

Rolf-Jürgen Gebler

# Dimensionierung von Schlitzpässen – Anforderungen der Fische und der Hydraulik

Die Dimensionierung von Schlitzpässen muss auf der Grundlage zweier Anforderungsprofile erfolgen. Zum einen müssen die biologischen Anforderungen der lokalen Fischfauna erfüllt werden. Hieraus ergeben sich die minimalen Beckenabmessungen, die minimale Wassertiefe, die minimalen Abmessungen des Schlitzes und der maximal zulässige Höhenunterschied zwischen zwei Becken, der die maximale Fließgeschwindigkeit bestimmt. Neben diesen ökologischen Anforderungen müssen aber zum zweiten auch hydraulische Anforderungen erfüllt werden. Um die angestrebten Strömungsverhältnisse zu gewährleisten, müssen Schlitzweite, Beckenlänge und Beckenbreite in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Wichtig ist auch die Einhaltung eines Maximalwerts des Energieeintrags, der die Turbulenz im Becken bestimmt. Weitere Aufgaben der Dimensionierung stellen sich bei schwankenden Ober- und Unterwasserständen, die sich auf die Strömungsverhältnisse im Fischpass auswirken.

## 1 Entwicklung

Der Schlitzpass (Vertical-Slot-Pass) ist die weltweit am meisten verwendete Bauart einer beckenartigen Fischaufstiegsanlage (FAA). Ursprünglich entwickelt wurde er über umfangreiche hydraulische Modellversuche in den 40er-Jahren des letzten Jahrhunderts als Doppelschlitzpass für den Pazifischen Lachs am Fraser River in British Columbia (Hell's Gate Fishway). Aufgrund der überzeugenden Aufstiegszahlen von maximal 20 000 Lachsen pro Stunde wurde für kleinere Flüsse bzw. für eine geringere Anzahl aufsteigender Fische der Doppel-Schlitzpass entlang der Mittellinie halbiert [1]. Der so entstandene Schlitzpass mit einem Schlitz, der über hydraulische Modellversuche weiter optimiert wurde, ist seitdem weltweit mit großem Erfolg im Einsatz. Während er in Frankreich bereits in den 80er-Jahren insbesondere für Großsalmoniden angewandt wurde [2], befasste sich im deutschsprachigen Raum Gebler [3] zum ersten Mal mit dem Schlitzpass. Über hydraulische Modellversuche im Theodor-Rehbock-Labor der Universität Karlsruhe ent-

wickelte er einen für kleinere Flüsse Mitteleuropas geeigneten Schlitzpass, dessen Eignung für die heimische Fischfauna über ethohydraulische Versuche mit eingesetzten Fischen und auch Invertebraten nachgewiesen wurde. Fundierte Angaben zur Dimensionierung wurden im deutschsprachigen Raum erstmals im DVWK-Merkblatt 232/1996 [4] gegeben, auf deren Basis etliche Anlagen auch im benachbarten Ausland erstellt wurden.

Der vorliegende Beitrag basiert auf der Erfahrung des Verfassers bzw. seines Ingenieurbüros bei der Dimensionierung, dem Bau, der Inbetriebnahme und der Kontrolle von über 20 realisierten Schlitzpässen an großen Flüssen, wie Rhein, Ruhr, Mosel, Neckar, Aare (CH), Salzach (Ö) und auch an kleineren Zuflüssen (**Tabelle 1**). Behandelt wird ausschließlich die innere Dimensionierung des Fischpasses. In Tabelle 1 sind zusätzlich die Daten der beiden großen Schlitzpässe am Oberrhein (Iffezheim und Gambshheim), die von französischen Kollegen geplant wurden. **Bild 1** zeigt als Beispiel den Schlitzpass am Kraftwerk Rheinfelden am Hochrhein.

## 2 Fischökologische Anforderungen

Zu Beginn einer Planung muss geklärt werden, für welche Fischarten die FAA ausgelegt werden soll. Hierzu muss die Fließgewässerzonierung am betreffenden Standort und die lokale Fischartenzusammensetzung ermittelt werden. Zu betrachten ist hierbei nicht nur die aktuelle Fischfauna, sondern auch die potentielle Fischfauna, die zukünftige Entwicklungen berücksichtigt. So ist im Rheingebiet zu klären, ob das Gewässer ein potentielles Lachsgewässer ist und ob der Maifisch zu berücksichtigen ist, im Donaugebiet sind Huchen und Wels maßgebende Fischarten [5].

Aus den entsprechenden Regelwerken [5], [6] können dann die typischen Körperabmessungen des größten zu berücksichtigenden Fisches entnommen werden. Diese Angaben sollten durch konkrete Nachfrage bei der zuständigen Fischereibehörde bestätigt und falls erforderlich angepasst werden.

### Beckendimensionen

Aus den Abmessungen des größten zu berücksichtigenden Fisches ergeben sich die

minimalen Abmessungen der Becken und des Schlitzes [5], [6], [7]:

- Beckenlänge (Innenmaß): 3 x Fischlänge
- Beckenbreite (Innenmaß): 2 x Fischlänge
- Schlitzweite: 3 x Körperbreite Fisch
- Wassertiefe: 2,5 x Körperhöhe Fisch

Diese Werte stellen die Mindestwerte dar, die sich allein aufgrund der räumlichen Mindestanforderungen des Fisches an den Wanderkorridor ergeben.

Während für die räumlichen Dimensionen der größte Fisch maßgebend ist, sind für die maximalen Werte von Fließgeschwindigkeit und Leistungsdichte (als Maß für die Turbulenz) die leistungsschwachen Fische maßgebend. Die zulässigen Maximalwerte für die Fließgeschwindigkeit bzw. die Wasserspiegeldifferenz zwischen den einzelnen Becken

und die Leistungsdichte werden in den Regelwerken [5], [6], [8] in Abhängigkeit von der Fischregion angegeben. In [6] werden die Maximalwerte der Fließgeschwindigkeiten zudem von der Gesamthöhe des Bauwerks abhängig gemacht.

