siebanalyse unterzogen.

2.4 Ethohydraulische Versuche

Da Coanda-Rechen hauptsächlich an alpinen Gewässern mit der Bachforelle als Leitfischart zur Anwendung kommen, wurden

	Nr.	Hersteller	Rechentyp/ Profiltyp	Spaltweite	Zustand
Standardrechen	1	Wild Metal GmbH	Sb18 0.4	0,4 mm	neu
	2	Wild Metal GmbH	Sb18 0.6	0,6 mm	neu
	3	Wild Metal GmbH	Sb18 1.0	1,0 mm	neu
	4	Wild Metal GmbH	Sb18 1.5	1,5 mm	neu
	5	Wild Metal GmbH	Sb18 2.0	2,0 mm	neu
	6	Wild Metal GmbH	Sb18 3.0	3,0 mm	neu
	7	Wild Metal GmbH	Sb18 0.6	0,6 mm	verschlissen
Spezialrechen	8	Wild Metal GmbH	Sb34 0.6	0,6 mm	neu
	9	Wild Metal GmbH	Sb34 1.0	1,0 mm	neu
	10	Wild Metal GmbH	Sb42 1.0	1,0 mm	neu
	11	Quellfrosch	Bec de Canard	1,05 mm	neu, unverzinkt

Tabelle 1: Im Projekt verwendete Coanda-Rechen.

die Versuche zum Fischabstieg mit wildlebenden Bachforellen aus dem Schaniela-bach (Kanton Graubünden) durchgeführt. Alle Fische wurden biometrisch vermasst und mittels PIT-Tag-Markierung individuell erkennbar gemacht.

Die Fische wurden aufgrund ihrer Länge in kleine (< 16 cm Körperlänge) und grosse Forellen (> 16 cm) unterteilt. Des Weiteren wurden zwei verschiedene spezifische Durchflüsse (100 l/(s·m) und 300 l/(s·m) sowie die zwei Standardrechen der Firma Wild Metal GmbH mit 0,6 mm und 1,0 mm Spaltweite verwendet (Tabelle 1, Nr. 2 und 3).

Pro Konfiguration wurden zwölf Replikationen mit je drei Forellen durchgeführt; jeder Fisch wurde für den Versuch zweimal verwendet. Bei der Durchführung der Versuche wurden die Fische ins Startabteil des Zulaufkanals gegeben. Diese schwammen meist mit positiver Rheotaxis, d. h. mit der Schwanzflosse voraus, über den Rechen in den simulierten Kolkbereich. Hinzu kamen sogenannte Kontrollfische, welche dieselbe Prozedur erlebten, allerdings nicht den Rechen passierten, sondern direkt in den Kolk gesetzt wurden. Dadurch konnten die effektiven Auswirkungen des Coanda-Rechens auf die Fische herauskristallisiert werden. Vor und nach den Versuchen wurden alle Fische jeweils beidseitig fotografiert, sodass allfällige Fischverletzungen, welche vom Rechen stammen könnten, aufgenommen wurden.

Die Bildauswertung der Fische vor und nach einem Versuch erfolgte mithilfe der Software ImageJ (aus dem Jahr 2019). Sie errechnete den prozentualen Anteil der Fläche mit Schuppenverlusten im Vergleich zur gesamten Oberfläche des Fisches.

3. Ergebnisse

3.1 Fassungskapazität bei Klarwasserverhältnissen

Gemäss unzuverlässigen Literaturangaben liegt das maximale Schluckvermögen des Coanda-Rechens bei 140 l/(s·m). Diese begrenzte Kapazität ist in der Praxis oftmals der wichtigste Grund, weshalb das Tirolerwehr dem Coanda-Rechen vorgezogen wird. Mit den durchgeführten Klarwasserversuchen konnten diese Angaben allerdings nicht bestätigt werden.

Die untersuchten Standardrechen der Firma Wild Metal GmbH mit 0,6 mm respektive 1,0 mm Spaltweite weisen eine Fassungskapazität von über 500 l/(s·m) auf. Auch der Rechen der Schweizer Firma Quelfrosch mit einer Spaltweite von 1,05 mm weist bereits bei nicht optimalem Einbauwinkel eine Fassungskapazität von über 300 l/(s·m) auf.

Auf Basis der Forschungsergebnisse liegt das Schluckvermögen oftmals etwa beim 3- bis 4-fachen Wert des angegebenen Literaturwertes, wenn ein Überfall eines gewissen Teils des Zuflusses akzeptiert wird, der nicht gefasst wird. Dieser Überfall kann allfällig in die ökologisch vorgesehene Dotierwassermenge integriert und dadurch die Rechenbreite reduziert werden.

