



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Dr. Guntram Ebel





Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Gliederung

1. **Prinzipien des Fischschutzes an WKA**
2. **Biologische Grundlagen der Bemessung**
 - 2.1 **Physische Grundlagen**
 - 2.1.1 Schwimmfähigkeit
 - 2.1.2 Körperproportionen
 - 2.1.3 Toleranzen gegenüber physikal. Stressoren
 - 2.2 **Verhaltensbiologische Grundlagen**
 - 2.2.1 Verhalten an Barrieren
 - 2.2.2 Verhalten an Bypassen
3. **Zielgrößen und Methoden der Bemessung**
 - 3.1 **Mechanische Barrieren**
 - 3.1.1 Lichte Weite
 - 3.1.2 Anströmverhältnisse



ingenieurbologisch konzipiertes Buchtenkraftwerk (Ausbaudurchfluss 68 m³/s) mit Leitrechensystem, Foto: G. Ebel



Leitrechen mit horizontaler Stabausrichtung (Ausbaudurchfluss 88 m³/s), Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Gliederung (Fortsetzung)

3.2 Bypässe

3.2.1 Dimensionierung

3.2.2 Hydraulische Bemessung

3.3 Schlussfolgerungen

4. Praktische Empfehlungen

4.1 Generelle Aspekte

4.2 Leitrechen-Bypass-System nach EBEL, GLUCH & KEHL (2001)

4.2.1 Historie

4.2.2 Aufbau und Funktionsprinzip

4.2.3 Biologische Wirksamkeit

4.2.4 Beispiele für ausgeführte Anlagen

4.2.5 Betriebserfahrungen

4.2.6 Schlussfolgerungen

5. Weiterführende Informationen



Fang in Bypassreue aus 1 Kontrollnacht, Foto: G. Ebel



Turbinenhamen für Bemessungsdurchfluss von 25 m³/s, Foto: D. Möbius



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

1. Prinzipien des Fischschutzes an WKA

(1) Fischschutz- und Fischabstiegssysteme

- a) Fischschutzsysteme
 - mechanische Systeme
 - akustische Systeme
 - optische Systeme
 - elektrische Systeme
- b) Fischabstiegssysteme
 - rohrartige Bypässe
 - schachtartige Bypässe

(2) Fischschonende Turbinen

(3) Fischschonender Anlagenbetrieb

(4) Fang und Transport

Wie zahlreiche Untersuchungen belegen, besitzen mechanische Leitsysteme und schachtartige Bypässe ein hohes Potential für einen wirksamen Fischschutz. Die ingenieurbioologische Bemessung dieser Systeme erfordert Informationen zu den physischen Voraussetzungen und Verhaltensweisen der jeweiligen Zielarten bzw. -stadien.



Prinzipien des Fischschutzes (Auswahl)

oben links: Elektrische Fischscheuchanlage (Pfeil: Elektrodenkette, Foto: G. Ebel), **oben rechts:** Leitreechen (Foto: G. Ebel), **Mitte links:** schachtartiger Bypass (Foto: G. Ebel), **Mitte rechts:** Rohrbypässe DN 400 (Foto: G. Ebel), **unten links:** VLH-Turbine (Foto: M. Leclerc), **unten rechts:** Transport von Aalen *Anguilla anguilla* zur Vermeidung der Kraftwerkspassage (Foto: L. Kroll)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

2. Biologische Grundlagen der Bemessung

2.1 Physische Grundlagen

2.1.1 Schwimffähigkeit

Einflussgrößen

Die Schwimmggeschwindigkeit kann als Funktion folgender Einflussgrößen durch multivariate Modelle mit hoher Zuverlässigkeit ($R^2 \geq 0,85$, $p < 0,00001$) beschrieben werden:

- Körperlänge (TL [m])
- Schwimmdauer (t [s])
- Wassertemperatur (T [°C])

allgemeines Modell (a, b, c, d = Modellkonstanten)

$$\log(u) = a + b \cdot \log(TL) - c \cdot \log(t) + d \cdot \log(T)$$



Rheophile Arten (**oben**) erreichen deutlich höhere Schwimmggeschwindigkeiten als strömungsindifferente Arten (**Mitte**) oder stagnophile Arten (**unten**).

oben links: Äsche (*Thymallus thymallus*), **oben rechts:** Bachforelle (*Salmo trutta*), **Mitte links:** Güster (*Blicca bjoerkna*), **Mitte rechts:** Flussbarsch (*Perca fluviatilis*), **unten links:** Schleie (*Tinca tinca*), **unten rechts:** Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*), alle Fotos: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

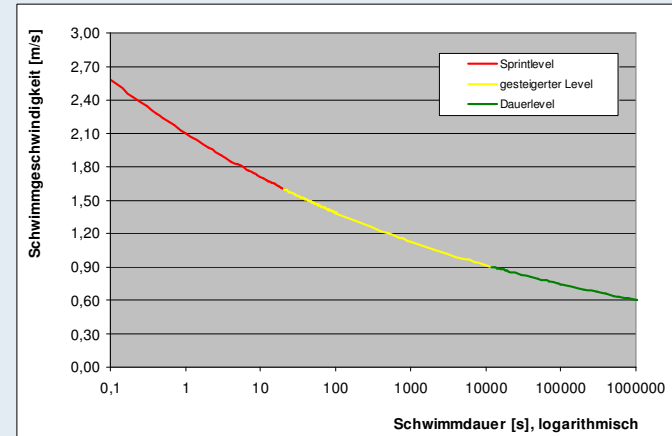
2.1.1 Schwimmfähigkeit (Fortsetzung)

Schwimmlevel

Bezüglich des physiologischen Hintergrundes sind folgende Schwimmlevel zu unterscheiden: Sprintlevel, gesteigerter Level, Dauerlevel (vgl. Tab. unten)

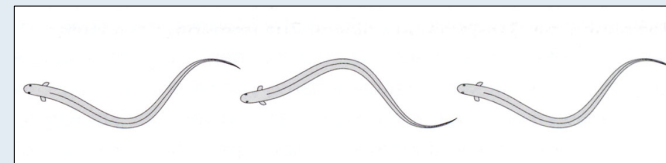
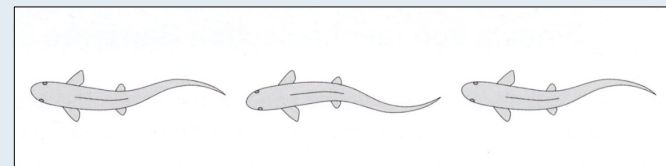
Schwimmstile

Bezüglich des kinematischen Hintergrundes sind u.a. folgende Schwimmstile zu unterscheiden: ostraciform, carangiform, subcarangiform, anguilliform



Sprintlevel, gesteigerter Level und Dauerlevel eines 20 cm langen Fisches bei 15 °C (errechnet nach Gleichung [70] aus EBEL 2013)

Schwimmlevel	Ausdauer	Stoffwechseltyp und beteiligte Muskulatur
Sprintlevel	≤ 20 s	anaerob: weiße Muskulatur
gesteigerter Level	20 s – 200 min	aerob und anaerob: rote und weiße Muskulatur
Dauerlevel	≥ 200 min	aerob: rote Muskulatur



Schwimmstile: subcarangiform (**oben**) und anguilliform (**unten**)

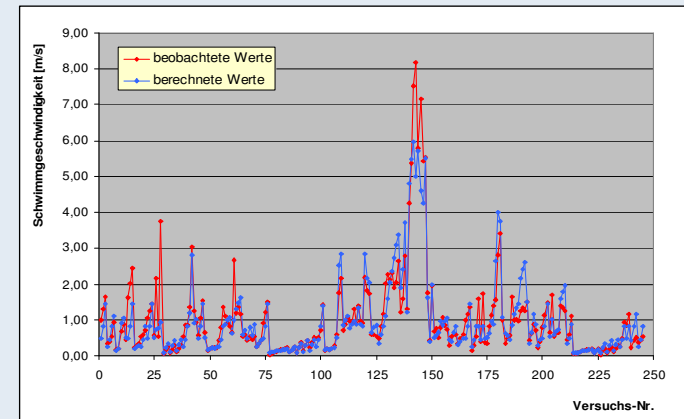


Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

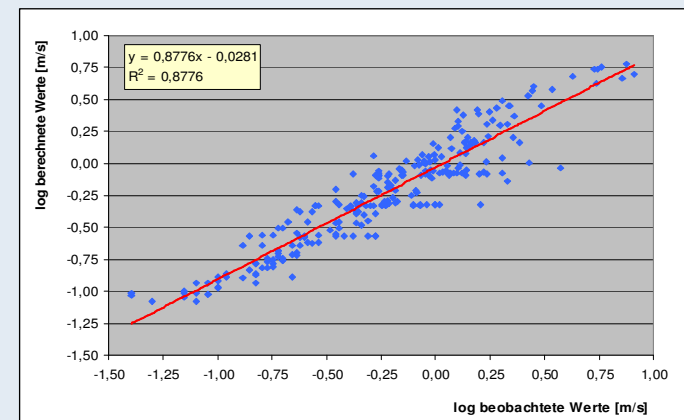
Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Modellierung der Schwimmgeschwindigkeit

- Modellierung der Schwimmgeschwindigkeit erfolgt durch multivariate, empirische Modelle (Überblick in EBEL 2013)
- Eingangsgrößen / Prädiktorvariablen:
 - Körperlänge
 - Schwimmdauer
 - Wassertemperatur
- neue Modelle (EBEL 2013) besitzen hohes Erklärungsvermögen ($R^2 \geq 0,85$), sind vollständig kreuzvalidiert und mit $p < 0,00001$ höchst signifikant (Vergleich und Regression von beobachteten und durch Modellanwendung berechneten Werten: siehe Abbildungen rechts)
- allgemeine Form der Modelle
 $\log(u) = a + b \cdot \log(TL) - c \cdot \log(t) + d \cdot \log(T)$
(u = Schwimmgeschwindigkeit [m/s], TL = Körperlänge [m], t = Schwimmdauer [s], T = Wassertemperatur [°C]),
 a, b, c, d = Modellkonstanten)
- art- und gildenspezifische Modellgleichungen: vgl. EBEL (2013)