Zur Orientierung der Fische soll in den Becken ein Strömungspfad mit einer Mindestfließgeschwindigkeit von  $v = 0,3$  m/s für Großsalmoniden bzw.  $v = 0,2$  m/s für alle anderen Fischarten vorhanden sein [5], [6].

Um sohlenorientierten und leistungsschwächeren Arten den Aufstieg zu erleichtern, sollte die Sohle mit Steinmaterial belegt werden, wie es schon 1991 von Gebler [3] empfohlen wurde. Innerhalb des Lückensystems der Steine und im unmittelbaren Sohlenbereich sind die Fließgeschwindigkeiten reduziert, so dass für diese Arten in Sohlennähe günstigere Strömungsbedingungen vorliegen.

### 3 Hydraulische Dimensionierung

#### 3.1 Maßgebende Wasserstände

Zur FAA-Dimensionierung müssen die maßgebenden Wasserstände im Ober- und Unterwasser ermittelt werden. Der Unterwasserstand ist zumeist rein vom Abfluss abhängig und nur in wenigen Fällen, z. B. bei Schwallbetrieb, von Regelungen betroffen, so dass eine UW-Schlüsselkurve und eine UW-Dauerlinie vorliegt bzw. ermittelt werden kann.

Nur bei festen Wehren ist der Oberwasserstand ebenfalls direkt vom Abfluss abhängig. Bei beweglichen Wehren und bei Wasserkraftnutzung ist der Oberwasserstand geregelt. Zumeist wird ein konstantes Stauziel gehalten, das nur bei Hochwasserabfluss überschritten oder auch unterschritten wird (zur Hochwasservorsorge). Schwankungen können auch durch

**Tab. 1: Abmessungen der Schlitzpässe Iffezheim und Gamsheim sowie weiterer durch IB Dr. Gebler realisierter Anlagen**

Fluss	Wehr / Kraftwerk	Gesamthöhe [m]	$\Delta h$ Becken [cm]	Abmessungen Becken (Innen) L x B [m]	Schlitzweite s [cm]	L/s	B/L	minimale Wassertiefe [m]	Abfluss [m³/s]	Leistungsdichte [W/m²]
Rhein	KW Iffezheim	11,00	30	4,50 x 3,30	45	10,0	0,73	1,35	1,20	158
Rhein	KW Gamsheim	10,00	25	4,50 x 3,30	45	10,0	0,73	1,50	1,20	124
Rhein	KW Augst	6,75	20	2,75 x 1,80	30	9,2	0,67	1,00	0,52	187
Rhein	KW Rheinfelden	9,30	15	3,15 x 2,30	30	10,5	0,73	1,22	0,56	87
Rhein	KW Dogern	4,25	17	3,15 x 2,30	30	10,5	0,73	1,43	0,68	103
Alpenrhein (CH)	Wehr Reichenau	12,00	20	2,85 x 2,10	30	9,5	0,74	1,00	0,53	158
Ruhr	KW Hengstey	5,05	15	3,25 x 2,10	40	8,1	0,65	0,95	0,57	120
Ruhr	Wehr Raffelberg	5,15	18	3,20 x 2,10	30	10,7	0,66	1,00	0,50	122
Ruhr	Wehr Stiftsmühle	2,35	13	3,07 x 2,00	28	11,0	0,65	0,88	0,35	75
Ruhr	KW Velmede	2,73	15	2,05 x 1,50	22	9,3	0,73	0,95	0,32	150
Mosel	KW Koblenz	6,00	15	3,80 x 2,70	45	8,4	0,71	1,10	0,76	93
Neckar	Wehr Ladenburg	4,60	20	2,90 x 2,10	30	9,7	0,72	1,00	0,53	155
Lauter	Scheibenhardt	2,35	17	3,00 x 2,15	30	10,0	0,72	0,80	0,40	117
Lauter	Bienwaldmühle	3,79	20	2,25 x 1,70	30	7,5	0,76	0,70	0,30	192
Murg	Wehr Glatfelter	3,23	16	2,75 x 1,80	30	9,2	0,65	0,84	0,40	138
Wiese	Wehr Schönau	1,42	20	2,15 x 1,60	20	10,8	0,74	0,70	0,22	157
Aare (CH)	Wehr Rapperswil	5,30	17	2,85 x 2,10	30	9,5	0,74	1,21	0,60	128
Limmat (CH)	Wehr Wettingen	2,25	10	3,10 x 1,80	30	10,3	0,58	0,95	0,35	61
Limmat (CH)	Schanzengraben	0,95	19	3,10 x 1,80	25	12,4	0,58	0,90	0,36	121
Salzach (Ö)	KW Werfen	9,45	15	2,85 x 1,90	30	9,5	0,67	0,90	0,40	111
Salzach (Ö)	KW Hallein	6,70	15	2,85 x 1,90	30	9,5	0,67	0,90	0,40	111
Salzach (Ö)	KW Lehen	7,85	15	3,00 x 1,90	30	10,0	0,63	0,91	0,40	105



**Bild 1:** Schlitzpass Kraftwerk Rheinfelden am Hochrhein (Quelle: Gebler)

Schleusungsbetrieb entstehen. Es ist im Detail zu ermitteln, welche Schwankungen im Normalbetrieb und bei außergewöhnlichen Ereignissen auftreten.