Mit Teilabklebung des Rechens Sb18 1,0 mm (Tabelle 1, Nr. 3) wurde die Verstopfung durch Geschiebe, Laub, Eis oder Moos simuliert. Die Abklebung der Rechenoberflächen erfolgte, ausgehend von der Wehrkrone, in Schritten von 12,5 Prozent (Bild 4). Bei Abklebungen bis zu 25 Prozent konnte bei einem spezifischen Anlagendurchfluss von 269 l/(s·m) keine grossflächigere Benetzung am Rechen als ohne Abklebungen festgestellt werden.

Man kann daher für die Praxis davon ausgehen, dass in diesem Fall die Fassungskapazität ohne Überfall nicht massgeblich beeinträchtigt ist. Bei einer Abklebung von 37,5 Prozent der oberen Rechenoberfläche verliert der Rechen ca. 3 Prozent seiner Schluckfähigkeit, bei 50 Prozent ergibt sich eine Reduktion von 10 Prozent. Offensichtlich führt die Beschleunigung zur Erhöhung der spezifischen Fassungskapazität des Rechens bezogen auf die Rechenfläche (vgl. Bild 4).

Die Ergebnisse zur simulierten Verstopfung des Rechens sind aber mit Vorsicht zu geniessen. In der Realität beeinflusst auch die Form der Partikel, welche zur Verlegung des Rechens führen, das Strömungsverhalten. Eine knapp dimensionierte Anlage hat zwar tiefere Errichtungskosten zur Folge, bei Lastfällen mit einem erhöhten Abfluss (z. B. Schneeschmelze oder Starkregenereignisse) fällt allerdings auch deutlich mehr Überwasser an, sodass die Energie nicht vollständig genutzt werden kann. Entsprechend ist eine gesamtheitliche und individuelle Betrachtung von technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Faktoren unabdingbar.

3.2 Abschereffekt statt Coanda-Effekt

Insgesamt wurden elf Rechen mit unterschiedlichen Spaltweiten, Stabgeometrien, Durchflüssen und Zuständen untersucht. Alle Rechen haben eine konkave oder gerade Oberfläche und beginnen unmittelbar an der Unterseite der Wehrkrone. Aufgrund dieser Anordnung und Form der Rechenoberfläche kann kein Coanda-Effekt auftreten. Um den Coanda-Effekt auszunutzen, müsste der Rechen bereits in der ausgerundeten Krone eines Standardüber-

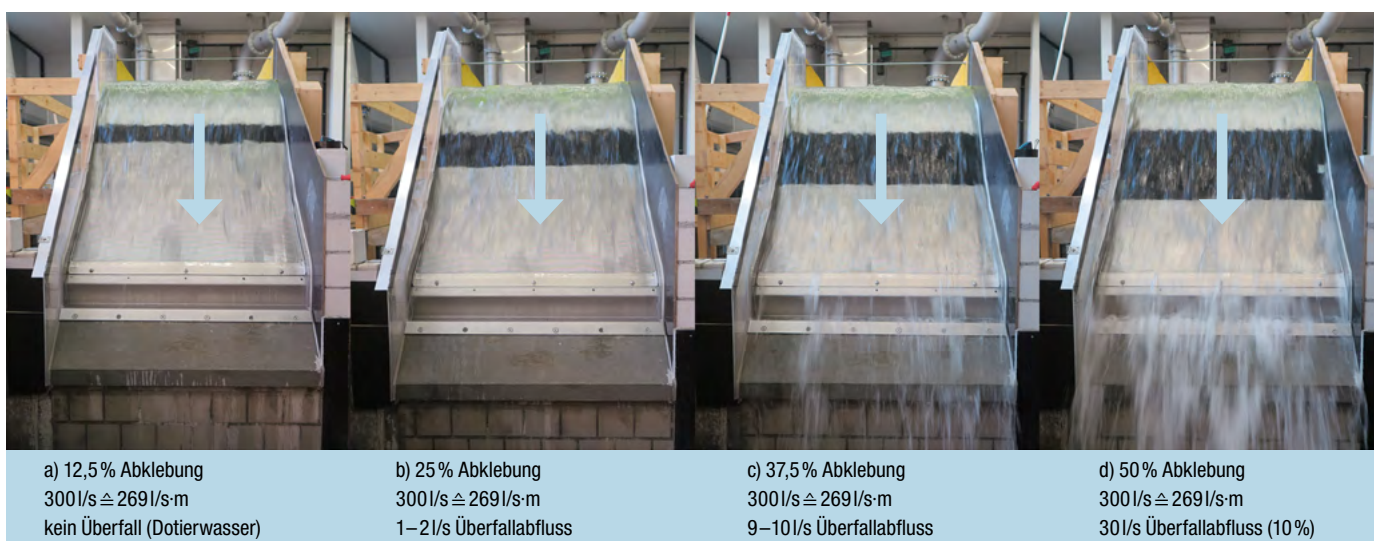


Bild 4: Ermittlung der Fassungskapazität bei schrittweiser Verlängerung der Beschleunigungsstrecke am Standardrechen der Firma Wild Metal GmbH mit 1,0 mm Spaltweite.