Vergleich von beobachteten und berechneten Geschwindigkeiten



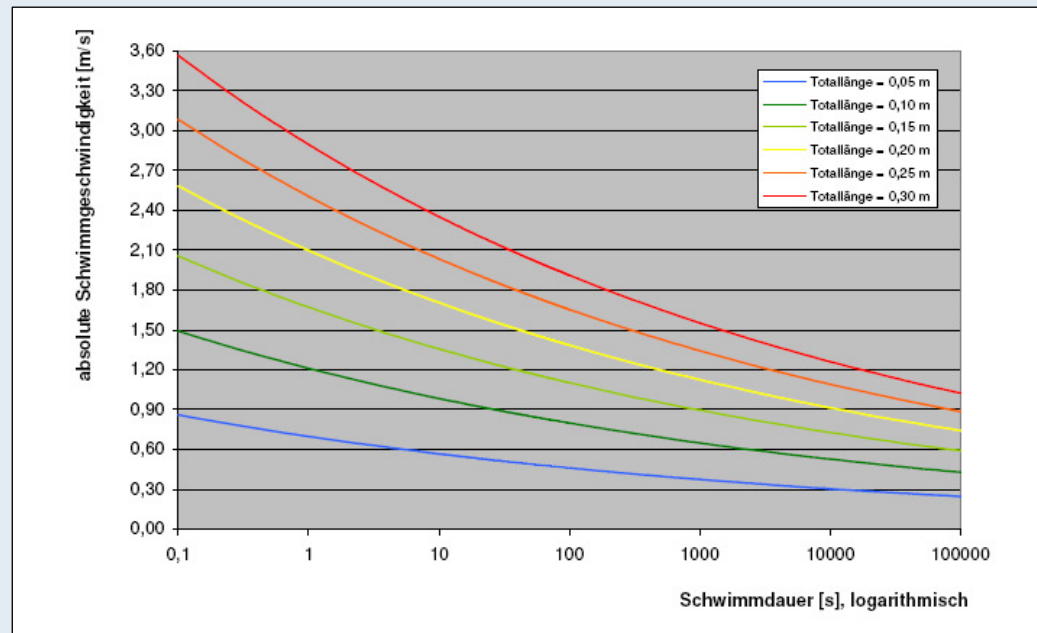
Regression von beobachteten und berechneten Geschwindigkeiten



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Modellierung der Schwimgeschwindigkeit (Fortsetzung)



Beispiel für Modellanwendung: Schwimgeschwindigkeit von Fischen mit unterschiedlicher Körperlänge in Abhängigkeit von der Schwimdauer bei einer Wassertemperatur von 15 °C (Details vgl. EBEL 2013)

Modellgleichung ($R^2 = 0,89$, $p < 0,00001$):

$$\log(u) = 0,546043 + 0,793724 \cdot \log(TL) - 0,090220 \cdot \log(t) + 0,281258 \cdot \log(T)$$



Lachs (*Salmo salar*), Foto: G. Ebel



Äsche (*Thymallus thymallus*), Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

2.1.2 Körperproportionen

Kenngrößen

- absolute und relative Körperbreite (b_{FISCH} [m], $b_{FISCH,RELAT}$ [-])
- absolute und relative Körperhöhe (h_{FISCH} [m], $h_{FISCH,RELAT}$ [-])
- Proportionsindex (G [-])

Klassifizierung von mechanischen Barrieren

- physisch durchlässig ($D > 1,0$)
- physisch undurchlässig ($D < 1,0$)

$$b_{FISCH,RELAT} = \frac{b_{FISCH}}{TL}$$

$$h_{FISCH,RELAT} = \frac{h_{FISCH}}{TL}$$

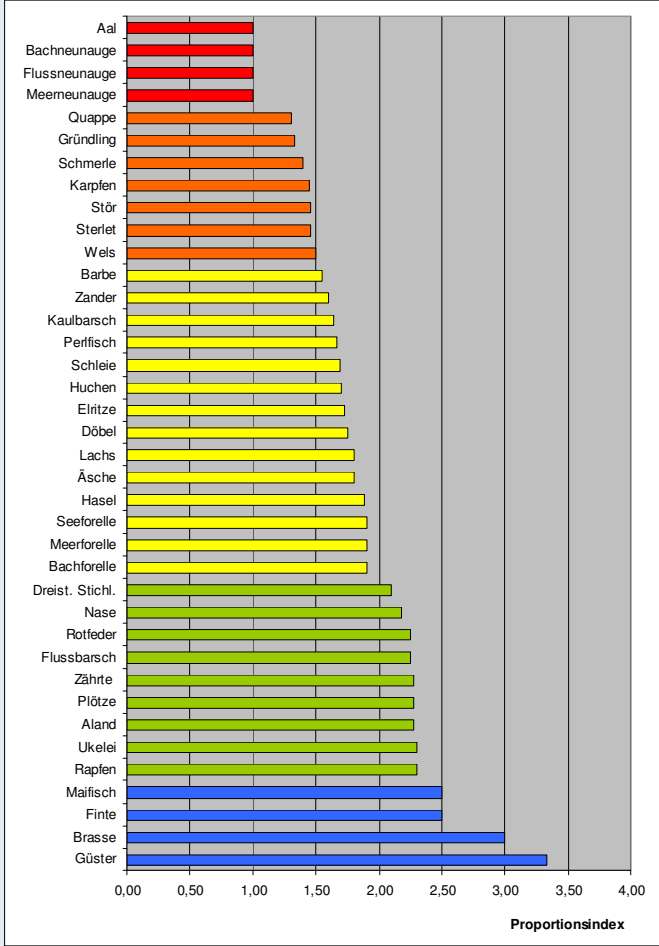
$$G = \frac{h_{FISCH,RELAT}}{b_{FISCH,RELAT}}$$



Aal *Anguilla anguilla* (Foto: G. Ebel), G = 1,0



Brasse *Abramis brama* (Foto: G. Ebel), G = 3,0



Proportionsindices ausgewählter Arten (aus EBEL 2013)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

2.1.3 Toleranzen gegenüber physikalischen Stressoren

physikalische Stressoren (Grenzwerte vgl. EBEL 2013)

a) Druckunterschiede

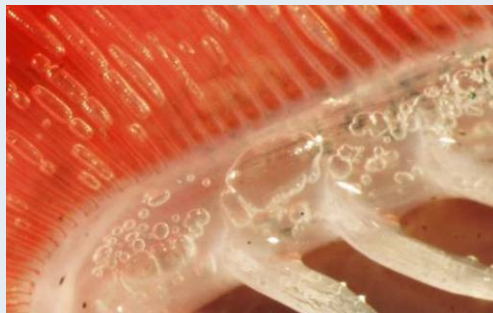
- absolut
- relativ (bezogen auf Ausgangsdruck, bezogen auf Zeit)

b) Scherbelastung (häufig als Geschwindigkeitsgradient entlang einer Strecke [m/s pro Meter bzw. 1/s] beschrieben)

c) Kollision

- Kollision mit festen Strukturen
- Kollision mit Wasserspiegel

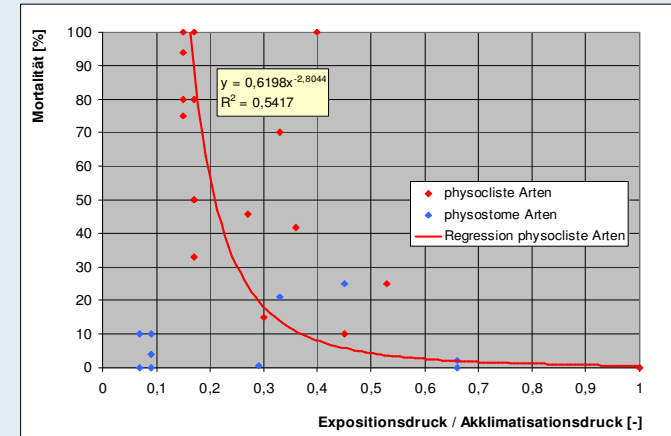
d) Turbulenz



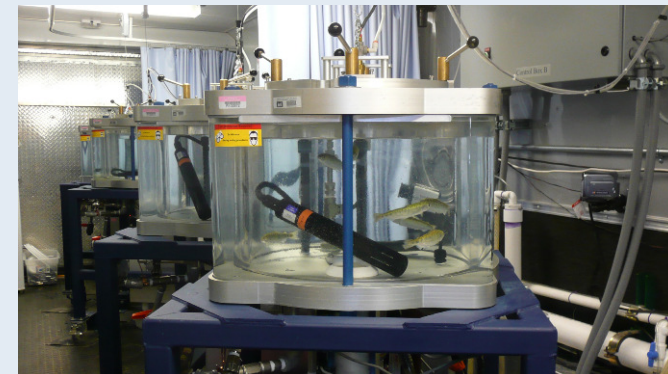
Embolie an Kiemenbogen und Kiemenblättchen infolge Druckreduktion, Foto: R. S. Brown



Embolie im Auge infolge Druckreduktion, Foto: R. S. Brown



Mortalitätsrate von physostomen und physoclisten Fischarten bei plötzlicher Druckabnahme (aus EBEL 2013)



Druckkammer zur Untersuchung von barotraumatischen Effekten (Details vgl. STEPHENSON et al. 2010), Foto: R. S. Brown



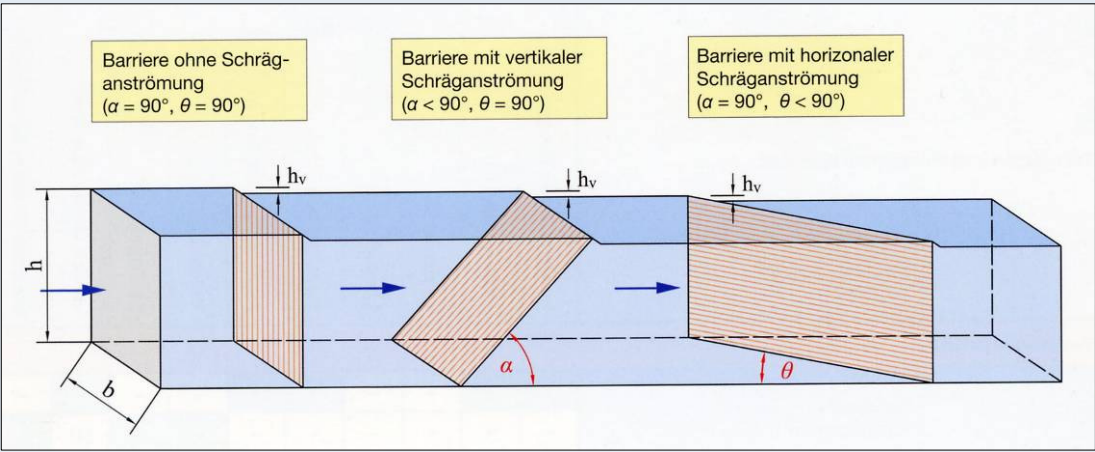
Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

