

Erläuterungen zu den Merkmalen und Eigenschaften von Feinrechen bei Stababständen um 10 mm

1 Allgemeines

Es ist derzeit in der Fachwelt Konsens, dass ein umfassender und nicht selektiver Fischschutz nur mit feinen mechanisch wirkenden Schutzanlagen (feinrechen, Screens) bewirkt werden kann (Synthesepapier des Forums Fischschutz und Fischabstieg vom Herbst 2014¹). Deshalb wird derzeit der Einsatzbereich der Feinrechen im Bereich sehr kleiner Stababstände erweitert. Die Abstände beginnen bei ca. 5 mm für den Fischschutz an Entnahmen und Pumpwerken. Im Zulauf zu Wasserkraftanlagen ist Zielsetzung ein Schutzgrad, der mit Stababständen von 8 bis 10 mm erreichbar ist, da hiermit kleinere Salmonidensmolts noch gut geschützt werden können.

Nachfolgend wird erläutert, welche Konsequenzen eine Verringerung des Stababstands bei modernen Feinrechen auf Abstände um und unter 10 mm hat. Die Aussagen beziehen sich auf den Fischschonrechen, gelten jedoch sinngemäß auch für andere schlanke Feinrechenprofile mit verdicktem Kopf.

2 Diskussion der vermeintlichen Nachteile

2.1 Vorbemerkungen

In der Diskussion um sehr feine Rechen werden immer wieder Argumente angeführt und Bedenken geäußert, die aus den Beobachtungen an Rechteckstabrechen mit herkömmlicher Reinigungstechnik abgeleitet wurden. Wie nachfolgend erläutert wird, treffen diese Argumente entweder nicht zu oder die angesprochenen Nachteile können vermieden bzw. ausgeglichen werden.

2.2 Hydraulischer Widerstand

Der Widerstand der modernen Rechenprofile wurde vor einigen Jahren in Laborversuchen in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau in Kassel für die Stababstände von 12, 15 und 19 mm untersucht. Diese Daten lassen bisher eine durchgehende Darstellung der Verlustbeiwerte zwischen 10 und 20 mm zu. Dieser Beiwert gibt an, das Wievielfache der Anströmgeschwindigkeitshöhe ($v^2/2g$) am Rechen als Höhe verloren geht. Die Daten gelten für einen sauberen, gerade angeström-

¹ Forum Fischschutz und Fischabstieg: http://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Synthesepapier_0.pdf

ten Rechen; sie enthalten jedoch den Einfluss der Querverbindungen. Die Werte liegen im gesamten betrachteten Bereich z.B. für den Fischeschonrechen unter 0,5. Aktuelle Messwerte zur modernen Profilen, z.B. aus Stuttgart (Kirschner et. al., 2015²) zeigen, dass die Verlustbeiwerte auch bei anderen Profilen davon nicht sehr abweichen.

Welche Verlusthöhen aufgrund dieser Profile bei neuen Anlagen zu erwarten sind, zeigt folgendes Beispiel:

Bei der derzeit genehmigungsfähigen Anströmgeschwindigkeit von 0,50 m/s liegt die Anströmgeschwindigkeitshöhe ($v^2/2g$) bei 12,7 mm. Das heißt, dass bei einem Stababstand von 10 mm mit einer Verlusthöhe von ca. 7 mm zu rechnen ist. Diese Zahlen zeigen, dass der absolute Höhenverlust infolge der Rechenstäbe sich in einem Bereich bewegt, wo die Auswirkungen auf die Fallhöhe der Turbine praktisch noch nicht spürbar sind. Diese Verlusthöhe ist in der Praxis meist nur mit Mühe messbar.

Dass das Verlust-Argument tatsächlich nur vorgeschoben ist, zeigt folgender Vergleich: Ein bekannter Rechen-Typ mit einem runden Stabkopf (Kunststoff-Profil $d = 16$ mm, aufgeschrumpft auf Rechteckstab) ist in Hessen vielfach mit einem lichten Abstand von 15 mm im Einsatz. Der Verbauungsgrad beträgt damit $16/(15 + 16) = 0,516$. Der Verlustbeiwert beträgt damit 1,5 und die Verlusthöhe 19,1 mm. Das heißt, dass ein gängiges Rechenprofil bei Stababständen, die kleine Fische nicht schützen, ohne Bedenken eingesetzt wird, während einem wirklich fischschützenden Profil, das nur ein gutes Drittel an Verlusthöhe aufweist, zu hohe Verluste zugeschrieben werden.

