

# Lockstropmpumpe und Feinrechen: Neue technische Entwicklungen für verbesserten Fischschutz und Fischaufstieg

Dr.-Ing. Reinhard Hassinger

Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau, Univ. Kassel

Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel

Tel.: 0561 804 3291; Fax: 0561 804 2684; eMail: vpuw@uni-kassel.de

## 1 Verstärkung des Leitstroms

### 1.1 Problemstellung

Die Funktionalität von Fischaufstiegsanlagen hängt von der Durchwanderbarkeit, jedoch auch entscheidend von der Auffindbarkeit für die Fische ab. Die Auffindbarkeit ist einerseits bestimmt durch die Anordnung der Anlage zum Wanderhindernis und zum Hauptstrom, andererseits aber auch in hohem Maße von den Durchflussverhältnissen und der Ausbildung einer Leit- oder Lockströmung. Deshalb wird in aktuellen deutschen Merkblättern (Entwurf Merkblatt DWA-M 509<sup>1</sup>) zwischen dem Abfluss in der Fischaufstiegsanlage („Betriebsabfluss“) und dem Abfluss aus der Fischaufstiegsanlage heraus („Dotation der Leitströmung“) unterschieden. Dahinter steht die Erkenntnis, dass für die Bemessung des Durchflusses im Einstiegsbereich der Fischpassanlage ganz andere Kriterien gelten als für die Strömungsverhältnisse im Inneren des Fischpasses. Die Abflüsse aus der Fischwanderhilfe müssen bei größeren Anlagen in der Regel deutlich größer sein als der Betriebsabfluss im Fischpass, der zur Schaffung günstiger Aufstiegsbedingungen notwendig ist. Beispielsweise wurde an der Fischpassanlage Iffezheim eine Gesamtdotation von 15 m<sup>3</sup>/s (für 3 Einstiege) realisiert, während der Durchfluss im Fischpass nur ca. 1,2 m<sup>3</sup>/s beträgt. Selbst wenn man hier nur einen Einstieg realisiert hätte, wäre bei dieser großen Anlage die Leitströmung sicher auf mehrere Kubikmeter pro Sekunde ausgelegt worden.

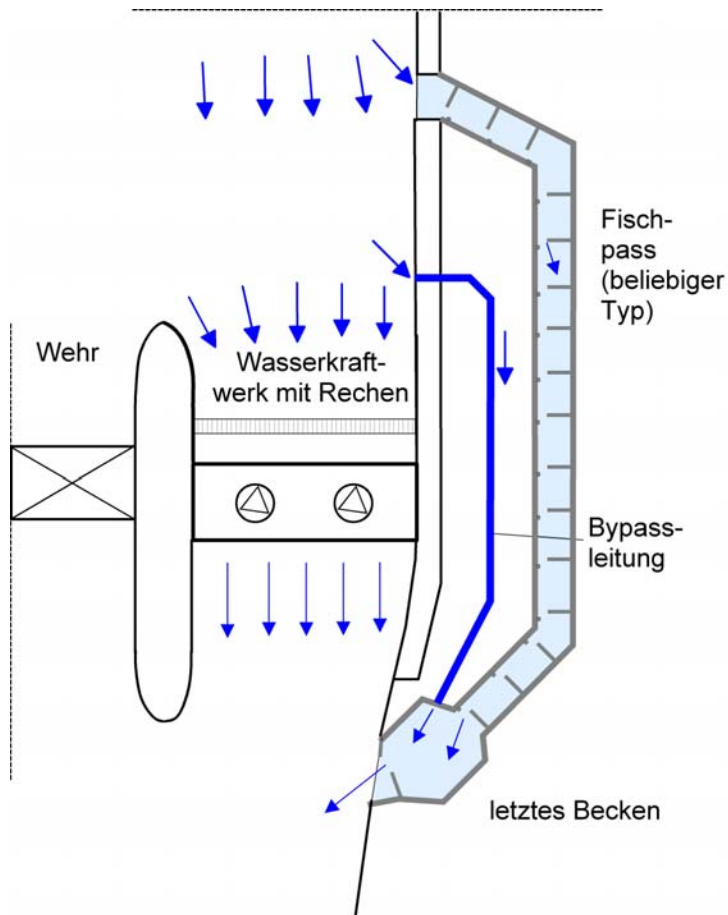
Nun ist der Durchfluss (Betriebsabfluss) für die Größe und die Kosten einer Fischaufstiegsanlage ein entscheidender Parameter, denn über die geometrischen Anforderungen relativ zur Schlitzgröße und über die so genannte Leistungsdichte, eine auf das Beckenvolumen bezogene hydraulische Leistung, wird die notwendige Beckengröße mit bestimmt. Wenn in den Fischpassbecken eine bestimmte Leistungsdichte (z.B. 100 W/m<sup>3</sup>) nicht überschritten werden darf, nimmt das benötigte Volumen der Becken linear mit dem Durchfluss zu. Fischpässe, die den gesamten für die Leitströmung benötigten Durchfluss als Betriebsabfluss ableiten, würden an größeren Flüssen gigantische Dimensionen annehmen und immense Kosten aufwerfen.

