

Dr.-Ing. R. Hassinger,
Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau

1 Einleitung

Die Technik zum Einsatz von Borstenelementen als Absorber hydraulischer Energie in Fischpässen und Fisch-Kanu-Pässen wurde seit den ersten Versuchen im Jahr 2000 inzwischen in ca. 40 Anlagen eingesetzt. Die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen, da sich aus den betrieblichen Erfahrungen und den Funktionskontrollen noch Bedarf für eine Weiterentwicklung ergab und auch weiterhin ergibt. Allerdings ist inzwischen durch diverse Erfahrungen und die Ergebnisse neuerer Laborversuche ein gewisser Status erreicht, der Anlass gibt für eine Bestandsaufnahme.

Nachfolgend wird der zum Jahresbeginn 2009 erreichte Kenntnis- und Erfahrungsstand zur Gestaltung von Borsten-Fischpässen und Fisch-Kanu-Pässen zusammengefasst. Die Aussagen stellen die Empfehlungen dar, die zum Zeitpunkt des Berichtsstandes von der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau bei Planung und Umsetzung von Projekten mit Borsten-Fischpässen oder Fisch-Kanu-Pässen gegeben werden.

2 Bemessung

Die Bemessungsmethodik, die seit dem Jahr 2004 vorgeschlagen wird, hat sich im Prinzip nicht geändert. Die Bemessung beruht auf einem Vergleich der antreibenden Kräfte in einer Fischpassrinne (Hangabtrieb) mit der Summe aller Widerstandskräfte der Borsten. Die Bemessung geht von der Vorstellung aus, dass die Borsten durch im Wasservolumen verteilt angreifende Widerstandskräfte bremsend wirken. Die Wandreibung spielt bei diesem Vorgang nur eine sehr untergeordnete Rolle. Der benötigte Borstenbesatz ergibt sich kurz gefasst nach dem Prinzip, dass diejenige Anzahl der Borsten gesucht wird, die benötigt wird, um bei dem gewünschten Durchfluss das Wasser zu halten.

Für die Durchführung dieser Bemessung wurde ein EXCEL-Blatt entwickelt, das von der Internet-Site der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Uni Kassel heruntergeladen werden kann (www.uni-kassel.de/f14/vpuw).

Das alternativ von Meier (2006¹) empfohlene Bemessungsverfahren arbeitet dagegen mit dem herkömmlichen Ansatz einer Wandreibung mit Impulstransfer von der Wand nach innen, der dem tatsächlichen Wirkungsmechanismus nur

¹ Meier, D.;Lehmann, B.: Borstenfischpass – Entwicklung eines Bemessungskonzepts. Wasserwirtschaft 96, 2006, H.10, S. 16-21

eingeschränkt Rechnung trägt. Deshalb wird diese Bemessung auch aus praktischen Erfahrungen der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau heraus von der Versuchsanstalt nicht unterstützt.

3 Gestaltung von Borstenanlagen

3.1 Anordnung der Borstenriegel

Bei der Anordnung mit über die Länge der Fischpassrinne gleich verteilten Riegeln ergeben sich für ein Gefälle von 1:20 und 5 cm Fallhöhe an jedem Riegel Beckenlängen von ca. 70 – 75 cm, was allgemein als zu gering für große Fische angesehen wird. Um den größeren Fischen mehr Platz zu verschaffen, werden nun gruppierte Riegelanordnungen (Bilder 1 und 2) vorgeschlagen. Dies bedeutet, dass 2 bis 4 Riegel zu einer Gruppe zusammengefasst werden, innerhalb der die Räume enger sind, deren Gesamtlänge jedoch zumindest für größere Fische ein Durchschwimmen in einem Zug erlaubt. Die Höhendifferenz pro Einzelriegel sollte 6 cm nicht überschreiten.

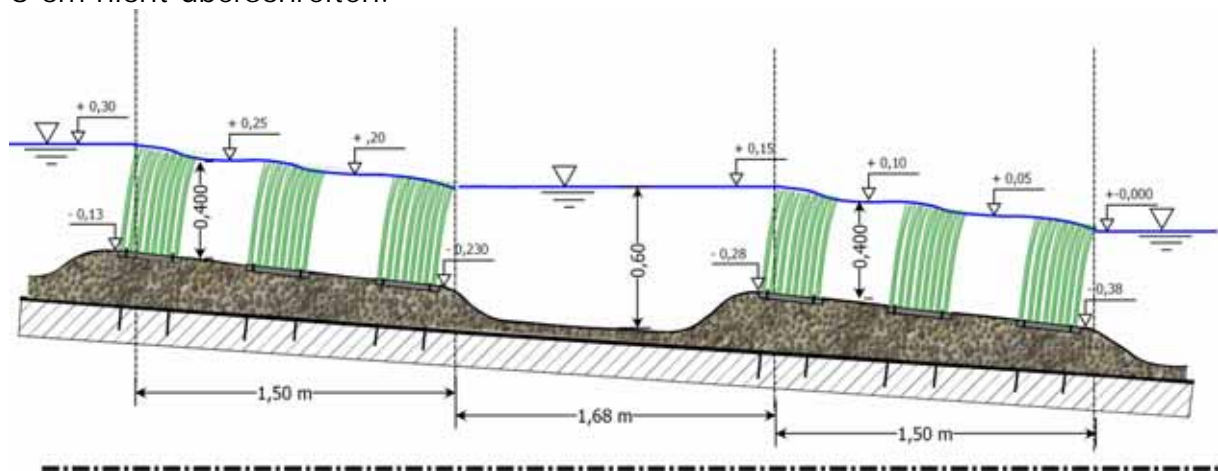


Bild 1: Längsschnitt durch gruppierte Borstenriegel (Beispiel)