Das Fazit dieser Betrachtungen ist, dass bei hydraulisch günstigen und nicht zu dicken Rechenprofilen die Verluste auch bei kleinsten Stababständen völlig unproblematisch sind, solange der Rechen sauber gehalten wird.

2.3 Reinigungseigenschaften/Verlegung

Die Rechenreinigung wird bestimmt durch die größten Partikel, die sich zwischen den Rechenstäben an den Quertraversen verhaken können. Diese müssen von der Rechenreinigung abgerissen oder abgeschert werden. Bei feiner werdendem Rechen nimmt die Dicke der Partikel, die zwischen die Stäbe geraten können, ebenfalls ab. Damit sind die abzuscherenden Querschnitte deutlich kleiner. Auch die fädigen Materialien, wie Algenwatten, Hahnenfußfäden und Elodea-Triebe, bleiben bei diesen Stababständen praktisch komplett auf der Oberfläche. Die Reinigungseigenschaften werden demnach umso besser sein, je kleiner die Stababstände sind. Die Reinigung wird bei kleiner werdenden Stababständen nicht aufwendiger – im Gegenteil!

Dieser Oberflächenbelag lässt sich mit einer glatten Leiste in Längsrichtung der Stäbe einfach abstreifen. Durch den sich bildenden Wulst werden auch dünne Beläge mitgenommen. Fäden, die zwischen den Rechenstäben durchhängen, werden beim Abstreifen wieder herausgezogen. Voraussetzung ist, dass die Abstreifleiste elastisch aufliegt und der Kontur der Rechenoberfläche folgt.

² Kirschner, O.; Ruprecht, A.; Wang, H.; Kretz, E: Entwicklung eines verlustarmen Stabprofils für Rechen mit kleiner lichter Weite. Wasserwirtschaft H. 10, 105. Jahrgang, 2015, s.54-57

2.4 Empfindlichkeit gegenüber grobem Rechengut/Grobrechen

Zunächst ist dazu festzustellen, dass grobes Rechengut wegen der heute geringeren Anströmgeschwindigkeit nicht mehr mit dem gleichen Impuls auf den Rechen auftrifft, wie das bei vielen Bestandsanlagen noch der Fall sein kann. Deswegen sind mehrere Anlagen mit Feinrechenprofilen des Typs FSR ohne Grobrechen in Betrieb.

Gleichwohl ist es bei modernen Anlagen mit filigranen Bauteilen für den Fischabstieg generell empfehlenswert, den Umgang mit grobem Rechengut von der Behandlung von feinem Rechengut zu trennen. Grobes Rechengut kann genutzt (Treibholz) oder sollte entsorgt werden (grober Zivilisationsmüll). Das Feinrechengut wird dagegen weitergeschwemmt. Deshalb schützt ein Grobrechen nicht nur den Feinrechen sondern auch alle sonstigen Betriebs- und Fischschutzeinrichtungen.

An vielen Standorten kann die Funktion des Grobrechens auch von einem Schwimmbalken übernommen werden. Es gibt diverse Beispiele, dass mit Schwimmbalken praktisch alles Treibholz von der Wasserkraftanlage ferngehalten werden kann. Dies hängt von den örtlichen Strömungsbedingungen und dem verfügbaren Abfluss für das Weiterschwemmen des Holzes ab.

Der Grobrechen und seine Reinigung können auf die speziellen Verhältnisse zugeschnitten sein. Optimal sind runde Rechenstäbe (Rohre) ohne Quertraversen, also nur mit Abstützung nach unterstrom, bei denen das Grobrechengut mit einem an den Stababstand angepassten Greifer nach oben ausgekämmt werden kann. Dieser Greifer kann handgesteuert sein, denn bei den Grobrechenabständen von ca. 150 - 200 mm ist der Anfall an Rechengut i. d. Regel sehr gering. Ausreichend wäre z.B. ein auf Schienen verfahrbarer Hydraulik-Greifarm mit einer manuell betriebenen Steuerung. Auch größere Mengen an Wasserpflanzen, z.B. Elodea, können mit angepasstem Greifer nach oben herausgehoben werden.