Als eine Reaktion auf diese Zusammenhänge werden häufig so genannte Dotationsleitungen neben den Fischpass gelegt, die die Aufgabe haben, im Einstiegsbereich den Lockstrom zu verstärken. Die zielführende Beileitung dieses Lockstroms ist jedoch höchst problematisch, denn der austretende Strahl soll zwar die Fische

---

<sup>1</sup> DWA, 2010: Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke (Entwurf). DWA e.V., Hennef, Feb. 2010

anlocken, darf jedoch keine zu hohe Turbulenz erzeugen, die bestimmte Fischarten wiederum abschreckt. Deshalb wird im Merkblatt DWA-M 509<sup>1</sup> (DWA, 2010) explizit darauf hingewiesen, dass diese Zusatzdotation „über ein Druckrohr oder über eine offene Rinne dem untersten Becken bzw. dem unterwasserseitigen Abschnitt der Fischaufstiegsanlage zugeführt“ wird (Bild 1).



**Bild 1: Fischpass mit Lockstromleitung**

Weiter im Zitat: „Damit dieses Verteilbecken (Anmerkung d. Verfassers: Es handelt sich eher um ein Vereinigungsbecken) nicht hydraulisch überlastet wird, ist es ausreichend zu dimensionieren.“ Welche Art der hydraulischen Überlastung hier-

bei zu beachten ist und welche Parameter wie einzuhalten sind, wird jedoch nicht näher ausgeführt. Diese unpräzisen Vorgaben führten in der Vergangenheit zu zahlreichen zweifelhaften Lösungen hinsichtlich der tatsächlichen Wirksamkeit der künstlich erzeugten Leitströmungen.

Als Lösung für größere Anlagen wird im Merkblatt DWA-M 509 (DWA, 2010) die Zwischenschaltung eines Tosbeckens empfohlen, das dem Bypassstrom die Energie entzieht und die Strömung so beruhigt, dass sie durch eine mechanische Barriere, die das Einschwimmen von Fischen in Richtung zur Bypassleitung verhindern soll, an den Fischpass-Auslauf abgegeben werden kann (Bild 2).

Beide Lösungen mit einer parallel verlegten Dotationsleitung, die den ganzen Zusatzabfluss heranzuführt, haben dazu noch den entscheidenden Nachteil, dass der Lockstrom den Turbinen weggenommen wird und die in ihm enthaltene hydraulische Leistung nicht nur ungenutzt bleibt, sondern mit Aufwand unschädlich umgewandelt werden muss. Es gibt Beispiele, dass diese überschüssige hydraulische Leistung in kleinen speziellen Turbinenanlagen in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Eine Wirtschaftlichkeit für eine solche Anlage kann sich aber allenfalls aus einer höheren Vergütung nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ergeben, weil diese Anlagen dann als Kleinwasserkraftanlagen gelten, die eine höhere Einspeisevergütung erhalten.

