

Neuartiger Fisch schonender Rechen für Wasserkraftanlagen

Reinhard Hassinger

1 Einleitung

Im Mix der erneuerbaren Energien stellt die Wasserkraft eine erhebliche und wichtige Komponente dar. Es bedarf allerdings noch erheblicher Anstrengungen und Investitionen, um die Wasserkraft auch umweltfreundlich zu machen und die Ziele nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Als wichtige Faktoren dabei haben in den letzten Jahren der Fischschutz und der Fischabstieg erheblich an Bedeutung gewonnen.

Im Zuge laufender Versuche mit Aalen an der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau sind wir zur Überzeugung gelangt, dass die herkömmlichen Rechen in Bezug auf Fischschutz, Betriebsverhalten und hydraulische Charakteristik noch nicht optimal sind. So ist es sicherlich als äußerst unbefriedigend anzusehen, wenn nach Umrüstung auf Rechen mit 20 mm Stababstand verstärkt Aale von der Rechenreinigung verletzt oder getötet werden, wie es von der Lahn berichtet wurde (<http://www.fliessgewaesserschutz.de/folgen.html>). Daneben ist der Rechen auch eine für die Funktion maßgebliche Komponente in Fischabstiegsanlagen, denn er muss primär die Fische von Ihrem Wanderweg mit der Hauptströmung sicher abbringen und dem Abstiegssystem zuleiten. Dazu müssen nach unseren Erkenntnissen mit Aalen die Stababstände deutlich kleiner als 20 mm sein.

Auf der Suche nach einem geeigneten Rechen wurde die Neuentwicklung der Firma Oppermann Alternative Technologien in Görwihl aufgegriffen. Derartige Rechen sind bereits an den Kraftwerken Ziegenrück/Saale und Stadtmühle Forst/Neiße im Einsatz.

2 Aufbau, Merkmale und Eigenschaften

2.1 Aufbau

Der Rechen nach Oppermann (FischSchonRechen – FSR) ist dadurch gekennzeichnet, dass er aus einem Gitter aus umgebördelten Edelstahl-Blechstreifen als Rechenstäbe und Querverbindern aus Spannstäben und

Abstandshülsen besteht (Abb 1). In Abb. 2 sind die Abmessungen der Rechenstäbe dargestellt.