Die dichte Aufeinanderfolge der Borstenriegel führt natürlich dazu, dass bei der Durchströmung vom oberen zum folgenden unteren Riegel mehr kinetische Energie mitgenommen wird, die dort die Strömungsgeschwindigkeiten gegenüber den gleichverteilten Borstenriegeln erhöht. Die Geschwindigkeiten bleiben jedoch deutlich geringer als die Geschwindigkeiten in einem einzelnen Schlitz bei einer Höhenabstufung Δh , welche der gesamten im Mehrfachriegel abgebauten Höhendifferenz entspricht. Es wurden im Labor und in der Anlage in Fürstenberg/Havel bei einer Gesamt-Höhenabstufung am Dreierriegel von 15 cm nach dem 3. Schlitz Geschwindigkeiten von 1,25 bis 1,40 m/s gemessen. Diese Geschwindigkeit ist jedoch nur in einem sehr kleinen Kernbereich im Zentrum des Strahls vorzufinden. Außerhalb des Kernbereichs liegen wesentlich geringere Geschwindigkeiten vor, die durch den Impulsaustausch mit dem Wasser seitlich des Hauptkanals (Gerinne mit extrem rauen und durchlässigen Seitenwänden) zur Erklärung ist.

3.2 Gestaltung der Durchlässe

Bei den erwähnten Versuchen mit großen Fischen im Jahr 2008 (Lachsforellen 80 cm; Hecht bis 106 cm) wurde beobachtet, dass der Aufstieg dann besonders gut angenommen wurde, wenn das Lückensystem in der Riegelgruppe so fluchtete, dass von unten nach oben eine Sichtverbindung bestand (siehe Bild 2). Durch den Queraustausch von Wasser in den schräg verlaufenden Gassen werden beschleunigte Strömungsanteile auf einer Seite ständig in die Borsten gelenkt und von der anderen Seite durch langsames Wasser ersetzt. Dieser Mechanismus verhindert zu hohe Geschwindigkeiten in der Gasse, auch wenn diese gradlinig verläuft, und bietet schwimmschwachen Fischen ausreichend Räume zum Aufstieg.

Im Labor wurde beobachtet, dass kleinere Fische die Mehrfachriegel sowohl in einem Zug als auch in Etappen durchschwammen, wobei die Zwischenräume zum Verweilen genutzt wurden. Funktionskontrollen in Brandenburg zeigten, dass Fische ab 4 cm Länge die Borstenpässe zum Aufstieg nutzen können.

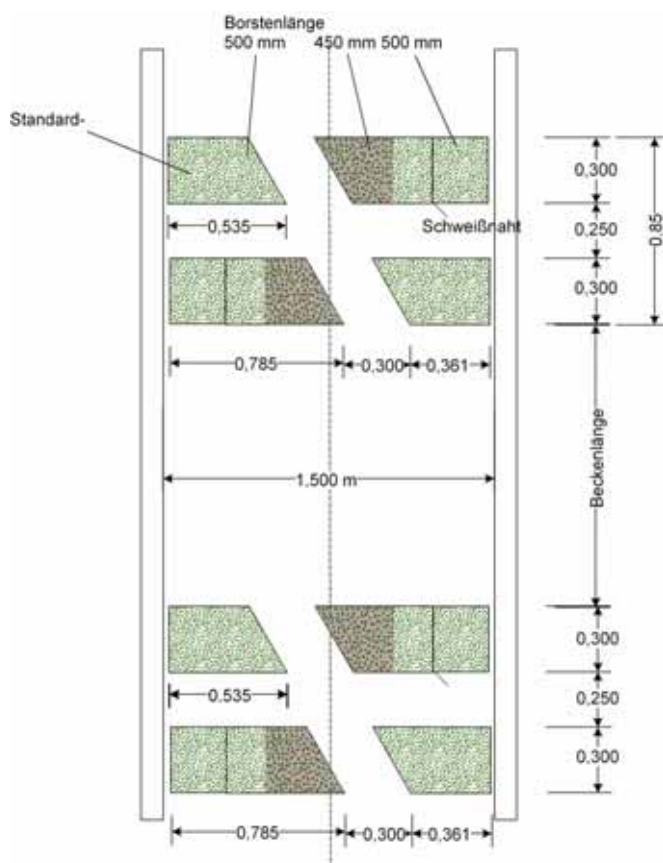


Bild 2: Grundrissanordnung bei Doppelriegeln (Beispiel mit 1,50 m Breite)

3.3 Becken

Zwischen den Riegelgruppen entstehen durch die Gruppierung größere Becken, die es erlauben, die Sohle tiefer zu ziehen, um mehr Beckenvolumen bereit zu stellen. Bei einem Gefälle von 1 : 20 und Dreifachriegeln wären diese Becken

etwa 1,60 m lang, bei Doppelriegeln etwa 1,15 m. Versuche mit großen Fischen im Jahr 2008 (Lachsforellen 80 cm; Hecht bis 106 cm) (Hübner 2009/2) zeigten, dass in den Becken der Borstenfischpässe bei normalem Betriebszustand keine oder nur eine geringe Rotation des Wassers auftritt, so dass große Fische keine Schwimmbewegungen im Kreis durchführen. Zwischen den Passagen der Borstenriegel verharren sie praktisch stationär an Ort und Stelle neben dem abfließenden Strahl im Strömungsschatten eines Borstenelements und schwimmen höchstens quer von einer zur anderen Seite. Deswegen ist aus diesen Versuchen keine Notwendigkeit ersichtlich, dass bei fehlender Strömungsrotation mehr als 1,5 Fischlängen an Raum benötigt wird. Eine Beckenlänge von mehr als 1,5 m erlaubt auch schon den Einsatz von Strukturelementen, wie z.B. Steinen oder kleinen Baumstubben.