2.2 Verhaltensbiologische Grundlagen

2.2.1 Verhalten an Barrieren

Expositionstypen von Barrieren



$v_{ANSTRÖM} = v_{NORMAL}$

$v_{TANG} = 0$

$v_{NORMAL} = \sin \alpha \cdot v_{ANSTRÖM}$

$v_{TANG} = \cos \alpha \cdot v_{ANSTRÖM}$

$v_{NORMAL} = \sin \theta \cdot v_{ANSTRÖM}$

$v_{TANG} = \cos \theta \cdot v_{ANSTRÖM}$



konventionell angeströmter Rechen, Foto: G. Ebel



Rechen mit horizontaler Schräganströmung, Foto: G. Ebel

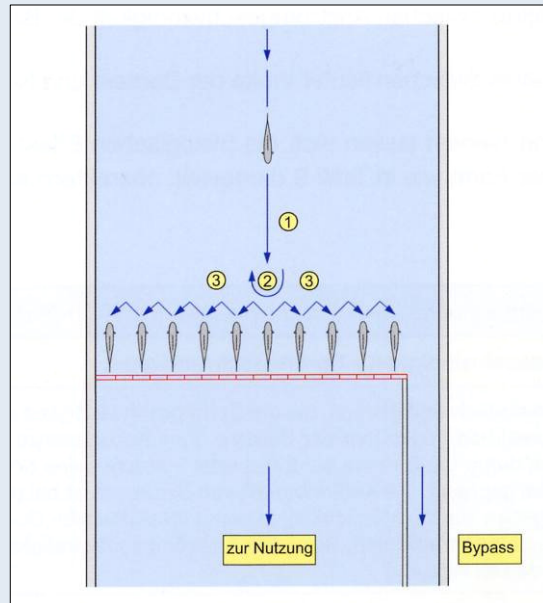


Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

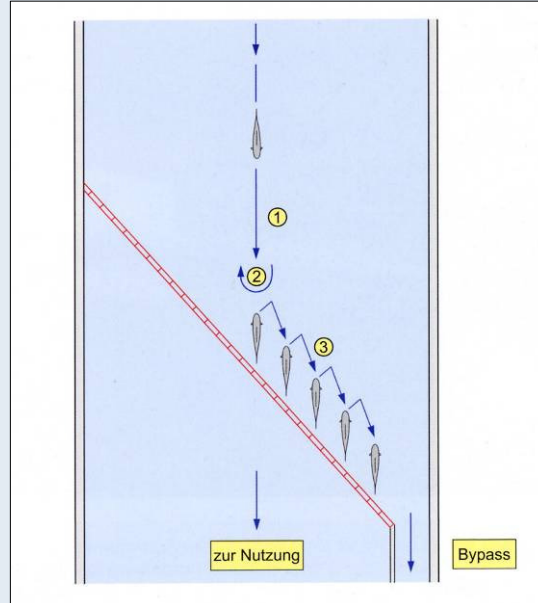
2.2.1 Verhalten an Barrieren (Fortsetzung)

Leitwirkung von Barrieren



konventionell angeordnete Barriere

- keine Leitwirkung zu lateralem Bypass
- vergleichsweise hohe Aufenthaltszeit im Anströmbereich



Barriere mit horizont. Schräganström.

- Leitwirkung zu lateralem Bypass
- vergleichsweise geringe Aufenthaltszeit im Anströmbereich

Mechanische Barrieren werden durch Fische hydraulisch-taktile und ggf. visuell wahrgenommen.

Die komplexen Verhaltensweisen im Anströmbereich von Barrieren lassen sich wie folgt klassifizieren (vgl. z.B. PAVLOV 1989):

- Vermeidungsreaktion
- rheotaktische Reaktion
- Suchreaktion



Die hydraulisch taktile Wahrnehmung von Barrieren wird durch drucksensitive Nervenzellen ermöglicht. Derartige Mechanorezeptoren befinden sich beispielsweise im Seitenlinienorgan (Pfeil), Foto: B. Stemmer



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

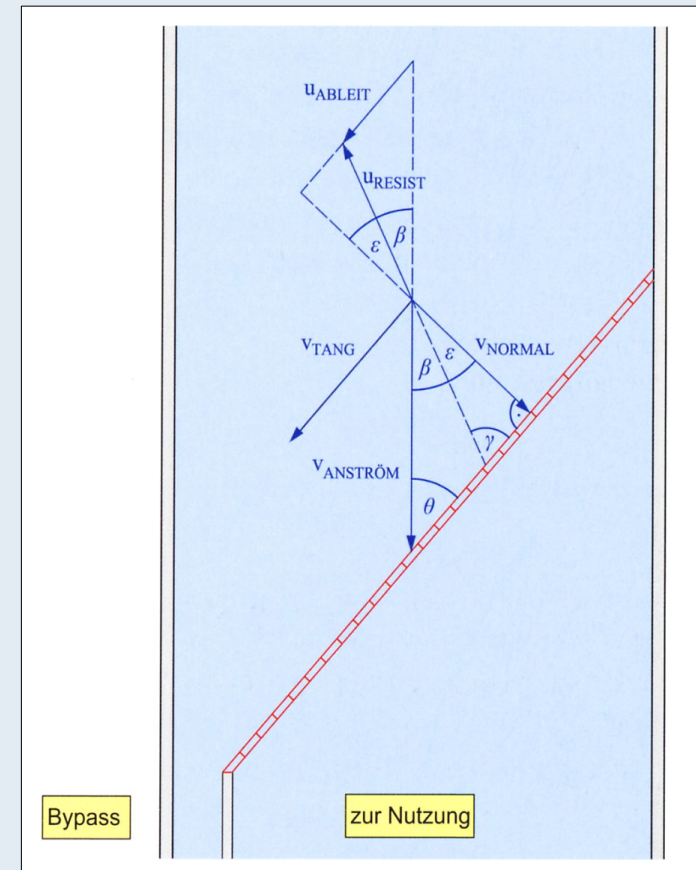
2.2.1 Verhalten an Barrieren (Fortsetzung)

Verhaltensbiologische Modelle

Zur quantitativen Beschreibung der Beziehungen zwischen Fischverhalten, Schwimgeschwindigkeit und Anströmverhältnissen wurden durch folgende Autoren Modelle und Bemessungsempfehlungen entwickelt:

- BATES & VINSONHALER (1957)
- PAKHORUKOV & KURAGINA (1978)
- PAVLOV (1989)
- O'KEEFFE & TURNPENNY (2005)

$v_{ANSTRÖM}$	=	Anströmgeschwindigkeit
v_{NORMAL}	=	Normalgeschwindigkeit
v_{TANG}	=	Tangentialgeschwindigkeit
u_{RESIST}	=	Widerstandsschwimgeschwindigkeit des Fisches
u_{ABLEIT}	=	Transportgeschwindigkeit
θ	=	horizontaler Winkel zwischen Anströmvektor und Barriere
β	=	horizontaler Winkel zwischen Anströmvektor und Schwimmvektor
γ	=	horizontaler Winkel zwischen Barriere und Schwimmvektor
ε	=	horizontaler Winkel zwischen orthogonalem Strömungsvektor und Schwimmvektor



Fließgeschwindigkeits- und Schwimgeschwindigkeitsvektoren im Anströmbereich einer Barriere mit horizontaler Schräganströmung (nach PAVLOV 1989 verändert, aus EBEL 2013)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

2.2.2 Verhalten an Bypässen

Verhaltensbiologisch relevante Parameter

Position

- a) longitudinale Anordnung des Bypasseintrittsprofils
- b) horizontale Anordnung des Bypasseintrittsprofils
- c) vertikale Anordnung des Bypasseintrittsprofils

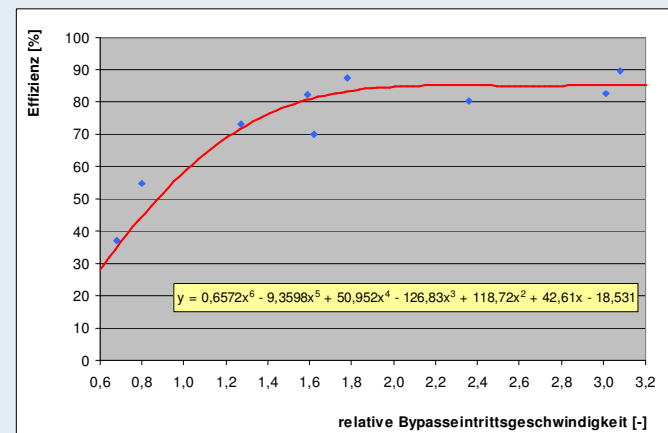
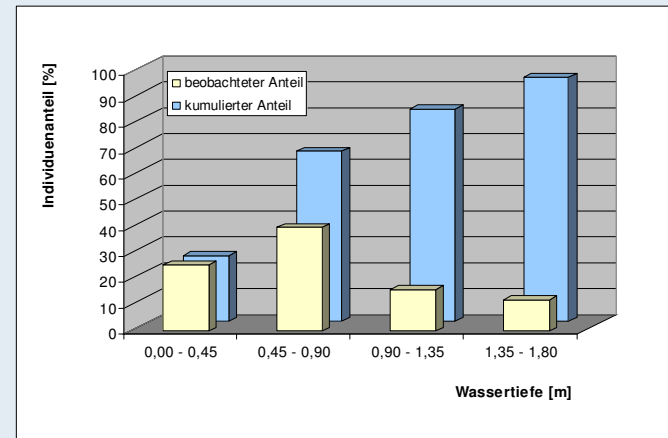
Dimension

- a) Breite des Bypassprofils
- b) Höhe des Bypassprofils

Hydraulik

- a) absolute Fließgeschwindigkeit im Bypasseintrittsprofil
- b) relative Fließgeschwindigkeit im Bypasseintrittsprofil / Beschleunigungsverhältnisse

Zum Einfluss der o.g. Parameter sind zahlreiche quantitative Befunde verfügbar (Literaturüberblick vgl. EBEL 2013). Die biologisch erforderlichen Profildimensionen können durch Anwendung von Modellen (EBEL 2013) beschrieben werden.



