

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Heynen, Martina; Schütz, Cornelia**

## **Belastbare fischökologische Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund großer natürlicher Variabilität**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110553>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heynen, Martina; Schütz, Cornelia (2021): Belastbare fischökologische Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund großer natürlicher Variabilität. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Die Variabilität natürlicher Prozesse – Eine Herausforderung bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen. 7. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen 18. und 19. November 2021 Onlineveranstaltung. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 59-67.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Belastbare fischökologische Untersuchungsergebnisse vor dem Hintergrund großer natürlicher Variabilität**

Dr. Martina Heynen, Bundesanstalt für Gewässerkunde

Dr. Cornelia Schütz, Bundesanstalt für Gewässerkunde

### **Einleitung**

Untersuchungen mit Fischen unterliegen potenziell immer dem Einfluss natürlicher oder anthropogen verursachter Variabilität. Biologische/ökologische Diversität wie z.B. Unterschiede in der Abundanz, der Größe oder dem Verhalten von Fischen wirken sich zwischen Fischarten oder zwischen Individuen einer Art aus. Hinzu kommen abiotische Einflussfaktoren wie z.B. Schwankungen der Temperatur, der Lichtintensität, Wasserstände und Abflüsse, die die Ergebnisse von Fischuntersuchungen auf unterschiedlichste Weise stark beeinflussen können.

Um vor diesem Hintergrund verlässliche fischökologische Ergebnisse zu generieren, müssen diese Einflüsse in der Versuchsplanung und -auswertung thematisiert werden. Variable Einflussgrößen können kontrolliert, reduziert oder statistisch beschrieben werden. Möglichkeiten dazu gibt es bereits in der Versuchsplanung, aber auch nachträglich, wenn die Ergebnisse ausgewertet und dargestellt werden. Dies gilt gleichermaßen für Labor- oder Felduntersuchungen, wobei vor allem bei Felduntersuchungen die Spannbreite potenzieller Einflussfaktoren enorm sein kann.

Grundsätzlich ist Variabilität aber kein Störfaktor. Als Beispiel können hier innerartliche Verhaltensunterschiede dienen, die einen positiven Effekt auf die Stabilität, Resilienz und das Fortbestehen einer Population haben (Wolf & Weissing 2012). Die natürliche ökologische Variabilität sollte deswegen auch bewusst einbezogen werden, um für die betrachtete Grundgesamtheit an Fischen repräsentative und übertragbare Ergebnisse zu erhalten.

Im Folgenden werden Beispiele aus Feld- und Laborarbeiten (Versuchsrinne) vorgestellt, die exemplarisch Möglichkeiten und Erfahrungen zum Umgang (kontrollieren, reduzieren, statistisch beschreiben und bewusst einbeziehen) mit biologischer und abiotischer Variabilität verdeutlichen.

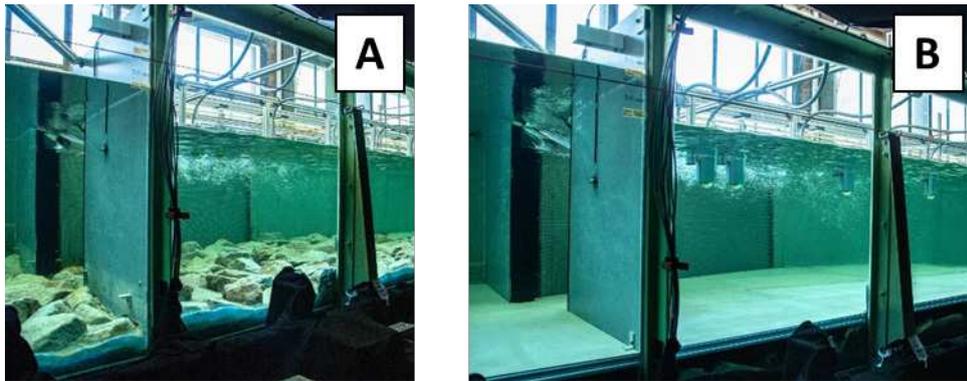
### **Beispiele aus Laborversuchen**

Ein entscheidender Vorteil der Laborarbeit besteht darin, dass die Variabilität der Umweltparameter weitgehend reduziert werden kann. Was hier vor allem beachtet und beim Untersuchungsdesign mit einbezogen werden muss, ist die Variabilität der untersuchten Fische in Ihren verschiedenen biologischen und physiologischen Eigenschaften, wie z.B. der Größe, der Schwimmleistung, dem Verhalten oder der Reaktion auf die Versuchssituation.