Üblicherweise wird von FAA eine volle Funktionstüchtigkeit zwischen  $Q_{30}$  und  $Q_{330}$  gefordert, da davon ausgegangen wird, dass bei Niederwasser und Hochwasser die natürliche Fischwanderung eingeschränkt ist. Es ist zu ermitteln, welche OW-Stände in den Zeiten  $Q_{30}$  bis  $Q_{330}$  auftreten und wie diese mit dem Unterwasserstand korrelieren.

Das maßgebende Wasserstandsspektrum sind die Wasserstände, die sowohl im Unterwasser als auch im Oberwasser im Abflussbereich  $Q_{30}$  bis  $Q_{330}$  auftreten. Hieraus ermittelt sich der maximal auftretende Wasserspiegelunterschied  $\Delta H_{Max}$  zwischen Unterwasser und Oberwasser (innerhalb des Abflussbereiches  $Q_{30}$  bis  $Q_{330}$ ), auf den der Fischpass ausgelegt werden muss.

### 3.2 Anzahl Querwände und Becken

Aus den ökologischen Anforderungen ist der maximal zulässige Wasserspiegelunterschied  $\Delta h_{zul}$  zwischen den Becken bekannt, der gegebenenfalls noch über einen Sicherheitskoeffizient [6] weiter reduziert wird. Die Anzahl der erforderlichen Querwände ergibt sich aus  $n = \Delta H / \Delta h_{zul}$ .

### 3.3 Schwankende Wasserstände

In **Bild 2** sind verschiedene, in einer FAA auftretende Zustände dargestellt.

- Status 1: Im Ausgangszustand verteilt sich  $\Delta H$  gleichmäßig auf die einzelnen Querwände ( $\Delta h = \Delta H/n$ ).

- Status 2: Bei einem konstanten OW-Stand führt ein höherer UW-Stand zu einem Einstau der FAA von UW. Mit Beginn des Einstaus verringern sich die Höhenunterschiede an den Querwänden in Fließrichtung und damit die Geschwindigkeiten in den Schlitzten. Solange der Einstau das oberste Becken nicht beeinflusst, bleibt der Abfluss  $Q$  konstant.

Maßnahmen: Erhöhung der Querwände, so dass keine Überströmung stattfindet; Überprüfung, ob die geforderten Mindestfließgeschwindigkeiten eingehalten werden.

- Status 3: Unter- und Oberwasserstand steigen um den gleichen Betrag, so dass  $\Delta H$  und die einzelnen  $\Delta h$  konstant bleiben. Die größere Wassertiefe führt zu einem höheren Abfluss. Die Fließgeschwindigkeiten und Strömungsverhältnisse in den Becken bleiben gegenüber Status 1 unverändert.

Maßnahmen: Erhöhung der Querwände, so dass keine Überströmung stattfindet.

- Status 4: In diesem Fall steigt der UW-Stand stärker an als der OW-Stand, wodurch sich  $\Delta H$  verringert.  $\Delta h$  und die Fließgeschwindigkeiten verringern sich in Fließrichtung. Bei der Berechnung des Abflusses sind zwei gegenläufige Aspekte zu betrachten: die höhere Wassertiefe und der geringere Höhenunterschied an den Querwänden.

Maßnahmen: Erhöhung der Querwände, so dass keine Überströmung stattfindet; Überprüfung, ob die geforderten Mindestfließgeschwindigkeiten eingehalten werden.

- Status 5: In diesem als kritisch zu bezeichnenden Fall steigt der OW-Stand stärker an als der UW-Stand, wodurch sich  $\Delta H$  vergrößert. Der Abfluss erhöht sich, die  $\Delta h$  und die Fließgeschwindigkeiten steigen in Fließrichtung an.

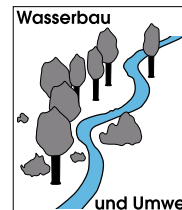
Maßnahmen: Erhöhung der Querwände, so dass keine Überströmung stattfindet; Überprüfung, ob die zulässigen Maximalfließgeschwindigkeiten (bzw. max.  $\Delta h$ ) eingehalten werden.

Die beschriebenen ungleichförmigen Abflusszustände in der FAA müssen iterativ überprüft bzw. ermittelt werden. Ein Berechnungsschema hierzu ist in [6] beschrieben.

### 3.4 Strömungsverhältnisse im Becken

Das Strömungsbild ist durch die starke Umlenkung im Bereich des hakenförmigen

## Ihr Partner für Flussbau und Wasserbau



### Ingenieurbüro Dr.-Ing. Gebler

Rudolf-Diesel-Weg 1  
D-75045 Walzbachtal  
☎ +49 / 72 03 / 83 55  
☎ +49 / 72 03 / 83 58  
✉ info@ib-gebler.de  
www.ib-gebler.de

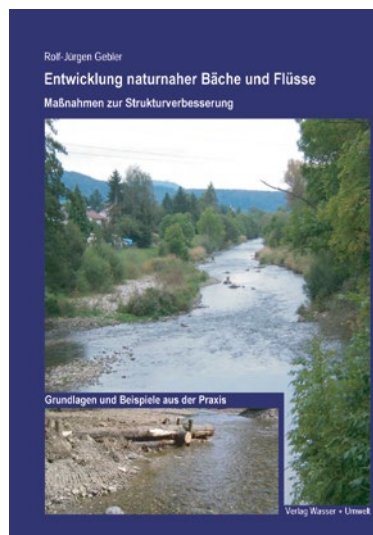


Bildquelle: ENERGIEDIENST

Naturnahes Fließgewässer am Kraftwerk Rheinfelden / Hochrhein 2,5 Jahre nach Fertigstellung

Erbrachte Leistungen IB Gebler

- Objektplanung
- Örtliche Bauüberwachung
- Inbetriebnahme



Verlag Wasser + Umwelt, Walzbachtal  
Fax: + 49-7203-8358, E-Mail: info@wasserverlag.de  
Buchpreis: 30,- Euro (D), 35,- Euro (EU), incl. Versand



gen Einbaus und des Umlenkblockes gekennzeichnet. Ziel ist die möglichst vollständige Umwandlung der eingetragenen Energie im Becken. Bereits bei den ersten Modellversuchen zu Schlitzpässen mit einem Schlitz [1] wurde beobachtet, dass die Strömung dazu tendiert, den direkten Weg von Schlitz zu Schlitz zu nehmen und dies zu einer unerwünschten Turbulenzerhöhung führt. Weitere Untersuchungen [9], [10] zeigen, dass das Strömungsbild grundsätzlich sehr empfindlich auf Veränderungen der Einbauten, dem Verhältnis von Beckenlänge zu Beckenbreite etc. reagiert.