Befunde zur verhaltensbiologischen Akzeptanz von Bypässen (nach DUCHARME 1972 verändert, aus EBEL 2013)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

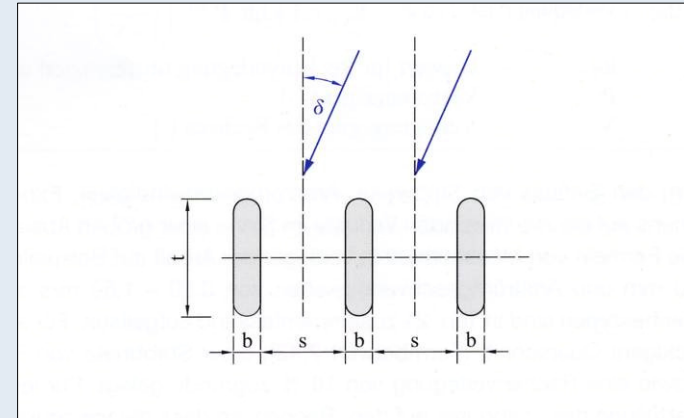
3. Zielgrößen und Methoden der Bemessung

3.1 Mechanische Barrieren

3.1.1 Lichte Weite

Grundsätze

- (1) Die maximal zulässige lichte Weite einer physisch undurchlässigen Barriere ergibt sich aus den Körperdimensionen der kleinsten Zielart.
- (2) Sofern keine physisch undurchlässige Barriere installiert werden kann, ist meist nur ein partieller Schutz der abwandernden Individuen zu erreichen. Die hierbei erzielte Effizienz bestimmt gemeinsam mit den technischen Eigenschaften des nachgeordneten Triebwerks den Umfang der triebwerksbedingten Mortalität.
- (3) Für die Prognose der triebwerksbedingten Mortalität stehen aussagefähige Modellgleichungen zur Verfügung (vgl. Überblick in EBEL 2008 und 2013)



lichte Stabweite (s), nach GIESECKE & MOSONYI 2005 verändert, aus EBEL 2013)

Zielgröße der lichten **Stabweite** für alle Zielarten mit $G > 1,0$:

$$s \leq b_{\text{FISCH,RELAT}} \cdot TL$$

Zielgröße der lichten **Maschenweite** für alle Zielarten mit $G > 1,0$:

$$s \leq h_{\text{FISCH,RELAT}} \cdot TL$$



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.1.2 Anströmverhältnisse

Grundsätze

- (1) Die maximal zulässige Anströmgeschwindigkeit der Barriere ergibt sich aus der Schwimmfähigkeit der leistungsschwächsten Zielart und aus dem horizontalen Anströmwinkel.
- (2) Die jeweils geeignete Kombination von Schwimmfähigkeit, Anströmgeschwindigkeit und Anströmwinkel wird durch Anwendung von Modellen hergeleitet. Maßgebend für die Bemessung ist im Regelfall die Schwimmfähigkeit der leistungsschwächsten Zielart bei 5 °C.
- (3) Für die übrigen Arten bzw. Entwicklungsstadien sind die Anströmbedingungen so zu wählen, dass keine Fischschäden durch Anpressung an der Barriere entstehen.

Modelle

Auf der Grundlage einer systematischen Modellprüfung (EBEL 2013) sind für die praktische Bemessung der Anströmbedingungen von mechanischen Barrieren folgende Modelle zu empfehlen:

- O'KEEFFE & TURNPENNY (2005), bevorzugte Verwendung
- PAKHORUKOV & KURAGINA (1978), alternative Verwendung
- PAVLOV (1989), alternative Verwendung

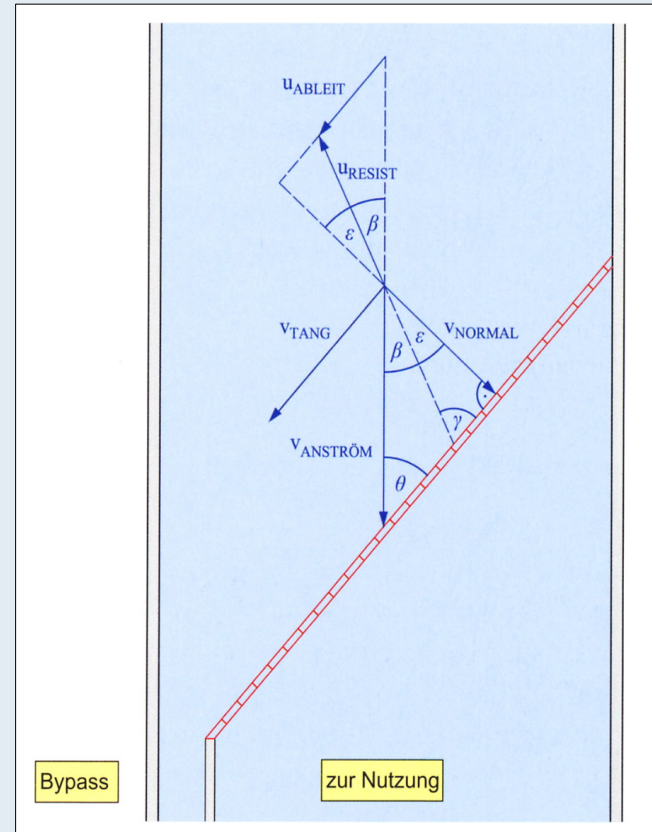


Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Modellierung der Anströmverhältnisse

Modellautor	Modellgleichung
PAKHORUKOV & KURAGINA (1978)	$\sin \theta = \frac{\sin \beta \cdot u_{\text{RESIST}}}{\sqrt{v_{\text{ANSTRÖM}}^2 + u_{\text{RESIST}}^2 - 2 \cdot v_{\text{ANSTRÖM}} \cdot u_{\text{RESIST}} \cdot \cos \beta}}$
	$u_{\text{ABLEIT}} = \sqrt{v_{\text{ANSTRÖM}}^2 + u_{\text{RESIST}}^2 - 2 \cdot v_{\text{ANSTRÖM}} \cdot u_{\text{RESIST}} \cdot \cos \beta}$
	$l_{\text{BARRIERE}} = \frac{b_{\text{KANAL}}}{\sin \theta} \quad t_{\text{ANSTRÖM}} = \frac{l_{\text{BARRIERE}}}{u_{\text{ABLEIT}}}$
PAVLOV (1989)	$\sin \theta = \frac{0,88 \cdot u_{\text{RESIST}}}{v_{\text{ANSTRÖM}}}$
	$u_{\text{ABLEIT}} = \sqrt{v_{\text{ANSTRÖM}}^2 + u_{\text{RESIST}}^2 - 2 \cdot v_{\text{ANSTRÖM}} \cdot u_{\text{RESIST}} \cdot \cos \beta}$
	$l_{\text{BARRIERE}} = \frac{b_{\text{KANAL}}}{\sin \theta} \quad t_{\text{ANSTRÖM}} = \frac{l_{\text{BARRIERE}}}{u_{\text{ABLEIT}}}$
O'KEEFFE & TURNPENNY (2005)	$\sin \theta = \frac{u_{\text{OPT}}}{v_{\text{ANSTRÖM}}}$



Definitionsskizze der Fließgeschwindigkeits- und Schwimmgeschwindigkeitsvektoren (nach PAVLOV 1989 verändert, aus EBEL 2013)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.2 Bypässe

3.2.1 Dimensionierung

Grundsätze

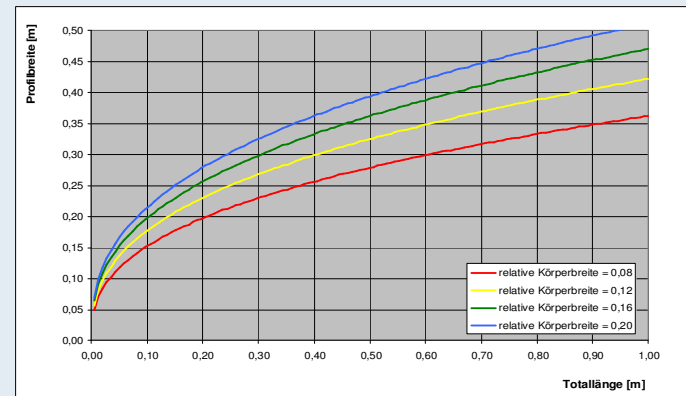
- (1) Die minimal zulässigen Profildimensionen ergeben sich aus den Anforderungen der größten bzw. verhaltensbiologisch anspruchsvollsten Art. Die erforderlichen Profildimensionen können durch Anwendung von Modellen (EBEL 2013) beschrieben werden.
- (2) Unterhalb von Überfällen ist eine ausreichende Wassertiefe zu gewährleisten.
- (3) Das Volumen von Beckenstrukturen ist so zu wählen, dass eine unkritische Leistungsdichte gewährleistet wird.

Zielgrößen (Beispiele), b = minimal zulässige Profilbreite, h = minimal zulässige Profilhöhe bzw. Wassertiefe

- Lachs (<i>Salmo salar</i>), Smolt	$b = 0,45 \text{ m}$	$h = 0,45 \text{ m}$
- Aal (<i>Anguilla anguilla</i>)	$b = 0,30 \text{ m}$	$h = 0,30 \text{ m}$
- Bachforelle (<i>Salmo trutta</i>)	$b = 0,34 \text{ m}$	$h = 0,52 \text{ m}$
- Elritze (<i>Phoxinus phoxinus</i>)	$b = 0,17 \text{ m}$	$h = 0,26 \text{ m}$
- Barbe (<i>Barbus barbus</i>)	$b = 0,38 \text{ m}$	$h = 0,56 \text{ m}$



Die Dimensionierungsanforderungen gelten für das kleinste Profil (Pfeil), Foto: G. Ebel



Modellergebnisse zur Dimensionierung von Bypassprofilen (aus EBEL 2013)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.2 Bypässe

3.2.2 Hydraulische Bemessung

Grundsätze

- (1) Verhaltensbiologisch relevante Bypassabschnitte ($v_{\text{BYPASS}} < u_{\text{MAX}}$) sind so auszulegen, dass sich gerichtete, turbulenzarme Fließverhältnisse mit möglichst gleichförmiger Beschleunigung einstellen und steile Geschwindigkeitsgradienten vermieden werden.
- (2) Zur Begrenzung des Bypassdurchflusses sind vorzugsweise unterhalb des Eintrittsprofils angeordnete Kontrollbauwerke zu verwenden.
- (3) Die Geschwindigkeit von Überfallstrahlen und horizontalen Schussstrahlen ist auf physisch unkritische Werte zu begrenzen.
- (4) Durchflussbegrenzende Bauwerke und sonstige Strukturen mit Querschnittsänderung bzw. Strömungsumlenkung sind strömungsgünstig auszurunden.