#### **Beispiel: Umgang mit Artvariabilität und variablen Umweltbedingungen**

Umgang mit Variabilität: *bewusst einbeziehen, kontrollieren, reduzieren*

Bereich: *Versuchsplanung*



*Bild 1: Modellaufbau des Rinnenversuches zum Einfluss von Sohlrauheit auf die Passierbarkeit von Einstiegen an Fischaufstiegsanlagen. Schlitzströmung (1,5 m/s) bei Szenario A mit Sohlrauheit und Szenario B mit glatter Sohle. (© BAW/BfG)*

Im vorgestellten Versuch wurde untersucht ob Sohlrauheit die Passagewahrscheinlichkeit von kleinen und schwimmschwachen Fischen im Vergleich zu einem Fischaufstiegsanlagen (FAA)-Einstieg mit glatter Sohle verbessert. Um zwischenartliche Diversität in der Reaktion auf die Sohlrauheit bewusst einzubeziehen, wurden die Versuche mit zwei Arten durchgeführt, den eher bodenorientierten Gründlingen (*Gobio gobio*) und eher freiwasserorientierte Rotaugen (*Rutilus rutilus*).

Zuchttiere unterliegen einer anthropogenen Selektion und wachsen in der Regel in z.B. hydraulisch und strukturell reizreicher Umgebung auf. Sie können ein verändertes Verhalten im Vergleich zu Wildtieren aufweisen (z.B. Huntingford 2004). Im Rauheitsversuch der BfG/BAW wurde daher mit Wildtieren gearbeitet.

Während der Versuchsdurchführung wurde darauf geachtet konstante Umweltbedingungen zu schaffen, um die abiotische Variabilität möglichst gering zu halten. Bei der Versuchsdurchführung wurden z.B. die Jalousien geschlossen und artifizielle Beleuchtung verwendet, um eine gleichbleibende Lichtintensität zu generieren.

### **Beispiel: Umgang mit Größenvariabilität, variablem Fischverhalten und sequenzieller Verzerrung**

Umgang mit Variabilität: *bewusst einbeziehen, kontrollieren, reduzieren, statistisch beschreiben*

Bereich: *Versuchsplanung, Versuchsdurchführung, Datenanalyse*

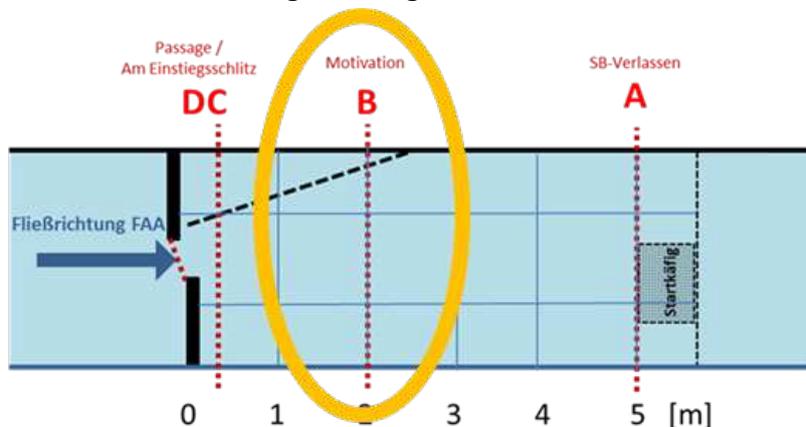


*Bild 2: Schlitzströmung bei Szenario 0,8 m/s (links), 1,2 m/s (Mitte links), 1,5 m/s (Mitte rechts) und 1,8 m/s (rechts) im modellierten Einstiegsschlitz des ethohydraulischen Versuches zur Passierbarkeit von FAA-Einstiegen bei verschiedenen Bemessungsgeschwindigkeiten (© BAW/BfG)*