In **Bild 3** sind die drei grundsätzlich auftretenden Strömungsbilder dargestellt, wie sie auch in [10] diskutiert wurden. In hydraulischen Modellversuchen [10] wurde bei ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen die Beckenbreite variiert.

Bei breiten Becken (Bild 3a) ergibt sich ein gekrümmter Strahl von Becken zu Becken und eine ausgedehnte Wirbelzone, die etwa die Hälfte des Beckens einnimmt. Bei schmalen Becken (Bild 3b) trifft der Strahl massiv auf die gegenüberliegende Wand, der große Wirbel entsteht nun auf der Seite des Schlitz und nimmt ca. 2/3 der Beckenbreite ein.

Für eine Beckenlänge von  $L = 10 \times$  Schlitzweite und Gefällen von 5 % bis 10 % wurde in den Modellversuchen ein Übergang zwischen den beiden Strömungsbildern bei einem Verhältnis  $B/L = 0,7$  bis  $0,73$  ermittelt.

Die grundlegende Frage lautet: Welches Strömungsbild ist für die Fische günstiger? Nach [10] soll ein zu starker Aufprall des Strahles auf die Seitenwand (Bild 3b) vermieden werden, da dies zu vertikal drehenden Wirbeln führt, die die

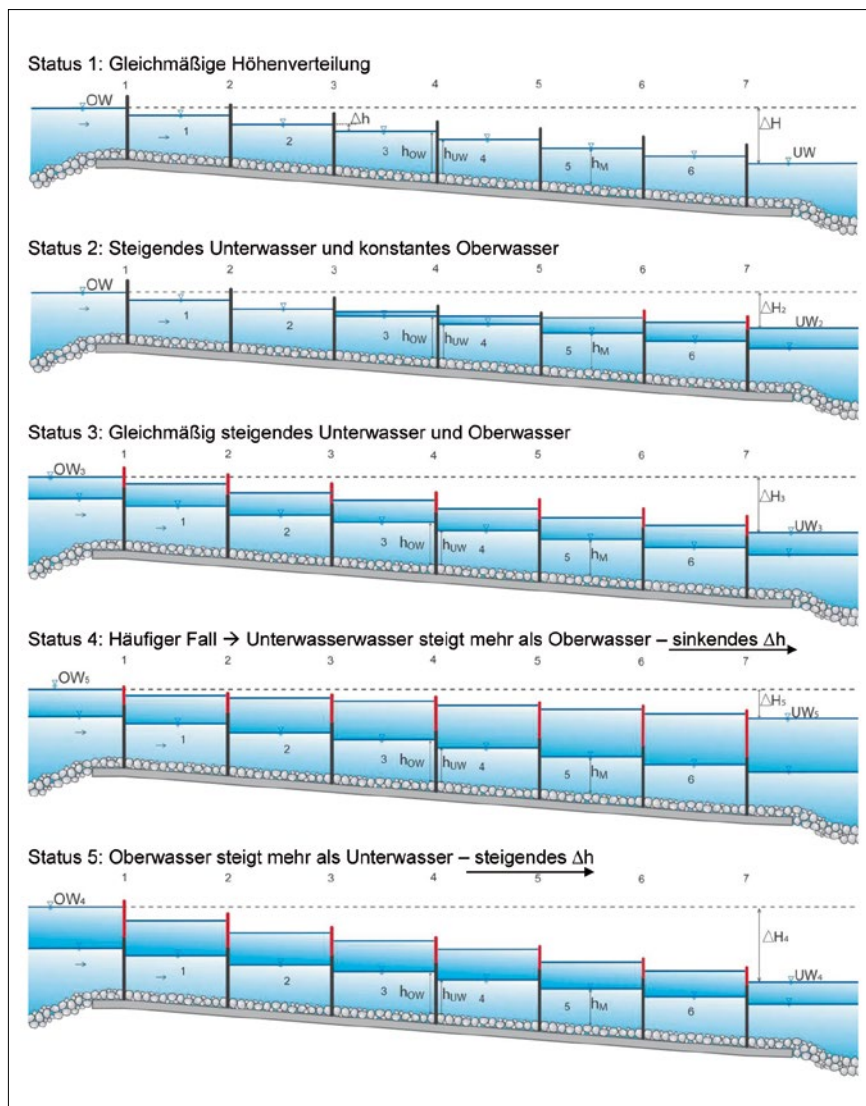
Fische irritieren. Auch zu große horizontale Wirbel (Bild 3a) sind zu vermeiden, da in diesen insbesondere kleinere Fische desorientiert gefangen sind. Es wird daher der Übergangsbereich, bei dem der Strahl weder stark auf die Seitenwand prallt noch große Wirbel erzeugt, empfohlen. Dies entspricht dem Strömungsbild 3c. Empfohlen wird deshalb ein Verhältnis  $B/L = 0,7$  bis  $0,75$  (für Gefälle von 5 bis 7,5 %). Nach Wang et al. [10] wirken die instabilen Strömungsverhältnisse im Übergangsbereich, d. h. ein Pendeln der Strömung, nicht irritierend auf die Fische, vielmehr nutzen die Fische diese Instabilitäten beim Aufstieg.

