

Fischschutz an der WKA Kostheim/Main mit einer „Multifeldrechenanlage“

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Zusammenfassung

Rechenanlagen bei Wasserentnahmebauwerken und Wasserkraftanlagen dienen dem Schutz der Anlagen vor Treibgut und Eis. Bei entsprechender Auslegung können Rechen jedoch auch als nahezu unpassierbare Barriere im Sinne des Fischschutzes konstruiert werden. Zudem ermöglicht eine schräge Anströmung das rasche Auffinden der vor dem Rechen ankommenden Fische hin zu einem Bypass. Der Beitrag stellt ausgehend vom gegenwärtigen Wissensstand dar, wie eine Umsetzung an der WKA Kostheim/Main geplant wurde.

1 Aufgaben und Komponenten von Rechenanlagen

Die Nutzung von Wasser aus Fließgewässern als Prozess- oder Kühlwasser sowie zur Bewässerung oder zum Antrieb von Turbinen hat häufig hohe Ansprüche an die Reinheit des ausgeleiteten/entnommenen Wassers. Rechenanlagen dienen dazu, das benötigte Wasser von Treibgut und Eis frei zu halten. Am Rechen selbst bleiben diese Stoffe hängen und werden mit einer Reinigungsharke abgeräumt. Die Reinigungsleistung eines Rechens ist von dessen Durchlässigkeit zwischen den Stäben oder Maschen sowie dem Reinigungsintervall abhängig.

Zur Bemessung von Rechenanlagen existiert ein breites Portfolio an Fachliteratur. Angefangen bei der Berechnung der hydraulischen Verluste infolge der umströmten Stäbe bis hin zur (verfahrens-)technischen Planung der Rechenreinigung gibt es Methoden zur Auslegung und Konstruktion (bspw. MEUSBURGER 2002, GIESECKE et al. 2014, RADHUBER 2006, HÜBNER et al. 2011, RAYNAL 2013a,b, KRIWITZ-BYUN 2014).

Rechenanlagen können jedoch auch zum Schutz der Fische ausgelegt werden, um ein Einschwimmen der Tiere in für sie gefährliche Bereiche zu verhindern. In diesem Fall wirkt der Rechen als eine mechanische Barriere, welche je nach Gestaltung und Auslegung für die anschwimmenden Tiere nahezu unpassierbar sein kann.

2 Auslegung von Rechenanlagen als Fischbarriere

Bei der Auslegung von Rechen als Fischbarriere gelten neben den konventionellen Aspekten zum Treibgut- und Eisrückhalt erweiterte Anforderungen. Diese resultieren aus dem Ansatz, dass ankommende Fische vor dem Rechen stets Strömungsbedingungen vorfinden sollen, in denen sie mit ihrer Schwimmfähigkeit über einen längeren Zeitraum frei navigieren können, ohne dass es zu einem strömungsbedingten Anpressen an die Rechenoberfläche kommt. Zudem soll der Rechen im günstigsten Fall die Fische zu einem Bypass hin leiten, von wo aus die Tiere das durch den Rechen abgeschirmte Wanderhindernis gefahrlos passieren können (LARINIER & TRAVADE 2002, ATV-DVWK 2004, DUMONT et al. 2005, EBEL 2013, UMWELTBUNDESAMT 2015).

Um den Anforderungen gerecht zu werden, muss das hydraulisch-taktile Verhalten abwanderwilliger Fische vor Rechenanlagen bekannt sein und bei der Auslegung eines Fischschutzrechens in gleichem Maße wie die jeweils standortspezifischen Bedingungen berücksichtigt werden. Dazu werden bereits seit einigen Jahren verhaltensbiologische und ethohydraulische Untersuchungen sowohl in Labor- als auch in Freilandbedingungen durchgeführt, aus deren Befunden sich bereits heute eine beachtliche Vielfalt an Planungs- und Bemessungshinweisen für Fischschutzrechen ableiten lässt.

2.1 Stababstände

Rechenfelder können aus um- und durchströmten parallel zueinander angeordneten horizontalen oder vertikalen Stäben oder aus einer Maschenstruktur bestehen. Bei Wasserkraftanlagen oder bei der Entnahme großer Wassermengen aus Flüssen kommen wegen einer besseren Abreinigung der Rechenfläche und der statischen Anforderungen häufig Stabrechenanlagen zum Einsatz.

Dabei ist bei Stabrechenanlagen neben den Stababständen selbst auch deren Ausrichtung (horizontal oder vertikal) von Bedeutung. Hintergrund dafür ist die Annahme, dass hochrückige Fische sich zur Passage horizontaler Rechenstäbe deutlich um ihre Körperlängsachse drehen müssen, damit sie mit ihrer Körperform durch die Lücken zwischen den Stäben passen (**Abb. 1**). Hierzu gibt es die Hypothese, dass die Tiere dies i.d.R. nicht tun. In ethohydraulischen Laborversuchen ist dies jedoch bei einzelnen Lachs-Smolts bereits beobachtet worden (BERGER 2018), so dass die Gültigkeit der Hypothese für Fische mit ähnlichen Körperformen wie die Smolts fragwürdig erscheint. Bei vertikaler Stabanordnung können die Tiere ohne vorherige Körperdrehung eine Passage durchführen, was ebenfalls in ethohydraulischen Versuchen bei mehreren Arten beobachtet wurde (KRIWITZ-BYUN 2014). Zumindest scheint nach bisherigen Erkenntnissen für hochrückige Arten (Barsch, Brachse, Plötze, Rapfen) eine horizontale Stabausrichtung eine bessere Barrierewirkung zu haben.

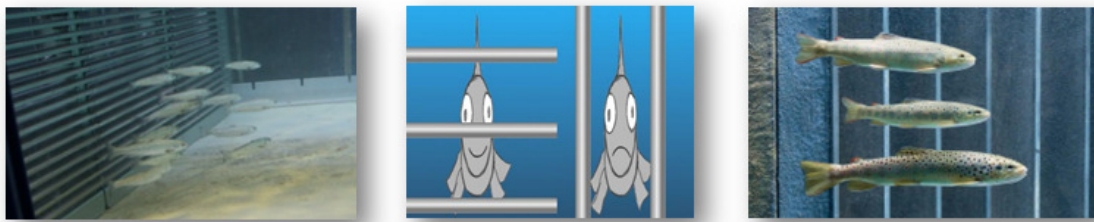


Abb. 1: Horizontale (links) und vertikale (rechts) Stabausrichtung und ihre Fischschutzwirkungen (Mitte, verändert nach blog.teddy.de)

EBEL (2013) empfiehlt in Abhängigkeit von den Körperproportionen der Fische eine Festlegung der Stababstände mit einem Set aus einfachen Formeln. Die Auswahl der geeigneten Formel erfolgt durch einen sog. Proportionsindex, welcher das Höhen-Breiten-Verhältnis des Fisches prüft. Für die Formelanwendung werden demnach Körpermaße und -proportionen der Fische benötigt. SCHWEVERS UND ADAM (2019) liefern hierzu aktuelle biometrische Datentabellen, welche aus mehrjährigen Fischmessungen an der Monitoringstation der Fischaufstiegsanlage Geesthacht/Elbe resultieren und das in Deutschland vorkommende Fischartenspektrum gut repräsentieren. Weitere Datentabellen finden sich zudem in ADAM UND LEHMANN (2011) und DWA (2014) sowie in EBEL (2013). Je nach zu schützender Fischart sollen sich damit Stababstände berechnen lassen, welche für die Fische nahezu unpassierbar sind. Je nach Morphologie der Fische bestehen jedoch unterschiedliche Ansprüche, was die Formeln so nicht berücksichtigen. Labor- und Felduntersuchungen haben zudem ergeben, dass die publizierten Formeln zu weiten Stababständen führen, die bei vorhandener Motivation abwanderwilliger Fische entgegen der theoretischen Annahmen passiert werden (bspw. für Aale in ADAM et al. 2000). Zudem lässt bei juvenilen (kleineren) Fischen die Schutzwirkung entsprechend nach, sofern nur die Körperlängen ausgewachsener Tiere als Grundlage verwendet werden. In der praktischen Umsetzung besteht daher das Problem, dass an einem Standort nicht alle Fische mit einem „universellen“ Stabstand geschützt werden können.