Abbildung 1 Ansicht der Oberkante des Oppermann-Rechens

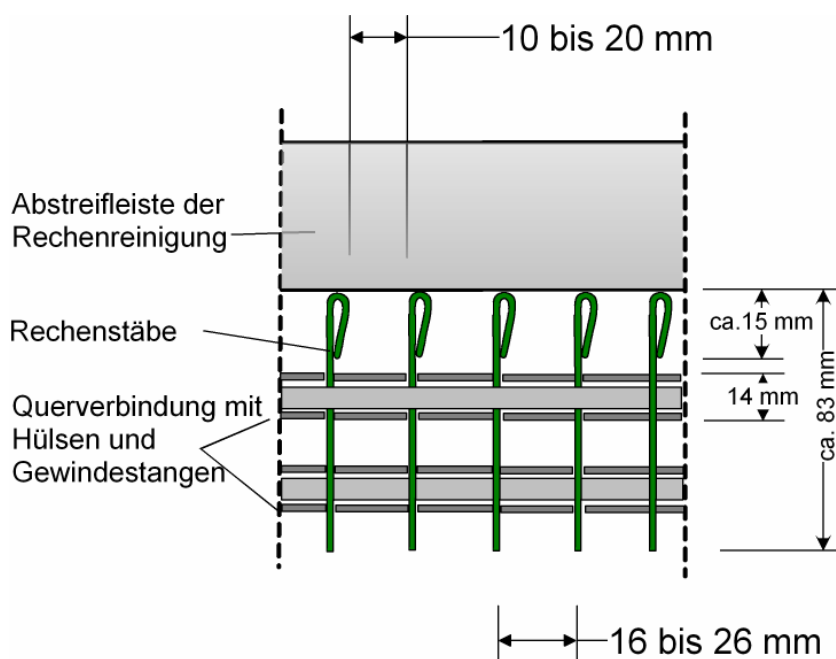


Abbildung 2 Schnitt durch die Rechenstäbe

Die Rechenstäbe haben in Längsrichtung durch die relativ engmaschige Verspannung eine ausreichende Stabilität für eine Spannweite der Unterstützung von 1 bis 1,5 m. In Querrichtung ist die Stabilität geringer als bei herkömmlichen Stäben. Infolge der Tatsache, dass der Rechen aber mit einer Leiste ohne Zinken abgestreift wird, sind Verklebungen von Rechengut beim Reinigen sehr selten zu erwarten.

2.2 Fischeschutz

Die Rechenstäbe sind oberwasserseitig kreisrund und glatt. Wenn ein Fisch vor oder zwischen den Stäben das Material berührt, trifft er nur auf gerundete Konturen und glatte Flächen. Im Versuch haben Aale den Rechen mit und gegen die Strömungsrichtung ohne sichtbare Spuren passiert. Auf der Rechenfläche liegend haben im Versuch die Aale sich erfolgreich in schwächer durchströmte Bereiche zurückziehen können. Ein effektiver Fischeschutz ist natürlich durch die Tatsache gegeben, dass dieser Rechen mit engen Stababständen (ab ca. 10 mm) wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Selbstverständlich ist der engmaschige Rechen alleine als Fischeschutz nicht ausreichend, denn dem zurückgehaltenen Fisch muss ein leicht aufzufindender alternativer Wanderkorridor angeboten werden.

2.3 Reinigungsverhalten

Die engste Stelle liegt beim Rechen System Oppermann nur ca. 3 bis 4 mm unterstrom der Oberfläche. Wenn Partikel den Rechen nicht passieren können, dann bleiben sie zwangsläufig soweit oben auf dem Rechen hängen, dass sie mit einer zahnlosen Kunststoff-Leiste, die optimal federnd gelagert ist, abgestreift werden können. Da diese Kunststoffleiste nicht exakt mit den Stäben bewegt werden muss wie z.B. eine Harke, entfallen Querkräfte aus der Reinigung. Bei engen Stababständen deutlich unter 20 mm können nur dünne Äste zwischen die Stäbe eindringen, die dann bei Zwängungen keine großen Kräfte mehr ausüben können bzw. leicht abbrechen.

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass in diesem Rechen sich praktisch keine Rechengutpartikel in einer hinteren Ebene verklemmen, die von einer Harke nicht erreicht wird. Von einer Wasserkraftanlage an der Lahn ist bekannt, dass der dortige Rechteckstab-Rechen mit 20 mm Stababstand jährlich von Hand mühsam von den verklemmten Holzstückchen, Korken usw. zu befreien ist. Dieses Phänomen tritt beim Oppermann-Rechen nicht mehr auf, da die engste Stelle nur extrem kurz ist und so weit vorne liegt, dass sie von der Rechenreinigung sicher erreicht wird.

2.4 Notwendigkeit eines Grobrechens

Es ist klar, dass ein als Fein-Rechen konzipiertes System einen separaten Grobrechen benötigt. Dieser muss größere Partikel, Baumstämme und Äste sicher zurückhalten. Eine Stabweite von 100 bis 150 mm ist dazu ausreichend. Welche Grobrechenweite optimal ist, muss noch in der Praxis erprobt werden.

Wie ein solcher Grobrechen zu reinigen ist, muss in Abhängigkeiten vom Standort entschieden werden. Bei kleineren Lichtweiten des Grobrechens und normalem Baumbestand am Gewässer dürfte jedoch eine automatische Reinigung sinnvoll sein. Der Bedarf für einen Grobrechen besteht jedoch wohl bei allen Feinrechen-Bauarten.