Die Becken sollen den Fischen auch Zonen zum Ausruhen bieten. Von Bell [11] wird empfohlen, dass in 30 bis 50 % des Beckenvolumens die Fließgeschwindigkeiten unter  $0,30 \text{ m/s}$  liegen sollen. Von Wang et al. [10] wurde ermittelt, dass dieses Kriterium am Besten im o. g. Übergangsbereich erfüllt wird.

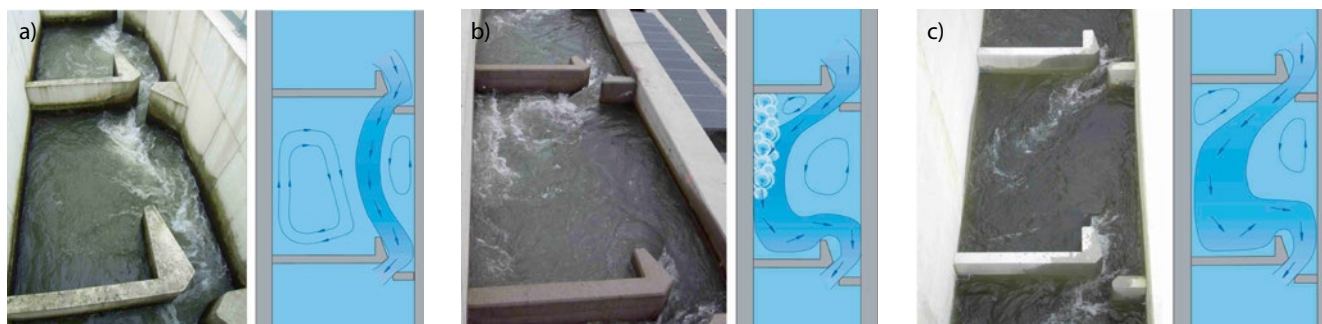
Die eigene Erfahrung des Autors bestätigen die genannten Modellversuche. Die auftretenden Strömungsbilder an ausgeführten Anlagen (Tabelle 1) entsprechen überwiegend dem angestrebten Übergangsbereich wie er in Bild 3c dargestellt ist. Teilweise wurde eine starke Anströmung der Seitenwand festgestellt. Dies tritt bei den eher schmalen Becken ( $B/L < 0,7$ ) oder bei einer zu starken Strahlumlenkung auf, die im Fall der Anlage in Bild 3b ca.  $60^\circ$  beträgt, statt der ansonsten realisierten Umlenkung von  $40^\circ$  bis  $50^\circ$ .

Das beobachtete Strömungsbild ist instabil, d. h. die Strömungsfahne pendelt etwas. Eine eher durchgehende Strömung von Schlitz zu Schlitz, wie in Bild 3a dargestellt, wurde nur an einer Anlage festgestellt. An dieser Anlage tritt die Besonderheit auf, dass in einigen Strängen der Fischpassrinne der angestrebte Zwischenzustand (Bild 3c) beobachtet wird, in anderen Strängen der eher durchgehende Zustand (Bild 3a). Diese relativ stabilen Strömungsbilder sind aus **Bild 4** deutlich zu erkennen. Trotz verschiedener Naturmessungen und numerischen Modellierungen konnte die Ursache dieses Phänomens noch nicht geklärt werden.

Diese Anlage an der Mosel in Koblenz unterscheidet sich von den anderen Anlagen in der Schlitzweite und der Beckenlänge. Da an diesem Standort der Maifisch zu berücksichtigen war, der als Schwarmfisch größere Schlitz- und Beckendimensionen erfordert, wurde eine



**Bild 2:** Im Fischpass auftretenden Abflusszustände (Quelle: Gebler)



**Bild 3:** Auftretende Strömungsbilder im Becken (Quelle: Gebler)

Schlitzweite von 45 cm realisiert. Um die Beckendimensionen und damit die Gesamtlänge des Fischpasses zu reduzieren, wurde eine relativ kurze Beckenlänge von  $L = 3,8$  m gewählt.

Das Verhältnis  $L/s$  beträgt somit  $3,8/0,45 = 8,44$  und ist damit geringer als das üblicherweise vom Verfasser gewählte Verhältnis  $L/s = 9,5$  bis  $10,5$ . Möglicherweise ist diese verkürzte Ausführung mit verantwortlich für die unterschiedlichen Strömungsbilder, die ansonsten an keiner weiteren Anlage beobachtet wurden.

### 3.5 Empfohlene Beckenabmessungen

Die Schlitzweiten und die Beckenabmessungen müssen den fischökologischen Anforderungen nach Kapitel 2 genügen. Maßgebend ist hierbei die Schlitzweite  $s$ , auf die die Beckenabmessungen bezogen werden.

Die überwiegende Anzahl der dem Verfasser bekannten Schlitzpässe weisen eine Beckenlänge von  $L = \text{ca. } 10 \cdot s$  auf. Diese Auslegung basiert auf dem in Nordamerika umgesetzten Standardschlitzpass für Lachse mit Abmessungen von  $L \times B = 3,05 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$  bei einer Schlitzweite von 30 cm und einem WSP-Unterschied von 30 cm [12]. Zahlreiche Modellversuche ([3], [9], [10], [13]) bestätigen die guten hydraulischen Verhältnissen bei diesen geometrischen Verhältnissen.