falls beginnen und eine leicht konvexe oder gerade Oberfläche haben, was bei den untersuchten und marktüblichen Rechen nicht der Fall ist. In diesem Sinne weisen die Coanda-Rechen keinen eigentlichen Coanda-Effekt, sondern lediglich einen Wasser-Abschereffekt auf, weil die Rechenstäbe schräg zur Strömung angeordnet sind. Diese Anordnung wirkt wie eine ausserordentliche und gleichmässige Aufräumung der Rechenoberfläche. Dabei wird die turbulente Grenzschicht an der Rechenoberfläche quasi abgeschert und wie ein ebener Wasserstrahl umgelenkt. Entsprechend beeinflusst die Anordnung der Rechenstäbe und ihre Geometrie die Fassungskapazität des Rechens.

3.3 Mit oder ohne Sandfang?

Feststoffe, die ins Triebwassersystem gelangen, können dort Abrasionsschäden an hydraulischen Anlagenteilen verursachen. Will man bei Mittel- und Hochdruckkraftwerken auf die Anordnung eines Sandfangs verzichten, so empfiehlt es sich aufgrund unserer Untersuchungen, eine maximale Spaltweite von 0,4mm zu wählen. Diese neigen jedoch stärker zu Verstopfungen als die Rechen mit 0,6mm Spaltweite und haben sich daher in den Versuchen als nicht ideal erwiesen. Schon nach drei Ver-

suchen mit Geschiebeeintrag zur Erfassung des Abscheidungsgrades wurde ersichtlich, dass der Rechen an vielen Stellen verstopft war und sich nicht einfach mit einem Besen oder dergleichen reinigen liess. Da das Grenzkorn für Sandfänge in der Schweiz bei Mittel- und Hochdruckkraftwerken (Fallhöhe >50m) je nach Fallhöhe üblicherweise 0,2 bis 0,3mm beträgt, ist bei abrasivem Gestein und grosser Fallhöhe auch für eine Spaltweite von 0,4mm ein Sandfang oder ein spülbares Absetzbecken nach dem Coanda-Rechen zu empfehlen. Ob ein Sandfang erforderlich ist, muss durch die Ermittlung der kritischen Korngrösse festgelegt werden. Coanda-Rechen mit Spaltweiten von 0,2mm verstopfen erfahrungsgemäss sehr rasch durch Feinsand und sind für geschiebeführende Gewässer daher nicht zu empfehlen. Ein weiterer Einflussfaktor sind Baumblätter und gemäss Herstellerangaben spezifisch die Stiele von Buchenblättern, welche einen Coanda-Rechen verstopfen können. Gemäss Aussagen von Betreibern sind davon oftmals Rechen mit einer Spaltweite von 1 mm und mehr betroffen. Deshalb werden von den Herstellern meistens Rechen mit einer Spaltweite von 0,6mm empfohlen, wenn sich Buchen im Einzugsgebiet des Gewässers befinden.

Bei kritischen Verhältnissen in Bezug auf Hydroabrasiv-Verschleiss (z. B. sehr grosse Fallhöhe und/oder hartes Gestein) kann man also auch bei Verwendung eines Coanda-Rechens nicht auf einen Sandfang verzichten. Der Vorteil eines Coanda-Rechens ist dann im Wesentlichen die Verringerung des Sedimenteintrags (und damit der Anzahl an Spülungen bzw. der Spülwasserverluste) gegenüber einem klassischen Fallrechen oder einer üblichen Seitenentnahme. Bei Kraftwerken mit geringerer Fallhöhe und weichem Gestein kann ein Rechen mit 0,4mm Spaltweite jedoch eine Variante sein, um auf den Sandfang zu verzichten.

3.4 Abweisungsgrad von Feststoffen

Bei geringen Zuflüssen bis zu 260l/s·m wird der Abweisungsgrad von der Konzentration des Geschiebes geringfügig beeinflusst. Die allgemein verbreitete Aussage der Hersteller, dass 90 Prozent der Partikel mit äquivalenten Durchmessern der halben Spaltweite abgewiesen werden, konnte durch unser Forschungsprojekt nicht bestätigt werden. Für die am häufigsten verwendeten Rechen der Firma Wild Metal GmbH betrug der Abweisungsgrad von Partikeln mit Durchmessern der halben Spaltweite und kantigem Korn 37 bis 39 Prozent.