Als weiteres Gestaltungselement sind mögliche Breitenvariationen zwischen den Borstenriegeln und den Becken anzusehen. Wenn nur eingeschränkt Wasser zur Verfügung steht, kann die Breite im Bereich der Borstenriegel gegenüber den Becken verkleinert sein. Die verringerte Breite ist dann nur über die kurze Strecke des Mehrfachriegels ($< 1,5$ m) vorhanden; in den Becken steht die volle Breite zur Verfügung. Die Breitenbegrenzung im Borstenbereich kann auf einfache Weise mit Betonfertigteilen oder mit auf die Seitenwand aufgedübelten Bohlen aus Recycling-Material realisiert werden.

3.4 Wassertiefe und Borstenlänge

Der Borstendurchmesser und damit die Belastbarkeit sind derzeit herstellungstechnisch auf 4×6 mm oval (im Mittel 5 mm) begrenzt. Deshalb kann die Steifigkeit der Borsten zum Halten größerer Wassertiefen momentan nicht gesteigert werden. Da die Belastung der Borsten von der Höhendifferenz am Einzelriegel abhängt, sind durch Reduzieren von Δh prinzipiell auch längere Borsten möglich. In der Praxis liegen die Wassertiefen zwischen 40 und 60 cm, wobei die hydraulische Berechnung mit dem oben erwähnten EXCEL-Blatt die Belastung der Borsten überprüft.

3.5 Anbindung an das Oberwasser

Die Höhenlage des obersten Borstenfeldes bestimmt weitgehend den Abfluss in die Anlage. Wenn die Borstenlänge genau so groß gewählt wird wie die angestrebte Wassertiefe und von den Borsten 30 mm in der Grundplatte stecken, ist die hydraulisch effektive Borstenlänge 30 mm kleiner und die Borsten werden innerhalb des Borstenfeldes mit im Mittel 30 mm Höhe überströmt. Der oberste Borstenriegel sollte bei Q_{30} mit den Spitzen auf gleicher Höhe wie der Oberwasserspiegel liegen. Bei etwas höheren Abflüssen ist dann eine Zuströmhöhe von einigen cm über den Borsten gegeben. Bei Q_{330} sollte die Zuströmhöhe nicht höher als 20 cm über den Borstenspitzen liegen.

3.6 Faltung des Fischpasses

Die gruppierte Anordnung erlaubt eine platz sparende Konfiguration in Form eines „Treppenhauses“ (Bild 3). In diesen Anlagen entsprechen die Strömungsgeschwindigkeiten denjenigen bei gestreckter Linienführung. Infolge der Tatsache, dass die außen liegenden Becken jeweils 2 „Treppenläufe“ überspannen, ergibt sich für diese Becken eine Länge von mindestens 2,0 m und mit einer Breite von mindestens 1,2 m ein großzügiges Volumen. Die gefalteten Fischpässe können außen auch mit naturnahen Böschungen eingefasst werden, in die Strukturelemente integriert werden.



Bild 3: Gefalteter Fischpass mit 3-fach-Riegeln (rechnerische Leistungsdichte in den Becken 53 W/m^3 bei 240 l/s , Lückenbreite 30 cm)

Bei dieser Bauweise können die Leitwände bzw. Zwischenwände auch aus Recycling-Kunststoff-Bohlen in Stahl-U-Profilen errichtet werden. Dies ergibt eine kostengünstige und lange haltbare Konstruktion.

3.7 Kombination von Borsten und Steinen in Riegeln

Von verschiedenen Standorten an Hunte und Oker liegen Erfahrungen von Borstenelementen in Steinriegeln vor. Hier hat sich gezeigt, dass die Integration von Borstenelementen in 3 Riegeln in einer Steinlücke Ihren Zweck als mit dem Boot befahrbare und für den Fisch durchschwimmbare Gasse voll erfüllt. Diese Bauweise kann in fischökologischer Hinsicht dadurch vorteilhaft sein, dass die Geschwindigkeiten durch die Auflösung der Höhendifferenz in 3 Stufen geringer sind als in einer reinen Steinlücke. So werden an einer in 3 Borstenriegeln auftretenden Geschwindigkeiten bei einer Höhenabstufung von 18 cm maximal bei 1,4 m/s liegen, während sie bei gleicher Höhenstufe zwischen Steinen 1,8 m/s überschreitet.

Die gesamte Höhenabstufung am Riegel sollte zwischen 15 und 18 cm liegen. Diese Bauweise wäre auch geeignet, in Ausleitungsstrecken mit geringen Restabflüssen ein für das Fischleben ausreichendes Wasserpolster zu halten, wobei eine Bootspassage möglich wäre.