Zielgrößen Fließgeschwindigkeit

Eintrittsprofil

$$v_{\text{BYPASS}} = 0,3 \dots 1,5 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{BYPASS,RELAT}} = 1,0 \dots 2,00 \cdot v_{\text{ANSTRÖM}}$$

Gerinne

$$v_{\text{BYPASS}} < 4,5 \text{ m/s}$$

Überfall

$$v_{\text{Überfall}} < 8,0 \text{ m/s}$$



schachtartiger Bypass im Bau, Foto: M. Kehl

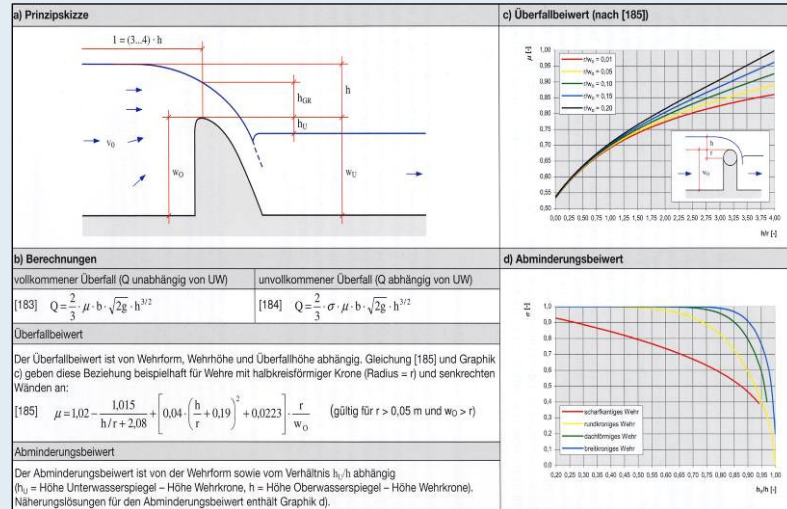


Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

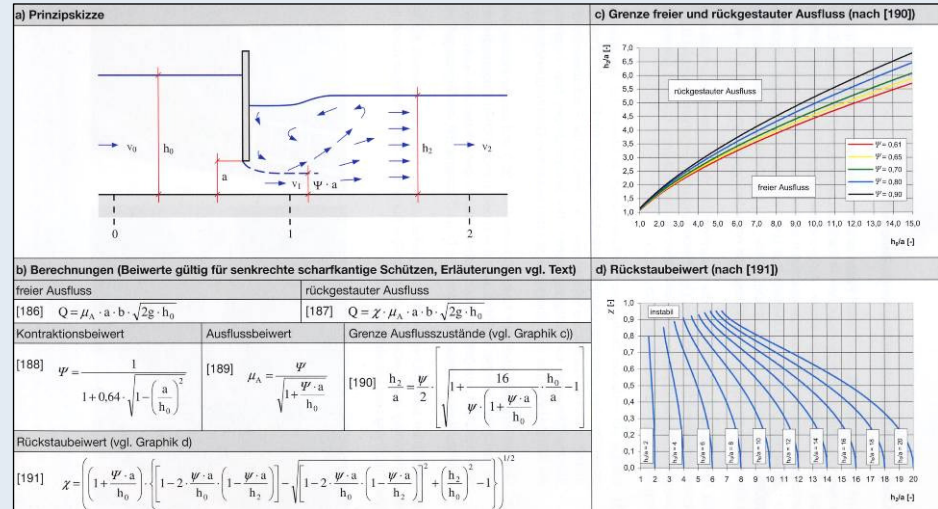
Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Hydraulische Berechnung von Kontrollbauwerken (Auswahl, aus EBEL 2013)

für obere Abstihsöffnung in der Einlaufklappe und für Überfallwehr



für untere Abstihsöffnung in der Einlaufklappe





Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.3 Schlussfolgerungen

Bemessung von Rechensystemen

Modelle zur Schwimgeschwindigkeit

- EBEL (2013)
- BEAMISH (1974)
- PEAKE et al. (1995)

Modelle zum Schwimmverhalten im Anströmbereich

- O'KEEFFE & TURNPENNY (2005)
- PAKHORUKOV & KURAGINA (1978)
- PAVLOV (1989)

Daten zu Körperdimensionen und -proportionen

- Körperlänge
- relative Körperbreite
- relative Körperhöhe

Bemessung und Gestaltung des Rechens hinsichtlich folgender Kriterien: Stabweite, Anströmwinkel, Anströmgeschwindigkeit, Höhe der Sohleitwand, ggf. Höhe der oberflächennahen Verblendung
(detaillierte Bemessungsmethoden und Gestaltungsempfehlungen vgl. EBEL 2013)

standörtliche Bedingungen

- Zielarten und -stadien
- Anströmverhältnisse
- Profilgeometrie
- Turbinen- / Triebwerkseigenschaften



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.3 Schlussfolgerungen (Fortsetzung)

Bemessung von Bypasssystemen

Modelle zur Bemessung der Profildimensionen

- Mindestprofilbreite (EBEL 2013)
- Mindestprofilhöhe / Wassertiefe (EBEL 2013)

Informationen zum Verhalten abwandernder Fische

- Schwimmhorizonte
- hydraulische Toleranzen
- geometrische Toleranzen

Daten zu Körperdimensionen und -proportionen

- Körperlänge
- relative Körperbreite
- relative Körperhöhe

Bemessung und Gestaltung des Bypasses hinsichtlich folgender Kriterien: Profilbreite, Profilhöhe, Profillage, minimale Fließgeschwindigkeit, maximale Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe nach Überfällen, spezifische Leistung, Durchfluss (detaillierte Bemessungsmethoden und Gestaltungsempfehlungen vgl. EBEL 2013)

standörtliche Bedingungen:

- Zielarten und -stadien
- lichte Weite und Anströmverhältnisse des Rechens
- Lagebeziehung von Rechen und Bypass
- Ausbaudurchfluss der WKA



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.3 Schlussfolgerungen (Fortsetzung)

Allgemeine Zielgrößen für die Bemessung von Rechensystemen (Details vgl. EBEL 2013)

Nur zur Orientierung! Anlagenkonkrete Bemessung erfordert art- und standortspezifische Analysen!

Parameter	Zielgröße
lichte Weite	$s \leq 15 \text{ mm}$
horizontaler Anströmwinkel	$\theta < 45^\circ$
Anströmgeschwindigkeit	$v_{\text{ANSTRÖM}} \leq 0,80 \text{ m/s}$
Normalgeschwindigkeit	$v_{\text{NORMAL}} \leq 0,30 \text{ m/s}$
Tangentialgeschwindigkeit	$v_{\text{TANG}} > v_{\text{NORMAL}}$
Höhe Sohleitwand	$h_{\text{SLW}} \geq 0,15 \cdot h_{\text{OW}}$ (Mindestwandhöhe = 0,50 m)
Eintauchtiefe Tauchwand	$h_{\text{TAW}} \geq 0,30 \cdot h_{\text{OW}}$ (Mindestwandhöhe = 1,00 m)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

3.3 Schlussfolgerungen (Fortsetzung)

Allgemeine Zielgrößen für die Bemessung von Bypasssystemen (Details vgl. EBEL 2013)

Nur zur Orientierung! Anlagenkonkrete Bemessung erfordert art- und standortspezifische Analysen!

Parameter	Zielgröße
lichte Profilbreite	$b_{\text{BYPASS}} = 0,40 \dots 0,60 \text{ m}$
lichte Profilhöhe bzw. Wassertiefe	$h_{\text{BYPASS}} = 0,60 \dots 0,90 \text{ m}$
Krümmungsradius	$r_{\text{BYPASS}} \geq 5,0 \cdot d_{\text{BYPASS}}$ bzw. $r_{\text{BYPASS}} \geq 5,0 \cdot b_{\text{BYPASS}}$
Wassertiefe nach Überfall	$h_{\text{TOS}} \geq 0,25 \cdot \Delta h$ (Mindesttiefe = 0,90 m)
spezif. Leistung in Beckenstrukturen	$p \leq 500 \text{ W/m}^3$
Geschwindigkeit im Eintrittsprofil	$v_{\text{BYPASS}} = 0,30 \dots 1,50 \text{ m/s}$
relative Geschwindigkeit im Eintrittsprofil	$v_{\text{BYPASS,RELAT}} = 1,0 \dots 2,0 \cdot v_{\text{ANSTRÖM}}$
Geschwindigkeit im Gerinne (einschl. Öffnungen)	$v_{\text{BYPASS}} \leq 4,5 \text{ m/s}$
Terminalgeschwindigkeit im Überfall / Aufprallgeschw.	$v_{\text{ÜBERFALL}} \leq 8,0 \text{ m/s}$
Bypassdurchfluss	$Q_{\text{BYPASS}} = 0,20 \dots 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$
relativer Bypassdurchfluss	$Q_{\text{BYPASS,RELAT}} = 0,02 \dots 0,10 \cdot Q_{\text{WKA}}$



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4. Praktische Empfehlungen

4.1 Generelle Aspekte

- (1) Der Einsatz wirksamer Fischschutz- und Fischabstiegssysteme ist aufgrund rechtlicher, biologischer und fischereiwirtschaftlicher Aspekte europaweit von hoher Priorität.
- (2) Ingenieurbiologisch konzipierte mechanische Barrieren mit geringer lichter Weite und geeigneten Anströmbedingungen bieten die besten Voraussetzungen, um das Eindringen von Fischen in die nachgeordneten Triebwerke zu verhindern.
- (3) Ingenieurbiologisch konzipierte schachtartige Bypässe bieten die besten Voraussetzungen, um Fischen eine gefahrlose Umgehung der Triebwerke zu ermöglichen.
- (4) Fischschutz- und Fischabstiegssysteme sind im Rahmen der ingenieurbiologischen Planung stets standortspezifisch zu konzipieren und zu bemessen. Bei Erfordernis ist eine Mortalitätsprognose für den betreffenden Standort zu erarbeiten.
- (5) Wissenschaftlich begründete Vorgaben für die Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen liegen vor. Diese sind in der Praxis konsequent zu nutzen und im Rahmen qualifizierter Forschungsprojekte weiterzuentwickeln.