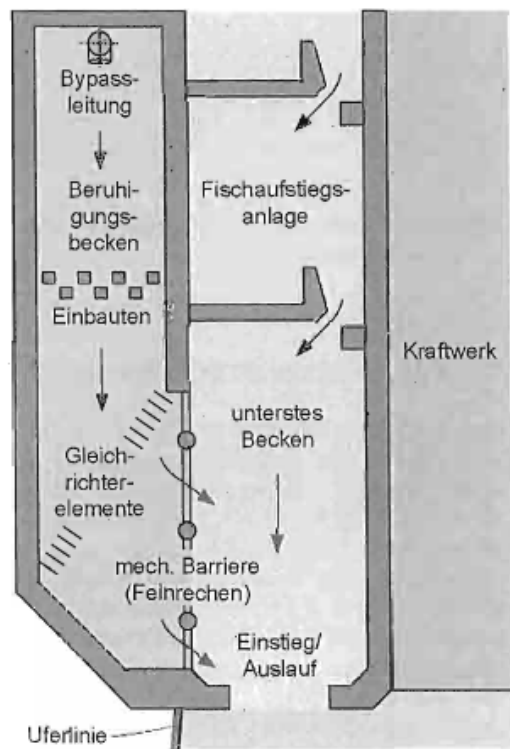
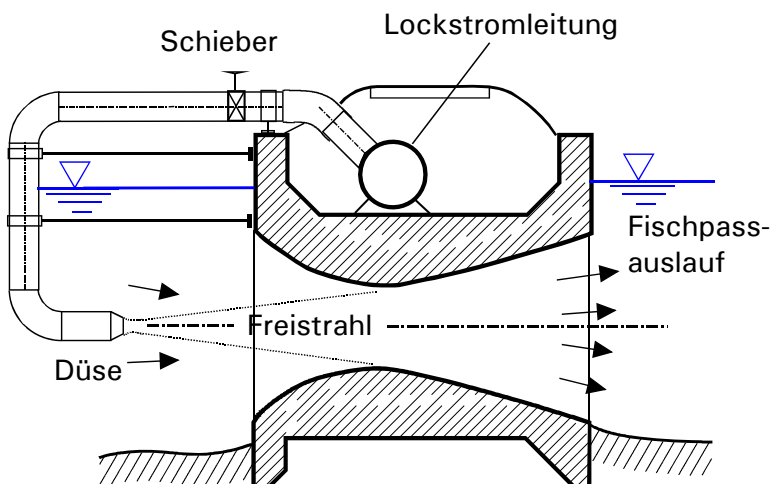


Bild 85: In ein Verteilbecken zur Verstärkung der Leitströmung einer Fischaufstiegsanlage einmündender Bypass

Bild 2: Vorschlag für die Beileitung des Bypassdurchflusses zum Fischpass mit Energieumwandlung (Bild 85 aus DWA-M 509 (DWA, 2010))

## 1.2 Lösungsidee

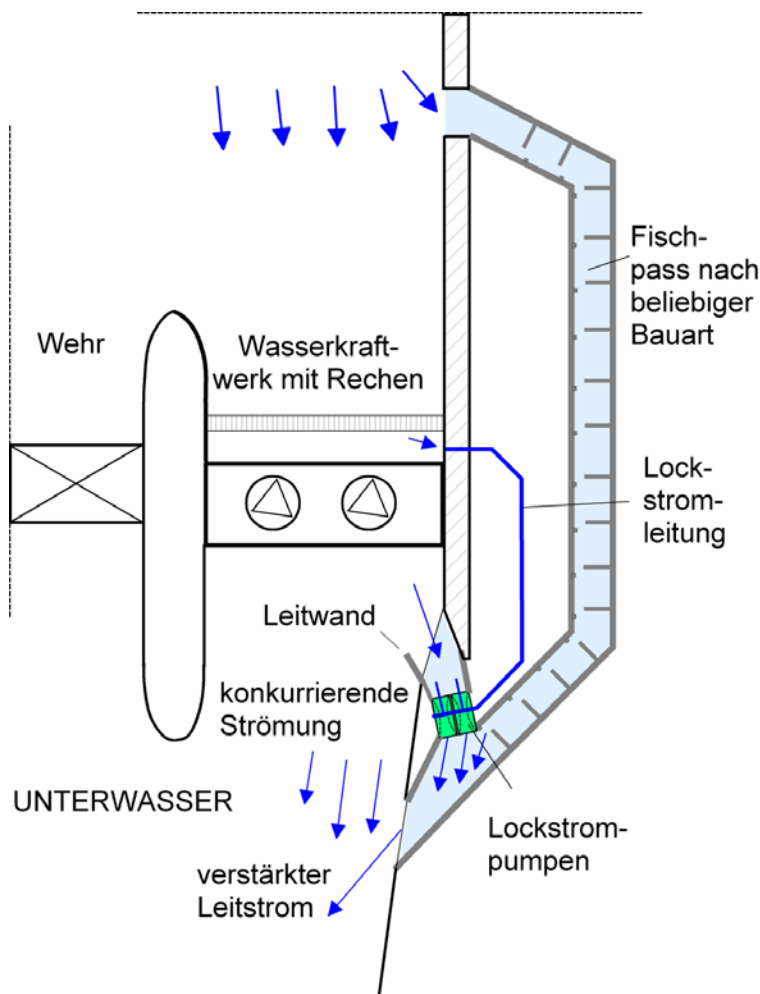
Die Grundidee der hier vorzustellenden Art- und Weise einer Leitstromerzeugung besteht darin, die hydraulische Leistung eines kleinen Bypassstroms dazu zu nutzen, einen größeren Durchfluss aus dem Unterwasser der Turbine in den Fischpassauslauf zu fördern. Damit stellt sich die hydraulische Aufgabe, mit einem kleinen, aber energiereichen Teilstrom aus dem Oberwasser einen großen Wasserstrom in Bewegung zu setzen, der aus dem Unterwasser genommen und nur auf mäßige, ökologisch notwendige Geschwindigkeiten gebracht wird. Das hydraulische Grundprinzip zur Lösung dieser Aufgabe ist altbekannt - die Impulsübertragung an einem Freistrahle, womit man von einer Wasserstrahl-Wasserpumpe sprechen kann.