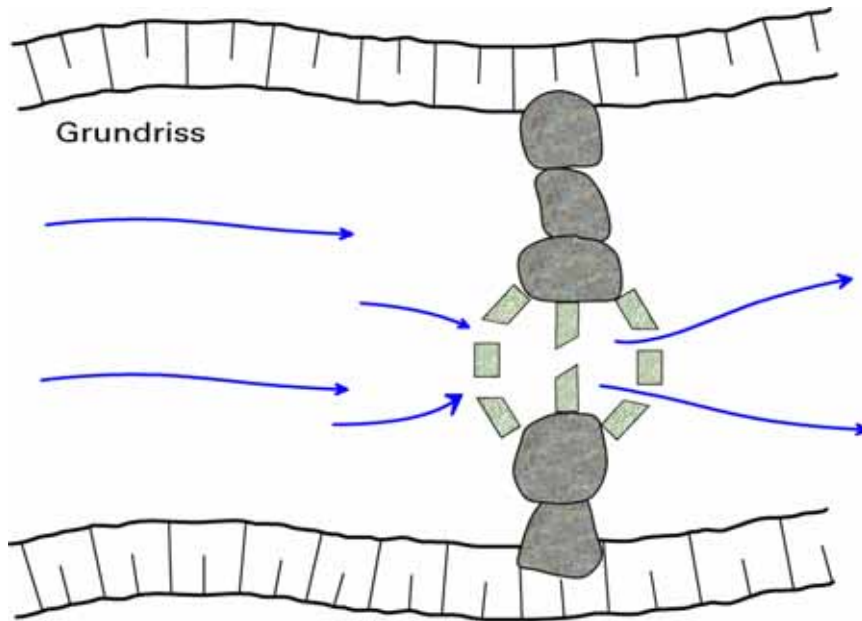


Bild 4:
*Borstendurchlass in
Steinriegeln*

4 Energieumwandlung

Ein Laborversuch im Jahr 2008 mit gruppierten Riegeln und großen Fischen wurde auch zur Erfassung der Aufteilung der Energieumwandlung genutzt. Hier ergab sich, dass in den Borstenfeldern ein erheblicher Anteil der Energieumwandlung ($> 50\%$) stattfindet, ohne dass dort jedoch die Strömungsgeschwindigkeit unzulässig groß würde. Für das nachfolgende Becken verbleibt damit ein kleinerer Anteil, der es erlaubt, die Leistungsdichte bei den genannten Beckenlängen deutlich unter 80 W/m^3 zu halten. Bei etwas großzügigerer Gestaltung der Becken (z.B. durch vergrößerte Breite) sind ohne übermäßigen Aufwand Leistungsdichten möglich, die normal für reine Ruhebecken gelten (ca. 30 bis 50 W/m^3).

Infolge des Eintrags von organischem Material in die Borstenblöcke werden diese weniger durchlässig und wirken hydraulisch teilweise monolithisch. Dadurch näherts sich der Prozess der Energieumwandlung dem in einem steinbesetzten raugerinne an. Durch die verbleibende Durchlässigkeit und die Elastizität wird jedoch auch mit Verlegung der Borsten mit Laub ein erheblicher Teil der Energieumwandlung im Borstenfeld stattfinden. Mit den oben genannten Leistungsdichten in den Becken bestehen aber auch dann gegenüber den zulässigen Werten große Reserven.

5 Borstenelemente

5.1 Größe und Form

Für die Borstenelemente wurde eine Standard-Grundplatte entwickelt, die fertig mit Löchern hergestellt wird und von beiden Seiten bestückbar ist (Bild 5). Diese Grundplatte hat die Form eines Halbtrapezes und gibt die Standardgröße (Breite

361/534 x 300 mm, 30 mm dick) vor. Ein solches Standard-Borstenelement kostet einbaufertig ohne Fracht derzeit knapp unter 100 Euro. Durch teilweises Bestücken oder Abschneiden lassen sich hieraus kleinere Elemente leicht (z.B. Rauten, Trapeze) herstellen. Durch Zusammenschweißen können auch größere Platten bzw. Elemente mit teilweise anderen Formen hergestellt werden. Für diese größeren Platten ist jedoch wegen höheren Materialaufwandes und für die Schweißnaht ein nicht unerheblicher Preiszuschlag zu kalkulieren. Deswegen ist es wirtschaftlich, den Borstenbesatz auf der Basis des Standardelementes zu bemessen. Die Borstenbündel werden wie bisher üblich in die Löcher der Grundplatten von unten hineingesteckt und mit einem Armierungsgewebe gegen Herausfallen gesichert.

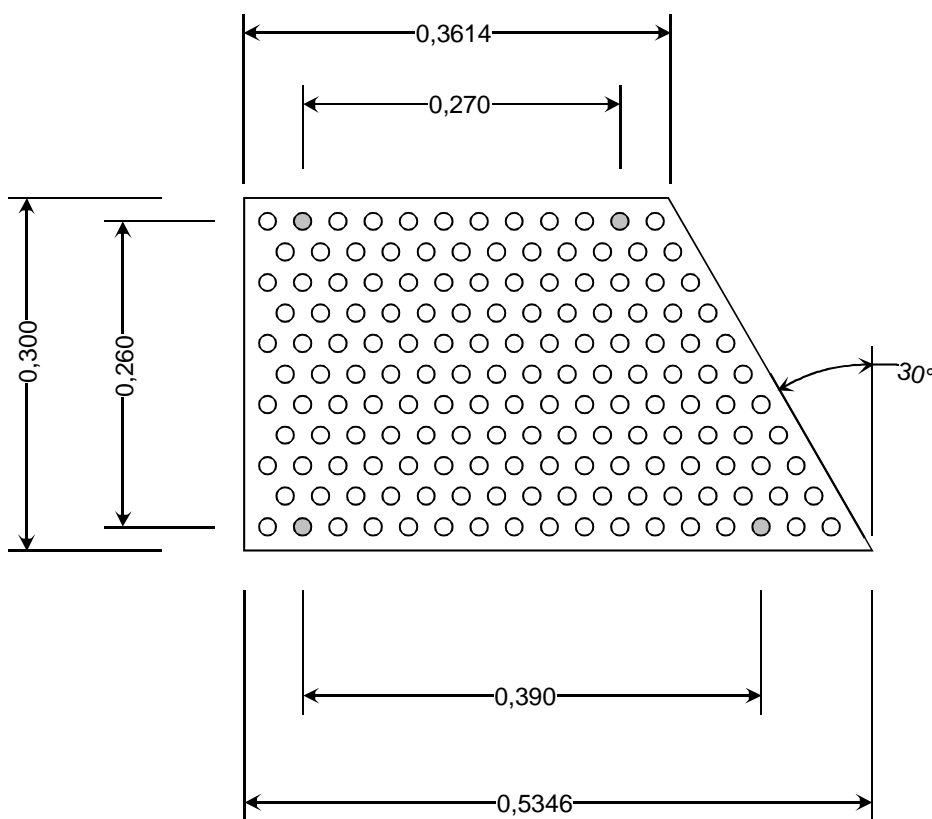


Bild 5: Standard-Grundplatte

5.2 Befestigung der Borstenelemente

Im Laufe der letzten Projekte haben sich zwei Arten der Befestigung herauskristallisiert, die beide im Hinblick auf die Funktion und die Stabilität annähernd gleichwertig sind.