2.5 Materialeinsatz und Kosten

Aufgrund der Tatsache, dass die Stabkontur durch Profilierung eines dünnen Bleches erzeugt wird, ergibt sich ein extrem geringer Materialeinsatz, der es erlaubt, solche Rechen mit kleinen Stababständen und in Edelstahl zu vertretbaren Kosten herzustellen. Die Rechenstäbe werden entweder durch Abkanten auf eine Abkantbank (Längenbegrenzung auf 4 m) oder durch Walzprofilieren gefertigt. Bei dieser Methode werden die Blechstreifen automatisch vom Coil abgewickelt, mit Laser gebohrt, in der Rollvorrichtung umgebördelt und abgelängt. Wenn diese Vorrichtung einmal eingerichtet ist, sind die Rechenstäbe in großer Stückzahl wirtschaftlich in beliebigen Längen zu produzieren. Das Gewicht der Rechenstäbe ($g = 1208,4 \text{ g/lfm}$) beträgt beim FSR nur 43 % des Gewichts eines Rechens mit Rechteckstäben 6×60 ($g = 2842 \text{ g/lfm}$). Der neue Rechen ist deshalb auch bei 10 mm Stababstand noch deutlich leichter als ein herkömmlicher Rechteckstab-Rechen mit 20 mm. Diese Effizienz des Materialeinsatzes erlaubt die Nutzung hochwertiger Werkstoffe, wie z.B. von Edelstahl.

Die derzeitigen Kalkulationen ergeben spezifische Material-Kosten von ca. 450 Euro/m² bei 20 mm und 550 Euro/m² bei 15 mm.

3 Hydraulische Eigenschaften

Aufgrund der glatten Oberfläche, der gerundeten Form und der allmählichen Wiederaufweitung des Querschnitts sind günstige Eigenschaften sowohl im Hinblick auf die Rechenverluste als auch die Schräganströmung zu erwarten. Die Verluste wurden vor Kurzem im Labor im Vergleich zu einem Rechteckstab-Rechen untersucht. Der Versuchsstand war 30 cm breit und das Wasser ca. 45 cm tief. Es wurden die Rechenverlustformeln nach Giesecke/Mosonyi (2005) und Meusburger/Volkart/Minor (2001) verwendet:

$$\Delta H = \zeta \cdot \frac{v_0^2}{2g} \quad (1)$$

$$\zeta = k_F \cdot f(P) \cdot f(\delta) \cdot f(a/l) \cdot k_v \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$k_F = \text{Formfaktor}$

$$P = \text{Verbauungsgrad} = \frac{A_{VS} + A_{VA}}{A_{RE}}$$

$\delta = \text{Anströmwinkel im Grundriss}$

$k_v = \text{Verlegungsfaktor}$

$\alpha = \text{Anströmwinkel im Längsschnitt}$

$d = \text{Stabdicke; } a = \text{lichter Stababstand}$

$\zeta = \text{Verlustbeiwert [-]}$

$v_0 = \text{Anströmgeschwindigkeit des Rechens in m/s}$

$A_{VS} = \text{Querschnitts-Fläche Rechenstäbe an der engsten Stelle}$

$A_{VA} = \text{Querschnittsflächen der Verstreubungen und des Unterbaus}$

$A_{RE} = \text{totale Querschnitts-Fläche des Rechens}$

Unter der Annahme, dass zunächst nur der frontal angeströmte Rechen untersucht wird ($\alpha = 90$ Grad, $\delta = 0$ Grad) und der Rechen völlig sauber ist ($k_v = 1$), wurden von den genannten Termen nur der Formbeiwert und die P und a/l-Terme einbezogen. Diese Terme sind in den genannten Formeln wie folgt formuliert:

Autor	P-Term	a/l-Term	Bemerkung
Giesecke/ Mosonyi	$\left(\frac{P}{1-P}\right)^{1,5} \approx \left(\frac{d}{a}\right)^{1,5}$	1	Keine Berücksichtigung der Stabtiefe
Meusburger/ Volkart/	$P^{1,33} \approx \left(\frac{d}{a+d}\right)^{1,33}$	$\left(\frac{a}{l}\right)^{-0,43}$	

Der FSR wurde mit lichten Weiten von 19,0; 15,0 und 12,5 mm untersucht; der Rechteckstab-Rechen mit 12,0 und 20,0 mm. Es wurden Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0,2; 0,4, 0,6 und 0,8 m/s gefahren.