Das hydraulische Grundprinzip zur Lösung dieser Aufgabe ist altbekannt - die Impulsübertragung an einem Freistrahle, womit man von einer Wasserstrahl-Wasserpumpe sprechen kann.

Bild 3: Längsschnitt durch eine „Lockstrompumpe“

Die Lockstrompumpe besteht aus einer Zuleitung mit Düse, wobei die Düse axial vor dem eigentlichen Pumpenbauwerk angeordnet ist, welches wiederum die Form einer Venturi-Düse hat. Der Strahl tritt aus der Düse aus und reißt nach den Prinzipien des Impulsübergangs im turbulenten Freistrahel das umgebende Wasser mit, wodurch er langsamer wird. Der Strahl mitsamt dem mitgerissenen Wasser durchströmt die Engstelle des Venturi-Durchlasses und wird dann durch die allmähliche Aufweitung auf kurzer Strecke auf verträgliche Geschwindigkeiten verzögert. Die Venturi-Düse ist zur Steigerung der Effektivität, zur Verhinderung von Rückströmungen und zur Absperrung dieses Querschnittes unbedingt nötig, denn die Fische sollen diesen Fließweg nicht durchschwimmen können.



In Bild 4 ist eine typische Anordnung der Anlage zur Verstärkung der Lockströmung skizziert. Der Durchfluss des Leitstroms stammt zum größten Teil aus dem Auslauf der Turbine und wird durch die Lockstrompumpen in den Fischpassauslauf gefördert. Der Fischpassauslauf wird so gestaltet, dass die Geschwindigkeiten nicht zu groß sind, die Fische den eigentlichen Fischpass gut finden und sich am Übergang zum Gewässer der gewünschte Ausflusstrahl mit dem richtigen Winkel einstellt, der die eigentliche Lockwirkung ausübt.

**Bild 4: Fischpass mit Leitstromverstärkung durch Lockstrompumpen**

Die Lockstrompumpe weist natürlich eine Kennlinie auf, die zur Bemessung benötigt wird. Die Kennlinie verläuft recht flach, was bedeutet, dass der Durchfluss stark von der Förderhöhe, also dem Gegendruck aus dem Fischpassauslauf abhängt. Um den „Wirkungsgrad“ hoch zu halten, ist es deshalb nötig, den Fließweg im Fischpassauslauf strömungsgünstig zu gestalten. Der Einsatz von Störsteinen in diesem Bereich oder die Anordnung eines weiteren Schlitzes wäre deshalb kontraproduktiv. Ggf. kann man durch Anordnen einer Leitwand den Zufluss aus dem Turbinenunterwasser zum System noch unterstützen.