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2 Leitrechen-Bypass-System nach EBEL, GLUCH & KEHL (2001)

4.2.1 Historie

Ausgangssituation Ende der 1990er Jahre

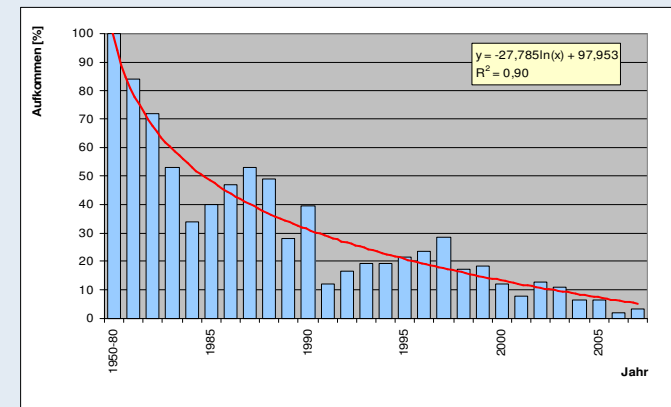
- forcierter Ausbau der Wasserkraft
- Zunahme der wasserkraftbedingten Fischmortalität
- Fortsetzung der Bestandsrückgänge beim Aal
- Probleme bei der Wiederansiedlung anadromer Arten
- kein Stand der Technik zu wirksamen Fischschutz- und Fischabstiegssystemen in Deutschland verfügbar

Schlussfolgerungen

- Aufarbeitung des weltweiten Wissensstandes erforderlich
- Konzeption, Planung und Installation von Pilotanlagen erforderlich
- Evaluierung der biologischen Wirksamkeit von Pilotanlagen erforderlich



Aal (*Anguilla anguilla*), Foto: G. Ebel



Entwicklung des Steigaalaufkommens (aus BRÄMICK et al. 2008)



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.1 Historie (Fortsetzung)

Aktivitäten

- **ab 1998:** systematische Aufarbeitung des weltweiten Wissensstandes
- **2000 – 2005:** Konzeption und Planung von Pilotanlagen mit neuartigem Leitrechen-Bypass-System
- **2006 – 2008:** Inbetriebnahme der Pilotanlagen und Untersuchungen zur biologischen Wirksamkeit
- **ab 2009:** Weiterentwicklung des neuartigen Systems und Realisierung an unterschiedlichen Standorten
- **2013:** Buchveröffentlichung zum weltweiten Wissensstand

Randbedingungen:

- keine finanzielle Förderung
- keine Patentierung des neuartigen Systems im Interesse der allgemeinen Anwendbarkeit



Pilotanlage Planena im Bau (Saale), Foto: M. Kehl



Pilotanlage Rothenburg (Saale), Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

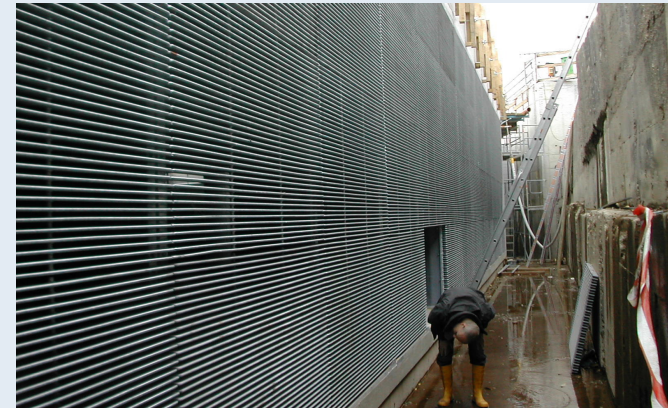
4.2.2 Aufbau und Funktionsprinzip

Leitrechen

- horizontale Schräganströmung und horizontale Stabausrichtung
- Sohlleitwand am Rechenfuß zur Verbesserung der Leitwirkung für Fische und Geschiebe
- lichte Stabweite meist ≤ 15 mm, Anströmwinkel meist $20 - 40^\circ$, Anströmgeschwindigkeit meist $0,40 - 0,80$ m/s (detaillierte Bemessung erforderlich!)

Bypass

- lichtoffener Schacht, dessen Eintrittsprofil die gesamte Oberwassersäule erfasst und unmittelbar am unterstromigen Ende des Rechenfeldes angeordnet ist
- Kontrollbauwerke zur Einstellung hydraulischer Zielgrößen (vgl. folgende Folien); detaillierte Bemessung erforderlich!
- Schachtbreite meist $0,8 - 2,0$ m, Durchfluss meist $0,2 - 2,0$ m³/s



Leitrechen im Bau, Foto: A. Gluch



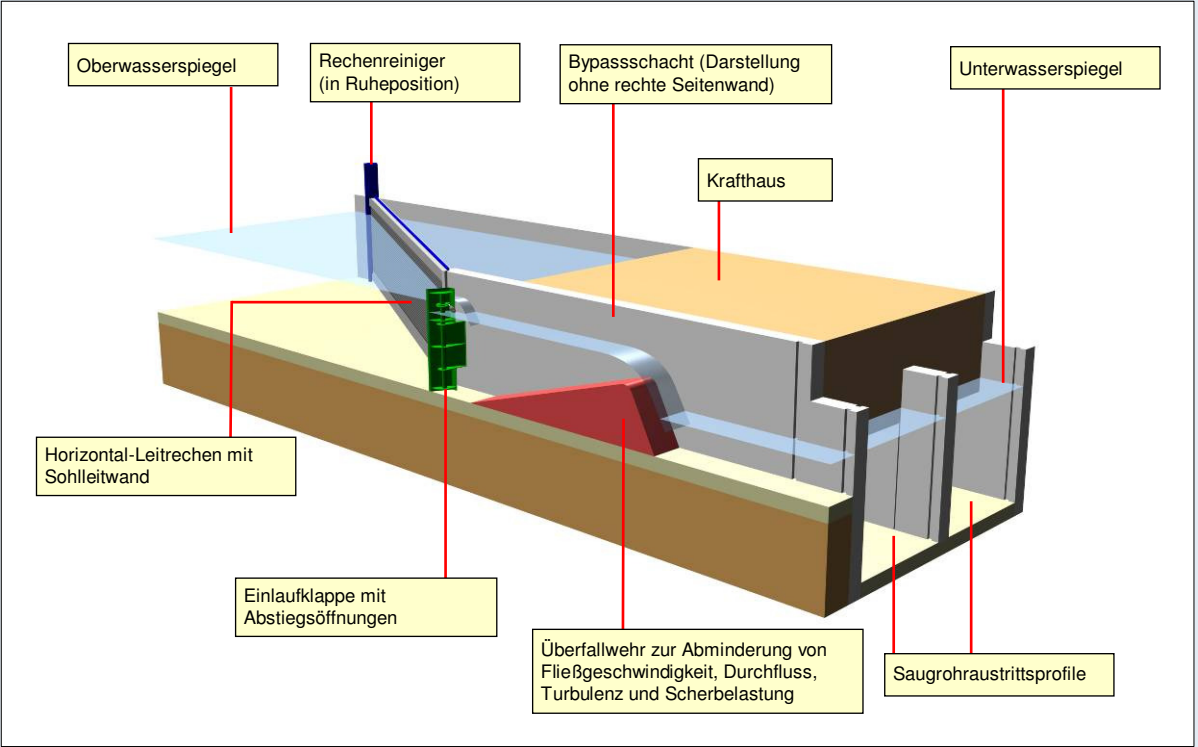
Bypass im Bau, Foto: M. Kehl



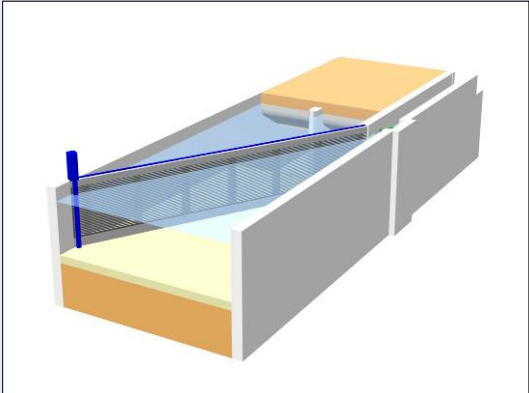
Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

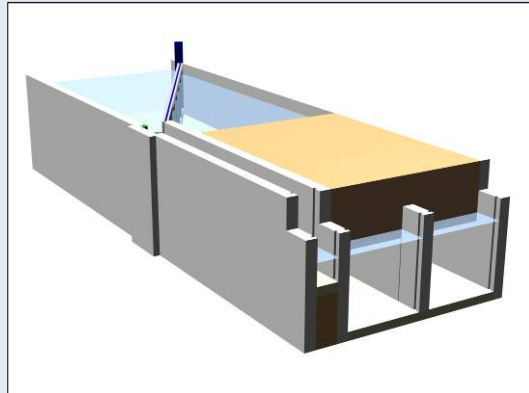
4.2.2 Aufbau und Funktionsprinzip (Fortsetzung)



Prinzipskizze des Leitreechen-Bypass-Systems nach EBEL, GLUCH & KEHL (2001) in Seitenansicht (aus EBEL 2013)



Prinzipskizze in Oberwasseransicht (aus EBEL 2013)



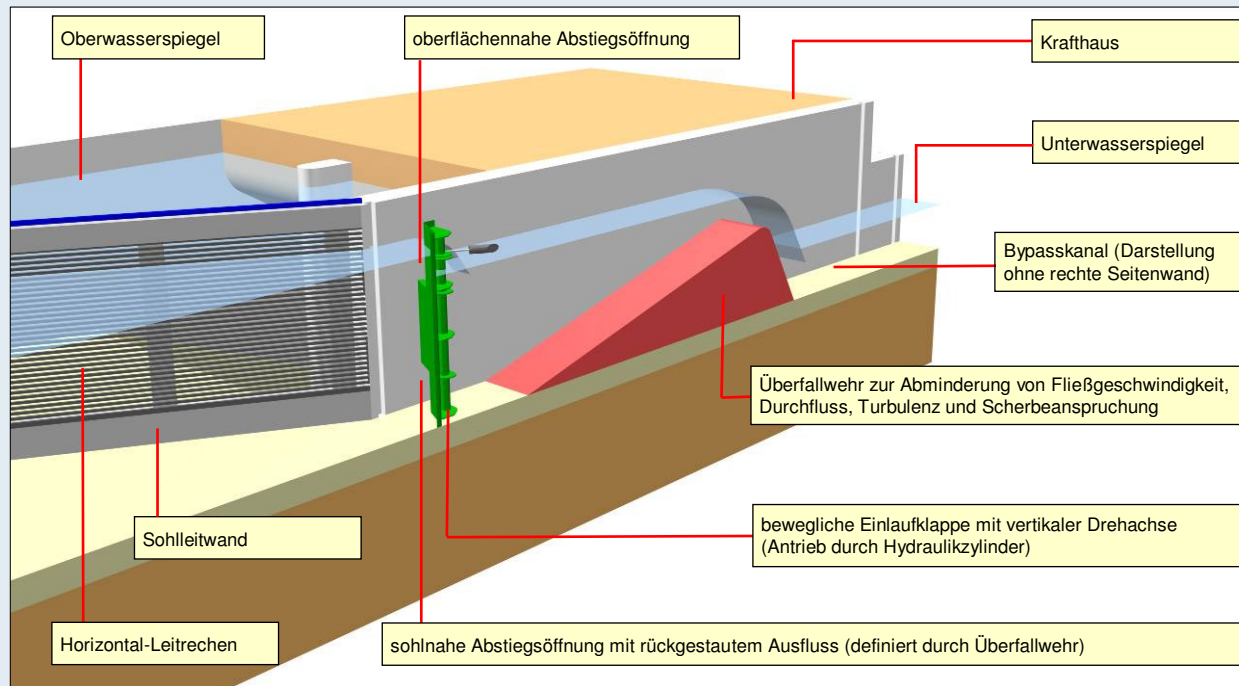
Prinzipskizze in Unterwasseransicht (aus EBEL 2013)