Der zum Vergleich unter gleichen Bedingungen gemessene Rechteckstab-Rechen besaß Stäbe 6 x 60 mm mit leicht gebrochenen Kanten

Die Auswertung der Messwerte ergab für den Rechteckstabrechen, dass dessen Widerstandsverhalten durch die Formel von Meusburger/Volkart/Minor recht gut beschrieben wird. Der Formbeiwert beträgt im Mittel 2,04. Die Abweichung zum Literaturwert für Rechteckstäbe ($k_F = 2,42$) ist wohl auf die gebrochenen Kanten zurückzuführen.

Die Formel nach Giesecke/Mosonyi lieferte keinen konstanten Formbeiwert. Offensichtlich ist es bei den kleinen Stababständen notwendig, die relative Stabtiefe zu berücksichtigen.

Auch die bessere Formel nach Meusburger et.al. war mit den ursprünglichen Exponenten beim Verbauungsgrad nicht in der Lage, das Widerstandsverhalten des FSR zutreffend zu beschreiben. Erst eine Variation des Exponenten beim P-Term lieferte eine gute Anpassung. Dies gelang erstaunlicherweise noch besser mit dem Ansatz von Giesecke/Mosonyi. Folgende Schreibweisen lieferten eine gute Beschreibung der Verlustbeiwerte des FSR:

Autor	P-Term	a/l-Term	Bemerkung
Giesecke/ Mosonyi Wasserkraft-	$\left(\frac{P}{1-P}\right)^{0,6} \approx \left(\frac{d}{a}\right)^{0,6}$	1	$k_F = 1,10$
Meusburger/ Volkart/ Minor	$P^{0,706} \approx \left(\frac{d}{a+d}\right)^{0,706}$	$\left(\frac{a}{l}\right)^{-0,43}$	a/l-Term unverändert $k_F = 0,52$

Die sich dabei ergebenden Formbeiwerte sind natürlich nicht mit den Formbeiwerten aus den anderen Formeln vergleichbar. Sie liegen bei dieser Formulierung bei 1,10 (nach Giesecke/Mosonyi) bzw. 0,52 (nach Meusburger et.al.). Für die weitere Beschreibung wird die Formulierung nach Meusburger et.al. verwendet, da bei kleinen Stabweiten die Stabtiefe durch die Grenzschichtentwicklung einen Einfluss haben muss. Der Term für die Schräganströmung in der Formel nach Meusburger et.al. ($(1 + 0,65 \cdot \tan \delta)$) ist jedoch nicht ohne Weiteres anwendbar, da der FSR wesentlich weniger auf Schräganströmung reagiert als herkömmliche Rechen. Dies liegt an der

gerundeten Vorderkante und an der Tatsache, dass der FSR sogar ohne nennenswerte Mehrkosten für eine Schräganströmung speziell in Form eines Schaufelgitters profiliert werden kann.

Tabelle 1 und Abb. 3 zeigen die Verlustbeiwerte in Abhängigkeit von der lichten Weite.

Tabelle 1 Verlustbeiwerte
Fischschonender Rechen
Vergleich der Verlustbeiwerte

Stab- abstand licht mm	Fisch- Schon- Rechen	Rechteck- rechen	Verhält- nis
	Verlustbeiwerte		FSR/ReR
	ζ	ζ	%
10	0,54	1,27	42,4%
11	0,51	1,13	45,5%
12	0,49	1,01	48,4%
13	0,47	0,92	51,1%
14	0,45	0,83	53,6%
15	0,43	0,76	55,9%
16	0,41	0,70	58,0%
17	0,39	0,65	59,8%
18	0,37	0,60	61,3%
19	0,35	0,56	62,6%
20	0,33	0,52	63,4%

Den Daten ist zu entnehmen, dass bei den kleineren Spaltweiten der FischSchonRechen nur halb so große Verluste erzeugt wie ein herkömmlicher Rechteckstab-Rechen. Die größere Rauheit von herkömmlichen Rechenstäben, die nicht aus Edelstahl sind, dürfte den Unterschied weiter vergrößern.