Zur Schaffung einer Bemessungsbasis wurden Versuche im Maßstab ca. 1:2 - 1:4 (je nach Größe des Prototyps) im Labor der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Universität Kassel durchgeführt. Maßgeblicher Parameter war dabei die Förderhöhe (Höhendifferenz vor und hinter der Lockstrompumpe) in Relation zur Geschwindigkeitshöhe des Düsenstrahls. Das erreichbare Durchflussverhältnis hängt von der Förderhöhe für die Lockstrompumpe und von der Lockstromdüse noch zur Verfügung stehenden Nettofallhöhe ab und liegt zwischen 4:1 bis ca. 12:1

### 1.3 Fazit zur Lockstromverstärkung

Damit stehen sich nach derzeitigem Wissensstand bei größeren Anlagen, bei denen der Leitstrom künstlich verstärkt werden soll, 3 Lösungen einander gegenüber:

Parameter/ Variante ->	Bypassleitung in letztes Becken	Bypassleitung in Tosbecken	mit Lockstrom- pumpe	Bemerkung
Wasserbedarf	$Q_{FP} + Q_{BP}$	$Q_{FP} + Q_{BP}$	$Q_{FP} + 1/n * Q_{BP}$	Der Faktor n liegt zwischen 4 und 12.
Ort der Energieumwandlung	in letztem Becken	in Tosbecken	in Lockstrompumpe	Nutzung der Leistung zum Antrieb des Lockstroms
erforderliche Bauteile	große Bypassleitung, großes letztes Becken	große Bypassleitung, separates Tosbecken, mechan. Barriere	kleine Bypassleitung mit Einlaufrechen, Lockstrompumpen + Verbindungskanal	Der Einlaufrechen ist wegen der Düsen erforderlich.
Verhinderung der Einwanderung in Bypass	durch hohe Auslaufgeschwindigkeit	durch mechanische Barriere	durch hohe Geschwindigkeit in Lockstrompumpe	

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Baukosten für eine Lösung mit Lockstrompumpe deshalb im Vergleich zur Lösung mit Tosbecken etwa gleich hoch sein dürften, weil ein separates Tosbecken gespart wird und die Bypassleitung deutlich kleiner ausgelegt werden kann. Infolge des geringeren Wasserbedarfs ergibt sich durch die Lockstrompumpen über die gesamte Betriebszeit ein hoher wirtschaftlicher Vorteil. Dieser ist jedoch nur nutzbar, wenn der Durchfluss nicht z.B. zur Sicherstellung des Restwassers in einer Ausleitungsstrecke benötigt wird.

## 2 Feinrechen

### 2.1 Problemstellung

In diversen Untersuchungen (Adam et. al., 1997<sup>2</sup>, Göhl, 2004<sup>3</sup>, Hübner/Hassinger, 2009<sup>4</sup>) wurde sowohl für den Aal als auch für Lachssmolts zweifelsfrei festgestellt, dass die derzeit als Standard geltende lichte Stabweite an Kraftwerksrechen von 20 mm, von der Großanlagen noch weit entfernt sind, für einen effektiven Schutz der Fische vor der Eintritt in eine Wasserkraftanlage unzureichend ist. Deshalb wurde in Hessen z.B. in der neuesten Fischereiverordnung eine Stabweite von 15 mm festgelegt, die für alle Neuanlagen und Umbauten und auch teilweise für ökologische Verbesserungsmaßnahmen nach EEG gilt.

Die Praxis ist allerdings auch bei neueren und in Planung befindlichen Anlagen von diesen Zielwerten weit entfernt. Als Begründung wird immer angegeben, dass die Höhenverluste bei kleinem Stababstand zu groß würden und die feinen Rechen im praktischen Betrieb zu große Probleme machen.

### 2.2 Untersuchung zur Eignung von Feinrechenprofilen

Um dieser Kluft zwischen Anspruch und Praxis nachzugehen wurde in der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau an der Universität Kassel eine Studie (Berthold, 2009<sup>5</sup>) durchgeführt mit dem Ziel, die derzeit für Feinrechen verfügbaren Profile daraufhin zu testen, wie sie sich für die Nutzung in Rechenanlagen mit Stabweiten zwischen 10 und 20 mm eignen. Neben der Anpresskraft von Fischkörper auf der Rechenfläche wurden als erster wesentlicher Parameter dazu die Höhenverluste messtechnisch ermittelt (Bild 5).