2.5 Zweite Rechenreinigung

Es wird oft argumentiert, dass mit dem zusätzlichen Grobrechen eine zweite Rechenreinigung nötig würde. Im Vergleich zu gängigen Praxis ist dies jedoch nur ein vermeintlicher Nachteil, denn an den meisten Anlagen mit Rechen unter 30 mm und ohne Schwimmbalken steht auch jetzt schon in der Nähe des Rechens oder auf dem Gelände permanent ein Hydraulik-Bagger zur Entnahme von Treibholz. Bilder dazu sind im Internet leicht zu finden.

Dieser Hydraulik-Bagger wird nach obigem Konzept am Grobrechen eingesetzt und kann dort durch Anpassung an die spezifischen Bedingungen eine wesentlich größere Effizienz erreichen.

Fazit ist, dass bei diesem Konzept für das Grobrechengut ein Container pro Jahr ausreichen dürfte, und ein guter Schutz der Anlage vor grobem Treibzeug und Eisdruck gegeben ist.

2.6 Rechengutmenge und Entsorgungskosten

Die Verringerung der Stababstände wird dazu führen, dass der Anfall an Rechengut gegenüber 20-mm-Rechen weiter zunimmt. Auch relativ kleine flächige oder fädige Partikel, wie Laub, Gras etc. werden von diesen Feinrechen abgehalten. Deshalb muss

einerseits eine zuverlässig arbeitende und betrieblich sichere Reinigungseinrichtung vorhanden sein und andererseits muss das Rechengut weitergeschwemmt werden. Eine Entnahme und Entsorgung ist bei solchen Rechen nicht mehr wirtschaftlich machbar. Allerdings trifft die letztgenannte Umstellung der Entsorgung auf Weiterschwemmen auch schon auf Rechen mit Stababständen um 20 mm zu, so dass bei der Reduzierung des Stababstandes unter 20 mm keine prinzipielle Verschlechterung eintritt.

Wenn nur noch das Grobrechengut entnommen und das Treibholz darin verwertet wird, dann bleibt für die Entsorgung nur noch eine geringe Menge übrig, so dass die Entsorgungskosten auf jeden Fall gegenüber der kompletten Entnahme bei 20-mm-Rechen erheblich geringer sein werden.

2.7 Stabilität des Rechens

Prinzipiell habe Reinrechen wegen der dünnen Stäbe nur eine begrenzte Belastbarkeit. Dass die Rechenstäbe alleine die Last durch einen hohen Differenzdruck abtragen, ist damit nicht möglich. Deshalb muss außer bei sehr kleinen Anlagen die statische Stabilität durch eine Unterstützung erreicht werden.

Feinrechen können ohne Zweifel so belegt sein, dass bei Ausfall der Reinigung die volle Auflast (normales Oberwasser, kein Unterwasser) auftreten kann. Es ist nicht sinnvoll und auch nicht nötig, den Rechen nebst Unterkonstruktion für die volle Wasserauflast zu bemessen, denn die Abschaltungen von Turbinenanlagen durch Verschließen des Leitapparates können recht schnell vonstatten gehen. Das heißt, dass hinsichtlich Stabilität des Rechens folgende Strategie empfehlenswert ist:

- Bemessung auf eine bestimmte Belastung: Eine sinnvolle Auslegung der Unterstützung wäre z.B. die Bemessung auf einen Meter Wasserspiegeldifferenz.
- Wahl einer zuverlässig arbeitenden und häufig einsetzbaren Rechenreinigung mit Notlaufeigenschaften
- Redundante Überwachung der Wasserspiegeldifferenz am Rechen. Eine Überschreitung einer WSP-Differenz von 20 cm kann z.B. schon eine Notabschaltung auslösen, denn diese ist bei einem Feinstrechen mit 10 mm absolut unnormal.
- Schnelle Notabschaltung der Turbine

2.8 Kostenaspekt

Die Kosten des Rechens werden durch die Anzahl der Stäbe bestimmt. Wenn mit 8-mm Stäben ein 20-mm-Rechen gebaut wird, benötigt man pro m² 35,70 m Stäbe. Dagegen enthält ein 10-mm-Rechen mit 6-mm-Stäben pro m² eine Stablänge von 62,50 m. Das sind 75 % mehr. Wenn jedoch ein materialsparendes Profil wie beim Fischschonrechen verwendet wird, ist der absolute Materialaufwand noch im Rahmen. Wenn die Rechenstäbe nach einem modernen und effizienten Verfahren hergestellt werden (z.B. beim Fischschonrechen durch Walzprofilieren), dann ist die Preiserhöhung pro Quadratmeter sicher in einem Rahmen zu halten, der die Gesamtwirtschaftlichkeit nicht beeinträchtigt.