- a) Befestigung mit Stehbolzen auf einer festen Sohle (Bild 6a): In oder auf die feste Sohle werden Stehbolzen fixiert, auf denen später die Borstenelemente aufgeständert werden. Der Raum unter den Borstenplatten sollte am oberen Rand der Gruppe mindestens 250 mm betragen; am unteren Rand verbleibt dann bei üblichem Gefälle eine Höhe des Lockermaterials von ca. 17 cm. Im nachfolgenden Becken wäre das Lockersubstrat dann an der dünnsten Stelle ca.- 10 cm dick.

- b) Befestigung auf Beton-Basisplatten (Bild 6b): Wenn der Untergrund des Fischpasses voll aus Lockermaterial aufgebaut werden soll, bietet es sich an, die Borstenelemente mit einer Basisplatte aus Beton zu gründen. Die Basisplatte wird vorteilhaft mit eingelassenen Stehbolzen als Fertigteil hergestellt, mit den Borstenelementen ergänzt und auf einem Versatzplanum aufgestellt.

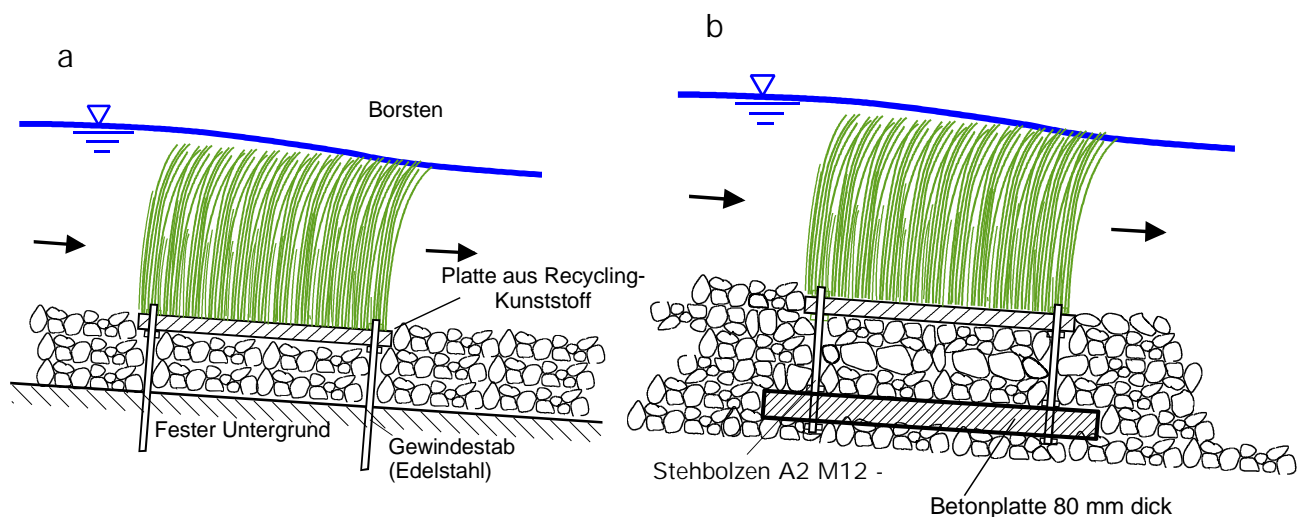


Bild 6: Befestigung der Borstenelemente (a – auf festem Untergrund; b – in Lockermaterial)

5.3 Untergrundverfüllung

bei beiden Befestigungsarten wird der Untergrund unter den Borsten optimal mit Flussgeröll aufgefüllt. Die größten Steine darin sollten so groß sein, dass sie sich unter den Borstenplatten verkeilen. Durch die normalerweise gegebene Sieblinie der natürlichen Flusssohle ergibt sich ein filterstabiler Unterbau, in dem sich kleinere Unterläufigkeiten selbsttätig schließen. Wegen der Unzulänglichkeiten beim Unterstopfen der Borstenelemente ist es ratsam, einen Probelauf von 1 bis 2 Tagen durchzuführen und dann die eventuell vorhandenen Löcher nachzustopfen. So gelingt es, im Fischpass eine durchgehende Lockermaterialsohle stabil herzustellen und zu erhalten. Wenn keine natürliches Flussgeröll zur Verfügung steht, sollte das Sohlsubstrat aus einer filterstabilen Mischung aus kleinen Wasserbausteinen, Grobschotter, Kies und Sand hergestellt werden.

5.4 Absperrvorrichtungen

Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe sollten oben und unten eine Absperrmöglichkeit mit Dammbalken erhalten. Hierzu werden beidseitig Dammbalkennischen vorgesehen. Das Schrammbord muss dieser im Bereich des Dammbalkens einen herausnehmbaren Teil erhalten. Die Sohle sollte im Bereich des Dammbalkens nicht betoniert oder aus festen Baustoffen bestehen, denn

dann würde die Lockersubstratsohle hier unterbrochen. Eine gute Möglichkeit den Dammbalken über einer Sohle aus Lockermaterial ausreichend dicht zu bekommen besteht darin, an den untersten Dammbalken oberwasserseitig eine ca. 40 cm breite Schürze aus Planenstoff oder Gummi anzubringen. Wenn der Dammbalken eingesetzt ist, wird diese Schürze auf die Oberwassersohle gelegt. Dadurch, dass sie sich vom Wasserdruck auf die Sohle andrückt, wird eine Anpassung an Unebenheiten erreicht. Dieser Dammbalkenabschluss ist nicht ganz dicht, was aber gut ist, da ein Fischpass mit Lockermaterialfüllung eine große Zahl an Lebewesen enthält, die dank des verbleibenden Restabflusses überleben können. Außerdem bleiben in den muldenförmigen Becken kleinere Fische zurück, die dort überleben können, da diese Mulden nicht ganz leer laufen.