In der wasserwirtschaftlichen Praxis werden die einzuhaltenden Stababstände durch Fachbehörden und landesspezifische Fischereiverordnungen bzw. Erlasse festgelegt. Hierbei variieren die aktuellen Anforderungen für Fischschutzrechen zwischen 10 mm und 25 mm Stababstand. Bei extremen standortspezifischen Randbedingungen (bspw. Großwasserkraftwerke) werden jedoch teilweise weitere Stababstände toleriert, da dort zu schmale Stababstände betriebliche Probleme verursachen. Für die Planung und Konstruktion wäre grundsätzlich eine fachbehördenübergreifende bundesweit einheitliche Festlegung zu den Stababständen wünschenswert.

2.2 Anströmgeschwindigkeit

Die Anströmgeschwindigkeit v_A als Parameter ist in DWA (2014) als auch in ADAM UND LEHMANN (2011) definiert. Sie ergibt sich aus dem Mittelwert der Geschwindigkeitswerte v_i in einem senkrecht durchflossenen Fließquerschnitt direkt vor dem Rechen und ist damit entgegen einer weitläufigen Meinung absolut unabhängig von der Ausrichtung und Bauart des Rechens (**Abb. 2**).

Da die Ermittlung von v_A in der Praxis aufgrund der Unzugänglichkeit des Messquerschnittes oftmals nicht möglich ist, empfiehlt die Literatur eine vereinfachte Berechnung $v_A = \text{Durchfluss } Q \text{ [m}^3/\text{s]} / \text{Fließquerschnittsfläche } A \text{ [m}^2\text{]}$ gemäß dem Kontinuitätsansatz.

$$v_A = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$$

v_A	Anströmgeschwindigkeit [m/s]
v_i	punktueller Geschwindigkeitsmessung im Messquerschnitt [m/s]
n	Anzahl aller punktuellen Geschwindigkeitsmessungen [-]

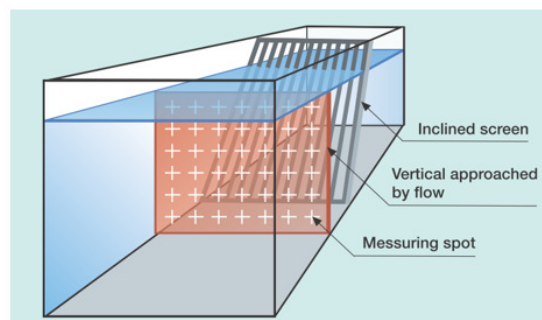


Abb. 2: Definition der Anströmgeschwindigkeit v_A (Verändert nach ADAM UND LEHMANN 2011)

Hierbei ist zu beachten, dass Ablösungen oder Strömungseinschnürungen in der Realität stets eine ungleichförmige Anströmung der Rechenfläche bewirken. TURNPENNY et al. (1998) haben aus Messungen festgestellt, dass die tatsächliche, fischrelevante Maximalgeschwindigkeit im Anströmquerschnitt vor einem Rechen ca. 30 % höher ist als der vereinfacht errechnete Mittelwert. Sie empfehlen daher eine entsprechende Korrektur der vereinfachten Formel zu $v_A = (Q / A) \cdot 1,3$.

Die für die Auslegung von Fischschutzrechen publizierten zulässigen Anströmgeschwindigkeiten berücksichtigen den oben dargelegten Sachverhalt. Daher ist die Forderung, dass an allen Stellen eines Fischschutzrechens die Anströmgeschwindigkeit unterhalb eines publizierten Maximalwertes liegen muss, nicht üblich und auch nicht konform zu den Ansätzen. EBEL (2013) gibt hierzu eine Vorgehensvorgabe für die Planung von Rechensystemen: „Maßgebend für die ingenieurbioologische Planung ist im Regelfall der Betriebszustand mit der maximalen Anströmgeschwindigkeit. Lokale Geschwindigkeiten lassen sich durch mehrdimensionale Modellierung oder Messung beschreiben. [...] Sofern [...] für die Bemessung der Barriere die maximale Dauerschwimmgeschwindigkeit des Fisches [als zulässige Anströmgeschwindigkeit] zugrunde gelegt wird, ist der lokalen Variabilität der Anströmgeschwindigkeit nur eine geringe Bedeutung beizumessen.“ (S. 312).

Damit orientieren sich die zulässigen v_A -Werte an der Schwimmleistungsfähigkeit der zu schützenden Fischarten. Aus Grundlagenuntersuchungen mit Fischen in durchströmten Röhren konnte man Werte zur Schwimmperformance unterschiedlicher Arten ermitteln (bspw. HOLTHE et al. 2009). Daraus resultieren Diagramme, welche die Schwimmgeschwindigkeit der Fische in Abhängigkeit der Schwimmzeit abbilden (**Abb. 3**). Inwieweit die in derartigen Röhrenversuchen gewonnenen Performancewerte auf das natürliche Verhalten der Fische übertragen werden können, bleibt fragwürdig.

Als Ansatz empfiehlt ATV-DVWK (2004) hier die sog. kritische Dauerschwimmgeschwindigkeit bei $t = 200$ Minuten als zulässige Anströmgeschwindigkeit v_A anzunehmen. Damit soll gewährleistet sein, dass Fische sich an einem Rechen noch frei bewegen können.

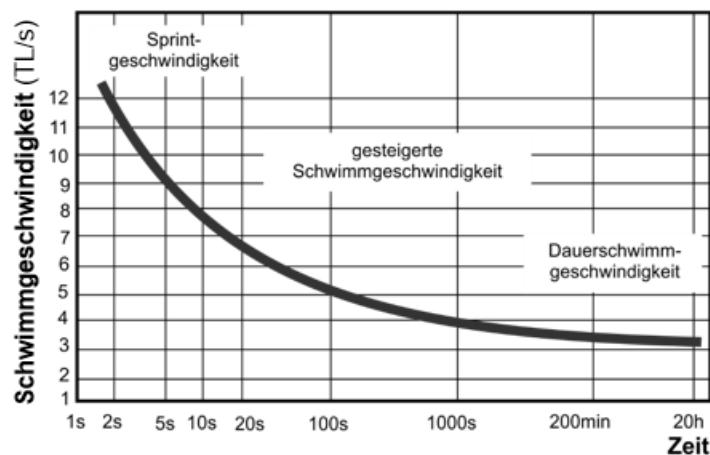


Abb. 3: Schwimmperformance über die Zeit (TL = Körperlänge des Fisches; Verändert nach ADAM UND LEHMANN 2011)

EBEL (2013) leitet durch Regressionsanalysen ein komplexes Formelwerk zur Berechnung der kritischen Dauerschwimmgeschwindigkeit ab und nutzt dazu Ergebnisse und Modelle unterschiedlicher Autoren. In seinen Formeln, die pauschal zwischen rheophilen Arten, nichtrheophilen Arten und Europäischen Aalen unterscheiden, gehen neben der Fischkörperlänge noch die Parameter Temperatur und Schwimmdauer ein (**Abb. 4**). Hierbei ist festzustellen, dass die Formeln nicht dimensionsrein sind, da Längen, Zeiten und Temperatur miteinander vermengt werden, um eine Geschwindigkeit (Länge/Zeit) auszurechnen.

Die Anwendung der EBEL-Gleichungen führt insbesondere bei Fischen mit großer Körperlänge (bspw. Wels mit $TL = 1,60$ m) zu hohen Werten, die mit Blick auf ethohydraulische Befunde in Frage gestellt werden müssen. Gründe dafür sind sowohl das mathematische Vermengen unterschiedlicher Ergebnisse und Modellansätze ohne Berücksichtigung der dazu geltenden Versuchsrandbedingungen als auch die nicht ausreichende Beachtung der unterschiedlichen Fischlokomotionen. Daher wird an dieser Stelle von der Verwendung derartiger Gleichungen abgeraten. Empfohlen werden die artspezifischen Grenz- und Richtwerte aus ATV-DVWK (2004, Tabelle 5.1) sowie die damit weitestgehend übereinstimmenden Werte aus diversen Labor- und Feldversuchen

(KRIEWITZ-BYUN 2014, LEHMANN et al 2016, BERGER 2018, KLOPRIES 2018). Daraus ergeben sich zulässige v_A -Werte für senkrecht angeströmte Rechen mit $v_A \leq 0,5$ bis $0,8$ m/s für Lachs-Smolts und potamodrome Fischarten sowie $v_A \leq 0,5$ m/s für den Aal und den Wels.

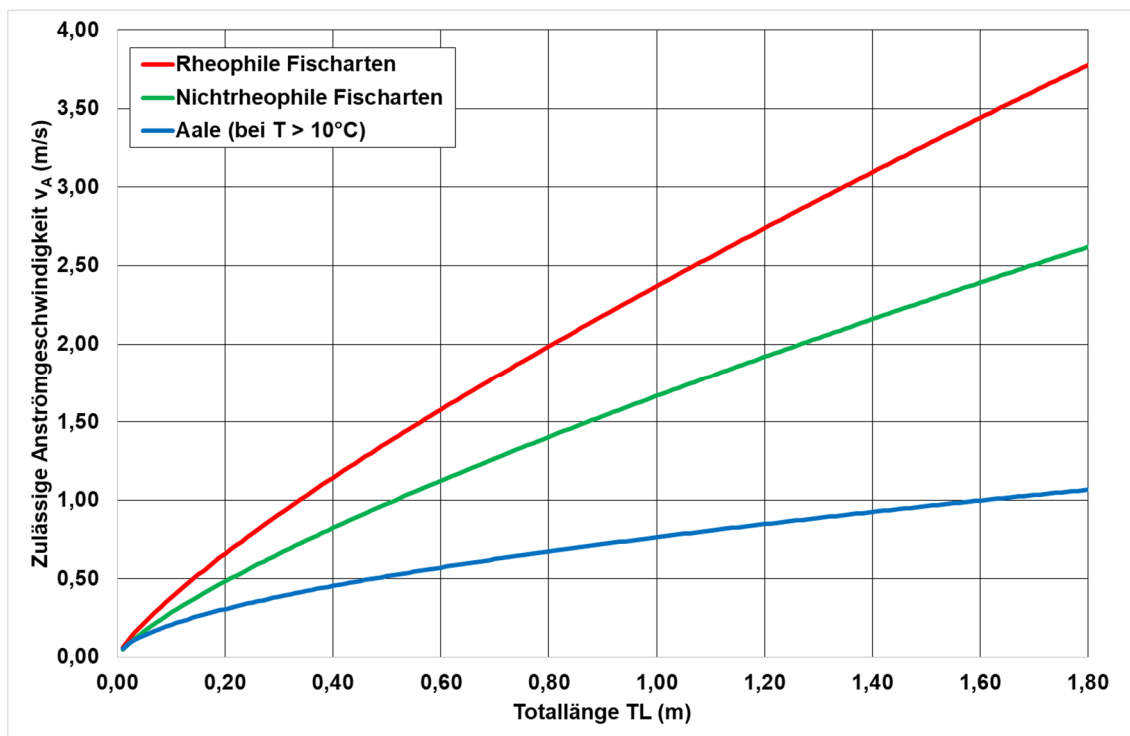


Abb. 4: Schwimmperformance über die Zeit (Formelgrundlage: EBEL 2013, Schwimmdauer = 200 Minuten)

Einige Autoren regen an, dass bei schräg angeströmter Rechenfläche deutlich höhere v_A -Werte zugelassen werden können. Als Grund dafür wird die Theorie angeführt, dass Fische zum Wegschwimmen vom schräg angeströmten Rechen lediglich gegen die sog. Normalkomponente (der Anströmgeschwindigkeit) v_N anschwimmen müssen (**Abb. 5**). Da infolge der vektoriellen Zerlegung v_N stets kleiner als v_A ist, liefern einige Autoren neue Formelwerke für Rechen, welche mit einem Winkel δ schräg angeströmt werden (BATES UND VINSONHALER 1957, RAINEY 1985, PAVLOV 1989, HAEFNER UND BOWEN 2002, O'KEFFEE UND TURPENNY 2005). Das Prinzip in Abbildung 5 zeigt jedoch, dass diese Modellvorstellung fragwürdig ist, da langfristig gesehen die am Rechen schwimmenden Fische stets mit den tatsächlichen v_A -Werten konfrontiert sind. Zudem konnten Untersuchungen im Labor und an realen schräg angeströmten Rechen zeigen, dass eine vektorielle Aufteilung der Anströmung im für die Fische relevanten Reaktionsraum vor dem Rechen physikalisch nicht stattfindet und demnach die Fische dort eine Normal- oder Tangentialströmung gar nicht zur Orientierung wahrnehmen können (LEHMANN et al 2016, SCHÜTZ 2017, KLOPRIES 2018).

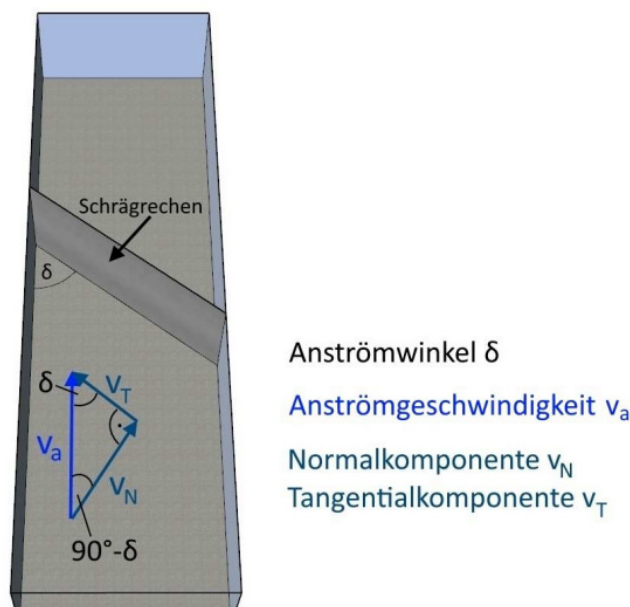


Abb. 5: Anströmgeschwindigkeit bei schräg angestromtem Rechen (Quelle: BERGER 2018)

Anders verhält es sich jedoch bei Aalen: Da deren charakteristisches Schwimmverhalten am Rechen aus den drei Phasen „Anschwimmen bis zum Rechenkontakt“, „Umdrehen und Abstoßen auf der Rechenfläche“ und „Fliehen vom Rechen weg nach Oberwasser“ besteht, erfahren Aale auf der Rechenfläche einen Strömungsdruck. Die Normalgeschwindigkeit und damit der Strömungsdruck, dem der Aal am Rechen entkommen muss, ist durch die Schrägausrichtung zur Anströmrichtung reduziert, so dass sich Aale zumindest so lange einem Anpressen entziehen und stromaufwärts fliehen können, wie die Anströmgeschwindigkeit ihre Dauerschwimmgeschwindigkeit von ca. 0,7 m/s nicht überschreitet (DWA 2005). Systematische ethohydraulische Studien von BERGER (2018) mit unterschiedlichen Anström winkeln und –geschwindigkeiten ergaben sogar zulässige Anströmgeschwindigkeiten von $v_A \leq 0,8$ m/s für Blankaale.

2.3 Auffindbarkeit eines Bypasses bei Rechen

Unterschiedliche Autoren haben gezeigt, dass die Schräganströmung einer Rechenfläche eine rasche Auffindbarkeit eines neben dem Rechen angeordneten Bypasses bewirken kann (bspw. PAVLOV 1989, ADAM et al. 2000, HASSINGER 2011, KRIEWITZ-BYUN 2015, LEHMANN et al. 2016, GEIGER et al. 2017, BERGER 2018). Dazu dienen die Anordnungsmöglichkeiten des „Schrägrechens“ (Anströmwinkel δ) und des „Flachrechens“ (Anströmwinkel α) (**Abb. 6**).

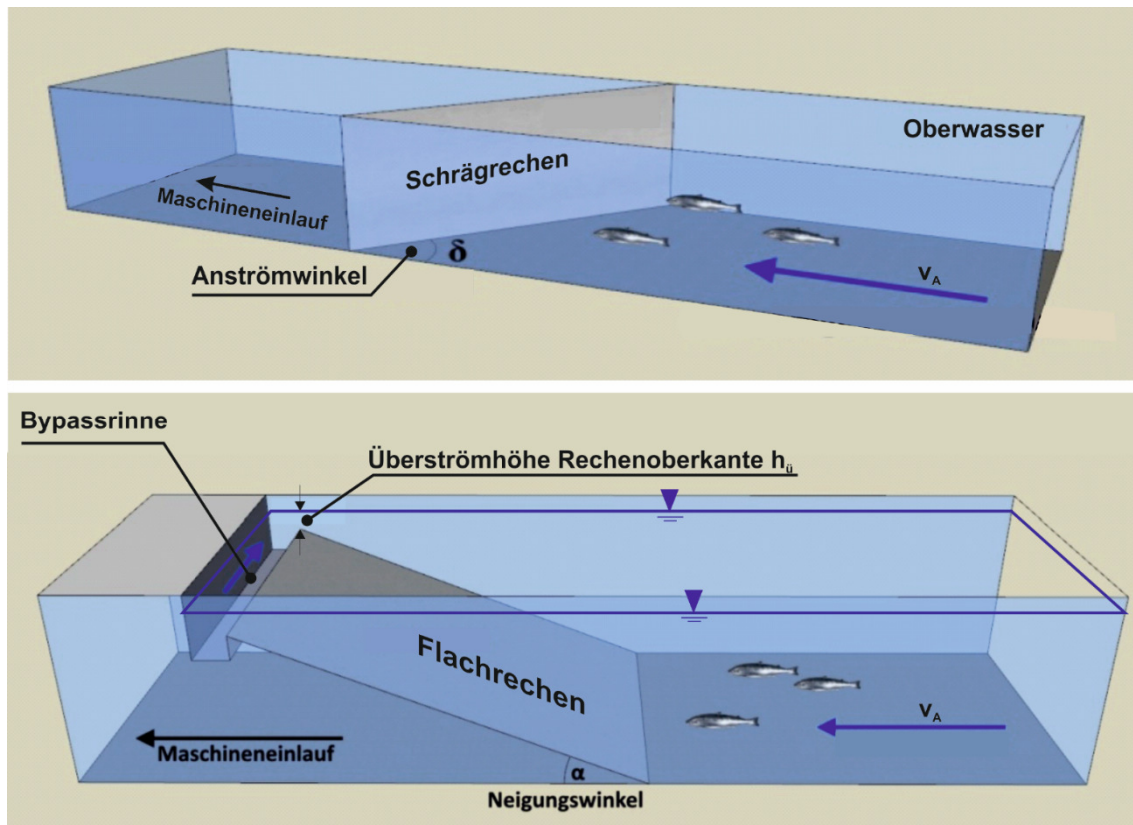


Abb. 6: Schräg- und Flachrechen üben auf Fische eine Leitwirkung aus (Quelle: verändert nach BERGER 2018)

Für den **Schrägrechen** liegen bereits umfangreiche Bemessungs- und Gestaltungsempfehlungen vor. BERGER (2018) fasst die folgenden Empfehlungen zu Kombinationen aus Anströmgeschwindigkeit v_A und Anströmwinkel δ auf Basis bisheriger Versuche wie folgt zusammen:

- Anströmgeschwindigkeit von 0,4 m/s bis 0,5 m/s & Anströmwinkel von 30° bis 55°
- Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s bis 0,8 m/s & Anströmwinkel von 45° bis 55°

In den Arbeiten von BERGER (2018) und LEHMANN et al. (2016) finden sich detaillierte Beschreibungen zu den Verhaltensweisen von Lachs-Smolts, potamodromen Arten und Aalen im Zusammenhang mit einer „Leitwirkung“ der verwendeten Schrägrechen. Daraus geht hervor, dass Schrägrechen auf Aale keine deutliche „Leitwirkung“ besitzen. Für Smolts und Gemischtarten konnte der bereits von PAVLOV (1989) und HASSINGER (2011) identifizierte Verdriftungsmechanismus als „Leiteffekt“ bestätigt und mit dem nautischen Fachbegriff „Gieren“ in Zusammenhang gebracht werden: Beim Gieren drehen die Fische ihren Körper um ihre Hochachse in Richtung der Flächennormalen des Rechen und richten sich damit schräg zur Anströmungsrichtung aus. Somit erfahren sie einen seitlichen Strömungskraftangriff und einen hydrodynamischen Lift infolge der

Druckunterschiede zwischen der Körperluf- und -leeseite. Ähnlich wie bei einer Gierfährde verdriftet der Fisch dadurch augenscheinlich parallel zur Rechenfläche (**Abb. 7**).

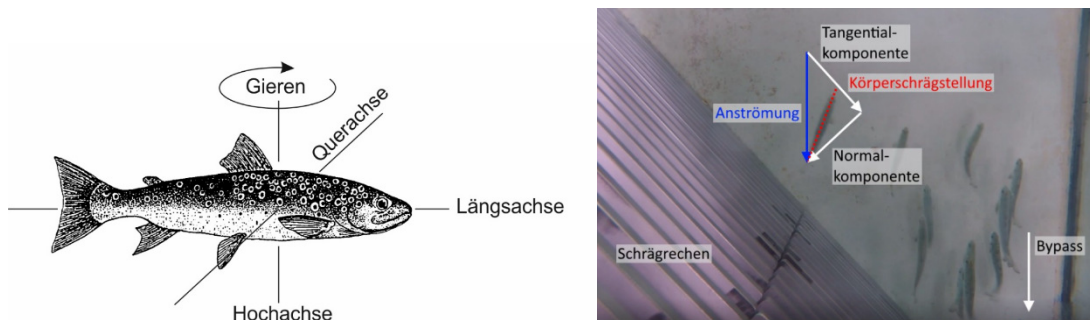


Abb. 7: Prinzip des Gierens (links; Quelle: LEHMANN et al. 2016) und das Gieren als Ursache für ein kontrolliertes Verdriften parallel zur Rechenfläche im ethohydraulischen Versuch (rechts; Quelle: BERGER 2018)

Für den **Flachrechen** existieren ebenfalls einige Empfehlungen aus Laboruntersuchungen (bspw. GEIGER et al. 2017, BÖCKMANN et al. 2018) sowie von Pilotanlagen (bspw. ØKLAND et al. 2016). Für flache Rechenneigungen $20^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ hat sich speziell bei Aalen gezeigt, dass die Gefahr eines Anpressens auch bei hohen Anströmgeschwindigkeiten ($v_A \approx 1,0$ m/s) nicht gegeben ist: Die Tiere werden aufgrund der angreifenden Strömungskräfte entlang der Rechenoberfläche zur Rechenoberkante und hinein in die dortige Bypassrinne „gespült“ (ADAM et al. 2000).

Zudem laufen derzeit ethohydraulische Forschungsarbeiten im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz an der TU Darmstadt. Im Rahmen dieser noch bis Jahresende laufenden Untersuchungen hat sich der Übergang an der Rechenoberkante in die Bypassrinne als besonders beachtenswert gezeigt, da dieser von Fischen und Aalen oftmals gemieden wird. Ursachen dafür sind die Überströmhöhe sowie die Entstehung von Oberflächenwellen und ungünstigen Querströmungen infolge der dortigen Strömungsumlenkungen. Die Forschungsarbeiten hierzu werden weitere wichtige Erkenntnisse zur Gestaltung und zum Betrieb von Flachrechen liefern.