Insbesondere beim Fischeschonrechen erhält man zu dem Preis eine Ausführung in Edelstahl, die trotz der filigranen Profile langlebig ist.

3 Vorteile des Fischeschonrechens

3.1 Vorbemerkungen

Die sehr feinen weisen jedoch diverse Vorteile auf, die in der Diskussion bisher nicht ausreichend gewürdigt werden.

3.2 Fischeschonung

Die Schonung der Fische wird erst durch die verringerten Stababstände auf ein Niveau gebracht, bei dem wirklich von einer guten Effizienz für Fische ab 8 cm Länge (gilt nicht für den Aal) ausgegangen werden kann. Zwar wird die Anpresskraft gegenüber einem 20-mm-Rechen leicht zunehmen; durch die Verteilung der Kraft auf eine größere Fläche und mehr Stäbe wird die Flächenpressung auf der Fischhaut aber abnehmen. Schädigungen und Verletzungen durch Anpressen werden damit deutlich verringert.

Damit entfallen für die nächsten 10 bis 20 Jahre sämtliche Diskussionen mit Behörden und Fischfreunden um Stababstände und den Fischeschutz.

Es entfallen viele Fragen und Unsicherheiten, die derzeit noch im Zusammenhang mit Fischeschutz und Fischabstieg diskutiert werden:

- Populationsschutz <-> Individuenschutz
- Zielarten
- Turbinenmortalität
- Effizienz von Turbinenmangement
- Wirksamkeit und Selektivität von Verhaltensbarrieren

3.3 Beschleunigung der Genehmigung

Wenn der sehr feine Rechen mit einer effizienten Fischabstiegsanlage kombiniert ist, dürften die Einwände der Fischerei und des Naturschutzes erheblich an Substanz verlieren. Damit sollten Genehmigungsverfahren schneller zum Erfolg kommen. Sollte das Verfahren vor Gericht kommen, ist die eine positive Entscheidung viel wahrscheinlicher, denn dann kann zu Recht und überzeugend angeführt werden, dass alles technisch Mögliche getan wurde.

3.4 Kostenkompensation

Die etwas höheren Kosten eines sehr feinen Rechens können durch in den meisten Fällen durch Einsparungen an anderer Stelle kompensiert werden. Das können sein:

- In Kombination mit einer angepassten Rechenreinigung mit Fischabstiegsfunktion (Fischhebetrog, Hassinger³, 2014) kann ein solcher Rechen mit minimaler Fläche, also senkrecht angeströmt, eingebaut werden. Gegenüber den schrägen Leitrechen beträgt die Ersparnis an Fläche 30 bis 100 %.
- Wenn ein Funktionsnachweis für das Fischabstiegskonzept insgesamt verlangt wird, sind erhebliche Einsparungen dadurch möglich, dass der Wanderkorridor durch die Turbine entfällt. Damit entfallen erhebliche Kosten, die die Mehrkosten des sehr feinen Rechens in aller Regel überschreiten dürften.

3.5 Verringerung des Verlustes

In der Realität entsteht der Verlust am Rechen weniger aus dem reinen Stababstand, sondern aus dem Betrieb. Wenn zur Schonung des Reinigers z.B. die Einschalthöhe für diesen bei 10 cm Höhendifferenz liegt und nach der Reinigung eine Verlusthöhe von 2 cm verbleibt, steht am Rechen im Mittel eine Verlusthöhe von 6 cm an. Wenn mit einem modernen Profil und mit einer angepassten Reinigung, die für häufiges Laufen ausgelegt ist, die Einschalthöhe auf 5 cm eingestellt werden kann und eine Restverlusthöhe von 1 cm verbleibt, dann beträgt der Verlust im Mittel 3 cm. Bei einer Gesamtfallhöhe von 3 m wird mit dem Feinrechen und der passenden Reinigung bei der Fallhöhe ein Prozent gewonnen. Wenn die Wasserkraftanlage 1 Million Kilowattstunden pro Jahr an Strom erzeugt und für den Strom 10 ct/kWh erlöst werden, liegt der Mehrertrag bei 1000 Euro im Jahr. Über eine Laufzeit von 20 Jahren hat sich der höhere Aufwand allein dadurch bezahlt gemacht.