Am Beispiel eines Rinnenversuchs zur Passierbarkeit des Einstiegs in einer FAA bei vier verschiedenen Bemessungsgeschwindigkeiten (0,8 m/s, 1,2 m/s, 1,5 m/s und 1,8 m/s) lassen sich verschiedene Aspekte von Variabilität erläutern.

Tiere innerhalb einer Art variieren in Alter und Größe, aber nicht für jede Fragestellung ist das gesamte Populationsspektrum relevant. Fischlänge und Schwimmleistung sind in der Regel positiv miteinander korreliert (z.B. Katopodis, C. und Gervais, R. 2016), daher wurden für diesen Versuch nur kleine adulte und juvenile Tiere gewählt. Zusätzlich wurde die Fischgrößenverteilung im Versuch geplant, mit dem Ziel eine gleiche mittlere Fischgröße und Größenverteilung über alle Testszenarien zu realisieren um eine artifizielle Ergebnisverzerrung zu vermeiden. Die Größe der getesteten Tiere wurde im Versuch protokolliert und bei der Auswertung als Covariate in das statistische Modell einbezogen.

Tiere innerhalb einer Art variieren auch im Verhalten und der Migrationsmotivation. Im betrachteten Versuch scheint es unsicher, ob Tiere, welche den Schlitz nicht lokalisieren, auf die im Schlitz herrschende Bemessungsgeschwindigkeit reagieren. Daher wurde diese potenzielle Quelle von Variabilität reduziert, indem die Motivation bei der Versuchsdurchführung kontrolliert wurde: Die Tiere wurden in den Startbereich gesetzt. Nach 5-minütiger Eingewöhnungszeit wurde der Versuch gestartet. Ab Versuchsstart hatten die Tiere 45 Minuten zum Überschwimmen der Motivations-Linie B (Bild 3). Gelang dies dem Tier nicht, wurde es als „unmotiviert“ definiert. Nur motivierte Tiere wurden als „gültige Versuchstiere“ für die untersuchte Fragestellung gewertet und in die Datenauswertung einbezogen.



**Bild 3:** Skizze in Draufsicht des Versuchsbereiches der Rinnenversuche zur Passierbarkeit von FAA-Einstiegen bei verschiedenen Bemessungsgeschwindigkeiten. Der blaue Pfeil symbolisiert die Fließrichtung aus dem FAA-Einstieg in das Unterwasser. Meterangaben beziehen sich auf den Abstand vom Einstiegsschlitz zum Startbereich in welchem die Fische eingesetzt werden. Die Motivationslinie B (gelb umrandet) befindet sich 2 m unterstrom des FAA-Einstiegs.

Auch der Zeitpunkt der Versuchsdurchführung im Tagesverlauf kann ein Einflussparameter sein. Um eine artifizielle Ergebnisverzerrung zu vermeiden, sollten daher alle Testszenarien gleichmäßig über den Tagesverlauf verteilt sein. Alle vier Testszenarien wurden deswegen im regelmäßigen Wechsel und mit tägl. wechselnden Reihenfolgen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Tageszeitpunkt der Versuchsdurchführung protokolliert und bei der Auswertung als Covariate in das

statistische Modell einbezogen. Der Effekt der "tageszeitlichen Versuchsdurchführung" war signifikant (der Erfolg der Tiere war vormittags etwas höher als nachmittags), seine Stärke betrug allerdings lediglich  $< 0,5\%$  des Haupteffektes Bemessungsgeschwindigkeit (Heynen et al., in prep.). Generell können solche Einflüsse bei der statistischen Auswertung quantifiziert und (im besten Fall) berücksichtigt werden. Mindestens müssen sie transparent dargestellt, diskutiert und eingeordnet werden.

### Beispiele aus Freilandversuchen

Im Freiland ist mit einer Vielzahl variabler Einflussfaktoren zu rechnen. Dies kann die Versuchsdurchführung und -auswertung erheblich erschweren. Bereits in der Versuchsplanung sollten solche Faktoren daher identifiziert und berücksichtigt werden. Wo möglich sollten variable Einflüsse (technisch) kontrolliert und reduziert werden. Wo nicht möglich, sollten sie im Untersuchungsdesign berücksichtigt und bei der Stichprobenplanung einbezogen werden. Häufig wird es notwendig sein, nach der Versuchsdurchführung den Datensatz zu bereinigen und damit entsprechend zu beschränken.

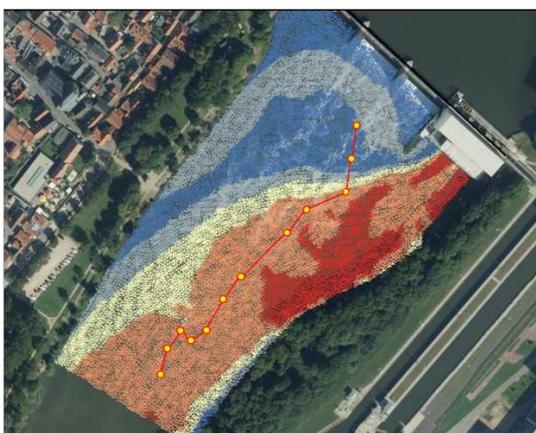
#### Beispiel: Umgang mit variabler Durchfluss-Steuerung

Umgang mit Variabilität: *reduzieren*

Bereich: *Datenauswertung*

Am Standort Eddersheim/Main wurde eine umfangreiche Telemetriestudie durchgeführt, unter anderem um herauszufinden, woran sich Fische bei der Aufwärtswanderung orientieren. Im Fokus war dabei das Unterwasser des Querbauwerkes und der Einfluss hydraulischer Parameter. Um die mit akustischer Telemetrie erzeugten 3D-Fishtracks mit hydraulischen Informationen zu hinterlegen, wurde ein hydraulisch-numerisches Modell des Unterwassers erzeugt. Hierfür waren als Eingangsdaten festgelegte Durchflussmengen an den sechs Standortkomponenten (3 Wehrfelder, 3 Turbinen) notwendig. Abhängig von Wasserstandsschwankungen und der Steuerung des Stauziels am Main gibt es jedoch in der Realität eine sehr große Anzahl unterschiedlicher Durchflusskombinationen (Szenarien), die für die 3D-Fishtracks sehr unterschiedliche hydraulische Signale liefern würden (Bild 4).

Q110: Abfluss durch zwei Turbinen



Q100: Abfluss über Wehrfeld



Bild 4: Beispiel zweier Durchfluss-Szenarien, unter dem jeweils gleichen Fishtrack (hinterlegtes Foto: DLZ des Bundes für Geoinformation und Geodäsie)

Um die Variabilität des Datensatzes in den Griff zu bekommen, mussten in diesem Beispiel die Daten reduziert werden. Es wurde das Durchfluss-Szenario ermittelt, das mit einer gewissen Bandbreite einen möglichst großen Anteil der erhaltenen 3D-Fishtracks mit validen Daten versorgen kann. Während dieses Szenarios (nur Turbine 2 und 3 laufen jeweils mit  $50\text{m}^3 \pm 20\%$ ) wurden etwa 15 % aller 3D-Fishtracks aufgezeichnet. Die notwendige Reduzierung der Variabilität führte hier zu einer erheblichen Reduzierung des verwendbaren Datensatzes.

### Beispiel: Umgang mit Wasserstandsschwankungen

Umgang mit Variabilität: *kontrollieren, reduzieren, statistisch beschreiben*

Bereich: *technische Versuchsplanung, Datenanalyse*

An mehreren Pilotstandorten des Forschungskonzeptes "Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für Fische an den Staustufen der Bundeswasserstraßen" (BfG & BAW 2017) sind Untersuchungen dazu geplant, wie unterschiedlich lange Leitströmungen die Auffindbarkeit beeinflussen. Hierfür wurde mit Hilfe numerischer Modellierungen standortspezifisch ermittelt, mit welcher Kombination aus Durchfluss und Einstiegsgeometrie die jeweils zu untersuchende Leitströmungslänge eingestellt werden kann. Schwankende Wasserstände werden die Leitströmung allerdings beeinflussen, so dass diese länger werden kann (bei fallenden Wasserständen) oder kürzer (bei steigenden Wasserständen). Da diese Schwankungen sehr prominent sein können (Bild 5) muss ihr Einfluss auf die Leitströmung kontrolliert werden.

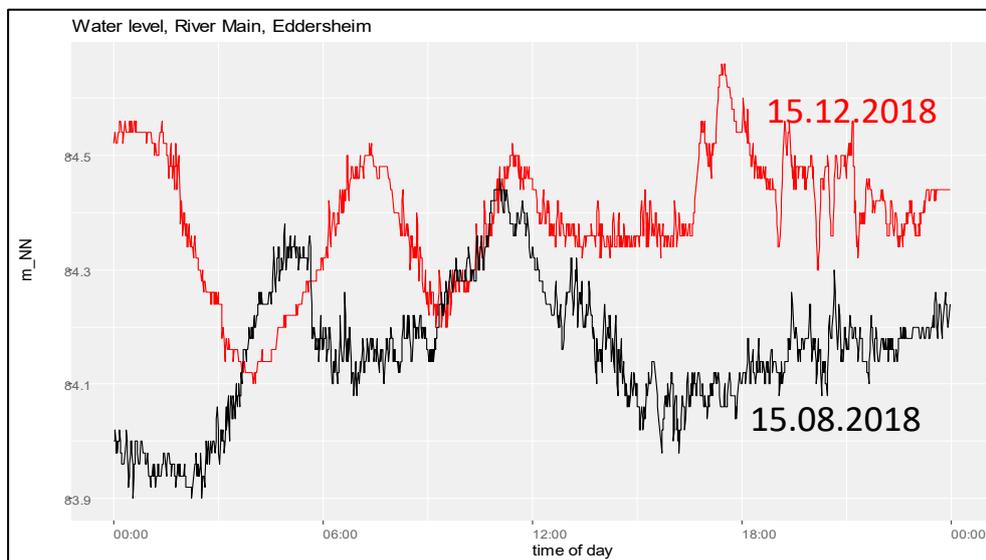


Bild 5: *Beispiele für Pegelschwankungen im Tagesverlauf im Unterwasser vom Standort Eddersheim/Main; rote Kurve = Dezember 2018, schwarze Kurve = August 2018*

Hierzu wird eine Dotation oberhalb des Einstiegs eingeplant, die abhängig von den Wasserständen geregelt wird und die Leitströmungslänge stabilisiert. Es wird dennoch eine Restvariabilität der Leitströmung verbleiben, da abhängig von Regelungsschritten, Fahrzeiten der Regelorgane und entsprechender Verzögerungen nicht in Echtzeit sekundengenau die Wasserstände nachgeregelt werden kann. Kritisch wird diese Restvariabilität dann, wenn sich dadurch zwei zu untersuchende Leitströmungslängen überlappen. Dies könnte passieren, wenn eine kurze

Leitströmung aufgrund eines fallenden Wasserstandes tendenziell länger wird und eine lange Leitströmung aufgrund steigender Wasserstände tendenziell eher zu kurz ist. Die Regelmöglichkeiten müssen so weit ausgenutzt werden, dass eine solche Überlappung, die den untersuchten Effekt auf die Auffindbarkeit reduzieren würde, möglichst selten vorkommt. Die dennoch verbleibende Variabilität muss dokumentiert und in der Datenauswertung, beispielsweise als Covariate, mitberücksichtigt werden.