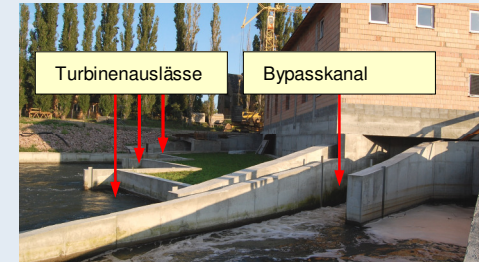
Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.2 Aufbau und Funktionsprinzip (Fortsetzung)



Prinzipskizze des Bypasses in Seitenansicht (aus EBEL 2013)



Bypass im Normalbetrieb, Ansicht vom Unterwasser, Foto: G. Ebel



Überfallwehr im Bypass während der Bauphase (im Hintergrund bauzeitl. Revisionsverschluss zum Unterwasser), Foto: A. Gluch



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.3 Biologische Wirksamkeit

Methodische Ansätze zur Evaluierung der Wirksamkeit:

1. Untersuchung der Nutzungsfrequenz des Bypasses
2. Untersuchung der Effizienz des Leitreechen-Bypass-Systems (Quantifizierung der Verteilung abwandernder Fische auf die relevanten Wanderkorridore)

Untersuchung der Nutzungsfrequenz des Bypasses

- liefert erste Anhaltspunkte zur Funktion
- quantitative Beschreibung der Effizienz nicht möglich
- Untersuchungen an folgenden WKA:
 - Planena (Saale), Ausbaudurchfluss 50 m³/s
 - Rothenburg (Saale), Ausbaudurchfluss 68 m³/s
 - Raguhn (Mulde), Ausbaudurchfluss 88 m³/s



Bypassreuse, Foto: G. Ebel



Turbinenhamen, Foto: J. Riecken-Dietrich



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Untersuchung der Nutzungsfrequenz des Bypasses

WKA Planena (Saale), EBEL (2007)

Kontrollzeitraum: 25 Tage Frühjahr + 3 Tage Herbst
Artenzahl: 23
Individuenzahl: 2.072
Körperlänge: 8 – 95 cm

WKA Rothenburg (Saale), EBEL (2008)

Kontrollzeitraum: 14 Tage Frühjahr + 20 Tage Herbst
Artenzahl: 29
Individuenzahl: 7.657
Körperlänge: 5 – 130 cm

WKA Raguhn (Mulde), EBEL (2010)

Kontrollzeitraum: 28 Tage Frühjahr + 2 Tage Herbst
Artenzahl: 20
Individuenzahl: 1.176
Körperlänge: 4 – 97 cm



Barbe (*Barbus barbus*), Foto: G. Ebel



Wels (*Silurus glanis*), Foto: G. Rauch



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Untersuchung der Effizienz des Systems

Fallstudie Rothenburg – Methodik (EBEL 2011)

- Untersuchungen an natürlich abwandernden Aalen
- gleichzeitige Beprobung des Bypasses und der 3 Turbinenaustrittsprofile mit jeweils 1 Fangvorrichtung über 12 Tage (4 Tage Frühjahr + 8 Tage Herbst)
- Bestimmung der Fangeffizienz der Bypassreuse mittels Markierungs-Wiederfang-Methode und Beschreibung durch logistisches Regressionsmodell
- Bestimmung der Fangeffizienz der Turbinenhamen mittels Markierungs-Wiederfang-Methode und Beschreibung durch logistisches Regressionsmodell
- Bestimmung der Mortalität in allen Fanggeräten
- Quantifizierung der Effizienz des Leitrechen-Bypass-Systems / Einsatz logistischer Regressionsmodelle zur Charakterisierung gröbenselektiver Effekte



Installation Turbinenhamen, Foto: G. Ebel



fangfertig gestellte Turbinenhamen, Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Untersuchung der Effizienz des Systems (Fortsetzung)

Fallstudie Rothenburg – Methodik (EBEL 2011)

allgemeine Definition der Effizienz des Leitreechen-Bypass-Systems:

$$E = \frac{N_{\text{BYPASS}}}{N_{\text{BYPASS}} + \sum_{i=1}^3 N_{\text{TURB}_i}}$$

E = Effizienz
 N_{BYPASS} = Individuenzahl Bypassreuse
 N_{TURB} = Individuenzahl Turbinenhamen

Beschreibung gröÙenselektiver Effekte durch exponentielle, sigmoide Sättigungsfunktionen (logistische Modelle) der Form

$$E = \frac{\exp(-a + b \cdot TL)}{1 + \exp(-a + b \cdot TL)}$$

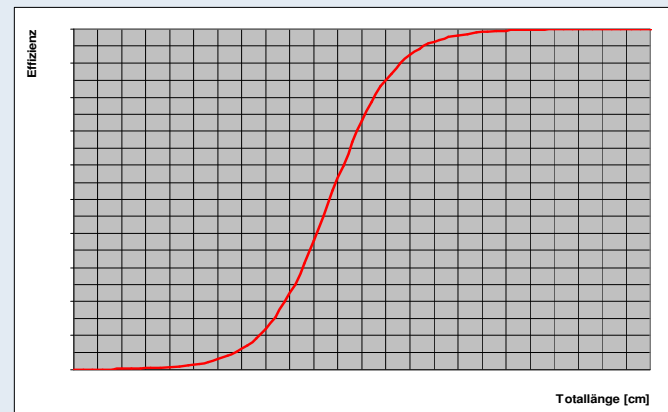
E = Effizienz, a, b = Modellkonstanten
 TL = Totallänge

Entwicklung logistischer Regressionsmodelle für:

- Fangeffizienz der Turbinenhamen
- Fangeffizienz der Bypassreuse
- Effizienz des Leitreechen-Bypass-Systems



Hebung eines Turbinenhamens, Foto: D. Möbius



allgemeine Darstellung eines logistischen Regressionsmodells



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

Untersuchung der Effizienz des Systems (Fortsetzung)

Fallstudie Rothenburg – Ergebnisüberblick (EBEL 2011)

- 83,3 % der Aale wandern durch Bypass ab
- 16,7 % der Aale wandern durch Turbinen ab
- Mortalität nach Bypasspassage = 0,0 %
- Mortalität nach Turbinenpassage = 18,1 %
- Gesamtmortalität in den beprobten Wanderkorridoren (Bypass + Turbinen) = 2,5 %

Fallstudie Rothenburg – Schlussfolgerungen

- durch neuartiges Leitrechen-Bypass-System erhebliche Reduktion der Aalmortalität möglich
- Erhöhung der Effizienz für ingenieurbiologisch verbesserte Leitrechen-Bypass-Systeme zu erwarten
- weiterführende Untersuchungen an einschlägigen Pilotanlagen und Entwicklung generalisierender Effizienzmodelle erforderlich



fänglich gestellte Bypassreuse, Foto: G. Ebel



Fang in Bypassreuse aus 1 Kontrollnacht, Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.4 Beispiele für ausgeführte Anlagen

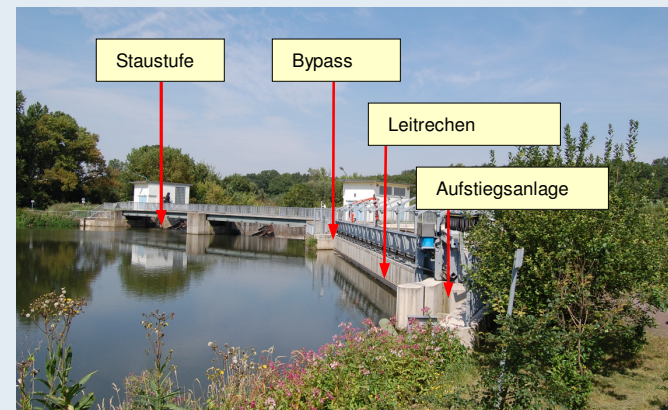
Wasserkraftanlage Planena (Saale, Deutschland)

- Ausbaudurchfluss: 50 m³/s
- Bruttofallhöhe bei MQ: 2,36 m
- Triebwerkskonzept: 2 horizontalachsige Kaplan-Turbinen
- lichte Stabweite Leitreechen: 20 mm
- horizontaler Anströmwinkel Leitreechen: $\geq 45^\circ$
- Länge Rechenfeld (durchströmt): 29,5 m
- Höhe Rechenfeld (durchströmt): 3,73 m
- Normalgeschwindigkeit am Rechen: $\leq 0,45$ m/s
- Breite Bypass: 1,00 m
- Länge Bypass: 29 m
- Durchfluss Bypass: 1,0 m³/s
- Betriebszeit Bypass: permanent

Hinweis: Die unter 4.2.4 vorgestellten Anlagen entsprechen nicht in allen Parametern dem aktuellen Kenntnisstand zur hydraulischen und geometrischen Bemessung. Ingenieurbologisch verbesserte Anlagen sind an verschiedenen Standorten in Planung oder Bau.