3.6 Verbesserung des Turbinenwirkungsgrades

Bei Neuplanungen ist mit Feinstrechen das Konzept der Trennung von Fischschutz und Energieerzeugung machbar. Das heißt, dass die Turbine ohne Restriktionen aus dem Fischschutz für den Standort, das Wasserangebot und die Fallhöhe optimal ausgewählt werden kann. Diskussionen um fischschonende Turbinen, die in aller Regel einen geringeren Wirkungsgrad haben, kommen damit nicht auf. Über die Lebensdauer führt der größtmögliche Wirkungsgrad zu einem beträchtlichen Mehrgewinn.

Derartige Rechen sind gute Strömungsgleichrichter, die Makroturbulenz dämpfen und Schräganströmungen ausrichten. Dies wurde in Laborversuchen klar bewiesen (Schmitt, 2015⁴). Auch in den Labormessungen zu Feinrechen an der Université de Poitiers zeigen die Ergebnisse eine Wirkung als Strömungsgleichrichter. (Raynal et. al. 2013⁵).

³ Hassinger, R.: Hochwertiger Fischschutz: Kombination von modernem Feinrechen mit raschem und schonendem Fischabstieg. 23.SVK-Tagung, 05.-06. März Künzell, 2012

⁴ Schmitt, D.: Untersuchung der Wirkung von Feinrechen auf die Turbulenz in Kraftwerkszuläufen. Bachelorprojekt in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Uni Kassel, Kassel, 2015

⁵ Raynal, S., Chatellier, L., Courret, D., Larinier, M., David, L.(2013b). An experimental study on fish-friendly trashracks 2: Angled trashracks. *J. Hydraulic Res.* 51(1), 67–75.

Damit wird die Turbinenanströmung in vielen Fällen deutlich verbessert. Die Strömung wird für die Anströmung von Turbinen und auch Pumpen konditioniert, was es ermöglicht, den optimalen Wirkungsgrad rauszuholen. Dafür gibt es Belege aus Labormessungen und auch aus der Praxis.

Bei manchen Anlagen werden regelmäßig Verschlechterungen des Wirkungsgrades durch fädige Pflanzenteile beobachtet, die an den Flügeln des Leitapparats hängen bleiben. Diese können nur mit Betriebsunterbrechung mühsam entfernt werden. Mit 10-mm-Rechen verschwindet dieses Problem praktisch vollständig, weil der Rechen dieses Material nahezu komplett herausfiltert.

3.7 Verbesserung des Laufverhaltens der Turbine

Die genannte Strömungsverbesserung verringert die dynamischen Schwankungen im Turbinen-Generator-System. Damit verlängert sich z.B. die Lebensdauer von Lagern, Kupplungen und Getrieben. Durch vermiedene Reparaturen werden Unterhaltungskosten verringert. Die Laufruhe kommt auch den Verstellorganen des Turbinenreglers sowie dem Lärmpegel zugute.

4 Zusammenfassung

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die Reduzierung des Stababstandes eines Rechens im Zulauf von Wasserkraftanlagen auf 10 mm für keine negativen Auswirkungen hat. Wichtig ist, dass

- Rechenprofile
- Art der Rechenreinigung
- Grobzeugrückhalt und -entsorgung
- Rechengutabschwemmung

an die besonderen Bedingungen angepasst sind. Die dazu nötigen Investitionen bleiben jedoch in einem wirtschaftlich unproblematischen Rahmen. Wenn die Fischabstiegskorridore noch ihren Zweck erfüllen, sind mit modernen Feinrechen auch bei Rechen-Stababständen um 10 mm fischschonende, langlebige, effiziente und wirtschaftliche Wasserkraftanlagen realisierbar. Ein vernünftiger Grund, bei Neuanlagen für den Rechen Stababstände größer 10 mm zu wählen, ist nicht erkennbar.

Aufgestellt: Kassel, den 15.10.2015

Dr.-Ing. R. Hassinger