6 Betriebliche Aspekte

6.1 Inbetriebnahme

Die Erfahrungen zeigen, dass die Inbetriebnahme in der Regel problemlos verläuft, wenn die Borstenriegel höhenmäßig korrekt gesetzt sind und der Untergrund stabil ist. Deshalb ist auf den höhenrichtigen Versatz bei der Bauüberwachung und auf eine dichte Füllung des Untergrundes besonderer Wert zu legen. Trotzdem wird es nach Wasserfüllung Setzungen und Unterläufigkeiten geben. Deshalb ist in der Regel eine Betriebsunterbrechung nach einigen Tagen einzuplanen, bei der Unterläufigkeiten und Lücken im Untergrund wieder gestopft werden. Sollten Erosionsrinnen entstanden sein, können hier dann etwas mehr größere Steine zum Einsatz kommen.

6.2 Gebogene Borsten in den Durchgangswegen

In der Praxis zeigt es sich immer wieder, dass einige Borsten durch die Strömung in die Durchgangsöffnungen hinein gebogen werden. Dieses Phänomen ist wegen der ovalen Form der Borsten und wegen der höheren hydraulischen Belastung nicht vermeidbar. Diese nach innen gebogenen Borsten sollten von Zeit zu Zeit einfach mit einer Gartenschere abgeschnitten werden.

6.3 Eintrag von Fremdmaterial – Unterhaltung

Bei fast allen Borstenpässen ist festzustellen, dass in die Borstenelemente organisches Material eingetragen wird. Die Menge, des in den Borsten festgehaltenen Materials ist selbstverständlich vom Angebot abhängig, aber auch von der hydraulischen Belastung. Je höher die hydraulische Belastung, umso weniger Material bleibt in den Borsten hängen, da durch die Dynamik der Strömung und die Vibrationen das Material zerrüttet wird. Dies Material innerhalb der Borstenblöcke ist für die Funktion von geringer Bedeutung, solange die Schlitzze frei bleiben. Wir empfehlen, die Borstenelemente mindestens 2x im Jahr mit einer Harke durchzukämmen. An der Anlage in Hann. Münden reicht dies z.b. vollkommen aus.

Beim Eintrag von organischem Material in den Fischpass ist ein deutlicher Unterschied zwischen größerem Treibholz und kleineren Ästen und Laub festzustellen. Kleine Äste bleiben insbesondere an den oberen Borstenblöcken hängen, weil infolge kleiner Höhendifferenz nur eine geringe Geschwindigkeit herrscht, die das eingetragene Material nicht durchspülen kann. An diesen Ästen kann sich dann eine Verklauung z.B. mit Laub aufbauen. Da die Borstenpässe in der Regel breitere Durchlassquerschnitte haben als Schlitzpässe mit gleichem Abfluss, ist diese Verlegungstendenz klar auf die geringeren Strömungskräfte infolge kleinerem Δh zurück zu führen. Würde man normale Schlitzpässe mit einem Δh von 5 cm fahren, wäre die Verlegungstendenz mit dünnem Treibholz ebenfalls wesentlich höher. Der Verlegungstendenz im Einlaufbereich kann mit folgenden Maßnahmen entgegen gewirkt werden:

- Ausreichende Überströmhöhe der Borsten,
- Schwimmende Abweisbalken
- Tauchwände
- Auflösung der Strukturen, indem z.B. die Borstenelemente langsam in Größe und Länge zunehmend sich aus dem Oberwasser heraus in den Fischpass entwickeln.

In Bezug auf die größeren Treibhölzer wurde jedoch vielfach beobachtet, dass die Verklauungstendenz bei Borstenanlagen geringer ist als bei den Fischpässen mit massiven Einbauten. Dies beruht auf der Tatsache, dass in Borstenpässen für den Aufbau von Verklauungen keine festen Anlagerungspunkte vorhanden sind. Treibholz liegt in diesen immer lose auf und kann nach oben leicht entnommen werden.

6.4 Haltbarkeit des Borstenmaterials

Die Borsten bestehen aus gezogenem Polypropylen (PP) und sind deshalb sehr zäh und widerstandsfähig. Der bisher beobachtete Verschleißprozess besteht aus einem gegenseitigen Abrieb durch Schwingungen bei hoher hydraulischer Belastung. Diesem Prozess wirkt die „Auspolsterung“ durch organisches Material entgegen, so dass für eine lange Standzeit die hydraulische Belastung so eingestellt werden muss, dass das Fremdmaterial in den Borstenelementen durch die Dynamik der Strömung mengenmäßig begrenzt wird, die Schwingungen jedoch noch nicht zu groß werden. Wenn dies gelingt, ist nach den derzeitigen Erfahrungen eine Standzeit von 15 – 20 Jahren zu erwarten. Hydraulische Unterlastung verlängert die Lebensdauer, vergrößert jedoch den Reinigungsaufwand.

Da neuerdings die Elemente mit einer Standard-Grundplatte mit festem Lochraster aus einer Form heraus hergestellt werden, sollten in Zukunft langfristig Ersatzelemente verfügbar sein, die auf das alte Befestigungsraster passen.