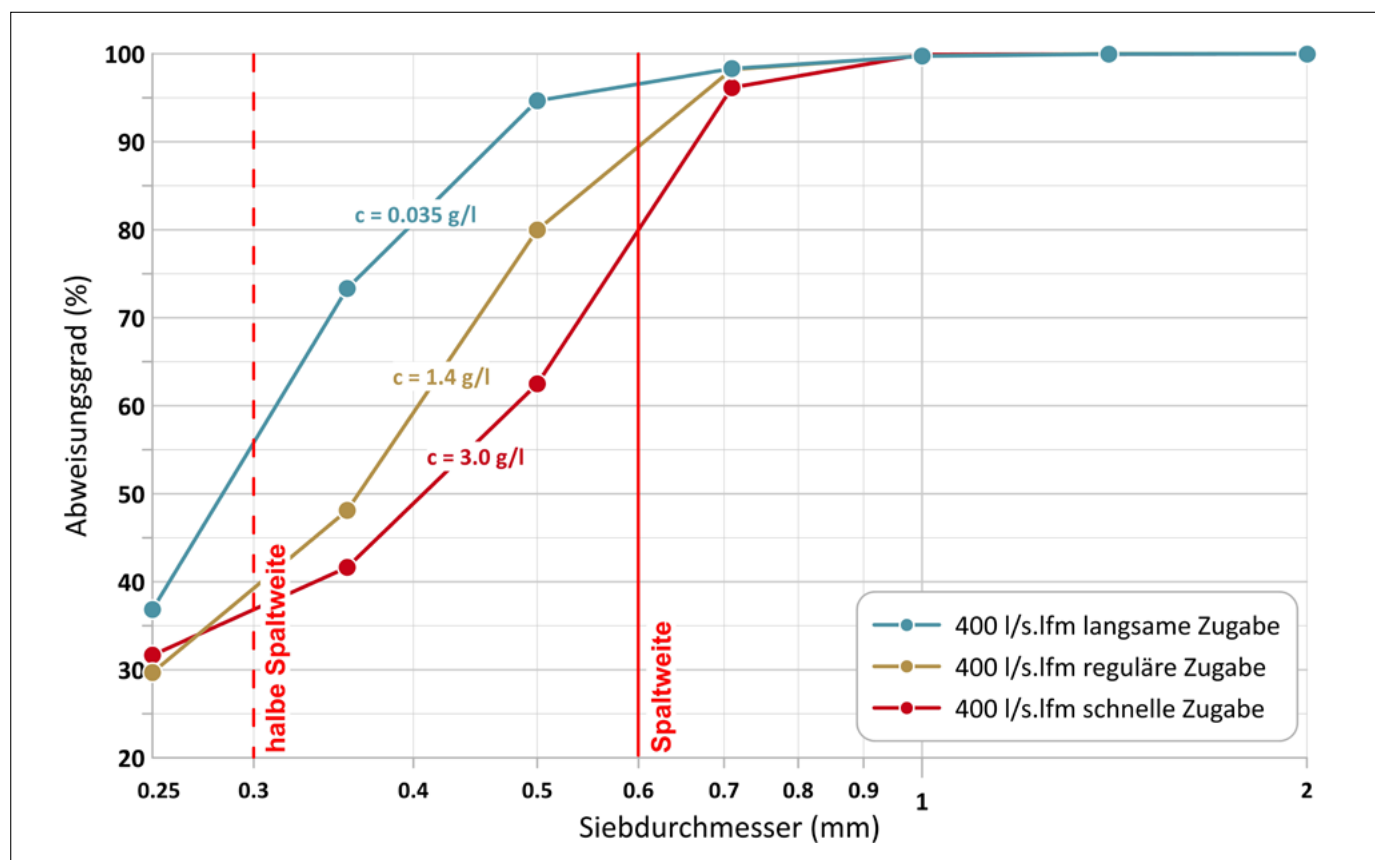


Bild 5: Vergleich der Abweisungsgrade für verschiedene Geschiebekonzentrationen bei einer spezifischen Durchflussrate von 400l/s·m in Abhängigkeit der Partikelgrösse für Kantkorn beim Standardrechen der Firma Wild Metal GmbH mit 0,6mm Spaltweite.