Rechen in der Bauphase (Ansicht Abströmseite), Foto: M. Kehl



Oberwasseransicht der Wasserkraftanlage, Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.4 Beispiele für ausgeführte Anlagen (Fortsetzung)

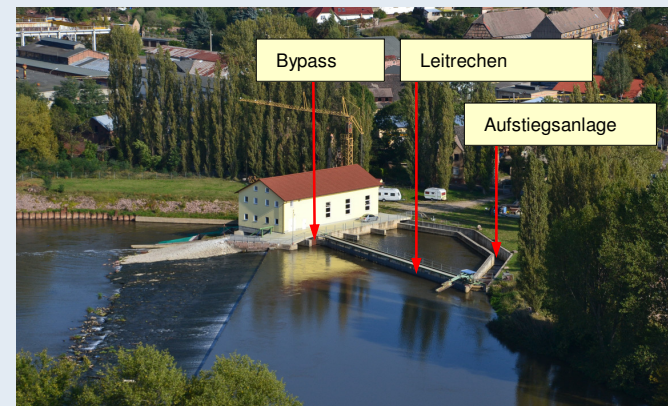
Wasserkraftanlage Rothenburg (Saale, Deutschland)

- Ausbaudurchfluss: 68 m³/s
- Bruttofallhöhe bei MQ: 2,35 m
- Triebwerkskonzept: 3 vertikalachsig Kaplan-Turbinen
- lichte Stabweite Leitrechen: 20 mm
- horizontaler Anströmwinkel Leitrechen: $\leq 38^\circ$
- Länge Rechenfeld (durchströmt): 50,0 m
- Höhe Rechenfeld (durchströmt): 2,50 m
- Normalgeschwindigkeit am Rechen: $\leq 0,54$ m/s
- Breite Bypass: 2,00 m
- Länge Bypass: 12 m
- Durchfluss Bypass: 1,45 m³/s
- Betriebszeit Bypass: permanent

Hinweis: Die unter 4.2.4 vorgestellten Anlagen entsprechen nicht in allen Parametern dem aktuellen Kenntnisstand zur hydraulischen und geometrischen Bemessung. Ingenieurbiologisch verbesserte Anlagen sind an verschiedenen Standorten in Planung oder Bau.



Wasserkraftanlage in der Bauphase, Foto: G. Rauch



Ansicht der Wasserkraftanlage vom linken Ufer, Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

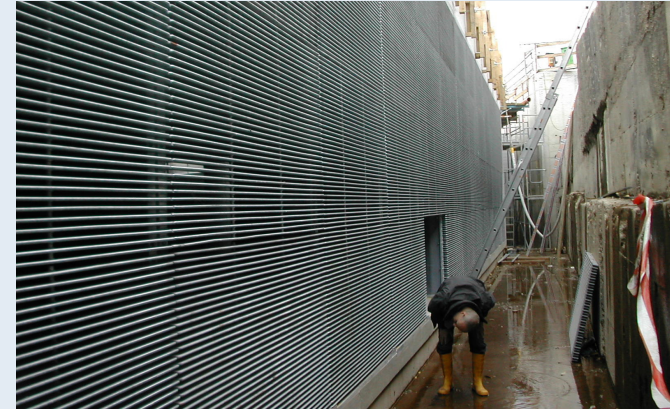
Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.4 Beispiele für ausgeführte Anlagen (Fortsetzung)

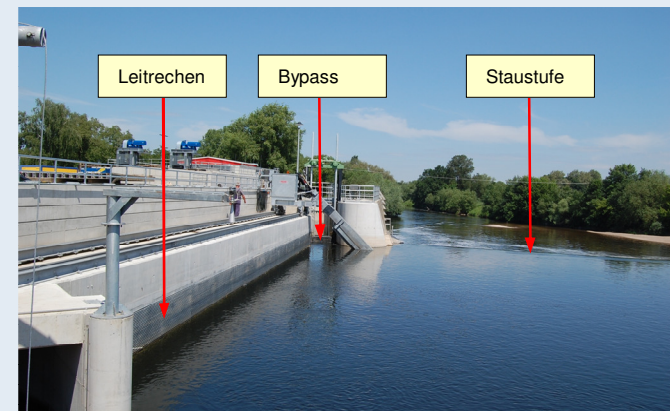
Wasserkraftanlage Raguhn (Mulde, Deutschland)

- Ausbaudurchfluss: 88 m³/s
- Bruttofallhöhe bei MQ: 3,78 m
- Triebwerkskonzept: 2 horizontalachsige Kaplan-Turbinen
- lichte Stabweite Leitreechen: 20 mm
- horizontaler Anströmwinkel Leitreechen: $\geq 65^\circ$
- Länge Rechenfeld (durchströmt): 27,9 m
- Höhe Rechenfeld (durchströmt): 4,50 m
- Normalgeschwindigkeit am Rechen: $\leq 0,70$ m/s
- Breite Bypass: 2,00 m
- Länge Bypass: 41,5 m
- Durchfluss Bypass: 1,0 m³/s
- Betriebszeit Bypass: permanent

Hinweis: Die unter 4.2.4 vorgestellten Anlagen entsprechen nicht in allen Parametern dem aktuellen Kenntnisstand zur hydraulischen und geometrischen Bemessung. Ingenieurbiologisch verbesserte Anlagen sind an verschiedenen Standorten in Planung oder Bau.



Rechen in der Bauphase (Ansicht Anströmseite), Foto: A. Gluch



Rechen im Betriebszustand, Foto: G. Ebel



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.4 Beispiele für ausgeführte Anlagen (Fortsetzung)

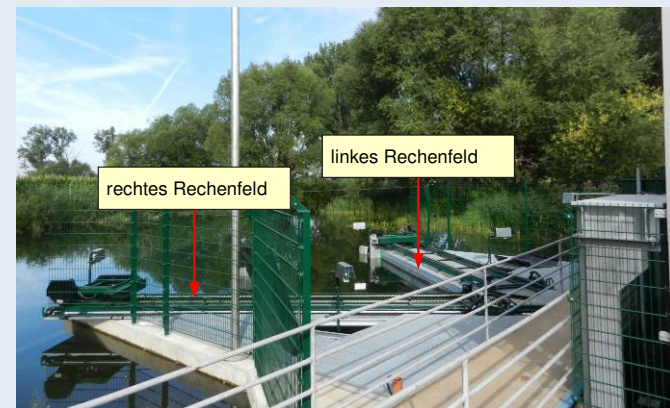
Wasserkraftanlage Hadmersleben (Bode, Deutschland)

- Ausbaudurchfluss: 14 m³/s
- Bruttofallhöhe bei MQ: 1,69 m
- Triebwerkskonzept: 2 Wasserkraftschnecken
- lichte Stabweite Leitrechen: 15 mm
- horizontaler Anströmwinkel Leitrechen: 38°
- Länge Rechenfeld (durchströmt): 2 x 6,50 m
- Höhe Rechenfeld (durchströmt): 2 x 3,00 m
- Normalgeschwindigkeit am Rechen: ≤ 0,36 m/s
- Breite Bypass: 0,80 m
- Länge Bypass: 11,5 m
- Durchfluss Bypass: 0,2 m³/s
- Betriebszeit Bypass: permanent

Hinweis: Die unter 4.2.4 vorgestellten Anlagen entsprechen nicht in allen Parametern dem aktuellen Kenntnisstand zur hydraulischen und geometrischen Bemessung. Ingenieurbiologisch verbesserte Anlagen sind an verschiedenen Standorten in Planung oder Bau.



Unterwasseransicht der Wasserkraftanlage, Foto: G. Ebel



Seitenansicht des V-förmigen Horizontalrechen, Foto: L. Klauke



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.5 Betriebserfahrungen

- (1) geringe Rechenverluste durch horizontale Stabausrichtung
- (2) partielle Selbstreinigung des Rechens durch tangentialen Strömungsvektor
- (3) minimale Treibgutentsorgungskosten durch effektive Treibgutweiterleitung ins Unterwasser
- (4) minimale Aufwendungen zur Bypassunterhaltung durch geringe Verlegungsanfälligkeit des Bypasses (für Entnahme von großen Treibgutobjekten ist Hydraulik-Ladekran am Eintrittsprofil des Bypasses erforderlich)
- (5) bedarfsabhängige Bypassbeaufschlagung durch bewegliche Kontrollbauwerke (geringe Beaufschlagung bei Normalbetrieb, hohe Beaufschlagung bei Spülung oder Hochwasserentlastung)
- (6) vorteilhafte Eigenschaften im Winterbetrieb durch erleichterten Transport von Eisschollen entlang der schräg exponierten Rechenfläche



Hydraulik-Ladekran mit Sterngreifer, Foto: G. Ebel



Transport von Eisschollen entlang des Rechens, Foto: A. Gluch



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

4.2.6 Schlussfolgerungen

- (1) vorteilhafte biologische Eigenschaften des Systems durch bisherige Untersuchungen belegt
- (2) vorteilhafte technische Eigenschaften des Systems durch bisherige Betriebserfahrungen belegt
- (3) System in unterschiedlichen Staaten an zahlreichen Standorten im Einsatz / international als Stand der Technik etabliert
- (4) System an neuen und bestehenden Wasserkraftanlagen gleichermaßen einsetzbar
- (5) ingenieurbioologische Bemessung und Gestaltung des Systems für die jeweiligen Standortbedingungen erforderlich
- (6) wissenschaftlich begründete Vorgaben für die ingenieurbioologische Bemessung und Gestaltung liegen vor
- (7) weitere Evaluierung und Optimierung des Systems vorgesehen
- (8) Etablierung einer systematischen Forschungstätigkeit zu Fragen des Fischschutzes und Fischabstiegs an Wasserkraftanlagen auch in Deutschland erforderlich



Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen

Internationaler Kenntnisstand und praktische Empfehlungen

5. Weiterführende Informationen

Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme

ISBN: 978-3-00-039686-1

Autor: Guntram Ebel

Herausgeber: Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel (BGF)

bibliographische Informationen: Format 20 x 28 cm (Hardcover), 483 Seiten (durchgängig farbig), 70 Zeichnungen, 112 Diagramme, 216 Fotos, 66 Tabellen, 32 Tafeln, 785 Literaturhinweise, Kurzzusammenfassung in deutsch, englisch, französisch, russisch

Zielgruppen: Planer, Gutachter, Sachverständige, Wasserkraftbetreiber, Fach- und Verwaltungsbehörden, Fischerei- und Naturschutzverbände, Lehrende und Lernende an Fachhochschulen und Universitäten

Band 4

Guntram Ebel

Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen

Handbuch Rechen- und Bypasssysteme

Ingenieurbiologische Grundlagen
Modellierung und Prognose
Bemessung und Gestaltung



Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie