Relevanz von Schlüsselreizen, im Besonderen Licht und Akustik, zur Auffindbarkeit von Fischeaufstiegen

Andreas Brandl · Sabine Käfer · Benjamin Fillitz · Gabriel Pinter · Gregor Laaha · Helmut Mader

Online publiziert: 16. April 2020

© Der/die Autor(en) 2020

Zusammenfassung Das Thema Auffindbarkeit von FAH wirft nach wie vor eine Reihe unbeantworteter Forschungsfragen hinsichtlich der Instinktbewegung von Fischen, ausgelöst durch Schlüsselreize, auf. Demzufolge ist eine systematische Abklärung für bestehende und insbesondere für zukünftige FAH Projekte zielführend. Die Auffindbarkeit von FAH wird in verschiedenen Leitfäden, neben der Positionierung der Lage des Einstiegs, primär am Parameter Strömung (Rheotaxis) festgemacht. Aus hydraulischer Sicht hat jedoch die am Einstieg austretende Strömung schon von der Größe des Ausbreitungsfeldes her lediglich eine maximal untergeordnete Wirkung. Andere, äußere, die Wanderung beeinflussende Faktoren wie z.B. Licht, Temperatur, Sauerstoffgehalt, akustische Impulse u. a. m. wurden bislang vollkommen bzw. weitgehend außer Acht gelassen. Felduntersuchungen, die das Aufstiegsverhalten der Grundgesamtheit der migrierenden Individuen mit den Umgebungsreizen zeitgenau in Zusammenhang bringen, fehlen bisher. Ziel dieses Papers ist die systematische Abklärung der Wirkung alternativer Schlüsselreize auf die Auffindbarkeit von Fischeaufstiegshilfen im Rahmen eines mehrstufigen Forschungsprojekts der VERBUND Hydro Power GmbH. Bei der hier beschriebenen Studie wurden die Daten des

Frühjahrs- und des Herbstmonitorings 2019 in der FAH am Kraftwerksstandort Edling/Drau analysiert. Neben den Reizen in Form der verschiedenen Strömungsparameter werden künstliche Reize, welche auf die Phonotaxis, also die Orientierung aufgrund von akustischen Reizen, und die Phototaxis, die Orientierung an Lichtreizen abzielen, gesetzt. Auf der Grundlage der zeitgenauen Erfassung jedes einzelnen aufsteigenden Individuums wurde mittels technischer, fischökologischer und mathematischer Methoden der Zusammenhang zwischen den Schlüsselreizen und der Auffindbarkeit bzw. den Aufstiegsraten in der FAH untersucht. Zum Einsatz kamen hierbei neben dem Fish-Cam-System zur zeitgenauen Erfassung der Wanderbewegungen die FishNet-Software sowie statistische Methoden zur Variablenselektion auf Basis von Regressionsmodellen mit unterschiedlichen Pönalisierungstermen wie LASSO, SCAD und MCP. Die anthropogen angebotenen zusätzlichen Schlüsselreize Licht und Akustik am Einstieg der FAH KW Edling bewirkten keine Steigerung der Aufstiegsraten und somit keine Verbesserung der Auffindbarkeit der FAH.

Schlüsselwörter Fischeaufstiegshilfen · Monitoring · Schlüsselreize · Phonotaxis · Phototaxis · LASSO · SCAD · MCP

Relevance of key stimuli, in particular light and acoustics, for the findability of fish passes

Abstract The findability of entrances of fish passes for fish, following their instinct movements triggered by key stimuli serve as a basis for addressing a wide range of research issues. The present project is part of a multi-stage study which aims to determine key stimuli which are responsible for finding the entrance of fish passes. Mainly the attraction flow and the flow impulse have been mentioned in the

literature and especially in guidelines for planning of fish passes so far. Out of a hydraulic point of view, the area of flow pattern downstream the entrance affected by the attraction flow or flow impulse is limited. Up to now, there is a lack of field trials that correlate the ascent behaviour of the population of migrating fish individuals with environmental stimuli. In the study described in this article, the data of the spring and autumn monitoring of the FAH in 2019 at the Edling/Drava hydropower plant were analysed. In addition to the stimuli of the various flow parameters, two additional artificial stimuli, addressing the phonotaxis and the phototaxis, were set. On the basis of the time accurate recording of each individual ascending, the connection between the key stimuli acoustics and light and the detection, respectively the ascent rates in the fish pass was examined by means of technical, fish ecological and mathematical methods. In addition to the FishCam system for 24/7 accurate detection of fish movements and the FishNet software, statistical methods for variable selection based on penalized regression models with different penalty terms such as LASSO, SCAD and MCP came into operation. As a result out of the field study, additional phonotactic and phototactic key stimuli had no positive effect on the findability of the fish pass entrance.

Keywords Fish pass · Monitoring · Key stimuli · Phonotaxis · Phototaxis · Penalized regression

1 Einleitung

Die Fragmentierung der Fließgewässer in Österreich und in ganz Europa durch wasserbautechnische Maßnahmen (BMLFUW 2005; Fehér et al. 2012) stellt eine der größten und prioritären Herausforderungen in der Umsetzung des Verbesserungsgebots der EU-Wasserrahmenrichtlinie dar. Die Wiederherstellung des Gewässerkontinuums

A. Brandl · B. Fillitz · G. Pinter ·
Assoc. Prof. DI Dr. G. Laaha ·
ao.Univ.-Prof. DI Dr. H. Mader (✉)
Department für
Wasser-Atmosphäre-Umwelt (WAU),
Institut für Wasserbau, Hydraulik
und Fließgewässerforschung (IWA),
Universität für Bodenkultur Wien,
Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich
helmut.mader@boku.ac.at

DI (HTL) S. Käfer
Außenstelle Villach, VERBUND
Austrian Hydro Power GmbH,
Badstubenweg 40, 9500 Villach,
Österreich

an Wehranlagen und sonstigen Querbauwerken und die Beseitigung von strukturellen Defiziten in den Fließgewässern stellen die zentralen Maßnahmen zur Wiederherstellung gewässertypspezifischer Lebensgemeinschaften dar (Waidbacher und Haidvogel 1998; EU-WRRL 2000). Im österreichischen Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) ist die Herstellung der Durchgängigkeit für aquatische Organismen prioritär umzusetzen. Ein durchgehendes Fließgewässerkontinuum ermöglicht Fischen und anderen Organismen arttypische Wanderungen zu Laichplätzen, saisonal besiedelten Habitaten und einen Austausch von Populationen. Funktionierende Fischaufstiegshilfen (FAH) an Wehren sind durch eine möglichst einfache Auffindbarkeit und energiearme Durchwanderbarkeit mit lediglich geringem Zeitverlust über einen möglichst langen Zeitraum der natürlichen Wanderbewegungen im Jahr gekennzeichnet (Thorncraft und Harris 2000). Bereits Gerhard (1912) erkannte die enorme Wichtigkeit der morphologischen Ausgestaltung und Positionierung des Einstieges einer FAH im Zusammenhang mit deren Auffindbarkeit.

In aktuellen Leitfäden wird als wichtigste Voraussetzung für die Auffindbarkeit einer FAH neben der optimalen Lage des Einstiegs die ausreichende Dimensionierung eines Leitstroms bzw. Leitstromimpulses in Bezug zur Gewässergröße und eine ausreichende Fließgeschwindigkeit des aus dem FAH-Einstieg austretenden Leitstroms angesehen (BMLFUW 2012). Der österreichische Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAH) fordert, ba-

sierend auf Larinier (2002a, b), eine Lockstrom(zusatz)dotations am FAH Einstieg von 1 bis 5 % des konkurrierenden Abflusses des Fließgewässers. Wie hydraulische Modellierungen an FAH Einstiegen zeigen, ist jedoch eine leitende oder lockende Wirkung für Fische durch eine Beeinflussung eines größeren Wasservolumens bzw. die Ausbildung einer Leitströmung bei Dotationen im o.a. Ausmaß von 1 bis 5 % nicht gegeben (Mader et al. 2013; Grünzinger und Haimerl 2012). Eine hydraulische Wirkung des aus der FAH ausströmenden Abflusses auf den Wasserkörper des Gewässers ist über weitere Entfernungen ebenso nicht gegeben, wie umfangreiche Messungen der Fließgeschwindigkeiten am Einstieg von FAH zeigen (Mader und Bogner 2001). Schlussfolgerungen, dass FAH aufgrund einer Lockstromdotationen mit 1 bis 5 % der konkurrierenden Wassermenge besser aufgefunden werden, sind aus hydraulischer Sicht nicht nachvollziehbar. Ein „Abholen der Fische“ durch den Lockstrom(impuls), bzw. ein „an den FAH-Einstieg leiten“, ist aus hydraulischer Sicht bei den geforderten Wassermengen unrealistisch, da die Wirksamkeit des Lockstrom(impuls)es auf den Nahbereich des Einstiegs in die FAH begrenzt ist (DWA 2014).

Während die Auffindbarkeit im Leitfaden (BMLFUW 2012), neben der Lage des Einstiegs, primär am Parameter Strömung (Rheotaxis) festgemacht wird, der aus hydraulischer Sicht schon von der Größe des Ausbreitungsfelds her lediglich eine maximal untergeordnete Wirkung auf die Auffindbarkeit haben kann, werden andere, äußere, die Wanderung beeinflussende Fakto-

ren wie z.B. Licht, Temperatur, Sauerstoffgehalt, akustische Impulse u. a. m. bislang vollkommen bzw. weitgehend außer Acht gelassen.

Das Thema Auffindbarkeit von FAH wirft nach wie vor eine Reihe unbeantworteter Forschungsfragen hinsichtlich der Instinktbewegung von Fischen, ausgelöst durch Schlüsselreize, auf. Demzufolge ist eine systematische Abklärung für bestehende und insbesondere für zukünftige FAH-Projekte zielführend. Ziel dieses Papers ist die systematische Abklärung der Wirkung von alternativen Schlüsselreizen auf die Auffindbarkeit von Fischaufstiegshilfen im Rahmen eines Forschungsprojekts der VERBUND Hydro Power GmbH. Diese Schlüsselreize werden am Einstieg der FAH temporär im Rahmen von In-situ-Versuchen erzeugt. Über ein mehrmonatiges Monitoring des Einstiegsverhaltens von Fischen an der Fischaufstiegshilfe des Drau-KW Edling in der Fischregion *Epipotamal Groß* erfolgt die Analyse der Wirkung der Phototaxis, also der Orientierung aufgrund von akustischen Reizen, und der Phototaxis, der Orientierung an Lichtreizen, auf die Auffindbarkeit des Einstiegs der Anlage.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsstandort

Die Untersuchung der Schlüsselreize Akustik (Phonotaxis) und Licht (Phototaxis) erfolgte am Einstieg der OWA am Drau-Kraftwerk Edling der VERBUND Hydro Power GmbH im Rahmen der Funktionsüberprüfung und eines erweiterten Forschungsprojekts. Die

Abb. 1 Organismenwanderanlage KW Edling (Bildquelle: VERBUND, ViewCopter)

Wiederherstellung der Durchgängigkeit und somit der Fischpassierbarkeit der Drau im Bereich der Wehranlage wurde durch die Errichtung einer technischen Fischwanderhilfe des Typs *enature®* Fishpass, die auf einer Länge von rd. 650 m über 148 Pools, davon 24 Ruhepools die Wehranlage quert und den Höhenunterschied von 22,2 m überwindet, erreicht (Abb. 1). Die Wasserspiegelschwankungen im Stauraum der Drau werden mittels eines gesteuerten Ausstiegsbauwerks beherrscht. Die Dotation der OWH beträgt rd. 400 l/s.

2.2 Datenerhebung

Neben der Anzahl der aufsteigenden Individuen sowie den externen Reizen Licht und Akustik wurden die Temperatur im Unterwasser, der Abfluss in der FAH, der Abfluss im Hauptgerinne der Drau, die Leitströmung in Prozent und die Tageslichtsituation erhoben. Eine Übersicht über die Variablen sowie deren Messintervalle stellt Tab. 1 dar.

Die erhobenen Daten umfassen den Zeitraum des fischökologischen Monitorings im Frühjahr im Zeitraum von 19.04.2019 bis 18.06.2019 sowie im Herbst von 17.09.2019 bis 04.11.2019 am oben beschriebenen Standort. Der gesamte Datensatz für die weiterführenden Analysen besteht aus 2628 Beobachtungen (Stundenwerte). Aufgrund der lückenlosen Datenerhebung in den angegebenen Zeiträumen handelt es sich hierbei um die Grundgesamtheit aller aufgestiegenen Individuen.

Um eine Reduktion der Daten auf ein sinnvolles Maß zu erreichen, ohne jedoch die Charakteristika der Umgebungsvariablen zu stark zu beeinflussen, wurden sämtliche erhobenen Daten zu Stundenwerten kumuliert und für die statistische Auswertung aufbereitet, wobei jeder Aufstieg der folgenden vollen Stunde zugeordnet wurde, da die Reaktion des Individuums dem Reiz nur nachfolgen kann.

Die Erfassung der Fischmigration erfolgte mittels Videomonitoringanlage (FishCam) im Nahebereich des Einstiegs. Die wandernden Fische erfuhren bei der Erfassung keinerlei Stress, da sie hierbei weder berührt noch gehäutert wurden. Die Erfassung des Zeitpunkts der Migration der Fische war über einen Zeitstempel in der Videosignatur gegeben. Die FishCam besteht aus einer Kameraeinheit, einem Erfassungstunnel mit strukturierter Sohle und Rückwand sowie einem Spiegeldeckel zur Ermittlung des Abstands des beobachteten Individuums von der Kamerafront (Abb. 2).

Aus allen erfassten Videos der FishCam wurden mittels der Software FishNet (Kratzert 2016) in einem ersten Schritt alle Aufnahmen mit Fischbewegungen von jenen, die Treibgut (Blätter, Algen, Totholz, anthropogene Verunreinigungen) aufgezeichnet haben, automatisch selektiert und die Bewegungsrichtung der Fische bestimmt (Kratzert 2016). FishNet zerlegt hierbei die Vi-

deos in einzelne Bilder, in denen die einzelnen Objekte auf Basis von (Deep) Convolutional Neural Networks (Russakovsky et al. 2015) klassifiziert werden. Als Resultat wird jedes Video einer der Gruppen *Fish/noFish* zugordnet, und mit der Richtung des sich im Video bewegenden Objekts markiert. Im Post-Processing wurden die Fischart und die Fischlänge durch einen Fischökologen bestimmt.

Der Abfluss im Hauptgerinne der Drau wurde von der VERBUND AG in Form von 15-min-Daten zur Verfügung gestellt. Der Abfluss in der FAH wurde mittels eines Pegelschlüssels und den Daten des Oberwasserspiegels berechnet. Aus dem Abfluss im Hauptgerinne und dem Abfluss in der FAH wurde die Leitströmung berechnet nach der Formel:

$$Q_{LS} = \frac{Q_f}{Q_d} \times 100 \quad (1)$$

mit:

Q_{LS} [%] Leitströmung

Abb. 2 Schematische Darstellung der Videomonitoringanlage

Tab. 1 Übersicht über die erhobenen Variablen der Untersuchung

Variable	Abkürzung	Einheit	Zeitintervall
Anzahl Individuen	n_{xxx}	–	Sekundengenau
Tageslicht	l_d	TRUE/FALSE	Stündlich
Externer Reiz Akustik	ak	TRUE/FALSE	Täglich
Externer Reiz Licht	l_a	TRUE/FALSE	Täglich
Temperatur FAH	$t_{r,sin}$	°C	Stündlich
Abfluss FAH	Q_f	hl/s	Viertelstündlich
Abfluss Hauptgerinne	Q_d	m³/s	Viertelstündlich
Leitströmung	Q_{LS}	%	Viertelstündlich

Q_f [m^3/s] Abfluss in der FAH

Q_d [m^3/s] Abfluss im Hauptgerinne der Drau

Die Erfassung der Wassertemperatur im Hauptgerinne und in der FAH erfolgte mittels zweier Temperatursonden. Da die Temperatur im Jahresverlauf eine ausgeprägt sinusförmige Ganglinie aufweist und die Migration von Fischen im Frühjahr, bei steigenden Wassertemperaturen einsetzt und gegen Winter, mit dem Abfallen der Wassertemperaturen und dem Aufsuchen der Winterhabitate im Großen und Ganzen wieder zum Erliegen kommt, erschien es sinnvoll, diesen jahreszeitlich bedingten Trend im Zusammenhang von Wassertemperatur und Aufstiegsraten zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurde eine Sinuskurve an den Jahresgang der mittleren täglichen Wassertemperatur der Jahre 2017 bis 2019 angepasst und die Differenz von dieser zur gemessenen Wassertemperatur gebildet. Als Variable Wassertemperatur wurden diese Residuen verwendet.

2.3 Variation der Prädiktorvariablen

Die Variation der Reize Akustik und Licht erfolgte im wöchentlichen Rhythmus von Montag bis Sonntag nach dem Muster

- Montag: Akustik
- Dienstag: Licht
- Mittwoch: kein Reiz
- Donnerstag: Akustik
- Freitag: Licht
- Samstag, Sonntag: kein Reiz

Im Einstiegsbereich der FAH wurden zwei Unterwasserlautsprecher positioniert, welche über einen Verstärker ein Audiosignal im Loop abspielten. Das aufgenommene Signal stammt von einer im Vorfeld der Studie nachweislich von einer großen Anzahl von Fischen durchwanderten Stelle. Die Lautstärke der Zuspieldesignals wurde so gewählt, dass sie dem Schalldruckpegel entspricht, der auch am Ort der Aufnahme, mittels einer kalibrierten Messkette – bestehend aus einem Hydrophon des Typs Teledyne Reson TC4034, dem dazugehörigen Vorverstärker des Typs Teledyne Reson EC6067 und einem Klasse-I-Schallpegelmessgerät des Typs Norsonic NOR140 – ermittelt wurde.

Der Lichtreiz wurde durch drei LED-Bänder vom Typ Mono Flex mit 630lm/m mit insgesamt 15m Länge gesetzt, welche unterhalb des ersten Pools des *enature*® Fishpass an beiden Uferseiten positioniert waren (Abb. 3). Bei einem Abstand der LED-Bänder von rd. 1m von der Einstiegssohle und einem Abstrahlwinkel der LEDs von 110° ergibt sich je nach Trübe des Drauabflusses eine Beleuchtungsstärke von rd. 50 bis 100lx mit einer Lichtfarbe von 6000 K.

Die Variation des Abflusses im Hauptgerinne ergibt sich durch den Betriebszustand des Kraftwerks, welches im Schwellbetrieb geführt wird. Während des Monitoringzeitraums lag der Abfluss im Bereich von 0,1 bis 800 m^3/s mit einem Mittel von 274 m^3/s . Aufgrund der durch den Schwellbetrieb entstehenden Schwankungen des Oberwas-

serspiegels im Bereich von 65 cm muss bei der bestehenden Anlage die Dotation der FAH durch ein Einlaufbauwerk gesteuert werden. Zur variablen Gestaltung des FAH-Abflusses wurde diese Steuerung deaktiviert und der Zufluss zur FAH erfolgte in Abhängigkeit vom Stauspiegel. Der Abfluss in der FAH variierte im Monitoringzeitraum in einem Bereich von 2,7 bis 5,0 hl/s mit einem Mittel von 3,9 hl/s . Aus der Variabilität der beiden Abflüsse ergab sich eine Schwankung der Dotation der FAH zum Konkurrenzabfluss des Hauptgerinnes im Bereich von 0,04 bis 441 % mit einem Mittel von 4,2 %. Die Extremwerte der Dotation der FAH beschränkten sich auf gesamt 30 Datensätze, die während der Zeiten auftraten, in denen die Turbinen außer Betrieb waren und keinen Anteil zum Abfluss in der Drau beitrugen. Diese wurden, da auch in diesem Zeitraum Fische aufstiegen, nicht bereinigt, wenngleich sie in weiterer Folge zu Instabilitäten bei gewissen Regressionsmodellen führten.

2.4 Datenaufbereitung

Die Anzahl der aufgestiegenen Individuen pro 1-h-Zeitintervall, als unabhängige Variable, wurde je nach Szenario in unterschiedlichen Subsets zusammengefasst. So wurde für die Schlüsselreize Licht, Akustik und Wassertemperatur die Gesamtanzahl aller eingewanderten Individuen (*nall*) kumuliert, da für diese Parameter in der Hydrobiologie bis dato keine Gilden definiert sind. Für die drei Strömungsparameter Drauabfluss (Q_d), Abfluss in der FAH (Q_f) und Leitströmung (Q_l) erfolgte eine Gruppierung der einzelnen Fischarten in Gilden, nach ihren Vorlieben für Strömungsgeschwindigkeiten nach Schiemer und Waidbacher (1992). Auf die Differenzierung zwischen rheophil A und rheophil B wurde hier verzichtet (Tab. 2), da sich die Unterscheidung ausschließlich auf gewisse Altersstadien einer Spezies bezieht, und die Auswertung der Altersstadien nicht Teil dieser Untersuchung war.

Weitere Untergruppen wurden nach den Familien der Cypriniden (*ncyp*), und Perciden (*nper*) gebildet. Bei den Untergruppen der Eurytopen (*neury*) und Cypriniden (*ncyp*) fand eine Berücksichtigung der Lauben (*nlau*), aufgrund ihres Anteils von jeweils etwa 70 %, nicht statt. Es erfolgte jedoch eine Auswertung dieser Spezies als eigene Gruppe. Die Stagnophilen ($n = 12$) sowie

Abb. 3 Einstiegsbereich der FAH mit Positionen von Lautsprechern und LED-Bändern

Tab. 2 Zuordnung der einzelnen Spezies zu Strömungsgilden

Rheophil (<i>nrheo</i>)		Eurytop (<i>neury</i>)		Stagnophil (<i>nstag</i>)	
Äsche	<i>Thymallus thymallus</i>	Brachse	<i>Abramis brama</i>	Rotfeder	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>
Aitel	<i>Leuciscus cephalus</i>	Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	Schleie	<i>Tinca tinca</i>
Bachforelle	<i>Salmo trutta</i>	Güster	<i>Abramis bjoerkna</i>	–	–
Barbe	<i>Barbus barbus</i>	Hecht	<i>Esox lucius</i>	–	–
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	–	–
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Laube	<i>Alburnus alburnus</i>	–	–
Koppe	<i>Cottus gobio</i>	Rotaugen	<i>Rutilus rutilus</i>	–	–
Nase	<i>Chondrostoma nasus</i>	Wels	<i>Silurus glanis</i>	–	–
Neunauge	<i>Eudontomyzon mariae</i>	Wildkarpfen	<i>Cyprinus carpio</i>	–	–
Regenbogenforelle	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Zander	<i>Sander lucioperca</i>	–	–
Schied	<i>Aspius aspius</i>	–	–	–	–
Schmerle	<i>Barbatula barbatula</i>	–	–	–	–
Schneider	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	–	–	–	–
Zobel	<i>Abramis sapa</i>	–	–	–	–

die Salmoniden ($n=8$) wurden wegen ihrer geringen Abundanz nicht extra untersucht. Die vier Spezies mit den höchsten Abundanzen (ausgenommen Flussbarsch, da diese Spezies mit den Perciden zu 99,8% ident ist), welche insgesamt einen Anteil von 86% an allen registrierten Individuen haben, wurden extra ausgewertet. Namentlich handelt es sich hierbei um die eudominant vorkommenden Arten Laube (*nlau*) und Rotaugen (*nroa*), um die dominant vorkommenden Schneider (*nsne*) und die subdominant auftretenden Brachsen (*nbra*). Die statistische Aus-

wertung erfolgte auf Basis unterschiedlicher Zeitintervalle, zu denen die Daten aggregiert wurden. Für die Abfluss- und Temperaturvariablen wurden 1-, 3- und 6-Stunden-Daten herangezogen, für die externen Reize Akustik und Licht ein zu 24-Stunden-Daten kumulierter Datensatz, da diese beiden Parameter ausschließlich tageweise variierten.

2.5 Statistische Methoden

2.5.1 Modellauswahl

Die Selektion der Variablen erfolgt mittels Regressionsmodellen, wobei die Nullhypothese (H_0) in Bezug auf jede einzelne Prädiktorvariable lautet: „Die Aufstiegsraten in der FAH sind von den Veränderungen der jeweiligen Variable unabhängig.“ Das Signifikanzniveau α , auf dem die H_0 getestet wurde, beträgt 5%.

Da es sich bei der abhängigen Variable (Anzahl der aufsteigenden Indi-

Abb. 4 Rootogramme der vollen Modelle (alle Variablen berücksichtigt) mit verschiedenen Verteilungsfunktionen. Die x-Achse zeigt die Zählungen ($n = 0$ bis $n = 30$), die y-Achse die Anzahl der Zählungen. Die Länge der Balken entspricht der Anzahl der beobachteten Zählungen, die rote Linie der Anzahl der durch das Modell vorhergesagten. Der Abstand der Balken von der Nulllinie (nach oben oder unten) zeigt over-/underprediction an, und sollte so gering wie möglich sein

Abb. 5 Verlauf der Pönalisierungsterme mit $\alpha = 2$ und $\lambda = 1$

viduen pro Zeiteinheit) um Zählraten handelt, welche nach Cameron und Trivedi (1998) keiner Normalverteilung folgen, muss von einer linearen Regression Abstand genommen werden. Die Gruppe der verallgemeinerten linearen Modelle (GLM) bietet hier mit dem Poisson-Regressionsmodell, sowie der Negativ-Binomial-Regression zwei Standardmodelle für Zählraten (Nelder und Wedderburn 1972). Aufgrund seiner Sensitivität auf Überdispersion und Nullenüberschuss ist das Poisson-Modell für empirische Daten jedoch meist nur eingeschränkt geeignet. Das Negativ-Binomial-Modell ist deutlich weniger empfindlich auf Überdispersion, Daten mit hohem Nullenüberschuss können allerdings auch von diesem Modell oft nicht ausreichend gut abgebildet werden. Eine Lösung für Daten mit hohem Nullenüberschuss bieten kombinierte Modelle, bei denen die Nullen getrennt von den positiven Zählraten in einer eigenen Verteilung modelliert werden, und hier insbesondere die Zero-Inflated-Modelle.

Zero-Inflated-Modellen (Lambert 1992) liegt die Annahme zugrunde,

dass die beobachteten Nullwerte aus zwei verschiedenen Prozessen herrühren:

- einem Ursprungsprozess, d.h. eine Nullbeobachtung ist vorhanden, weil z. B. aufgrund des Fehlens von Fischen zur gegebenen Zeit im Bereich des Einstiegs gar keine Möglichkeit besteht, dass ein Individuum aufsteigt und somit von der Kamera erfasst wird
- einem Auswahlprozess, d.h. die Nullbeobachtung ist trotz der Möglichkeit des Aufstiegs eines Individuums vorhanden, das Individuum entscheidet sich – aufgrund des Status der Prädiktorvariablen – jedoch gegen den Aufstieg.

Hierbei liegt den strukturellen Nullen – aus dem Ursprungsprozess – eine Bernoulli-Verteilung zugrunde, während für die Zählraten sowie die Nullen des Auswahlprozesses entweder eine Poisson- oder eine Negativ-Binomialverteilung angenommen werden kann.

Die Entscheidung, welche Verteilung zu wählen ist, wurde auf Basis von Plots (Abb. 4), welche die beobachteten

Zählraten mit den erwarteten vergleichen (Kleiber und Zeileis 2016), sowie aufgrund der Analyse des Datenerfassungsprozesses getroffen.

Der Modellvergleich zeigt, dass jene Modelle – verallgemeinerte wie kombinierte –, die den Daten eine Poisson-Verteilung zugrunde legen, nicht adäquat sind, da die erwarteten Zählraten nicht annähernd den Beobachteten entsprechen. Bei den Negativ-Binomial-Modellen zeigen das Zero-Inflated- sowie das verallgemeinerte Negativ-Binomial-Modell eine ähnliche Qualität. Als Grundlage für die weiteren Verfahren wurden daher sowohl eine Zero-Inflated-Negativ-Binomialverteilung (ZINB) als auch eine Negativ-Binomialverteilung (NB) angenommen, und alle Subgruppen über alle Zeitintervalle mit beiden Verteilungen gerechnet. Die endgültige Entscheidungsfindung erfolgte am Ende der statistischen Auswertung anhand der angepassten Modelle mittels der Differenz zwischen beobachteten und erwarteten Zählraten.

2.5.2 Variablenselektion

Die Auswahl der Prädiktorvariablen erfolgte mittels pönalisierten ZINB- und NB-Regressionsmodellen – zur Plausibilitätskontrolle – mit drei unterschiedlichen Pönalisierungsfunktionen sowie je einem ZINB- und NB-Regressionsmodell ohne Pönalisierung, jedoch mit schrittweiser Variablenelimination (BE). Als Pönalisierungsfunktionen wurden LASSO (least absolute shrinkage and selection operator), SCAD (smoothly clipped absolute deviations) und MCP (minimax concave penalty) gewählt. Bei pönalisierten Modellen wird dem Least-Square-Schätzer des linearen Regressionsmodells $y = \alpha + \beta x$ eine Nebenbedingung $L(\lambda)$ hinzugefügt, welche dazu führt, dass Koeffizienten, die das Modell nicht weiter verbessern, auf null gesetzt werden, wobei diese Variablen sodann aus dem Modell eliminiert werden.

Tab. 3 Zusammenfassung der untersuchten Variablen 1 h Daten

Obs = 2628	tres_fe [°C]	Qd [m³/s]	Qf [hl/s]	Qls [%]	nall	neury	nrheo	ncyp	nper	nlau	nroa	nsne	nbra
Min	-2,55	0,1	2,7	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	0,29	274,3	3,9	4,18	6,9	1,8	0,7	1,9	0,6	4,4	0,7	0,5	0,3
Max	6,93	799,8	4,9	441,30	981	71	79	79	26	932	57	79	67
σ	1,7	155,3	0,4	38,9	31,5	4,8	3,3	5,4	1,7	28,4	3,1	3,3	1,9

Obs Anzahl der Beobachtungen, tres_fe Residuen der Wassertemperatur im Einstiegsbereich der FAH zum Sinus angepassten Jahresgang der Wassertemperatur der Drau, Qd Abfluss in der Drau, Qf Anfluss in der FAH, Qls Konkurrenzabfluss, nall Anzahl alle Individuen, neury Anzahl Eurytope, nrheo Anzahl Rheophile, ncyp Anzahl Cypriniden, nper Anzahl Perciden, nlau Anzahl Lauben, nroa Anzahl Rotaugen, nsne Anzahl Schneider, nbra Anzahl Brachsen, σ Standardabweichung

Tab. 4 Überblick über Arten, Familien und Gilden sowie deren biozönotische Kenngrößen (Krebs 1999)

Art	<i>n</i>	<i>D</i> [%]	<i>F</i> [%]	Gilde/Familie	<i>n</i>	%	<i>F</i> [%]
Aesche	2	0,01	–	neury (Eurytope ohne Lauben)	4674	25,82	39,8
Aitel	246	1,36	6,2	nrheo (Rheophile)	1795	9,91	18,9
Bachforelle	3	0,02	–	nstag (Stagnophile)	12	0,07	0,5
Bachschmerle	2	0,01	–	ncyp (Cypriniden ohne Lauben)	5000	27,62	40,3
Barbe	18	0,10	–	nper (Perciden)	1438	7,94	18,9
Brachse	721	3,98	9,6	nsal (Salmoniden)	8	0,04	0,3
Cyprinide Unbekannt	95	0,52	–	nall (alle Individuen)	18.105	100,0	58,9
Flussbarsch	1433	7,91	18,8	–	–	–	–
Gruending	28	0,15	–	–	–	–	–
Guester	504	2,78	10,7	–	–	–	–
Hasel	23	0,13	–	–	–	–	–
Hecht	1	0,01	–	–	–	–	–
Kaulbarsch	4	0,02	–	–	–	–	–
Koppe	22	0,12	–	–	–	–	–
Laube	11.540	63,74	35,7	–	–	–	–
Nase	1	0,01	–	–	–	–	–
Neunauge	1	0,01	–	–	–	–	–
Regenbogenforelle	2	0,01	–	–	–	–	–
Rotaugen	1905	10,52	16,8	–	–	–	–
Rotfeder	7	0,04	–	–	–	–	–
Salmonide Unbekannt	1	0,01	–	–	–	–	–
Schied	3	0,02	–	–	–	–	–
Schleie	5	0,03	–	–	–	–	–
Schneider	1442	7,96	10,7	–	–	–	–
Unbekannt	84	0,46	–	–	–	–	–
Wels	8	0,04	–	–	–	–	–
Wildkarpfen	2	0,01	–	–	–	–	–
Zander	1	0,01	–	–	–	–	–
Zobel	1	0,01	–	–	–	–	–

n Anzahl der aufgestiegenen Individuen, *D* Dominanz (relative Abundanz) eudominant: >10%; dominant: 5–10%; subdominant: 2–5%; rezedent: 1–2%; subrezedent: <1%, *F* Frequenz des Vorkommens als Anzahl der Beobachtungen in denen die Art vorkommt/Anzahl der gesamten Beobachtungen * 100

LASSO (Tibshirani 1996) verwendet hierbei einen linearen Term mit der Lösung von:

$$\text{minimize}_{\beta} \frac{1}{2} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda \|\beta\|_1 \quad (2)$$

wobei λ der Tuningparameter ist, der mittels Kreuzvalidierung ermittelt wird. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass die Methode dazu tendiert, bei großen Regressionskoeffizienten verzernte Schätzer zu liefern, und dass bei stark korrelierenden Prädiktorvariablen nur eine einzelne selektiert wird (Fan und Li 2001).

SCAD (Fan und Li 2001) begegnet obigem Problem mit der Einführung eines weiteren Parameters a , der zu einem Pönalisierungsterm in Form einer quadratischen Spline führt, bei welchem ein Zusammenhang zwischen

der Pönalisierungsfunktion und dem Schätzer β hergestellt wird:

$$\begin{aligned} &\text{minimize}_{\beta} \frac{1}{2} \|y - X\beta\|_2^2 \\ &+ \begin{cases} \lambda |\beta| & |\beta| \leq \lambda \\ (2a\lambda |\beta| - \beta^2 - \lambda^2)/2(a-1) & \lambda < |\beta| \leq a\lambda \\ \lambda^2(a+1)/2 & \text{ansonsten} \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Hierbei ist die Funktion mit der LASSO Funktion bei Schätzern bis zum Wert von $\pm\lambda$ ident, geht dann in eine quadratische Spline über bis zu Werten des Schätzers von $\pm a\lambda$, und bleibt bei Schätzern außerhalb dieser Werte konstant.

MCP (Zhang 2010) verwendet einen ähnlichen Ansatz, bei dem die Pönalisierungsfunktion jedoch schon von Beginn an eine konkave Form annimmt, diese bis zu einem Wert der Schätzer von $\pm a\lambda$ beibehält, und bei Werten

außerhalb dieses Bereichs analog zur SCAD-Funktion konstant bleibt:

$$\begin{aligned} &\text{minimize}_{\beta} \frac{1}{2} \|y - X\beta\|_2^2 \\ &+ \begin{cases} \lambda |\beta| - \beta^2/2a & |\beta| \leq a\lambda \\ a\lambda^2/2 & \text{ansonsten} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Zur Veranschaulichung der Unterschiede der Methoden zeigt Abb. 5 die verschiedenen Pönalisierungsfunktionen im Vergleich, wobei $\lambda = 1$ und $a = 2$ gesetzt wurden.

2.5.3 Modellauswahl

Die Entscheidung, welches Modell den beobachteten Daten am nächsten kommt, wurde anhand des Bayes-Informationskriteriums (BIC) getroffen (Schwarz 1978), nach der Formel:

$$\text{BIC} = k * \log(n) - 2\log(L(\hat{\theta})) \quad (5)$$

Abb. 6 Übersicht über die Aufstiege (graue Balken), Abflussparameter Q_d (rot), Q_f (grün), Q_{ls} (blau) und externen Reize Akustik (türkiser Balken) und Licht (gelber Balken) vom 22.09. bis 24.09.2019

mit:

- n Anzahl der Beobachtungen
- k Anzahl der Modellparameter
- $L(\hat{\theta})$ Maximum Likelihood des Modells

Hierbei gilt: Je kleiner das BIC, desto besser spiegelt das Modell die beobachteten Daten wider. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass das gewählte Modell das „wahre“ Modell ist. Es wird lediglich das sparsamste Modell mit dem geringsten Kullback-Leibler-Informationsverlust gewählt (Burnham und Anderson 2004).

3 Ergebnisse

Eine Übersicht über die Minima, Maxima und Mittelwerte der einzelnen Variablen auf Stundenbasis gibt Tab. 3. Die starke Varianz im Draufabfluss ist einerseits auf die erhöhten Abflüsse vom 27.05. bis 19.06. zurückzuführen – das Hochwasser im Herbst fiel nicht mehr in den Monitoringzeitraum –, zum anderen waren am 10.10. von 11:00 bis 13:00 Uhr, sowie vom 22.10. bis 25.10. jeweils von 00:00 bis 03:00 alle Turbinen außer Betrieb, womit sich der Abfluss durch das Kraftwerk auf $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ reduzierte. Damit in direktem Zusammenhang stehen die maxima-

len Werte der Leitströmung mit über 100 % bis zu 441 %, welche sich allerdings auf gesamt 30 Stundenwerte beschränken. Eine Bereinigung des Datensatzes um diese Extremwerte fand nicht statt, da auch während dieser Ereignisse 80 Individuen in die FAH einstiegen, was alleine schon auf eine hohe Resistenz der wandernden Fische auf Umwelteinflüsse schließen lässt. Die Anzahl der einsteigenden Individuen weist ebenfalls eine sehr hohe Varianz auf, was einerseits an dem Wert der Standardabweichung (σ) erkennbar ist, andererseits auch daran, dass etwa in einer einzigen Stunde 981 Einstiege registriert wurden. In weiterer Folge

Tab. 5 Faktoren der Schätzer nall (log link), 1-h-Daten, alle Modelle

nall = 18.105		BE_ZINB	LASSO_ZINB	SCAD_ZINB	MCP_ZINB	BE_NB	LASSO_NB	SCAD_NB	MCP_NB
Counts	tres_fe [°C]	1,20	1,20	1,28	1,20	1,26	1,26	1,26	1,26
	Qd [m³/s]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Qf [hl/s]	0,53*	0,54*	–	0,54*	0,70	0,72	0,72	0,72
	Qls [%]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Daylight [Y/N]	1,23	1,23	–	1,22	1,30	1,30	1,30	1,30
Zeros	tres_fe [°C]	0,28	0,28	–	0,28	NA	NA	NA	NA
	Qd [m³/s]	1,01	1,01	–	1,01	NA	NA	NA	NA
	Qf [hl/s]	0,06*	0,06*	–	0,06*	NA	NA	NA	NA
	Qls [%]	–	–	–	–	NA	NA	NA	NA
	Daylight [Y/N]	0,38	0,38	–	0,35	NA	NA	NA	NA
GoF	logLik	–6353	–6353	–6394	–6353	–6382	–6379	–6379	–6379
	AIC	12.730	12.732	12.798	12.732	12.777	12.772	12.772	12.772
	BIC	12.800	12.808	12.827	12.808	12.812	12.813	12.813	12.813

Mit (*) versehene Werte sind nicht plausibel, NA zeigt an, dass dieser Wert nicht Teil der Verteilung oder des Zeitintervalls ist
 Counts Die Erhöhung einer Variablen um eine Einheit ändert die Anzahl an nall/Zeitintervall um diesen Faktor, Zeros Die Erhöhung einer Variablen um eine Einheit ändert die Anzahl an Nullzählungen/Zeitintervall um diesen Faktor, GoF Goodness of Fit, Kriterien zur Modellauswahl (je kleiner desto besser)

Tab. 6 Zusammenfassung der gewählten Modelle *nall* alle Zeitintervalle

<i>nall</i> = 18.105		1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_NB)	6 h (MCP_NB)	24 h (BE_NB)
Counts	tres_fe [°C]	1,20	1,34	1,30	1,26
	Qd [m³/s]	–	–	–	–
	Qf [hl/s]	0,53*	–	–	–
	Qls [%]	–	–	–	–
	Daylight [Y/N]	1,23	–	–	NA
	Artlight [Y/N]	NA	NA	NA	–
	Acoustic [Y/N]	NA	NA	NA	–
Zeros	tres_fe [°C]	0,28	NA	NA	NA
	Qd [m³/s]	1,01	NA	NA	NA
	Qf [hl/s]	0,06*	NA	NA	NA
	Qls [%]	–	NA	NA	NA
	Daylight [Y/N]	0,38	NA	NA	NA
GoF	logLik	–6353	–2371	–1883	–646
	AIC	12.730	4751	3773	1300
	BIC	12.800	4775	3790	1311

Artlight künstlicher Reiz Licht, *acoustic* künstlicher Reiz Beschallung

fürten diese Werte zu Instabilitäten bei einigen Auswertelgorithmen für gewisse Gruppen und Zeitintervalle, auf welche allerdings bei den Detailergebnissen eingegangen wird.

Die Vorkommen der Arten Laube und Rotaugen waren eudominant, die zwei Arten Schneider und Flussbarsch dominant, zwei weitere Arten (Brachse und Güster) subdominant. Die Brachsen waren die einzige rezedente Art, alle anderen Arten kamen subrezedent vor (Tab. 4).

Speziell hervorzuheben ist, dass insgesamt knapp ein Viertel aller Fische in einem Zeitraum von lediglich drei Tagen, nämlich vom 22.09.2019 bis zum 24.09.2019 aufgestiegen sind. In diesem Zeitraum variierte der Draufabfluss zwischen 77 und 277 m³/s, der Abfluss in der FAH von 330 bis 4301/s und die Leitströmung von 0,14 bis 0,5 % des Draufabflusses bzw. bis rd. 1 % des Abflusses durch die fischauftiegsseitige Turbine. Die externen Reize Licht und Akustik waren ebenfalls in sämtlichen Kombinationen während dieser drei Tage vorhanden (Abb. 6). Bei diesem massiven Auftreten von registrierten Fischen ist schon aus der Grafik kein positiver Zusammenhang zwischen den externen Reizen, den Parametern *Qf*, *Qls* und der Anzahl aufsteigender Individuen zu erkennen. Einzig der Abfluss in der Drauf lässt einen leicht positiven Effekt vermuten, der aber in weiterer Folge von den Daten über den gesamten Zeitraum nicht bestätigt werden konnte. Des Weiteren ist zu erkennen, dass aufgrund der annähernden Gegenläufigkeit von *Qd* und *Qf* die Leit-

strömung nicht ausschließlich durch den Abfluss in der Drauf determiniert ist, sondern zu einem Gutteil auch vom Abfluss in der FAH bestimmt wird.

3.1 Alle Individuen (*nall*)

Die Ergebnisse aller gerechneten Modelle auf Stundenbasis sind in Tab. 5 dargestellt.

Die Modelle liefern, je nach angenommener Verteilung, in sich konsistente Daten. Die Größe der Werte der Goodness of Fit (GoF) sowie auch die Koeffizienten für *Qf* lassen jedoch den Schluss zu, dass die Quelldaten in sich deutlich widersprüchliche Zusammenhänge sowie Extremwerte, die bereits eingangs erwähnt wurden, aufweisen. Daraus resultierend entstammen mit größter Wahrscheinlichkeit auch die widersprüchlichen Faktoren für *Qf*, welche bei obiger Tab. 5 keinen Schluss auf einen Einfluss des Abflusses in der FAH auf die Auffindbarkeit des Einstiegs zulassen. Um Kollinearitäten, welche oft Probleme in der Lösung der Modelle erzeugen, ausschließen zu können, erfolgte eine Bestimmung der *Variance Inflation Factors* (VIF), die allerdings mit Werten von 1,0 bis 1,2 in einem Bereich liegen, der nicht auf Kollinearitäten zwischen den Prädiktorvariablen schließen lässt. Die Wahl fiel in diesem Fall auf jenes Modell, welches durch eine angenommene Zero-Inflated-Negativ-Binomialverteilung mittels Variablenelemination (BE_ZINB) errechnet wurde.

Tab. 6 gibt eine Zusammenfassung über die gewählten Modelle aller Individuen über alle Zeitintervalle.

3.1.1 Alle Individuen: künstliche Reize Akustik und Licht

Da Akustik und Licht aufgrund der täglichen Variierung der Reize nur auf Ebene der 24-h-Daten ausgewertet wurden und kein Nullenüberschuss in diesem Zeitintervall mehr vorhanden ist, waren hier die NB-Modelle den ZI-Modellen vorzuziehen. Es zeigt sich eine große Homogenität innerhalb der Modelle, unabhängig von der Art der Variablenselektion. Keines der Modelle lässt den Schluss zu, dass die Nullhypothese in Bezug auf die externen Reize Akustik und Licht abzulehnen ist.

3.1.2 Alle Individuen: Strömungsparameter

Außer bei den 1-h-Daten, bei denen wie bereits eingangs erwähnt die Faktoren für den Abfluss in der FAH widersprüchlich sind, da bei einer Steigerung des Abflusses sowohl die Nullbeobachtungen (Zeros) als auch die positiven Zählraten (Counts) sinken, zeigt sich auch hier ein einheitliches Bild über die Zeitintervalle und die einzelnen Varianten der Variablenselektion. Keines der Modelle zeigt einen Zusammenhang zwischen einem der Strömungsparameter (*Qd*, *Qf*, *Qls*) und der Auffindbarkeit des Einstiegs. In Abb. 7 ist die große Variabilität der Strömungsparameter wie auch der Aufstiege/Stunde ersichtlich. Ein Zusammenhang zwischen *nall* und

Abb. 7 Übersicht über die 1-h-Werte Aufstiege nall (linke y-Achse) gegen Abfluss in der FAH und Leitströmung (rechte y-Achse)

Q_f sowie Q_L , der den Modellergebnissen widersprechen würde, lässt sich auch hier keinesfalls ablesen.

3.1.3 Alle Individuen: Residuen der Wassertemperatur und Tageslicht

Dass die Wassertemperatur, wie in der Literatur vielfach beschrieben, einen Einfluss auf das Wanderverhalten von Fischen hat, wird durch die vorliegenden Daten vollumfänglich bestätigt. Das ZINB-Modell der 1-h-Daten zeigt einen Rückgang der Nullbeobachtungen (Zeros) bei gleichzeitigem Anstieg der positiven Zählraten bei Erhöhung der Wassertemperatur in der FAH im Vergleich zum langjährigen Mittel der Drautemperatur. Die Daten der weiteren Zeitintervalle unterstreichen dieses

Bild, auch hinsichtlich der Höhe der Faktoren. In Abb. 8 ist der Zusammenhang zwischen den Aufstiegen und den Residuen der Wassertemperatur im Einstiegsbereich dargestellt. Vor allem im Frühjahr ist die positive Korrelation klar ersichtlich.

Das Tageslicht scheint, zumindest auf Basis der Ergebnisse der 1-h-Daten, einen sehr ähnlichen Einfluss wie die Wassertemperatur zu haben. Dieser kann allerdings durch die 3-h- und 6-h-Daten nicht verifiziert werden.

3.2 Eurytope und Rheophile

Die Ergebnisse der Strömungsgilden der Eurytopen und Rheophilen zeigen ebenfalls in sich, und auch über die Zeitintervalle hinweg – mit Ausnahme der

1-h-Daten – konsistente Werte (Tab. 7). Die Prüfung auf Kollinearitäten ergab für die Gruppe der Eurytopen keine Unregelmäßigkeiten ($VIF = 1,04 - 1,52$). Bei den Rheophilen traten jedoch bei den Zero-Komponenten der 1-h-Modelle hohe VIFs (10 bis 300) innerhalb der Strömungsparameter auf, welche ein klares Indiz für Kollinearitäten zwischen den Variablen sind.

3.2.1 Eurytope und Rheophile: künstliche Reize Akustik und Licht

Bei diesen beiden Gilden lässt kein einziges Modell der 24-h-Daten den Schluss zu, dass diese beiden Reize einen Einfluss auf die Auffindbarkeit des Einstiegs der FAH haben.

Abb. 8 1-h-Daten (rot) und geglättete 24-h-Daten (grün) der Residuen der Wassertemperatur im Einstiegsbereich der FAH mit den 1-h-Daten der Aufstiege in der FAH

Tab. 7 Zusammenfassung der gewählten Modelle Eurytope und Rheophile alle Zeitintervalle

		neury = 4674				nrheo = 1795			
		1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_NB)	6 h (SCAD_NB)	24 h (BE_NB)	1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_NB)	6 h (BE_NB)	24 h (BE_NB)
Counts	tres_fe [°C]	1,25	1,43	1,45	1,42	–	–	–	–
	Qd [m³/s]	–	–	–	–	–	–	0,99	0,99
	Qf [hl/s]	0,50*	–	–	–	1,8*	–	–	–
	Qls [%]	–	–	–	–	0,99*	–	–	–
	Daylight [Y/N]	1,70	2,01	2,05	NA	2,61	2,05	2,12	NA
	Artlight [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
	Acoustic [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
Zeros	tres_fe [°C]	0,48	NA	NA	NA	0,51	NA	NA	NA
	Qd [m³/s]	–	NA	NA	NA	0,91	NA	NA	NA
	Qf [hl/s]	0,18*	NA	NA	NA	1,6E + 03*	NA	NA	NA
	Qls [%]	–	NA	NA	NA	4,0E–126*	NA	NA	NA
	Daylight [Y/N]	0,47	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA
GoF	logLik	–3887	–2059	–1311	–490	–2119	–1292	–885	–370
	AIC	7798	4128	2632	988	4263	2592	1778	746
	BIC	7868	4152	2652	998	4333	2611	1794	754

3.2.2 Eurytope und Rheophile: Strömungsparameter

Bei der Gilde der Eurytopen sind bei den 1-h-Daten die Faktoren, welche den Abfluss in der FAH betreffen, nicht plausibel, da sie beide kleiner 1 sind und somit eine Erhöhung des Abflusses sowohl eine Erhöhung der Nullzählungen als auch der positiven Zählungen zur Folge hätte. Bei den Rheophilen gilt Selbiges, allerdings zusätzlich zur Variable des Abflusses in der FAH auch noch für die Leitströmung. Hier ist diese Widersprüchlichkeit in den 1-h-Daten allerdings aufgrund der zuvor erwähnten Kollinearitäten zwischen den

Strömungsparametern gut erklärbar. Der Faktor für den Drauabfluss bei den 6-h- und 24-h-Daten kommt zwar in 7 von 8 Modellen in identer Höhe vor, ist von seiner Effektstärke mit 1 % jedoch als sehr gering einzustufen.

3.2.3 Eurytope und Rheophile: Residuen der Wassertemperatur und Tageslicht

In Bezug auf das Tageslicht zeigen beide Gilden ähnliche, einander auch innerhalb der beiden Gruppen nicht widersprechende Ergebnisse. Die Werte lassen den Schluss zu, dass bei Tageslicht etwa doppelt so viele Einstiege

pro Zeitintervall in die FAH stattfinden als während der Nachtstunden. Die Einstiege der Eurytopen fanden zum größten Teil zwischen Tagesanbruch bis etwa 21:00 Uhr statt. Das Maximum war während der abendlichen Dämmerung. Die Rheophilen zeigten ein bimodales Einstiegsverhalten mit Höhepunkten am frühen Vormittag und späten Nachmittag.

Auf die Differenz der Wassertemperatur zum langjährigen Mittel zeigen ausschließlich die Eurytopen eine positive Reaktion. Bei den Rheophilen bleibt die Nullhypothese in diesem Punkt aufrecht. Es kann somit bei den Rheophilen von keinem Zusammen-

Tab. 8 Zusammenfassung der gewählten Modelle Cypriniden und Perciden alle Zeitintervalle

		Ncyp = 5000				Nper = 1438			
		1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_NB)	6 h (SCAD_NB)	24 h (BE_NB)	1 h (BE_ZINB)	3 h (MCP_ZINB)	6 h (BE_ZINB)	24 h (BE_NB)
Counts	Tres_fe [°C]	1,26	1,35	1,38	1,35	1,22	1,22	1,23	1,23
	Qd [m³/s]	–	–	–	–	0,99*	0,99*	0,99*	0,99
	Qf [hl/s]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Qls [%]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Daylight [Y/N]	1,55	1,57	1,62	NA	3,56	3,71	4,53	NA
	Artlight [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
	Acoustic [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
Zeros	Tres_fe [°C]	0,61	NA	NA	NA	–	0,19	–	NA
	Qd [m³/s]	–	NA	NA	NA	0,95*	0,95*	0,91*	NA
	Qf [hl/s]	–	NA	NA	NA	0,06	0,52	–	NA
	Qls [%]	–	NA	NA	NA	0,99	1,03	–	NA
	Daylight [Y/N]	–	NA	NA	NA	0,04	6,2E–11*	0,05	NA
GoF	logLik	–4045	–2136	–1358	–500	–1949	–1122	–766	–350
	AIC	8107	4282	2726	1008	3920	2265	1549	709
	BIC	8154	4306	2746	1019	3985	2318	1582	720

hang zwischen der Wassertemperatur und den Aufstiegsraten ausgegangen werden.

3.3 Cypriniden und Perciden

Die Familie der Perciden kann als ident mit der Spezies der Flussbarsche angesehen werden, da einer Anzahl von 1433 Flussbarschen, die hier eine dominant vorkommende Art darstellen, lediglich 4 Kaulbarsche gegenüberstehen. Bei den Perciden sind bis zu den 6-h-Daten starke Kollinearitäten in der Nullkomponente der ZINB-Modelle, vor allem die Variable Tageslicht betreffend, vorhanden. Diese Tatsache erklärt auch hier die nicht plausiblen Werte in diesem Teil der Modelle. Die Zählkomponenten sind im Gegensatz dazu über alle Zeitintervalle widerspruchsfrei. Die Ergebnisse für die Cypriniden hingegen sind in allen ihren Teilen konsistent und liefern, jedes für sich sowie auch in ihrer Gesamtheit nachvollziehbare Resultate (Tab. 8).

3.3.1 Cypriniden und Perciden: künstliche Reize Akustik und Licht

Das Ergebnis der Cypriniden und Perciden in Hinblick auf die externen Reize Akustik und Licht ist ident mit allen vorher erwähnten Gruppen. Die Nullhypothese kann nicht verworfen werden und es gibt keine Hinweise darauf, dass diese Parameter für diese Familien einen Einfluss auf die Auffindbarkeit des Einstiegsbereichs von FAH haben.

3.3.2 Cypriniden und Perciden: Strömungsparameter

Bei den Cypriniden zeigt kein einziges Modell, dass eine Änderung der Strömungsparameter die Einstiege in die FAH negativ oder positiv beeinflusst. Die selektierten Variablen bei der Familie der Perciden sind, wie eingangs erwähnt, inkonsistent, da eine Verringerung des Drauabflusses sowohl die Nullwerte als auch die positiven Zählwerte erhöhen würde. Die Leitströmung zeigt, wenn auch mit geringer Effektstärke, bei der Nullkomponente widersprüchliche Werte. Die Resultate beim Abfluss in der FAH sind mit 0,06 bzw. 0,52 nur teilweise nachvollziehbar und auf die Nullkomponente beschränkt. Die Modellergebnisse der Perciden lassen somit ebenfalls nicht den Schluss zu, dass hier ein Zusammenhang zwischen den Strömungsparametern und den Einstiegsraten besteht.

3.3.3 Cypriniden und Perciden: Residuen der Wassertemperatur und Tageslicht

Die Daten liefern über alle Modelle und Zeitintervalle deutliche Hinweise darauf, dass die Einstiegsraten sowohl der Cypriniden, als auch der Perciden bei höheren Wassertemperaturen in der FAH steigen. Die Beschreibung der Flussbarsche als tagaktiv (Craig 1987) wird durch die vorliegenden Ergebnisse gestützt, da einer Anzahl von 1229 Perciden, welche bei Tageslicht in die FAH

einstiegen, nur 209 gegenüberstehen, die während der Nachtstunden registriert wurden. Die Einstiege waren von 8:00 Uhr bis 18:00 Uhr etwa gleichverteilt. Die Cypriniden wanderten meist von 07:00 Uhr bis 22:00 Uhr, mit dem Maximum während der Abenddämmerung, in die FAH ein.

3.4 Lauben und Rotaugen

Lauben und Rotaugen waren die einzigen beiden eudominant vorkommenden Arten dieser Untersuchung. Die Lauben stellen mit 11.540 Individuen und somit ca. 64 % aller registrierten Fische die weitaus häufigste Spezies dar. Aufgrund dieser Tatsache wurden sie bei den Untergruppen der Eurytopen und Cypriniden nicht berücksichtigt, um eine Verzerrung der Ergebnisse dieser Gruppen zu vermeiden. Wie auch schon bei vorher besprochenen Modellergebnissen sind hier die Werte für den Abfluss in der FAH ebenfalls nicht nachvollziehbar. Sie sind allerdings in diesem Falle auch nicht auf Kollinearitäten zurückzuführen (VIF=1,02–1,34). Eine Erklärung kann die Tatsache liefern, dass bei den Lauben als Schwarmfischen innerhalb kurzer Zeit eine sehr hohe Anzahl an Individuen aufgestiegen ist. So wurden in nur 21 Tagen des Monitoringzeitraums drei Viertel aller Lauben registriert. Bei den Rotaugen, als zweithäufigste Spezies mit 1905 erfassten Individuen, stellt sich die Situation sehr ähnlich zu den Lauben dar. Auch bei dieser Art handelt es sich um Schwarmfische, bei welchen etwa 85 %

Tab. 9 Zusammenfassung der gewählten Modelle Lauben und Rotaugen alle Zeitintervalle

nlau = 11.540			nroa = 1905						
			3 h (BE_NB)	6 h (BE_NB)	24 h (BE_NB)	1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_ZINB)	6 h (SCAD_NB)	24 h (BE_NB)
Counts	tres_fe [°C]	1,13	1,25	1,28	1,23	–	1,13	1,58	1,63
	Qd [m³/s]	–	–	–	–	–	–	0,99	0,99
	Qf [hl/s]	0,3*	0,51	–	–	0,09*	0,11*	–	–
	Qls [%]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Daylight [Y/N]	–	–	–	NA	1,57	1,63	–	NA
	Artlight [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
	Acoustic [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
Zeros	tres_fe [°C]	0,32	NA	NA	NA	0,46	0,45	NA	NA
	Qd [m³/s]	1,01	NA	NA	NA	1,01	1,01	NA	NA
	Qf [hl/s]	0,16*	NA	NA	NA	0,2*	0,1*	NA	NA
	Qls [%]	–	NA	NA	NA	–	–	NA	NA
	Daylight [Y/N]	–	NA	NA	NA	–	–	NA	NA
GoF	logLik	–4379	–2368	–1541	–582	–1937	–1060	–725	–300
	AIC	8774	4747	3090	1172	3892	2139	1458	609
	BIC	8821	4770	3107	1183	3945	2182	1474	619

aller Aufstiege in nur einer Woche im Frühjahr und einer Woche im Herbst stattgefunden haben. Da somit in den restlichen 13 Wochen des Monitorings, mit der gesamten Bandbreite an Variationen aller Prädiktorvariablen, fast keine Aufstiege dieser Art mehr zu registrieren waren, ist eine Inkonsistenz in den Ergebnissen der Regressionsmodelle, vor allem in der Nullkomponente der ZINB verteilten, gut nachvollziehbar (Tab. 9).

3.4.1 Lauben und Rotaugen: künstliche Reize Akustik und Licht

Das Aufstiegsverhalten von Lauben und Rotaugen, in Bezug auf die externen Reize Akustik und Licht, deckt sich mit dem aller bisher besprochenen Gruppen. Aus den Ergebnissen lässt sich kein Effekt der künstlich erstellten Reize ableiten.

3.4.2 Lauben und Rotaugen: Strömungsparameter

Das Aufstiegsverhalten der Lauben lässt bei keinem der gerechneten Regressionsmodelle, gleich welches Zeitintervall betrachtet wird, den Schluss zu, dass ein Zusammenhang zwischen Aufstiegsraten und dem Abfluss im Hauptgerinne bestünde. Die Resultate für den Abfluss in der FAH zeigen nicht plausible Werte bei den 1-h-Daten, bei den 6-h- und 24-h-Daten wurden sie im jeweils besten Modell nicht selektiert. Die Leitströmung kommt, analog zum Drauabfluss, ebenfalls in keinem Modell und bei keinem Zeitintervall als relevante Einflussgröße vor. Für die Lauben muss somit bezüglich aller Strömungsparameter die Alternativhypothese verworfen werden. Die Rotaugen zeigen bezüglich Q_d bei den 1-h- und

3-h-Daten dasselbe Ergebnis wie die Lauben, bei den 6-h- und 24-h-Daten ergibt sich jedoch ein Zusammenhang, mit allerdings sehr geringer Effektstärke (0,99). Ein Nachweis für einen Effekt des Abflusses im Fischeaufstieg auf das Einstiegsverhalten kann, analog zu den Lauben, nicht erbracht werden, da die Werte entweder widersprüchlich sind (1-h- und 3-h-Daten), oder keinen Einfluss zeigen (6-h- und 24-h-Daten). Eine Abhängigkeit des Einstiegsverhaltens von der Leitströmung kann durch kein Modell und in keinem Zeitintervall nachgewiesen werden.

3.4.3 Lauben und Rotaugen: Residuen der Wassertemperatur und Tageslicht

Bei den Lauben scheint kein Zusammenhang zwischen dem Einwandern in die FAH und dem Tageslicht zu bestehen. Die Wanderungen fanden zu Großteil vom frühen Nachmittag bis Mitternacht mit dem Maximum während der Abenddämmerung statt. Die Temperatur als Einflussgröße zeigt bei allen Modellen konsistente, positive Werte mit ähnlichen Größen bei den 3-h- bis 24-h-Daten. Auf das Aufstiegsverhalten der Rotaugen hat das Tageslicht durchaus Einfluss, sie migrierten meist von Tagesanbruch bis etwa 22:00 Uhr, mit dem Maximum ebenfalls in der Abenddämmerung.

3.5 Schneider und Brachsen

Schneider und Brachsen waren in dieser Untersuchung die dritt- bzw. fünfhäufigsten Arten mit Abundanzen von 8 und 4 %. Das Aufkommen der Schneider beschränkte sich ausschließlich auf das Herbstmonitoring, während des Frühjahr wurde kein einziges Individuum

dieser Spezies registriert. Aus diesem Grund wurden für die Regressionsmodelle bei den Schneidern ausschließlich die Herbstdaten herangezogen. Eine interessante Tatsache ist, dass bei beiden Arten, trotz des häufigen Auftretens von Nullen, die Modelle mit Negativ-Binomialverteilung denen mit Zero-Inflated-Negativ-Binomialverteilung überlegen waren. Alle Modelle liefern über alle Zeitintervalle konsistente und plausible Resultate (Tab. 10).

3.5.1 Schneider und Brachsen: künstliche Reize Akustik und Licht

Bei beiden Spezies lässt sich kein Zusammenhang zwischen dem Einstiegsraten und den künstlichen Reizen Akustik und Licht herstellen. Dieses Ergebnis ist durch alle Regressionsmodelle über sämtliche untersuchte Zeitintervalle bestätigt. Die Nullhypothese kann nicht widerlegt werden.

3.5.2 Schneider und Brachsen: Strömungsparameter

Bei Schneidern wie bei Brachsen geben die Resultate keinen Hinweis darauf, dass eine Änderung der Höhe der Leitströmung oder des Abflusses in der FAH einen Effekt bzgl. des Einstiegsverhaltens in den Fischeaufstieg hat. Auswirkungen des Drauabflusses sind bei Schneidern in den 1-h- und 3-h-Daten mit leicht positivem Einfluss, bei den Brachsen über alle Zeitintervalle mit leicht negativem Einfluss zu beobachten. Im Großen und Ganzen sind die Effekte mit $\pm 1\%$ allerdings als sehr gering einzustufen.

Tab. 10 Zusammenfassung der gewählten Modelle Schneider und Brachsen alle Zeitintervalle

		nsne = 1442				nbra = 721			
		1 h (BE_NB)	3 h (BE_NB)	6 h (BE_NB)	24 h (BE_NB)	1 h (BE_ZINB)	3 h (BE_ZINB)	6 h (BE_NB)	24 h (BE_NB)
Counts	tres_fe [°C]	–	–	–	–	1,73	1,75	1,75	1,62
	Qd [m³/s]	1,01	1,01	–	–	0,99	0,99	0,99	0,99
	Qf [hl/s]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Qls [%]	–	–	–	–	–	–	–	–
	Daylight [Y/N]	1,92	1,95	2,32	NA	0,47	0,46	0,52	NA
	Artlight [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
	Acoustic [Y/N]	NA	NA	NA	–	NA	NA	NA	–
GoF	logLik	–1281	–727	–509	–209	–1163	–734	–533	–273
	AIC	2570	1462	1032	425	2337	1479	1076	555
	BIC	2590	1478	1061	433	2366	1502	1096	569

Abb. 9 Whisker-Boxplots für die Schlüsselreize Licht und Akustik (rot = kein Reiz, türkis = Reiz)

3.5.3 Schneider und Brachsen: Residuen der Wassertemperatur und Tageslicht

Die Scheider scheinen keine Reaktion ihres Aufstiegsverhaltens bei Änderungen der Wassertemperatur zu zeigen, wobei hier die Begrenzung des Datensatzes auf den Herbst nochmals erwähnt sein soll, da hier die Schwankungen der Residuen der Wassertemperatur zum langjährigen Mittel deutlich geringer waren als im Frühjahr. Bei den Brachsen zeigt sich ein deutlich positiver Einfluss der Wassertemperatur auf das Einstiegsverhalten, und zwar unabhängig von Modell oder Zeitintervall. Tageslicht hat auf das Migrationsverhalten beider Arten, allerdings in gegensätzlicher Richtung, einen großen Einfluss. Die Schneider zeigen eine bimodale Reaktion von Tagesanbruch bis in den Vormittag hinein, sowie vom frühen Nachmittag bis in die frühen Abendstunden, mit den Höhepunkten von 07:00 bis 08:00 Uhr und 17:00 bis 18:00 Uhr. Die Brachsen zeigen eine ausgesprochene Nachtaktivität mit Beginn der Migrationen um etwa 17:00 Uhr und anhaltend hohen Frequenzen bis Mitternacht. Lediglich 18% der registrierten Brachsen wanderten von 07:00 bis 16:00 Uhr in den Fischeaufstieg ein. Dieses Ergebnis bei den Brachsen deckt sich mit Untersuchungen am Rhein und am Main (Molls 1997; Speierl 2007).