2.4 Weiterführende Komponenten

Rechenanlagen selbst können – wie oben beschrieben – bei entsprechender Auslegung als Barriere bzw. Fischschutzrechen eingesetzt werden. Damit ist der Fischabstieg jedoch noch nicht gewährleistet. Zum Abstieg selbst kommen Bypass-Systeme zum Einsatz, welche die abwanderwilligen Fische geschützt um bzw. durch das Wanderhindernis leiten.

Derartige Bypässe können als Freispiegel- oder Druckabflusssysteme ausgeführt werden. Wichtig für die Funktionsfähigkeit des Zusammenspiels von Rechen-Bypass-Anlagen sind eine auffindbare Lage des Bypasses nahe des Rechens, ein geführter Über-

gang in den Bypass hinein mit gleichförmigen Strömungsbedingungen (und ggf. moderaten Strömungsbeschleunigungen) sowie ein fischverträglich gestalteter Bypassverlauf. Empfehlungen zur Systemgestaltung sind zahlreich publiziert – jedoch fehlt es oftmals an der Angabe konkreter Richtwerte bspw. für zulässige Strömungsbeschleunigungen oder benötigte Geometrien für die Öffnungsquerschnitte (bspw. SCHMALZ 2012, EBEL et al. 2015, LEHMANN et al. 2016, BÖCKMANN et al. 2018).

3 Die Multifeldrechenanlage an der WKA Kostheim

Die Wasserkraftanlage WKW Staustufe Kostheim/Main GmbH & Co. KG (Kurz WKW Kostheim) liegt am rechten Mainufer nahe der Ortschaft Kostheim und wird von den Stadtwerken Ulm sowie der SWU Energie GmbH betrieben. Aufstau und die Abflussregulierung werden durch ein dreifeldriges Wehr bewerkstelligt, an dessen linker Seite eine Schleusenanlage positioniert ist (**Abb. 8**).

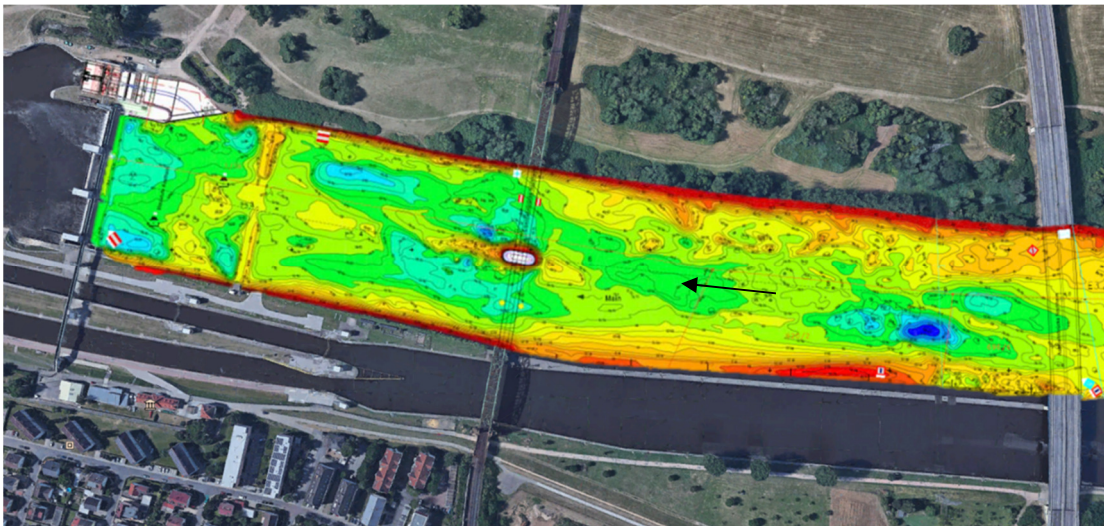


Abb. 8: Lage der WKA Kostheim und Darstellung der Sohlentopographie. (Karte: Google Earth, Topographie-daten: Ingenieurteam GEO GmbH i.A. Stadtwerke Ulm)

Mittels Sohlen- und Fließgeschwindigkeitsmessungen sowie durch die digitale Aufbereitung der Bauwerksgeometrien wurden die benötigten Daten zum Aufbau und zur Kalibrierung eines hydrodynamisch-numerischen Strömungsmodells (HN-Modell) zusammengetragen. Das Modell selbst wurde an der TU Darmstadt im Auftrag der WKW Kostheim erstellt und zur Analyse der Anströmbedingungen des Kraftwerkes und der Wehranlage eingesetzt. Die Gewählte Modellierungssoftware FLOW 3D erlaubte dabei eine räumlich-dreidimensionale Prognose der Strömungen bei unterschiedlichen Kraftwerksbetriebsarten und Wehrabflüssen (MEWIS 2017, 2018).

Zunächst wurde das HN-Modell genutzt, um aus unterschiedlichen Mainabflüssen und Kraftwerksbetriebsarten die Konstellation mit den ungünstigsten Zuströmbedingungen zu identifizieren (**Tab. 1**). Gemäß EBEL (2013) ist dies der Zustand mit den höchsten Anströmgeschwindigkeiten. Aufgrund der standortspezifischen Bedingungen treten bei einigen Betriebsarten jedoch zudem auch ausgedehnte Strömungsablösungen an den Pfeilerbauwerken auf, welche zu einer Konzentration der Strömungen in Bereichen der Triebwassergerinne führen – daher wurden auch solche Strömungseffekte mit berücksichtigt.

Tab. 1: Randbedingungen für die Bemessung und Gestaltung eines Fischschutzrechens an der WKA Kostheim/Main (Daten aus MEWIS 2017, 2018)

Abflussaufteilung an der WKA Kostheim mit ungünstigen Zuströmbedingungen			
Main	Turbine 1	Turbine 2	Wehr, FAA
122,5 m ³ /s	60 m ³ /s	60 m ³ /s	2,5 m ² /s

Für die Bewerkstelligung des Fischschutzes und –abstiegs an der WKA Kostheim soll ein Rechensystem zum Einsatz kommen. Dazu sollen die Vorteile von Schräg- und Flachrechen so miteinander kombiniert werden, dass für die vorhandenen Triebwasserkorridore stets ein optimaler Fischschutz und eine möglichst rasche Auffindbarkeit eines Bypasses gewährleistet ist.

Aufgrund der Trenn- und Leitwand bilden sich am Entnahme- und Einlaufbauwerk drei Triebwasserkorridore aus, welche je nach Betrieb der beiden Turbinen unterschiedlich beaufschlagt werden (**Abb. 9**). Der Fischschutz kann bei zwei der drei Korridore mit einem Schrägrechen bewerkstelligt werden – dieser soll die ankommende Fische und Aale zum dritten Korridor hin führen, wo aufgrund der dortigen hohen Anströmgeschwindigkeiten ein Flachrechen die Tiere in einen Bypass abführen soll. Schräg- und Flachrechen mit Bypassrinne bilden zusammen die sog. **Multifeldrechenanlage**.

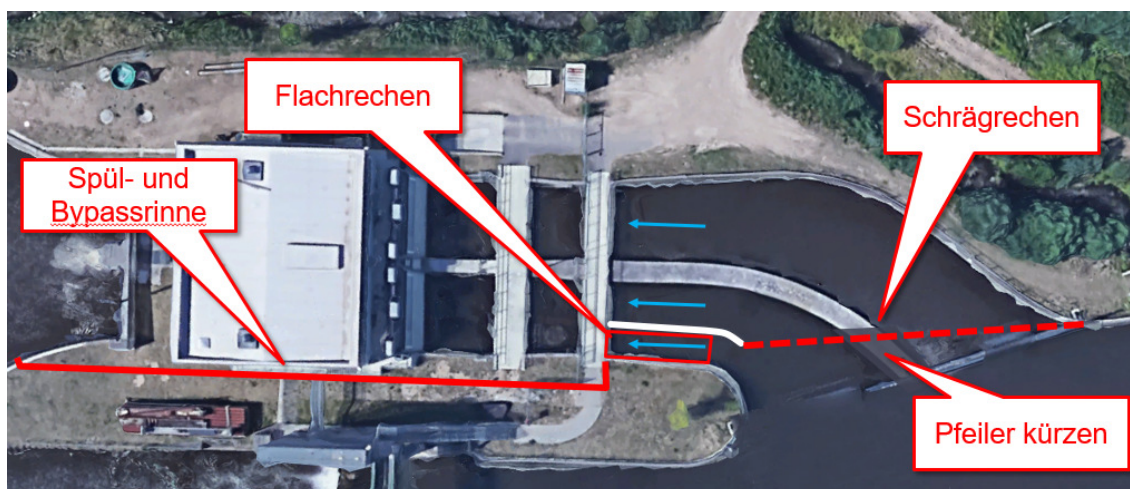


Abb. 9: Randbedingungen für die Bemessung und Gestaltung eines Fischschutzrechens an der WKA Kostheim/Main (Daten aus MEWIS 2017, 2018)

3.1 Schrägrechen

Der Schrägrechen wird eine Abmessung von Länge x Höhe = 35,5 m x 5,0 m bei einer Rechenfläche von ca. 178 m² haben. Die Firma MUHR (Gesellschaft für Planung, Maschinen- und Mühlenbau Erhard Muhr mbH) hat im Auftrag der WKW Kostheim die technische Realisierbarkeit eines solchen Rechens mit der zugehörigen Rahmen- und Stahlstützenkonstruktion sowie der Rechenreinigungsanlage geprüft und strömungsgünstig geformte Stabprofile bei einer lichten Stabweite von 15 mm und einer horizontalen Stabausrichtung empfohlen.

Im HN-Modell wurde der Schrägrechen für den Fall der ungünstigsten Zuströmbedingungen (Tab. 1) sowie für weitere vorkommende Betriebszustände untersucht. Die Simulationen ergaben, dass unabhängig von der Zuflussmenge der Anströmwinkel im Bereich von $52^\circ \leq \delta \leq 54^\circ$ liegt und dort bei Fischen mit hoher Wahrscheinlichkeit das Gierverhalten ausgelöst wird.

Die Anströmgeschwindigkeiten wurden für den senkrecht durchflossenen Querschnitt vor dem Schrägrechen ebenfalls mit Hilfe des HN-Modells ermittelt. Eine ethohydraulisch begründete Farbskala wurde genutzt um nachzuweisen, dass bei den ungünstigsten Zuströmbedingungen die Anströmgeschwindigkeiten grade noch eingehalten werden (**Abb. 10**). Zugegebener Maßen erfolgt die Planung hierbei aufgrund der gegebenen räumlichen Randbedingungen sehr nahe an den fischökologisch vorgegebenen Grenzwerten – jedoch findet am Schrägrechen selbst gemäß den Berechnungsergebnissen keine Überschreitung statt.

3.2 Flachrechen mit Bypass

Selbiges Procedere wie in Kap. 3.1 wurde auch für den Flachrechen durchgeführt. Hier ergab die Vorplanung der Firma MUHR eine Realisierbarkeit bei Abmessungen von Länge x Höhe = 12,8 m x 3,4 m mit einer Rechenfläche von ca. 43,5 m² bei einer sehr flachen Rechenneigung von $\alpha = 30^\circ$. Es sollen die gleichen Stabprofile wie beim Schrägrechen zum Einsatz kommen. Mit dem Ziel, eine möglichst gute Auflagefläche für „angespülte“ Fische zu erhalten, wurde die lichte Stabweite auf 12 mm festgelegt.

Die Modellierung des Flachrechens im HN-Modell und die anschließende Analyse der durchgeführten Strömungsberechnungen ergaben recht hohe Anströmgeschwindigkeiten von bis zu 1,0 m/s (**Abb. 11**). Mit Blick auf die Erkenntnisse aus ADAM et al. (2000) wird davon ausgegangen, dass es hier zu einem „Abspülen“ der Aale über die Rechenoberkante in die Bypassrinne hinein kommen wird (Kap. 2.3). Andere Fischarten mit einer besseren Schwimmperformance sollten nach bisherigem Kenntnisstand auch bei diesen Anströmbedingungen die Bypassrinne ohne schädigenden Rechenkontakt erreichen können. Auch für den Flachrechen ist anzumerken, dass dessen Auslegung wegen der beengten Platzverhältnisse dicht an den publizierten Grenzwerten erfolgen musste, um ohne einen Neubau des Entnahme- und Einlaufbauwerkes auszukommen.

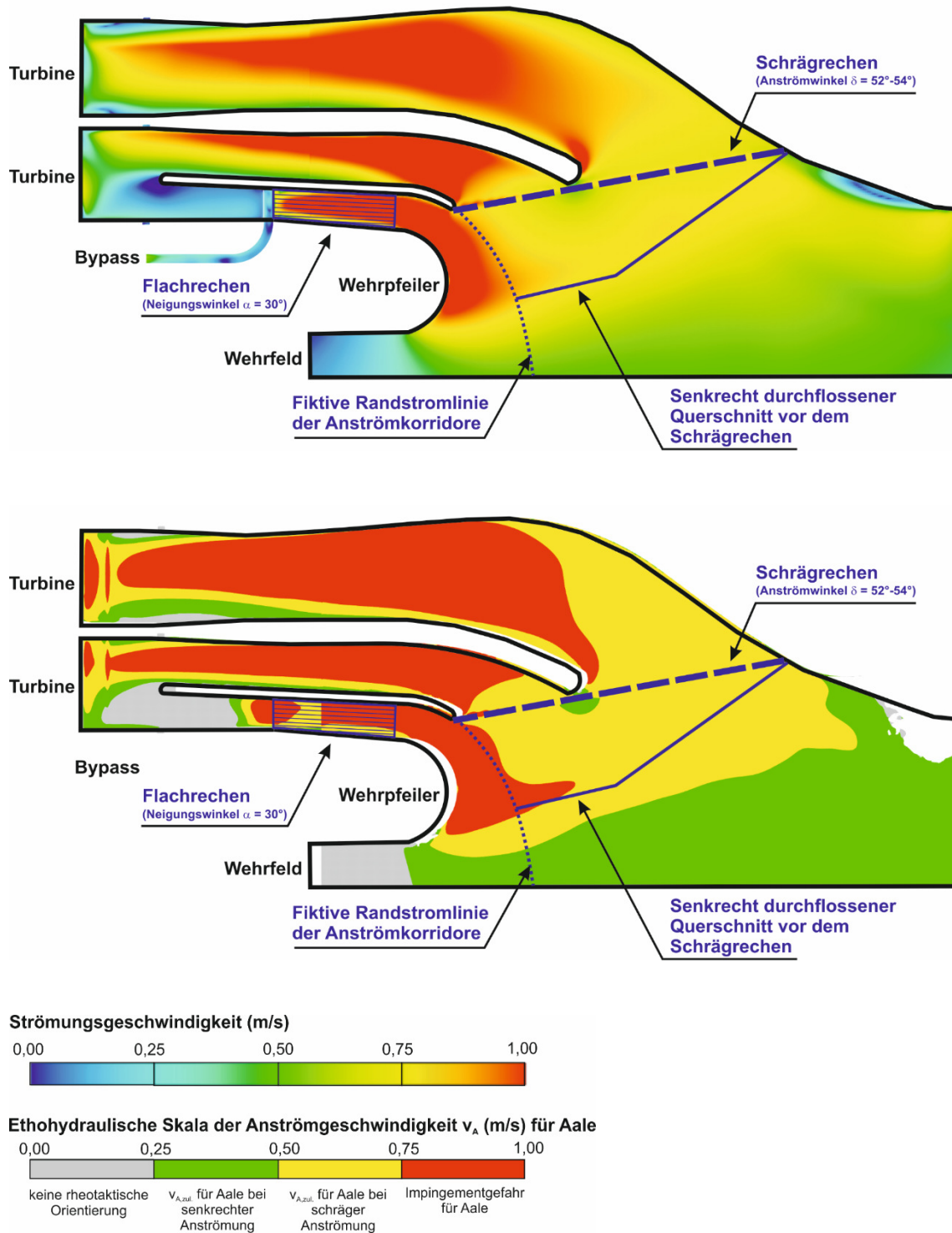


Abb. 10: Anströmgeschwindigkeiten (oben: Totalwerte, unten: ethohydraulische Skala) für den Schrägrechen (Daten aus MEWIS 2018)

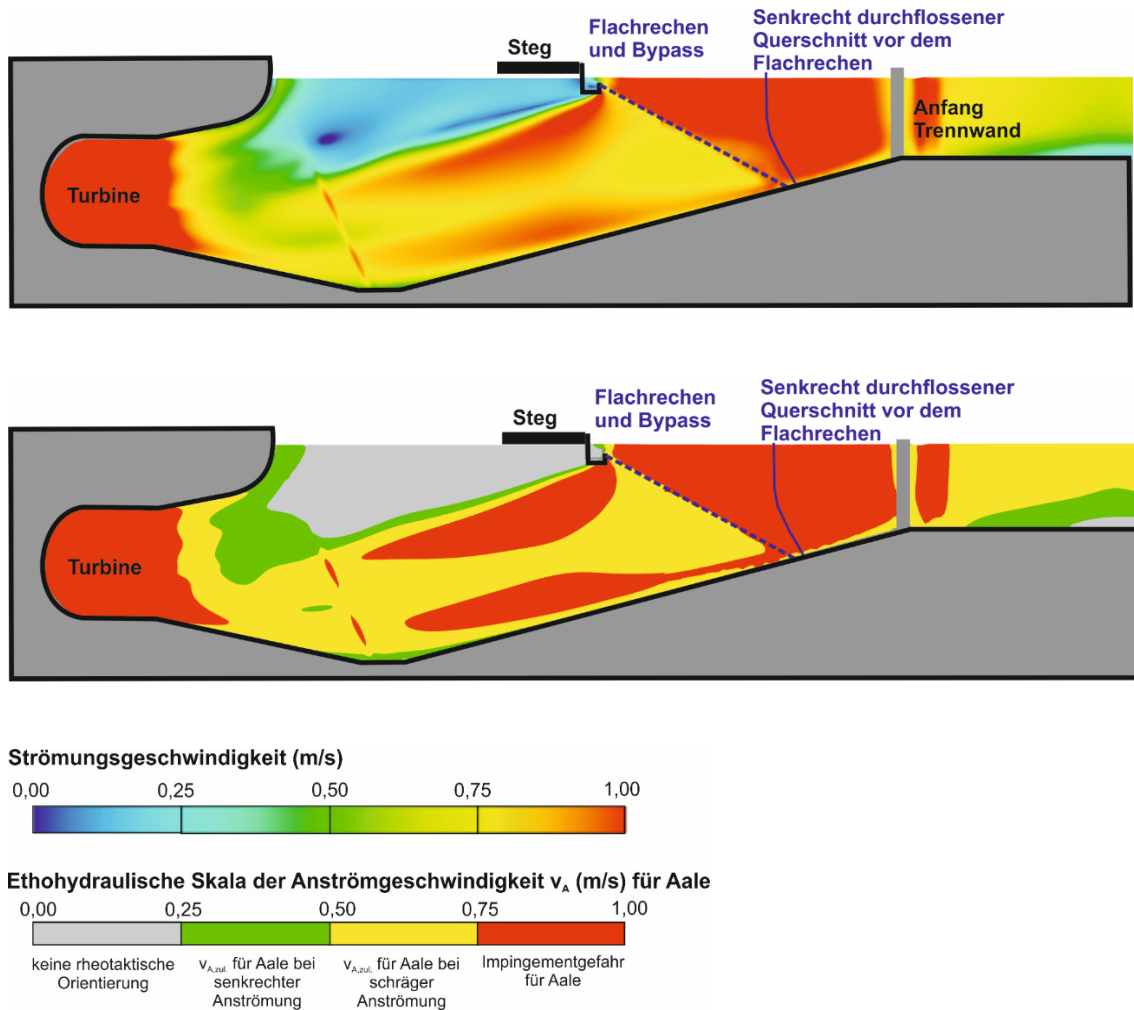


Abb. 11: Anströmgeschwindigkeiten (oben: Totalwerte, unten: ethohydraulische Skala) für den Flachrechen (Daten aus MEWIS 2018)

3.3 Weitere Planungsschritte

Für die Planung der Multifeldrechenanlage an der WKA Kostheim sind neben der fischbiologischen Auslegung noch weitere Aspekte zu berücksichtigen. Exemplarisch sollen dazu folgende Punkte genannt werden, ohne dass die Aufzählung Anspruch auf Vollständigkeit hat:

- Fischüberleitung in den Bypass

Der Übergang an der überströmten Oberkante des Flachrechens in die dortige Bypassrinne hinein stellt sich nach bisherigen Erfahrungen aufgrund der dort entstehenden komplexen Strömungsumlenkungen als ethohydraulisch beachtenswert dar. Erkenntnisse aus Feld- und Laborstudien müssen analysiert und auf die Situation an

der WKA Kostheim übertragen bzw. adaptiert werden, wozu ggf. noch Detailuntersuchungen notwendig werden.

- Bypassverlauf, -gestaltung und -dotation

Der Bypass an sich mit seiner Linienführung und einer möglichen Gestaltung als offenes Gerinne, Rohrleitung mit Freispiegelabfluss oder Rohrleitung mit Druckabfluss ist noch im Detail zu gestalten. Dazu müssen fischbiologische als auch hydraulische Aspekte parametrisiert und bemessen werden. Auch die benötigte Dotation für den Bypass muss nach diesen Kriterien festgelegt werden.

- Umgang mit dem Rechengut

Es ist zu beachten, dass die Rechenreinigung möglichst fischschonend erfolgt, da i.d.R. ermüdete Fische und Aale dem sog. Impingement (strömungsbedingtes Anpressen) an der Rechenfläche ausgesetzt sind. Zudem gilt es, während der Reinigung eine Separation von Fischen und Treibgut zu bewerkstelligen, damit die Fische bei einer gleichzeitigen Spülung mit dem Treibgut keinen Schaden erfahren. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass eine Verstopfung des Bypasssystems möglichst vermieden wird bzw. im Verstopfungsfall eine gute Zugänglichkeit zur manuellen Reinigung gegeben ist.

- Auswirkungen Kraftwerksbetrieb

Mit dem HN-Modell ist zu prüfen, ob durch die Multifeldrechenanlage und die zugehörige Rahmen- und Stützenkonstruktion eine Veränderung der Anströmungsbedingungen der Turbinen und damit einhergehend eine Leistungsminderung gegeben ist. Sollte dies der Fall sein, sind geeignete Maßnahmen zu entwickeln.

Ferner ist zu prüfen, wie sich die Strömungsverhältnisse beim Stillstand einer Turbine verändern und welche Folgen dies für den Fischschutz haben kann.

- Konzeption Monitoring

Die vorgestellten Planungen basieren auf publizierten Grenzwerten und Empfehlungen. Nach Umsetzung der Multifeldrechenanlage sollte die Funktionalität durch ein geeignetes Monitoring geprüft werden, um ggf. bestehende Defizite und deren Ursachen zu erkennen und Optimierungen durchführen zu können. Das Monitoring kann dazu bspw. telemetrische Methoden oder sonargestützte Methoden nutzen. Zum jetzigen Zeitpunkt macht es daher Sinn, ein Konzept für das Monitoring zu erstellen um bei der weiteren Planung benötigte Festmach- oder Haltepunkte, Anschlussstellen oder Zugänglichkeiten zu berücksichtigen.

4 Literatur

ADAM, B., LEHMANN, B. (2011): Ethohydraulik – Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer-Verlag

ADAM, B., SCHWEVERS, U., DUMONT, U. (2000): Beiträge zum Schutz abwandernder Fische – Verhaltensbeobachtungen in einem Modellgerinne. VNW-Verlag Natur und Wissenschaft Solingen

ATV-DVWK (2004): ATV-DVWK Themen - WW-8.1: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen. Bemessung, Gestaltung und Funktionskontrolle. Hennef (ATV-DVWK - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.)

BATES, D., VINSONHALER, W. (1957): Use of louvers for guiding fish. In: Trans. Am. Fish. Soc. 86, S. 38-57

BERGER, C. (2018): Rechenverluste und Auslegung von (elektrifizierten) Schrägrechen anhand ethohydraulischer Studien. Dissertation am Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt. Elektronisch Veröffentlicht unter <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/7186/> (abgerufen am 07.01.2019)

BÖCKMANN, I., KLOPRIES, E.M., HOFFMANN, A., WILMINK, A., FESTER, F., HUDJETZ, S., BRÜLL, C., PUMMER, E., SCHÜTTRUMPF, H. (2018): Orientierungs- und Suchverhalten von Fischen vor Rechenanlagen an Wasserkraftanlagen – Endbericht. Im Auftrag der Bezirksregierung Köln und Innogy SE

DUMONT, U., ANDERER, P., SCHWEVERS, U. (2005): Handbuch Querbauwerke. Düsseldorf (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und ländlichen Raum NRW)

DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V (2014): Merkblatt DWA-M 509 - Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Bad Hennef

EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen. Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie, Band 4

EBEL, G., GLUCH, A., KEHL, M. (2015): Einsatz des Leitrechen-Bypass-Systems nach Ebel, Gluch & Kehl an Wasserkraftanlagen – Grundlagen, Erfahrungen und Perspektiven. In: Wasserwirtschaft 7/8 2015, 44-50

GEIGER, F., CUCHET, M., RUTSCHMANN, P. (2017): Experimentelle Untersuchungen von Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftkonzepten mit geneigten horizontalen Rechen. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE (2017): Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2016 (Wien). Hardegsen

GIESECKE, J., HEIMERL, S., MOSONYI, E. (2014): Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb. Springer Vieweg Verlag, 6. Auflage

- HAEFNER, J.W., BOWEN, M.D. (2002): Physical-based model of fish movement in fish extraction facilities. In: *Ecol. Modelling* 152, S. 227-245
- HASSINGER, R. (2011): Grundlagen des Fischschutzes an Einlaufrechen. Digital unter <http://www.lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.293953.de?highlight=fischschutz+einlaufrechen> (abgerufen am 30.03.2014)
- HOLTHE, E., LUND, E., THORSTAD, E.B., MCKINLEY, R.S. (2009): Swimming performance of the European minnow. In: *Boreal Environment Res.* 14: 272-278
- HÜBNER, D., MENZEL, C., FRICKE, R., HASSINGER, R., RAHN, S. (2011): Laboruntersuchungen zu Auswirkungen von Kraftwerksrechen auf Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und Brassen (*Abramis brama*) in Abhängigkeit von Stababstand und Anströmgeschwindigkeit. Marburg
- KLOPRIES, E.M. (2018): Ethohydraulische und hydronumerische Untersuchungen an Rechen und Kaplan-turbinen als Beitrag zur Reduktion der Aalschädigung an Laufwasserkraftanlagen. In: *Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft RWTH Aachen*, Heft 173
- KRIEWITZ-BYUN R. (2015): Leitrechen an Fischabstiegsanlagen: Hydraulik und fischbiologische Effizienz. – Dissertationsschrift Nr. 22397 an der ETH Zürich
- LARINIER, M., TRAVADE, F. (2002): Downstream migration: problems and facilities. In: *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 364 suppl., 181-205
- LEHMANN, B., ADAM, B., ENGLER, O., HECHT, V., SCHNEIDER, K. (2016): Ethohydraulische Untersuchungen zur Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. In: *BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ* (2016): *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Heft 151, Bonn
- MEUSBURGER, H. (2002): Energieverluste an Einlaufrechen von Flusskraftwerken. In: *MINOR, H.-E. (2002): Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich*, Heft Nr. 179
- MEWIS, P. (2017): Strömungsverhältnisse an der Wasserkraftanlage bei Mainz-Kostheim. Unveröffentlichter Projektbericht des Fachgebietes für Wasserbau und Hydraulik der Technischen Universität Darmstadt im Auftrag der Stadtwerke Ulm
- MEWIS, P. (2018): Strömungsverhältnisse an der Wasserkraftanlage bei Mainz-Kostheim – Ergänzende Untersuchungen zur Vorbemessung von Fischschutzrechen. Unveröffentlichter Projektbericht des Fachgebietes für Wasserbau und Hydraulik der Technischen Universität Darmstadt im Auftrag der Stadtwerke Ulm
- O'KEFFE, N., TURPENNY, W.H. (2005): Screening for intake and outfalls: a best practice guide. Report No. SC030231
- ØKLAND, F., TEICHERT, M.A.K., THORSTAD, E.B., HAVN, T.B., HEERMANN, L., SÆTHER, S.A., DISERUD, O.H., TAMBETS, M., HEDGER, R.D., BORCHERDING, J.

(2016): Downstream migration of Atlantic salmon smolt at three German hydropower stations. NINA Report 1203, Köln und Trondheim

PAVLOV, D.S. (1989): Structures assisting the migrations of non-salomid fish: USSR. In: FAO Fisheries Technical Paper 308

RADHUBER, W. (2006): Trashrack-Cleaners: Types and Experiences. In: 14th Intern. Seminar on Hydropower Plants –Institute for Waterpower and Pumps – Vienna 2006

RAINEY, W.S. (1985): Considerations in the design of juvenile bypass system. In: Proceedings of the Symposium on Small Hydropower and Fisheries 1.-3. May in Aurora/Colorado, S.216-268

RAYNAL, S., COURRET, D., CHATELLIER, L., LARINIER, M., DAVID, L. (2013a): An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 1. Inclined trashracks. In: Journal of Hydraulic Research Nr. 51/2013

RAYNAL, S., COURRET, D., CHATELLIER, L., LARINIER, M., DAVID, L. (2013b): An experimental study on fish-friendly trashracks – Part 2. Angled trashracks. In: Journal of Hydraulic Research Nr. 51/2013

SCHMALZ, M. (2012): Optimierung von Bypässen für den Fischabstieg. Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Digital unter https://www.dbu.de/projekt_26632/01_db_2409.html (abgerufen am 08.01.2019)

SCHMALZ, W., Wagner, F., SONNY, D. (2015): Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges. Im Auftrag des Ecologic Institutes gemeinnützige GmbH. Digital verfügbar unter https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Arbeitshilfe_standoertliche_Evaluierung_Fischschutz_Fischabstieg.pdf (abgerufen am 08.01.2019)

SCHÜTZ, C. (2017): Verhaltensversuche mit Fischen: Auswirkungen der Dotationszugabe auf die Auffindbarkeit und Passierbarkeit von Fischaufstiegsanlagen. In: Tagungsband zur 28. SVK Fischereitagung (13. und 14. März 2017)

SCHWEVERS, U., ADAM, B. (2019): Biometrie einheimischer Fischarten als Grundlage für die Bemessung von Fischwegen und Fischschutzanlagen. In: Wasser und Abfall. Heft 1/2019

TURNPENNY, A., STRUTHERS, G., HANSON, K. P. (1998): A UK guide to intake fish-screening regulations, policy and best practice. London (Crown)

UMWELTBUNDESAMT (2015): Forum „Fischschutz und Fischabstieg“ - Empfehlungen und Ergebnisse des Forums „Fischschutz und Fischabstieg“. Im Internet unter https://forum-fischschutz.de/sites/default/files/Synthesepapier_Forum%20Fischschutz.pdf (abgerufen am 07.01.2019)

Anschrift der/des Verfassers

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet für Wasserbau und Hydraulik
Franziska-Braun-Straße 7
D – 64287 Darmstadt

Die Untersuchungen erfolgten im Auftrag der

WKW Staustufe Kostheim/Main GmbH & Co. KG
(Kurz WKW Kostheim)
Betreiber: Stadtwerken Ulm und SWU Energie GmbH

**und in Zusammenarbeit mit**

RP Darmstadt
Dezernat 41.2



PWP – Peter Wiker (Ehingen)

IUS – Institut für Umweltstudien Weibel und Ness GmbH



Gesellschaft für Planung, Maschinen- und
Mühlenbau Erhard Muhr mbH