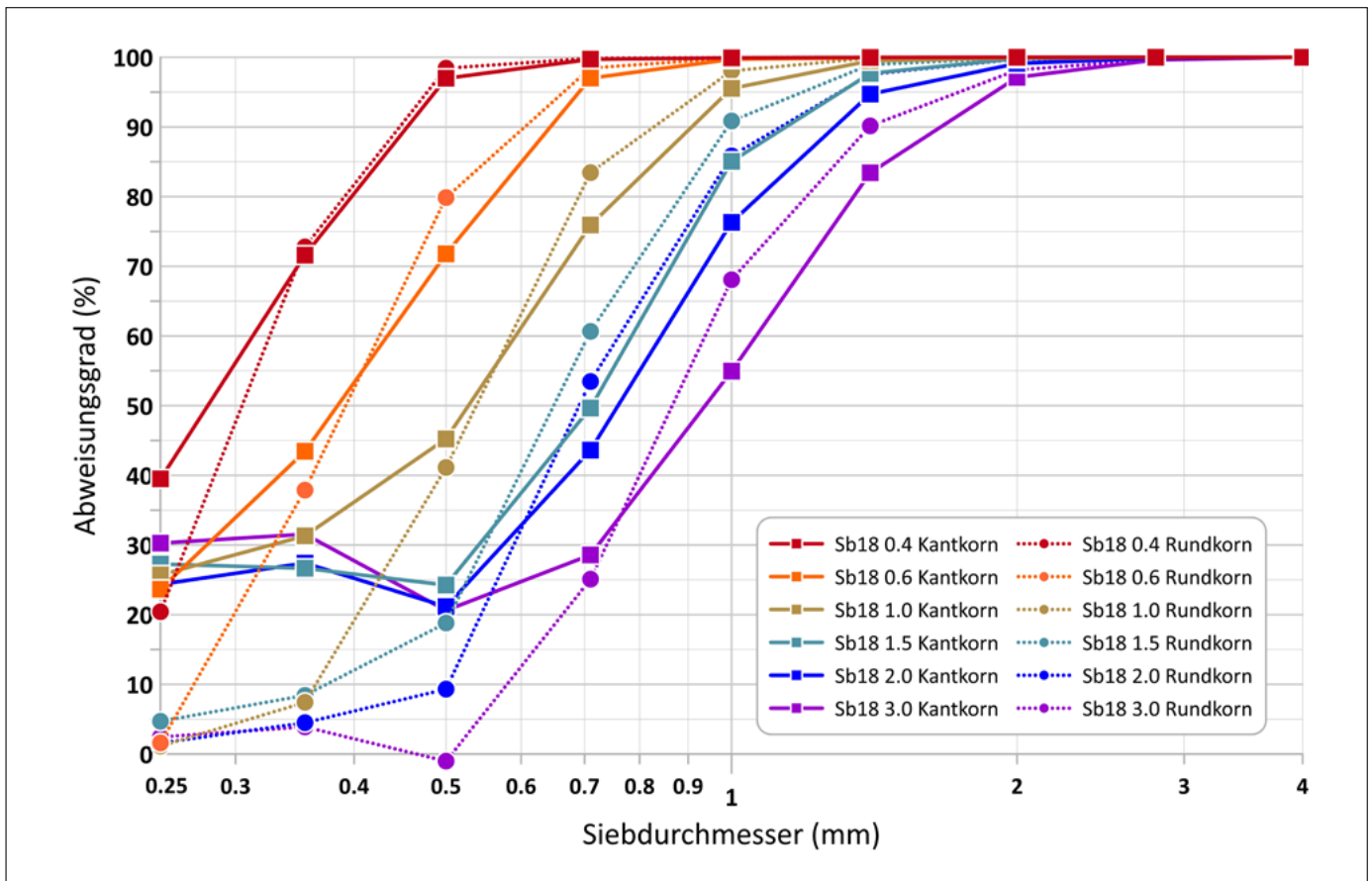


Bild 6: Abweisungscharakteristik aller Standardrechen der Wild Metal GmbH bei spezifischen Durchflüssen von 89,7 l/s-m für Kant- und Rundkorn.

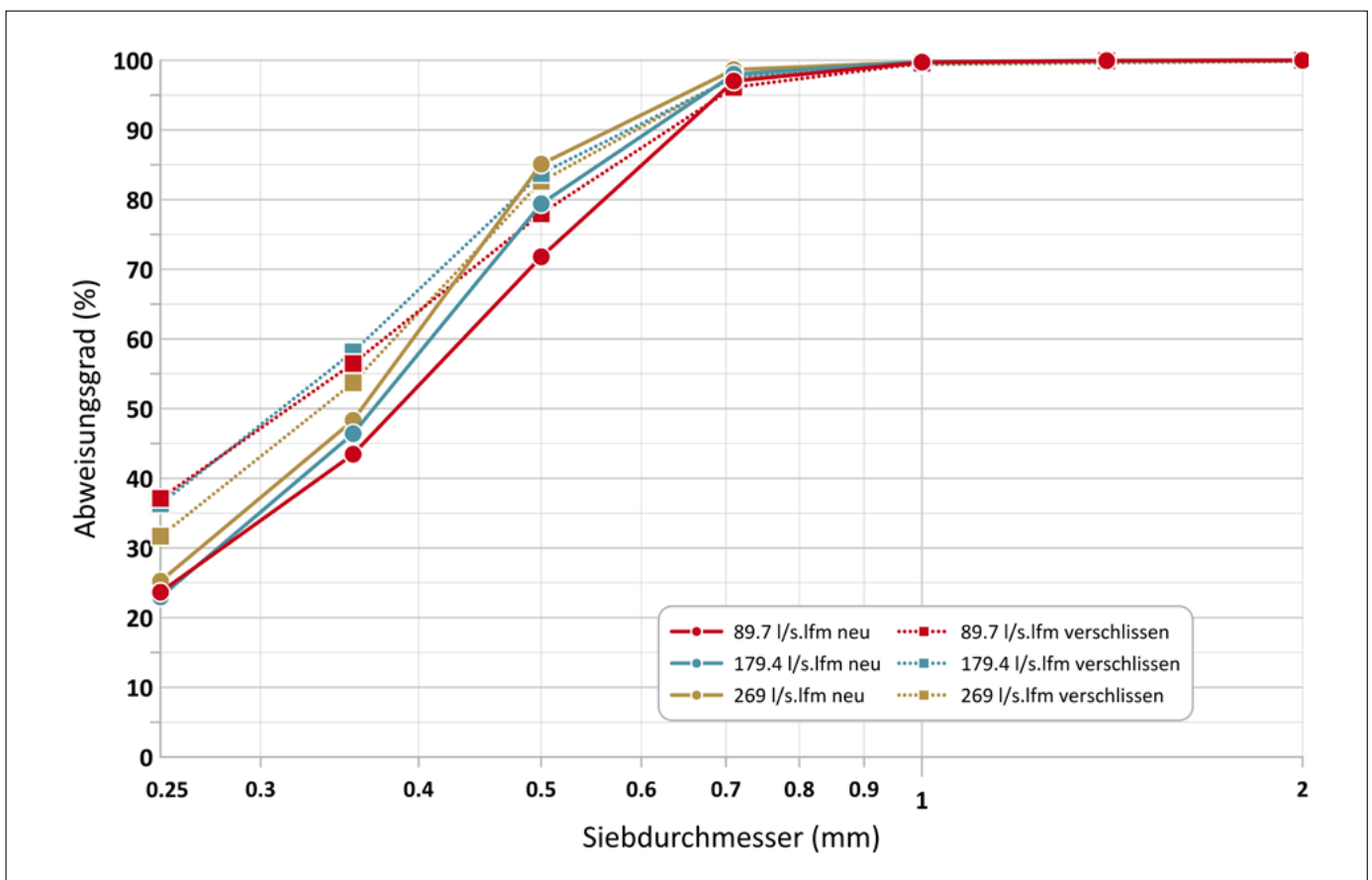


Bild 7: Vergleich der Abweisungsgrade am neuen und am verschlissenen Rechen mit 0,6 mm Spaltweite für Kantkorn bei verschiedenen Durchflüssen.

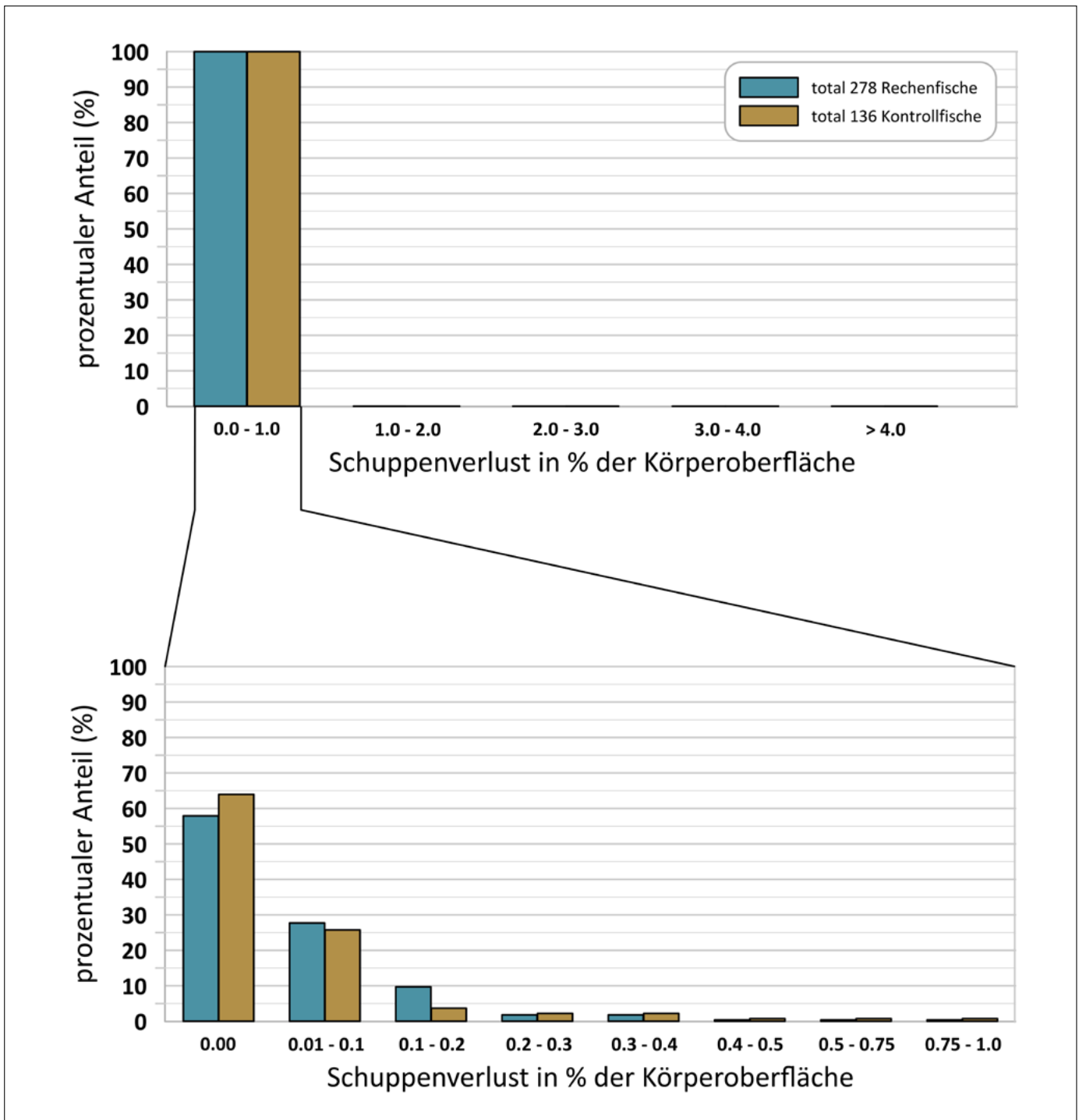


Bild 8: Gesamtheit der Schuppenverluste aller Fische bei zwei spezifischen Durchflussraten von 100 und 300l/(s·m) an den zwei Rechentypen Nr. 2 und 3 nach Tabelle 1.

Bei Hochwasser muss man unterscheiden, ob der Abweisungsgrad bei höheren Durchflüssen oder die Abweisung von höheren Geschiebekonzentrationen betrachtet wird. Höhere Durchflüsse verbessern den Abweisungsgrad grundsätzlich, höhere Geschiebekonzentrationen hingegen verschlechtern ihn. Dieser Umstand tritt allerdings erst bei höheren Durchflüssen auf. Bei geringen Durchflüssen ist der Abweisungsgrad kaum von der Geschiebekonzentration abhängig. In Bild 5 ist ersichtlich, dass bei höheren spezifischen Durchflüssen von 400l/s·m die Geschiebeabwei-

sung bei geringen Geschiebekonzentrationen effizienter ist als bei hohen Geschiebekonzentrationen. Partikel, deren äquivalente Durchmesser der Stabweite entsprechen, werden für Durchflüsse von 400l/(s·m) nur bei geringen Geschiebekonzentrationen zu mehr als 95 Prozent abgewiesen; bei mittleren und grösseren Geschiebekonzentrationen hingegen betragen die Abweisungsgrade lediglich rund 90 und 80 Prozent.

Im Bild 6 sind die Abweisungscharakteristika von Kant- und Rundkorn für die unterschiedlichen Standardrechen der Firma Wild Metal GmbH bei moderaten spezifi-

schen Durchflüssen von 89l/(s·m) dargestellt. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gesteinskörnungen in der Abweisungscharakteristik sind nicht ausgeprägt. Beim Rundkorn (gestrichelte Kurven) werden die feinsten Fraktionen schlechter abgewiesen als beim Kantkorn (ausgezogene Kurven). Hingegen waren für die Rechen mit Spaltweite 1,5 bis 3,0mm die Abweisungsgrade für die Partikeldurchmesser jeweils halber Stabweite höher beim Rundkorn als beim Kantkorn. Bei den Rechen mit Spaltweiten $\leq 1,0$ mm verhält es sich gegensätzlich.

Die Versuche des Standardrechens mit 0,6mm Spaltweite wurden mit Untersuchungen eines baugleichen, verschlissenen Rechens ergänzt (Tabelle 1, Nr. 2 vs. Nr. 7). Die Abweisungscharakteristika der beiden Rechen zeigen aber für verschiedene spezifische Durchflüsse keine nennenswerten Unterschiede, wenngleich der verschlissene Rechen tendenziell höhere Abweisungsgrade für kleine Partikelgrößen aufweist (vgl. Bild 7). Die Abweisungscharakteristik scheint sich also im laufenden Betrieb mit zunehmendem Verschleiss eines Coanda-Rechens nicht zu verschlechtern.