4 Resümee

Das vorliegende Ergebnis des Frühjahrs- und Herbstmonitorings 2019 an dem *enature®* Fishpass am Kraftwerksstandort Edling/Drau umfasst 2628 Datensätze mit insgesamt 18.105 registrierten Fischen. Die Einzeluntersuchungen zu Gilden, Familien und Arten decken bei den Gilden und Familien 99% aller aufgestiegenen Individuen ab, bei den Arten 94%. Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Aufstiegsraten und den hier alternierend gesetzten externen Reizen Akustik und Licht zeigen keinen Effekt dieser Variablen auf die Anzahl einwandernder Fische (Abb. 9). Dies gilt für den Reiz Licht und die Gesamtheit aller registrierten Fische auch dann, wenn der Datensatz auf die Daten ohne Tageslicht, d.h. ausschließlich auf die Nachtdaten reduziert wird.

Der Abfluss im Hauptgerinne der Drau gilt für die Gesamtheit aller aufgestiegenen Individuen nicht als signifikante Prädiktorvariable. Bei der Gilde der Rheophilen, der Familie der Perciden sowie den Arten Rotaugen, Brachse und Schneider ist, zumindest in einem Teil der Zeitintervalle, ein geringer Effekt von $\pm 1\%$ in Bezug zum Drauabfluss erkennbar. Die Resultate für den Abfluss im Fischeaufstieg sind vor allem bei den 1-h-Daten in vielen Modellen nicht plausibel und zwischen den Werten der Nullkomponente und der Zählkomponente der ZINB-Verteilungen widersprüchlich, was durch

das eingangs erwähnte Auftreten von Extremwerten bei Aufstiegszahlen pro Stunde, dem Dauabfluss und der Leitströmung sowie durch Kollinearitäten zwischen den Variablen erklärbar ist. Bei den 6-h- und 24-h-Daten ist bei keiner Gilde, Familie oder Art ein Effekt des Abflusses in der FAH auf das Einwandern der Fische erkennbar. Der Leitstromimpuls als dominante Größe für das Auffinden des Einstiegs von FAH vielfach zitiert und in mehreren Leitfäden mit expliziten Werten gefordert (Larinier 2002a; BMLFUW 2012), kommt in einem einzigen Modell, nämlich bei den 1-h-Daten der Rheophilen vor. Hier allerdings widersprechen sich die Faktoren der Nullkomponente und der Zählkomponente des Modells. Es konnte in dieser Studie somit kein signifikanter Einfluss der Leitströmung auf die Auffindbarkeit der FAH gefunden werden. Die Wassertemperatur, hier als Differenz der Temperatur im Einstiegsbereich der FAH zu einer Sinuskurve des langjährigen stündlichen Mittels der Drautemperatur, wird bei fast allen untersuchten Gruppen als relevante Einflussgröße erkannt. Dieses Ergebnis deckt sich mit vielen fischökologischen Untersuchungen weltweit. Einzig bei den Rheophilen sowie den Schneidern, mit einem auf den Herbst beschränkten Datensatz, scheint die Wassertemperatur keinen Einfluss auf die Anzahl der Migrationsbewegungen in die FAH zu haben. Tageslicht ist bei einem Großteil der untersuchten Gruppen ein wesentlicher Faktor für ihre Aktivität, was

durch die Literatur auch mannigfaltig belegt ist. Die Lauben sind die einzige Art, die hier indifferente Reaktionen zeigt. Durch die große Abundanz dieser Spezies hat dies klarerweise Folgen für die Resultate der Gesamtheit aller registrierten Fische, bei denen Tageslicht nur bei den 1-h-Daten als Einflussgröße aufscheint.

Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen der Studie ableiten, dass die anthropogen angebotenen zusätzlichen Schlüsselreize Licht und Akustik am Einstieg der FAH KW Edling keine Steigerung der Aufstiegsraten und somit keine Verbesserung der Auffindbarkeit bewirken. Da die Wassertemperatur als für fast alle untersuchten Arten, Familien und Gilden relevante Einflussgröße auf das Wanderverhalten erkannt wur-

de, ist diesem Parameter in Folgeuntersuchungen erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken.

Funding Open access funding provided by University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

BMLFUW (2005): EU-Water Framework Directive 2000/60/EG: Austrian report on the current situation of water bodies and rivers, Vienna.

BMLFUW (2012): Österreichischer Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 86 S.

Burnham, K. P., D.R. Anderson (2004): Multi-model Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods and Research*, 33 (2), S261–304.

Cameron, C., P.K. Trivedi (1998): Regression Analysis of Count Data. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 566 S.

Craig, J. F. (1987): The Biology of Perch and Related Fish. Croom Helm Ltd, Beckenham, Kent, UK, 333 S.

DWA-M 509 (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 334 S. ISBN 978-3-942964-91-3.

EU-WRRD 2000: EU Water Framework Directive (WFD). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy

Fan, J., R. Li (2001): Variable Selection via Nonconcave Penalized Likelihood and Its Oracle Properties. *Journal of the American Statistical Association*, 96 (456), S1348–1360.

Fehér, J., Gáspár, J., Szurdiné-Veres, K., Kiss, A., Kristensen, P., Peterlin, M., Globevnik, L., Kirn, T., Semerádová, S., Künitz, A., Stein, U., Austnes, K., Spiteri, C., Prins, T., Laukkonen, E., Heiskanen, A.-S. (2012): Hydromorphological alterations and pressures in European rivers, lakes, transitional and coastal waters. Thematic assessment for EEA Water 2012 Report. ETC/ICM Technical Report 2/2012, European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine Waters, Prague.

Gerhardt, P. (1912): Handbuch der Naturwissenschaften. Dritter Teil – Der Wasserbau. II. Band: Stauwerke. 1. Abteilung. Wehre und Fischwege. Bearbeitet von Th. Rehbock, K. E. Hilgard u. P. Gerhardt. Zweiter Abschnitt, IV. Kapitel: Die

Fischwege (Seite 454–517). 4., vermehrte Auflage Leipzig, Verlag Wilhelm Engelmann (1912).

Grünzinger, M., G. Haimerl (2012): Numerical Simulation Downstream Attraction Flow at Danube Weir Donauwörth. Published in the E-Book: 9th International Symposium on Ecohydraulics 2012 Proceedings. Editors: Helmut Mader & Julia Kraml. ISBN: 978-3-200-02862-3.

Kleiber, C., A. Zeileis (2016): Visualizing Count Data Regressions Using Rootograms. *American Statistician*, 70 (3), S296–303.

Kratzert, F. (2016): Entwicklung einer Software zur automatisierten Objekterkennung in videoüberwachten Fischaufstiegen. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien, 104 S.

Krebs, J. C. (1999): Ecological Methodology. 2. ed. Addison-Wesley Educational Publishers. Inc., California, 620 S.

Lambert, D. (1992): Zero-Inflated Poisson Regression, With an Application to Defects in Manufacturing. *Technometrics* 34 (1), S1–14.

Larinier, M. (2002a): Location of Fishways. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 364, S39–53.

Larinier, M. (2002b): Location of Fishways, S39–53. In Larinier, M., F. Travade, J. P. Porcher (2002): Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364 (Supplement).

Mader H., K. Bogner (2001): Lockströmung bei naturnahen Umgehungsgerinnen im Potamal. *Wasserwirtschaft* 91, S194–199.

Mader, H., J. Kraml, K. Lebedzinski, S. Käfer, P. Mayr (2013): Modelling and Monitoring Results of Fish Migration into Fish Passes vs. Attraction Flow. 10th International Symposium on Ecohydraulics, Trondheim (2013).

Molls, E. (1997): Populationsbiologie Der Fischearten Einer Niederrheinischen Auenlandschaft: Reproduktionserfolge, Lebenszyklen, Kurzstanzwanderungen. Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Köln, 184 S.

Nelder, J. A., R. W. M. Wedderburn (1972): Generalized Linear Models. *Journal of the Royal*

Statistical Society. Series A (General) 135 (3), S370–384.

Russakovsky, O., J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma, L. Fei-Fei (2015): ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *International Journal of Computer Vision*, 115(3), S211–252.

Schiemer, F., H. Waidbacher (1992): Strategies for Conservation of a Danubian Fish Fauna. River Conservation and Management, P. Boon, P. Calow, G. Petts, Wiley, London, S363–382.

Schwarz, G. (1978): Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics* 6 (2), S461–64.

Speierl, T. (2007): Fischökologische Funktionalität von Fließgewässerrenaturierungen Im Oberfränkischen Mainsystem. Dissertation an der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften, Universität Bayreuth, 324 S.

Thorncraft, G., J.H. Harris (2000): Fish Passage and fish Ways in New South Wales: A status report. *Cooperative Research Center of Freshwater Ecology*, Technical Report 1/2000, 32 S.

Tibshirani, R. (1996): Regression Shrinkage and Selection Via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 58 (1), S267–88.

Waidbacher, H., G. Haidvogel (1998): Fish Migration and Fish Passage Facilities in the Danube: Past and Present. Fish Migration and Fish Bypasses. M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss. Oxford – London – Berlin, Blackwell Sciences Ltd., S85–98

Zhang, C.H. (2010): Nearly Unbiased Variable Selection under Minimax Concave Penalty. *Annals of Statistics* 38 (2), S894–942.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.