Dabei wurden die Höhenverluste streng nach den hydraulischen Grundlagen als Verlust der Energiehöhe ermittelt.

$$h_v = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

mit  $h_v$  = Verlusthöhe [m];  $\zeta$  = Verlustbeiwert [-];  $v$  = Anströmgeschwindigkeit vor dem Rechen;  $g$  = Erdbeschleunigung = 9,80665 [m/s<sup>2</sup>]

---

<sup>2</sup> Adam, B.; Schwevers, U.; Gumpinger, C. [1997]: Verhaltensbeobachtungen zur Abwanderung von Aalen (*Anguilla anguilla*) und Lachsen (*Salmo salar*) unter Laborbedingungen. Bericht des Instituts für angewandte Ökologie im Auftrag des Regierungspräsidiums Kassel, Kirtorf-Wahlen 1997 (unveröffentlicht)

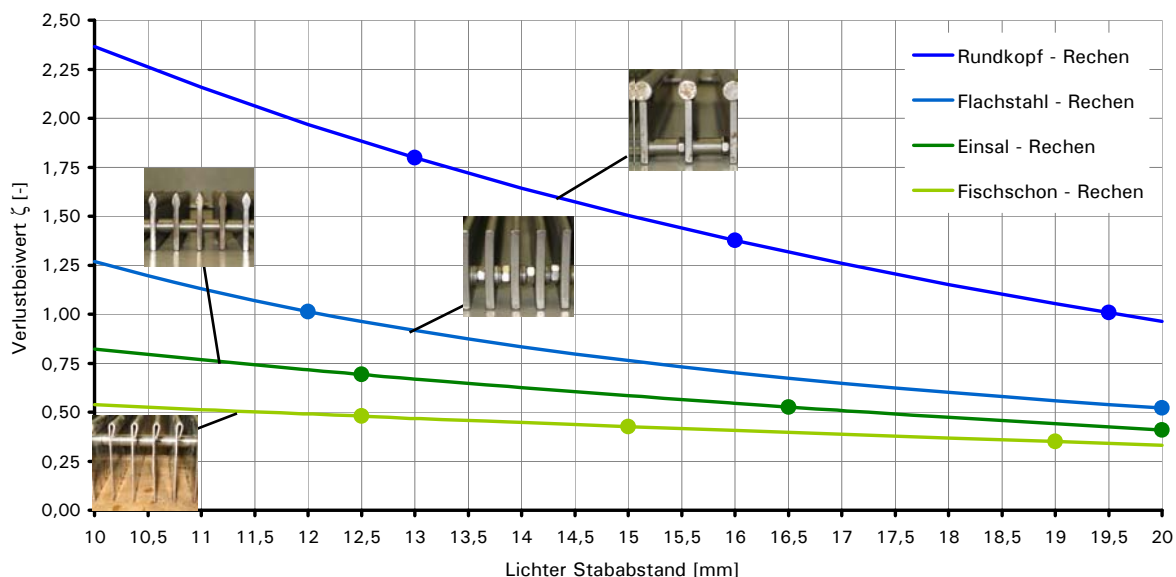
<sup>3</sup> Göhl, Christian [2004]: Bypasseinrichtungen zum Abstieg von Aalen an Wasserkraftanlagen. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nr. 98, TU München, 2004

<sup>4</sup> Hassinger, R.; Hübner, D.: Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegssystems mithilfe von Laborversuchen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, Vol. 2, 2009, Nr. 5 S. 276 - 281

<sup>5</sup> Berthold, Helena: Untersuchung zur Umsetzung der Hessischen Fischereiverordnung im Hinblick auf die Installation von Feinrechen mit 15 mm Stababstand und den Fischabstieg". Diplomarbeit im FB Bauingenieurwesen an der Uni. Kassel, Juni 2009 (unveröffentlicht)

Neben den Rechenstäben war noch eine in der Strömung liegende Quertraverse an den Verlusten beteiligt. Nach den gängigen Formeln ist der Verlustbeiwert im Wesentlichen eine Funktion des Verbauungsgrades und eines Formbeiwerts.

Verlustbeiwerte für moderne Rechenprofile im Vergleich



**Bild 5: Verlustbeiwerte für moderne Feinrechenprofile in Abhängigkeit vom Stababstand**

Das Diagramm in Bild 5 zeigt, dass moderne Profile deutlich geringere Verluste aufweisen können als das herkömmliche Rechteckprofil. Nur das Profil mit dem runden Kopf weicht nach oben ab, was daran liegt, dass durch die Dicke des Kopfes (16 mm statt 6 bzw. 8 mm) der Verbauungsgrad wesentlich größer ist als bei den anderen Profilen.

Insbesondere das aus einem Edelstahlblech bestehende Profil des Fischechrens erzeugt nur etwa halb so große Verluste wie das Rechteckprofil, obwohl der Verbauungsgrad gleich groß ist.

### 2.3 Merkmale und Eigenschaften

Ohne auf Details eingehen zu können, sind zu den untersuchten Profilen folgende Feststellungen möglich:

- Moderne Feinrechenprofile haben einen verdickten Kopf, wodurch sich praktisch keine Rechengutpartikel mehr zwischen die Stäbe klemmen können. Das Rechengut bleibt auf der Oberfläche liegen und kann dort vollständig mit einer ungezahnten Leiste (ggf. mit Bürste) abgestreift werden. Diese Rechen sind nach einem Reinigungsvorgang vollkommen sauber.
- Die größte Belastung für Stäbe und Rechenreinigung ergibt sich dann, wenn Holzteile, die sich zwischen die Stäbe eingeklemmt haben, durch die Rechenreinigung abgeschert werden. Bei kleinen Stababständen können allenfalls nur noch dünne Stöckchen zwischen die Stäbe geraten, so dass dieser ungünstige Belastungsfall mit abnehmendem Abstand an Bedeutung verliert.

- Die Verluste resultieren zu einem erheblichen Teil aus dem Verbauungsgrad am Ende des Profils. Dieser ist durch den verdickten Kopf und insbesondere beim Fischeschonrechen durch die Profilgestaltung aus Blech geringer, was sich im letztgenannten Fall durch extrem niedrige Verluste bemerkbar macht. Resultat: Der Fischeschonrechen hat bei 12 mm Stababstand einen geringeren Höhenverlust als der herkömmliche Rechteckrechen bei 20 mm.
- Durch die geringen Verluste nimmt auch die hydraulische Belastung von Fischkörpern, die auf der Rechenfläche liegen, drastisch ab.
- Profile für Feinrechen müssen vergleichsweise filigran sein, so dass in aller Regel ein vorgeschalteter Grobrechen sehr zu empfehlen ist. Dessen Stababstand kann jedoch so groß sein, dass eine weniger aufwändige Reinigung (halbautomatisch, handgesteuert, nicht gleichzeitig über volle Breite) vollkommen ausreichend sein dürfte.
- Die modernen Feinrechenprofile sind durch die bekannten Verlustgleichungen nicht mehr zutreffend zu beschreiben, da der maximale Verbauungsgrad eine viel geringere Rolle spielt, als bisher.

Bezüglich der Anwendbarkeit solcher Feinrechen bei großen Anlagen ergeben sich daraus folgende Besonderheiten:

1. Moderne Feinrechenprofile erzeugen geringe Verluste, die auch bei sehr kleinen Stababständen nur wenig zunehmen. Damit gilt die Gleichung enge Stäbe = hohe Verluste dafür nicht mehr.
2. Das Reinigungsverhalten wird durch kleine Stababstände besser, da praktisch das gesamte Rechengut auf der Rechenfläche liegt, wo es sehr leicht zu erfassen und zu entfernen ist.
3. Es fallen große Mengen an Rechengut an (Laub, Gras, etc), so dass nur noch das Weiterschwimmen des Rechengutes als Entsorgungsweg verbleibt. Hierfür stehen jedoch effektive Verfahren zur Verfügung.
4. Die Vorschaltung eines Grobrechens ist sehr zu empfehlen. In vielen Fällen können Feinrechen hinter die vorhandenen Rechen angeordnet werden, wobei diese dann als Grobrechen umfunktioniert werden.
5. Auch die Kosten können im Rahmen gehalten werden, denn durch Material sparende Bauweise kann der Preis für einen Quadratmeter Rechen sogar in Edelstahlausführung im üblichen Bereich liegen.

Wenn die Rechen derart fein sind, müssen den Fischen alternative und gefahrlos zu nutzende Wanderkorridore angeboten werden. Hier stehen neben dem horizontalen Schrägrechen, der sich in der Regel nur bei neuen Anlagen anbietet und dort auch noch erhebliche Kosten aufwirft, Systeme zur Verfügung, bei denen die Fische in den gleichen Anlagenteilen abgeleitet werden, die auch zur Abfuhr des Rechengutes dienen. Dazu sind an der Universität Kassel Untersuchungen angelaufen, die zum Ziel haben, einen neuartigen Fischabstieg zu entwickeln und zu testen, der alle Fischarten erfassen kann und nur wenig Wasser benötigt.