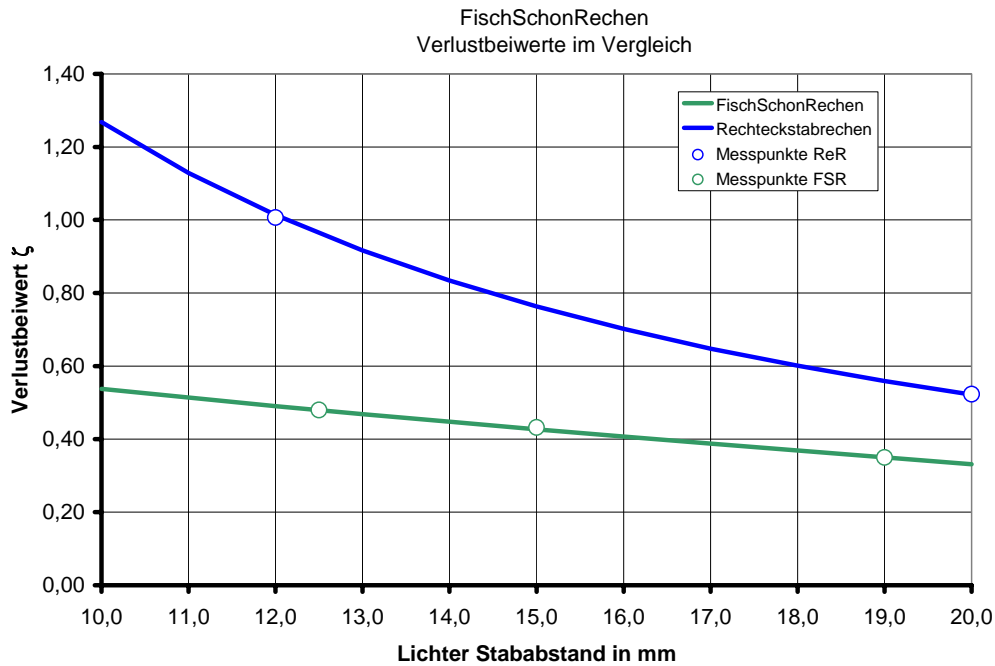


Abbildung 3 Verlustbeiwerte im Vergleich

Um eine Vorstellung zu vermitteln, mit welchen Verlusten bei sauberen neuen Rechen zu rechnen ist, sind in Abb. 4 die Verlusthöhen noch einmal dimensionsbehaftet dargestellt.