Der Schlitzpass wurde ursprünglich für Lachse entwickelt und ausgelegt, so dass die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken mit  $\Delta h = 30$  cm recht hoch angesetzt wurde. So wurden bis zur Jahrtausendwende die FAA in Frankreich zumeist auf Großsalmoniden ausgelegt und mit diesem großen  $\Delta H$  ausgeführt.

Mit der zunehmenden Erkenntnis, dass die biologische Durchgängigkeit auch für leistungsschwächere Arten herzustellen ist, verringerten sich die empfohlenen  $\Delta h$ -Werte immer weiter, so dass heute Werte von  $\Delta h = 0,10$  bis  $0,15$  cm üblich

sind. Bei gleichbleibenden Schlitzweiten und Beckenabmessungen führt dies zu einer doppelten bis dreifachen Bauwerkslänge des Schlitzpasses und damit zu sehr hohen Baukosten. Eine weitere Vergrößerung des Bauwerks ergibt sich infolge einer Vergrößerung der Schlitzweite. In diesem Zusammenhang ist die in [6] erfolgte Erhöhung der minimalen Schlitzweite für den Lachs von  $s = 30$  cm [4] auf  $s = 35$  cm nicht verständlich. Nach [6] bemisst sich die Breite einer Engstelle als dreifacher Wert der Körperbreite, der in [6] für den Lachs mit  $3 \cdot D_{\text{Fisch}} = 30$  cm angegeben wird, so dass weiterhin von einer minimalen Schlitzweite von 30 cm für den Lachs ausgegangen werden kann.

Es stellt sich grundsätzlich die Frage, wie sich die  $\Delta h$ -Reduzierung auf das Strömungsbild auswirkt und welche Folgen dies für die Beckendimensionierung hat. So wird in der Fachwelt auch diskutiert, ob mit den derzeit üblichen geringen  $\Delta h$ -Differenzen möglicherweise eine durchgehende Strömung nach Bild 3a akzeptabel oder eventuell sogar günstiger für den Fischauftstieg ist.

Zur Klärung der offenen Fragen sind derzeit hydraulische und numerische Untersuchungen bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, und verschiedenen Universitäten im Gange. Erste Untersuchungen [14] lassen folgende Rückschlüsse zu:

- eine Verkürzung der Becken begünstigt eine durchgehende Strömung nach Bild 3a,
- eine Reduzierung des Gefälles (geringere  $\Delta h$ -Differenz) begünstigt eine durchgehende Strömung nach Bild 3a,
- eine Vergrößerung der Beckenbreite begünstigt eine durchgehende Strömung nach Bild 3a.

Bis zur Klärung der offenen Fragen wird seitens des Autors eine Gestaltung des Schlitzpasses nach **Bild 5**, die auf dem Original-Design nach Clay [1] basiert, emp-

fohlen. Die folgenden Empfehlungen gelten für den durch Modellversuche und ausgeführte FAA (Tabelle 1) abgesicherten Gefällebereich  $I = 5$  bis  $10$  %:

- Empfohlene Beckenlänge:  $L = 10 \cdot s$
- Empfohlene Beckenbreite:  $B = 7,3 \cdot s$
- Verhältnis Beckenbreite zu Beckenlänge:  $B/L = 0,73$

Für den Standard-Schlitzpass mit 30 cm Schlitzweite ergeben sich somit Beckenabmessungen von  $L = 3,0$  m und  $B = 2,20$  m.

Die Gestaltung des hakenförmigen Umlenkblockes orientiert sich an der Originalgestaltung [1], wobei die Hakenlänge von  $d = 2 \cdot s$  auf  $d = 1,66 \cdot s$  (50 cm bei  $s = 30$  cm) reduziert wurde. Hierdurch wird die Länge der Engstelle, die die Fische durchschwimmen müssen, reduziert.

Die Länge des Umlenkblockes beträgt  $c = 1,33 \cdot s$  (40 cm bei  $s = 30$  cm). Dieser Vorsatz ist entscheidend für die Strömungsumlenkung, die  $45^\circ$  betragen sollte. Größere Umlenkungswinkel bewirken eine zu starke Auslenkung zur gegenüberliegenden Seitenwand, kleinere Winkel erhöhen die Gefahr einer Kurzschlussströmung. Die Anordnung und Länge der Querwand mit dem hakenförmigen Vorsatz ergibt sich als Funktion der genannten Werte. In **Bild 6** ist ein Beispiel für die genannte Ausführung dargestellt.

In Modellversuchen ([3], [10]) und an Beobachtungsfenstern an den Fischpässen ist zu beobachten, dass die Fische den Strömungsschatten hinter diesem Umlenkblock als Warteposition nutzen, um von dort aus in einem kurzen Sprint die hohe Schlitzströmung zu überwinden (**Bild 7**). Weitere Angaben zum Verhalten der Fische im Schlitzpassbecken sind u. a. Wang et al. [10] zu entnehmen.

Die minimale Wassertiefe tritt in den Becken direkt nach der Querwand auf. Die Wassertiefe ist auf das Gewässer und den zur Verfügung stehenden Abfluss auszu-



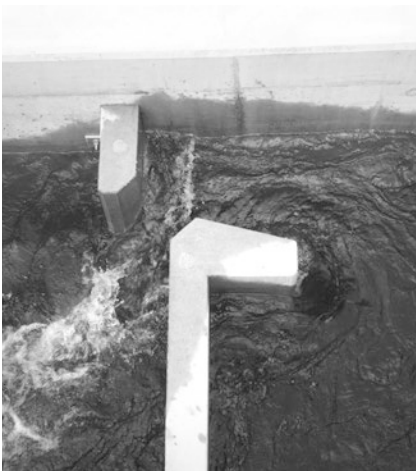


**Bild 4:** Unterschiedliche Strömungsbilder im Schlitzpass Koblenz: rechte Rinne: Zwischenzustand; mittlere und linke Rinne: eher durchgehende Strömung von Schlitz zu Schlitz (Quelle: Gebler)

richten. Als absolutes Minimum ist eine Wassertiefe von  $y = 0,50$  m zu betrachten. Für größere Flüsse ist eine Wassertiefe von mindestens 0,90 m vorzusehen.

### 3.6 Berechnung des Abflusses

Da die Schlitzströmung eine Kombination eines Tauchstrahls und eines Überfalls darstellt, ist die Abflussberechnung weder einfach noch eindeutig. In der englisch- und französischsprachigen Literatur wird der Abfluss als eingetauchter Strahl aus einer Öffnung berechnet, d. h. in Abhängig-



**Bild 6:** Ausbildung des hakenförmigen Vorsatzes und des Umlenkblocks (Quelle: Gebler)

keit von  $\Delta h$  ( $Q = f(\Delta h)$ ). Die jeweiligen Abflussbeiwerte sind in erster Linie von der Gestaltung der Einbauten abhängig.

In der deutschsprachigen Literatur ([4], [6], [15]) hingegen wird eine Abflussberechnung analog zu einem Überfall bzw. als Durchströmung einer Engstelle (Venturi) vorgeschlagen, d. h. in Abhängigkeit des Wasserstands oberhalb der Querwand ( $Q = f(h_0)$ ). Der Abflussbeiwert ist hierbei nur vom Verhältnis der Wasserstände unterhalb und oberhalb der Querwand abhängig ( $\mu = f(h_u/h_0)$ ).

Beide Verfahren bieten Vor- und Nachteile. Derzeit wird in Arbeitsgruppen des DWA eine Harmonisierung der Berechnungsverfahren erarbeitet. Bis zum Vorliegen entsprechender Ergebnisse wird vom Autor eine weitere Verwendung des Verfahrens nach [4] vorgeschlagen. Im DWA-Merkblatt M-509 [6] wird in Abflussbeiwerte für „strömungsstabile“ und „strömungsdissipierende“ Zustände unterschieden. Da die Bemessung von Schlitzpässen auf „strömungsdissipierende“ Zustände im Becken ausgerichtet ist, sollten die Abflussbeiwerte für diesen Zustand verwendet werden.

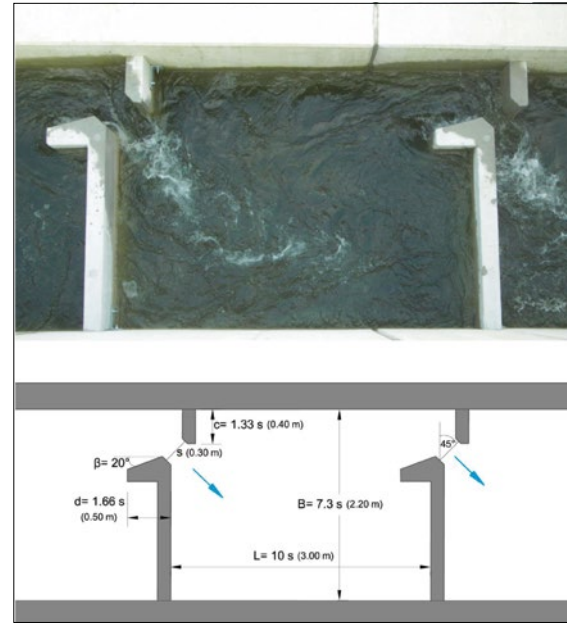
### 3.7 Kontrolle der Leistungsdichte

Als letzter Bemessungsschritt ist die Leistungsdichte in den einzelnen Becken zu überprüfen. Hierbei wird die in das Becken pro Zeiteinheit eingetragene potentielle Energie (Leistung) ins Verhältnis gesetzt zum Beckenvolumen, in dem diese Energie umgewandelt werden muss. Diese Leistungsdichte ist somit ein Maß für die Turbulenz im Becken.

In den Regelwerken [5], [6], [8] sind die einzuhaltenden Grenzwerte in Abhängigkeit von der Fischregion angegeben, wobei [5] wesentlich geringe Grenzwerte angibt als die Regelwerke aus Deutschland und der Schweiz.

## 4 Ausblick

In den neuen Regelwerken [5], [6] zu FAA sind die maximal zulässigen Fließgeschwindigkeiten in den Engstellen (Schlitze) erheblich reduziert worden. Noch vor wenigen Jahren entsprachen Schlitzpässe mit  $\Delta h$ -Differenzen zwischen den Becken von 15 bis 20 cm dem aktuellen Stand der Technik. Nach den neuen Regelwerken werden die meisten zukünftigen Anlagen nur noch  $\Delta h$ -Differenzen von 10 bis 15 cm aufweisen.



**Bild 5:** Empfohlene Beckenabmessungen (Quelle: Gebler)

Gleichzeitig werden nach den Regelwerken größere Schlitzweiten erforderlich, die wiederum zu größeren Beckenabmessungen führen. Insgesamt führt dies zu einer erheblichen Vergrößerung der Bauwerksabmessungen und damit zu sehr hohen Baukosten.

Demgegenüber basiert die hydraulische und geometrische Dimensionierung von Schlitzpässen auf Modell- und Naturuntersuchungen an Schlitzpässen, die für leistungsfähige Fische (Lachse) ausgelegt waren und somit  $\Delta h$ -Differenzen von 30 cm aufwiesen. Es ist noch ungeklärt, wie sich die Reduzierung der  $\Delta h$ -Differenz zwischen den Becken und eine



**Bild 7:** Rotaugen im Strömungsschatten des Umlenkblocks. Von hier aus starten sie zum Durchschwimmen des Schlitzes (Quelle: [3])

Vergößerung des Schlitzes auf das Strömungsbild im Becken auswirken und welche Folgen dies für die Beckendimensionierung hat.

In Anbetracht der sehr hohen Baukosten für FAA ist es zwingend erforderlich, die aktuellen Dimensionierungsvorgaben zu hinterfragen bzw. durch hydraulische und numerische Modellversuche zu aktualisieren. Hierbei stellen sich u. a. folgende Fragen:

- Hat die bisher geltende Vorgabe, dass eine durchgehende Strömung von Schlitz zu Schlitz zu vermeiden ist, bei den geringen  $\Delta h$ -Differenzen von 10 bis 15 cm noch Bestand?
- Können infolge der geringen  $\Delta h$ -Differenzen (geringerer Energieeintrag) auch die Beckenabmessungen reduziert werden?

#### Autor

##### Dr.-Ing. Rolf-Jürgen Gebler

Ingenieurbüro Dr. Gebler  
Rudolf-Diesel-Weg 1, 75045 Walzbachtal  
info@ib-gebler.de

#### Literatur

- [1] Clay, C. H.: Design of Fishways and Other Fish Facilities. The department of fisheries of Canada, Ottawa, 1961.
- [2] Larinier, M.; Travade, F.; Porcher, J. P.: fishways, biological basis, design criteria and monitoring. In: Bull. Fr. Peche Piscic. (2002), 364 suppl.
- [3] Gebler, R.-J.: Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer. In: Mitteilungen des Inst. Für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (1991), Nr. 181.
- [4] DVWK (Hrsg.): Fischaufstiegsanlagen. In: Merkblätter zur Wasserwirtschaft des DVWK (1996), Heft 232.
- [5] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen. Wien, 2012.
- [6] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter (2014), M 509.
- [7] Jäger P.: Der österreichische Leitfaden für den Bau von Fischaufstiegshilfen – Grundlagen und Vorschläge. In: WasserWirtschaft 102 (2012), Heft 5.
- [8] Bundesamt für Umwelt (Hrsg.): Wiederherstellung der Fischauf- und abwanderung bei Wasserkraftwerken, Checkliste Best practice. Bern, 2012.
- [9] Tsujimoto, T.; Kitamura, T.; Murakami, S.: Numeric calculation of flow in vertical slot and its application. In: Proc. of the Int. Symposium on Fishways, Gifu, Japan, 1995.
- [10] Wang, R. W.; David, L.; Larinier, M.: Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. In: Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2010), Nr. 2, S. 396.
- [11] Bell, M.: Fisheries Handbook of engineering requirements and biological criteria – Fish Passage Development and Evaluation Program. US Army Corps of Engineers, Portland, 1986.
- [12] Andrew, F. J.: The use of vertical-slot fishways in British Columbia, Canada. In: Proc. Of the Int. Symposium on Fishways, Gifu, Japan, 1990.
- [13] Rajaratnam, N.; Katapodis, C.; Solanki, S.: New designs for vertical slot fishways. In Canadian Journ. Of Civil Engineering (1992).
- [14] Musall, M.; Oberle, P.; Henning, M.; Weichert, R.; Nestmann, F.: Analysen zu Strömungsmustern in technischen Fischaufstiegsanlagen. In: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen (2014), Heft 50, S. 353-362.
- [15] Krüger, F.; Heimerl, S.; Seidel, F.; Lehmann, B.: Ein Diskussionsbeitrag zur hydraulischen Berechnung von Schlitzpässen. In: Wasser-Wirtschaft (2010), Heft 3.

#### Rolf-Jürgen Gebler

##### Design of Vertical Slot Passes – Ecological and Hydraulic Requirements

The vertical slot pass is the most common fishpass in Europe. Based on the experience of the author in designing and implementing of more than 20 vertical slot passes in Central Europe the planning process is explained. The ecological requirements, based on the fish species and the size of fish, appoint the minimum pool dimensions and the maximum flow velocity. On the other hand the hydraulic conditions require certain relations between slot width, pool width and pool length. Three different flow patterns in the pools can be observed: A curved jet from slot to slot, a jet that hits strongly the opposite side wall and an oscillating jet in the centre of the pool, which is the common design aim. The hydraulic design criteria of a vertical slot pass are based primarily on investigations on fish passes for salmon with heads of 30 cm. With the new actual guidelines in Germany, Austria and Switzerland the head between two pools will be reduced in the most cases to 10 to 15 cm often accompanied by slot width of 35 to 50 cm. The common hydraulic design criteria lead to very large pools and thus huge constructions and high costs, so a review of these hydraulic design criteria is required. The main question is: Is it feasible to reduce the pool dimensions in case of reduced pool heads and reduced input of energy?

#### Рольф-Юрген Геблер

##### Определение основных параметров шлицевых проходов – требования с точки зрения рыбоведения и гидравлики

Определение основных параметров шлицевых проходов должно осуществляться на основе двух типов требований. С одной стороны, должны быть учтены требования с точки зрения биологии и местной рыбной фауны. Как следствие, определяются минимальные размеры бассейна, минимальная глубина воды, минимальные размеры прохода и максимально допустимый перепад высот между двумя бассейнами, что обеспечивает максимальную скорость потока. С другой стороны, наряду с этими экологическими требованиями должны быть выполнены также требования с точки зрения гидравлики. Для обеспечения желаемых характеристик течения ширина прохода, длина и ширина бассейна должны находиться в определенной пропорции по отношению друг к другу. Важным аспектом является также соблюдение максимального значения входной энергии, что определяет турбулентность в бассейне. При наличии колеблющихся уровней воды в верхнем и нижнем бьефе в вопросах определения основных параметров возникают и другие задачи, влияющие на характеристики течения в рыбоходе.