7 Kriterien für die Bootsabfahrt

7.1 Abfahrtsicherheit und Führung der Boote

Die Benutzung von Borstenanlagen durch Boote ist im Prinzip deutlich weniger gefährlich als alle anderen denkbaren Möglichkeiten der Wehrüberwindung, sofern die Zufahrt im Oberwasser sicher geregelt ist. Infolge der Tatsache, dass das Wasser im Borstenpass langsam ist und die Boote durch die Borsten gebremst werden, fahren diese langsam und kontrolliert ab. Im Gegensatz zu herkömmlichen Bootsgassen ist es möglich, während der Fahrt im Pass anzuhalten und auszusteigen.

Zur Frage der Leichtigkeit der Befahrung ist grundsätzlich anzumerken, dass der Fisch-Kanu-Pass schon dann seinen Zweck erfüllt, wenn man das Boot alleine darin abrutschen lassen kann, denn die großen Mühen und Gefahren beim Überwinden von Wehren resultieren aus dem Herausheben, Transportieren und Wiedereinsetzen des unter Umständen schwer beladenen Bootes. Auch die Belastung des Ufers kommt überwiegend aus dem Ein- und Aussetzen der Boote.

Sollte die Fahrt ins Stocken kommen, ist dies nicht als Versagen des Systems zu werten, denn mit leichtem Anschieben ist ein weiteres Abrutschen möglich. Bei schwer beladenen Booten, die breit sind und viel Tiefgang haben (z.B. Canadier), kann die Abfahrt schwierig sein. Wenn diese durch Aussteigen von Personen erleichtert werden, ist eine Benutzung in aller Regel trotzdem möglich.

Eine Führungswirkung für die Boote in der beabsichtigten Abfahrtslinie kann dadurch erzielt werden, dass die Borsten in der vorgesehenen Bahn 5 cm kürzer gewählt werden als an den Seiten (Bild 7). Diese annähernd muldenförmige Kontur der Borsten sollte etwa 50 - 80 cm breit sein. Eine feinere Abstufung der Borstenlängen ist zwar möglich, bringt jedoch keine nennenswerte Verbesserung.

7.2 Ausstattung der Fisch-Kanu-Pässe für die Kanu-Passage

Im Prinzip ist eine Bootspassage ohne Berührung von irgendwelchen Bauteilen möglich. Um die Benutzung durch weniger erfahrene Kanuten zu erleichtern und um in bestimmten Gebieten eine Nutzung in beiden Richtungen zu ermöglichen, können folgende Ausstattungsmerkmale hilfreich sein:

1. Schrammbord mit „Handlauf“

Insbesondere in Rinnen mit steilen Seitenwänden sind Schrammborde aus Recycling-Kunststoff (PE) vorteilhaft. Es muss darauf geachtet werden, dass das Recycling-Material keine Glasfasern und keine mineralischen Füllstoffe enthält, da derartig ausgestattete Materialien an den Booten wie Schleifmittel wirken. Die Schrammborde sind etwa 240 mm hoch (ab Wasserlinie) und stehen oben um 40 mm über die dahinter anstehende Fläche hervor (Bild 7). Damit man an dem „seifig“ wirkenden Recycling-Material (PE)

nicht mit den Händen abrutscht, ist eine Riffelung an der Kante empfehlenswert.

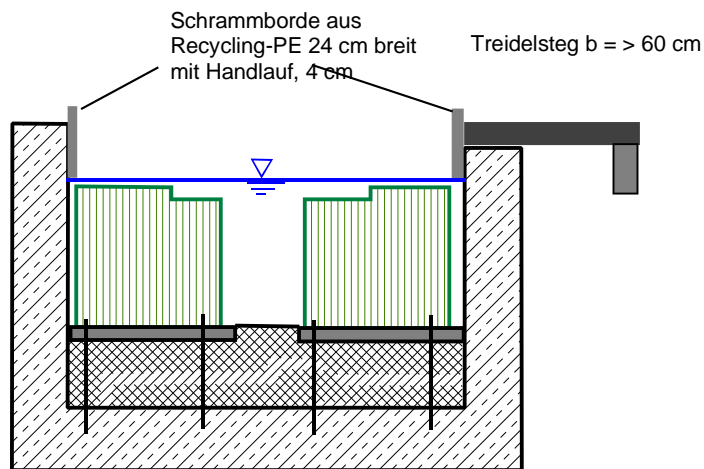


Bild 7: Querschnitt durch Fisch-Kanu-Pass mit Schrammborden, Handlauf und Treidelsteg

2. Treidelsteg

Der Treidelsteg sollte mindestens ca. 60 cm breit sein und ca. 20 cm über dem geplanten Wasserspiegel im FKP liegen. Er sollte oben und unten in einen Anlegesteg mit einer Länge von 4 m auslaufen (Bild 8). Dieser Steg sollte jeweils geneigt sein und von einer Höhe von 20 cm über dem rechnerischen Wasserspiegel über die 4 m Länge in einer Höhe von 10 cm über dem WSP absinken (2,5 %). So findet jedes Boot die passende Stelle zum Aussteigen.