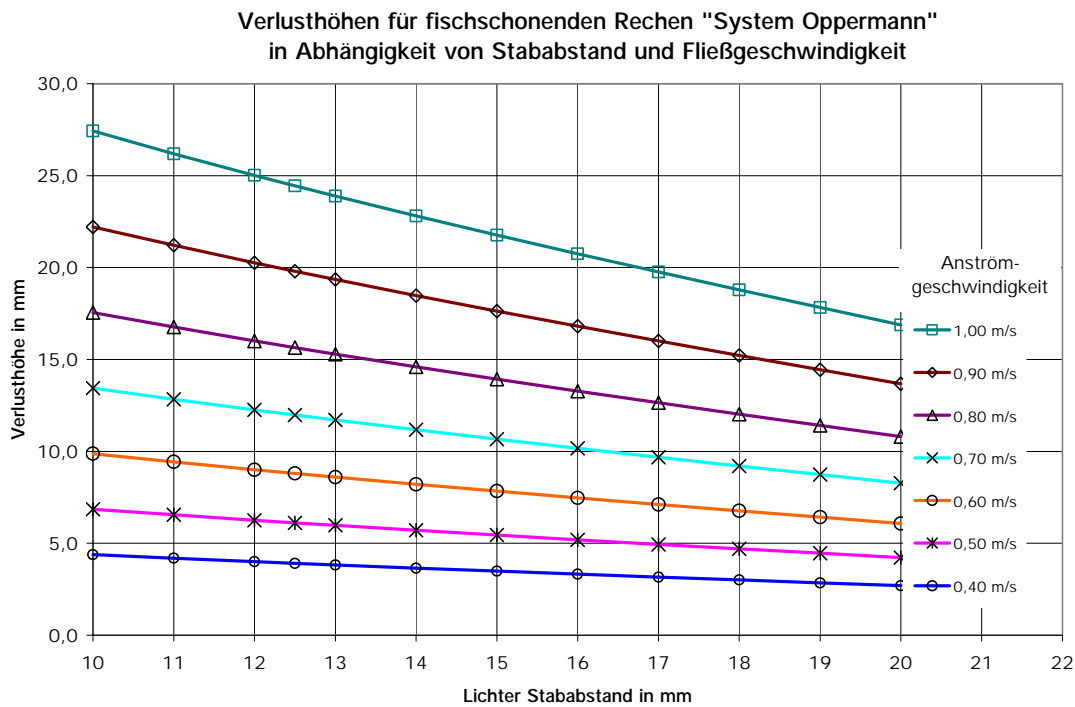


Abbildung 4 Verlusthöhen

An diesem neuen Rechenprofil treten ebenfalls Schwingungen auf; jedoch sind diese wegen der nur sehr kleinen Wirbel relativ hochfrequent und werden eher als ein leises „Singen“ hörbar. Schwingungen, die eine Materialbelastung bedeuten würden, wurden weder im Labor noch an den beiden in Betrieb befindlichen Pilotanlagen beobachtet.

4 Zusammenfassung

Der vorgestellte neuartige Rechen, der aus umgebördeltem Edelstahl-Blech gefertigt wird, erlaubt einen besonders effektiven Fischschutz, da er bei mäßigen Kosten mit kleinen Spaltweiten hergestellt und eingesetzt werden kann. Der Fisch kann nur gerundete Konturen und glatte Oberflächen berühren.

Die Abreinigung ist sehr einfach, da das Rechengut nicht weit zwischen die Stäbe eindringt, sondern so nah an der Oberfläche hängen bleibt, dass es mit einer einfachen Kunststoff-Leiste abgestreift werden kann. Dies erlaubt einfache und kostengünstige Reinigungssysteme. Ein Verklemmen von Treibzeugstücken zwischen den Rechenstäben weiter unterstromseitig, wie es bei flachen Stäben bekannt ist, kann nicht auftreten.

Die hydraulischen Eigenschaften sind erheblich besser als bei Rechteckstab-Rechen, indem die Verluste auch bei kleinen Spaltweiten noch geringer sind als bei Rechteckstäben mit 20 mm Abstand.

Eine effektive automatische Fertigung ist bereits in der Entwicklung, so dass die bei engen Stababständen große Zahl von Rechenstäben wirtschaftlich und Material sparend hergestellt werden kann.

Literatur

Giesecke, J. Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb. Springer Verlag, Berlin 2005

Meusbürger, H.; Volkart, P.; Minor, E.: A new improved Formula for Calculating Trashrack Losses. Proc. XXIX IAHR Congress Sept. 16-21, Beijing 2001

Autor:

Dr.-Ing. Reinhard Hassinger
Versuchsanstalt und Prüfstelle
für Umwelttechnik u. Wasserbau
Universität Kassel
Kurt-Wolters-Straße 3
D-34125 Kassel
Tel.: +49-561-804 3291
Fax: +49-561-804 2684 eMail: vpuw@uni-kassel.de