3.5 Fischgängigkeit

Die ethohydraulischen Versuche bei den getesteten Rechen mit 0,6mm und 1,0mm Spaltweite lassen den Schluss zu, dass keine relevanten Verletzungen beim Fischabstieg zu erwarten sind. Die Bachforellen erlitten Schuppenverluste im Bereich von maximal 1 Prozent ihrer Körperoberfläche, in den meisten Fällen jedoch sogar weit unterhalb dieses Wertes (Bild 8). Diese Ergebnisse treffen sowohl für einen geringeren spezifischen Durchfluss von 100 l/s-m, als auch für einen hohen spezifischen Durchfluss von 300 l/s-m zu. Die Mehrzahl der Fische wies keine Schuppenverluste auf. Es ist kein signifikanter Unterschied

zwischen den über den Rechen abgestiegenen Fischen und den Fischen der Kontrollgruppe auszumachen. Da die Verletzungen in erster Linie von der Stabform und dem Anstellwinkel abhängen, ist davon auszugehen, dass ähnlich konstruierte oder baugleiche Coanda-Rechen anderer Hersteller eine gleichwertige Fischverträglichkeit aufweisen.

Nicht untersucht wurde allerdings der Fischabstieg beim Coanda-Rechen, wenn über dem Rechen ein Schutzrechen angebracht ist. Je nach Bauart können diese eine zusätzliche Verletzungsgefahr darstellen.

4. Interpretation und Ausblick

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Fassungskapazität der Coanda-Rechen wesentlich höher ist als bisher angenommen. In einer Weiterführung der Forschungsarbeit könnten Druckmessungen am Coanda-Rechen dazu dienen, die genauen Funktionsmechanismen zu eruieren. Der Coanda-Rechen greift grundsätzlich auf die Abscherung von Wasser zurück, nicht auf den Coanda-Effekt.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der Abweisungsgrad nicht so gross ist, wie bis anhin suggeriert wurde. Allerdings konnte mit dem Abkleben der

Rechenfläche vom oberen Rand beginnend beobachtet werden, dass der Abweisungsgrad mit höherer Fließgeschwindigkeit erhöht wird. Somit liegt in der Verlängerung der Beschleunigungsplatte Optimierungspotenzial im Hinblick auf den Abweisungsgrad.

Am wichtigsten war die Erkenntnis, dass alle Akteure im Markt bisher auf dieselben wissenschaftlichen Ressourcen zurückgreifen, deren Wurzeln in der Entwicklungsphase des Coanda-Rechens liegen. Planer, Betreiber und Hersteller stützen sich bei der Dimensionierung der Anlagen mit Coanda-Rechen auf Fakten, die offensichtlich aus einer Quelle stammen (Nøvik et al., 2014). Über drei Jahrzehnte wurden Dimensionierungsgrundlagen kopiert, ohne die Quelle dieser Grundlagen infrage zu stellen. Das Projektteam konnte neue Daten zum Schluckvermögen, Abweisungsgrad von Feststoffen sowie zur Fischverträglichkeit liefern.

Es bleibt zu hoffen, dass die neuen Erkenntnisse auch bald ihren Weg in die Praxis finden werden.

5. Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Energie (BFE) für die Finanzierung dieses Projekts (Projektnummer SI/501288-01).

Quellen:

1 Nøvik H., Lia L., Opaker, H. (2014). Performance of Coanda-Effect Screens in a Cold Climate. Artikel in Journal of Cold Regions Engineering.
2 Lifa I. et al. (2016). Optimierung der Coanda-Rechen für Schweizer Gewässer (Phase 1). Bericht Nr.

SI/501288-01, <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36926>

3 Lifa I. et al. (2021). Optimierung von Coanda-Rechen für Wasserfassung an alpinen Gewässern (Phase 2). Bericht Nr. SI/501288-01, <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36926>

Autor:

Prof. Dr. Imad Lifa, Fachhochschule Graubünden, Pulvermühlestrasse 57, 7000 Chur, imad.lifa@fhgr.ch

Cours de formation continue CIPC 5.7

Cours de formation continue CIPC 5^{ème} série:
Développement prospectif des projets d'aménagement des eaux

26/27 octobre 2022,
Hôtel-Restaurant
Port-Conty à
St-Aubin-Sauges

www.swv.ch/fr/detail/cipc-57



KOHS-Weiterbildungskurs Wasserbau 5.8

KOHS-Weiterbildungskurse 5. Serie:
Vorausschauende Entwicklung von Wasserbauprojekten

15./16. November 2022,
Focus Hotel, Sursee

www.swv.ch/detail/kohs-58