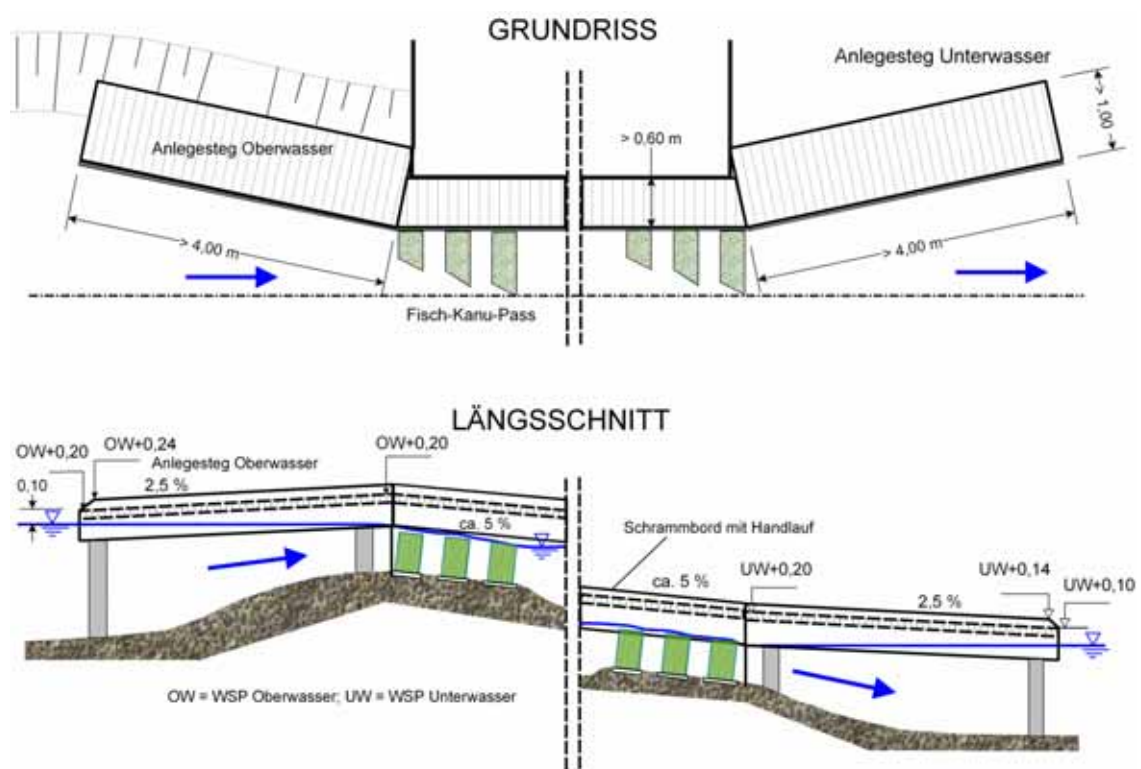


Bild 8: Grundriss- und Längsschnittskizze zur Anordnung eines Treidelstegs

Die Schrammborde werden auch an den Anlegestegen weitergeführt und dienen dort zum Festhalten. Die Anlegestege werden leicht gegenüber dem FKP abgewinkelt. Sie werden etwas breiter gemacht ($b > 1,00$ m), um beim Aussteigen und Festhalten des Bootes und beim Vorbeilassen mehr Platz zu bieten (Bild 8).



Bild 9: Fisch-Kanu-Pass am Wehr Bahnhofstraße in Fürstenberg/Havel mit Treidelgang links und Schrammborden (verminderte Wasserführung)

8 Weitere hydraulische Kriterien

8.1 Schwankende Oberwasserstände

Wenn die Schwankungsbreite des Oberwassers zwischen Q_{30} und Q_{330} mehr als 20 cm beträgt, muss über eine Begrenzung der hydraulischen Belastung nachgedacht werden. Dies kann z.B. mit einer hydraulischen Entlastung (seitlicher Überlauf über niedrige Seitenwände) geschehen.

Bei größeren Schwankungen des Oberwasserspiegels sind verschiedene Vorrichtungen für die Anpassung des Einlaufs an den Wasserspiegel denkbar. Bereits ausgeführt wurde eine hydraulisch angetriebene Einlauframpe in einen Borstenpass. Es handelt sich um eine neigbare Platte, die mit Borsten besetzt ist und dem Oberwasser nachgeführt wird. Dies könnte auch mit Schwimmern geschehen. Eine völlig andere Lösung ist beim gefalteten Fischpass möglich, wo

von den zum Fluss hin liegenden Becken mehrere höhengestaffelte Ausstiege/Einläufe angeordnet werden können, zwischen denen wasserstandsabhängig z.B. mit Pneumatik-Zylindern umgeschaltet wird.

8.2 Zusammenbrechen der Leitströmung durch hohe Unterwasserstände

Bei hohen Unterwasserständen tritt bei vielen Fischpasstypen häufig das Problem der Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten infolge drastischer Vergrößerung der durchströmten Fläche auf. Dieses Phänomen ist dann zu beobachten, wenn der Fischpass seitlich mit hohen Wänden oder Böschungen eingefasst ist. Der Borstenpass kann oft zumindest einseitig mit sehr wenig Freibord gebaut werden und unterwasserseitig entlang einer Böschung geführt werden. Bei hohen Unterwasserständen und niedriger Seitenwand zum Fluss hin tritt dann die Strömung aus dem Fischpass in den Wasserkörper des Flusses aus, wobei ein erheblicher Teil der Leitströmung erhalten bleibt. Durch geeignete Gestaltung kann so dafür gesorgt werden, dass die Leitströmung bei hohen Unterwasserständen nicht vollständig zusammenbricht.

8.3 Integration einer Lockstromverstärkung

Bei der Anordnung einer Verstärkung der Leitströmung durch Bypassleitungen gelten bei Borstenanlagen die gleichen Gesichtspunkte wie bei anderen Fischpasstypen auch. Die Zusatzdotation erfolgt bei Bypässen, die die volle Zusatzdotation führen, am Besten im letzten Becken, wobei dieses wegen des erhöhten Leistungseintrags besonders dimensioniert werden muss. Der letzte Borstenriegel muss dann auch auf den größeren Durchfluss bemessen werden.

Bei Lockstromverstärkungen nach dem Strahlpumpenprinzip ist der Anschluss der Lockstrompumpe nach dem letzten Borstenriegel anzuordnen, da der Gegendruck für die Pumpe möglichst klein gehalten werden muss.

Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Reinhard Hassinger
Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau
Kurt-Wolters-Straße 3

Hausanschrift:
Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel
Postanschrift: 34109 Kassel
Tel.: + 49 561 804 3291; Fax: + 49 561 804 2684; eMail: vpuw@uni-kassel.de