### Beispiel: Umgang mit variablem Fischverhalten bei Auffindbarkeitsuntersuchungen

Umgang mit Variabilität: *reduzieren*

Bereich: *technische Versuchsplanung*

Bei Untersuchungen zur Auffindbarkeit von FAA wird empfohlen telemetrische Methoden einzusetzen (Washburn & Hateley 2018). Diese haben den Vorteil, dass man eine definierte Anzahl an Fischen einsetzen und nachverfolgen kann, ob und wann diese die Fischaufstiegsanlage finden. Unter anderem lassen sich daraus Auffindbarkeitsraten errechnen. Allerdings muss dabei darauf geachtet werden, dass die korrekte Fischanzahl bei dieser Kalkulation im Nenner steht. Nicht alle Fische, die besendert und ausgesetzt werden, dürfen dort mitgezählt werden, denn Fische, die nicht motiviert sind aufzuwandern, können keine Information zur Auffindbarkeit liefern. Um motivierte Fische (= Fische, die zügig aufwandern) zu identifizieren, müssen entsprechende "Motivationslinien" im Aufbau der Telemetriestudie berücksichtigt werden. Erst wenn ein Fisch innerhalb eines vorab definierten maximalen Zeitraums über zwei aufeinanderfolgende Linien unterhalb des Querbauwerks detektiert wird, gilt er als aufwanderwillig und als Teil der Stichprobe (Bild 6). Bei einer Radiotelemetriestudie in Malliß (Müritz-Elde-Wasserstraße) konnten von 150 besenderten Fischen 147 Fische nach Überqueren der Motivationslinien als gültig eingestuft werden.

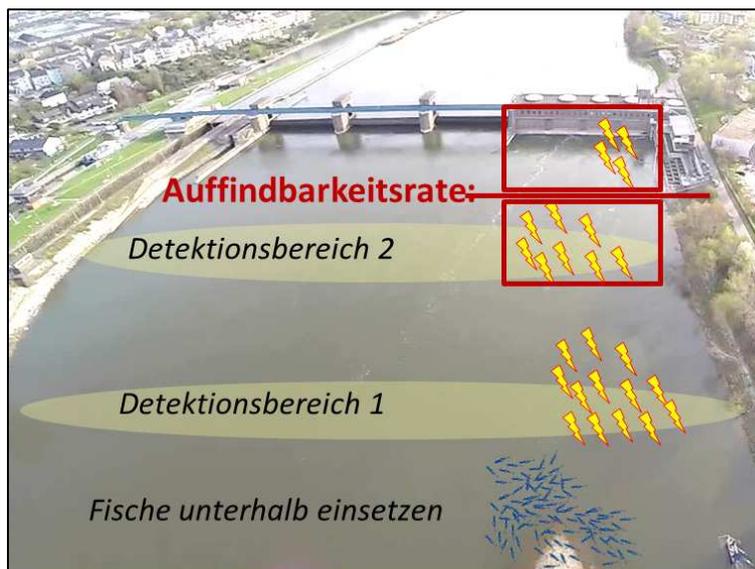


Bild 6: Schematische Darstellung von Motivationslinien und deren Bedeutung für die Ermittlung der Auffindbarkeitsrate (Foto: GFGmbH, Mainz). Die Blitze symbolisieren die Anzahl der im jeweiligen Bereich redetektierten Fische.

Nicht alle Telemetrie-Techniken können solche flussüberspannenden Motivationsbereiche technisch abdecken. Pit-tag Telemetrie ist hierfür ungeeignet (Ausnahme: sehr flache Gewässer). Bei Radiotelemetrie oder akustischer Telemetrie und sehr breiten Flüssen kann es aus technischen Gründen notwendig werden, sich nur auf die Flusshälfte zu konzentrieren, an der die FAA liegt. Auch dann kann man eine korrekte Stichprobe identifizieren, man wird aber die Fische verlieren, die auf der gegenüberliegenden Flusseite anschwimmen.

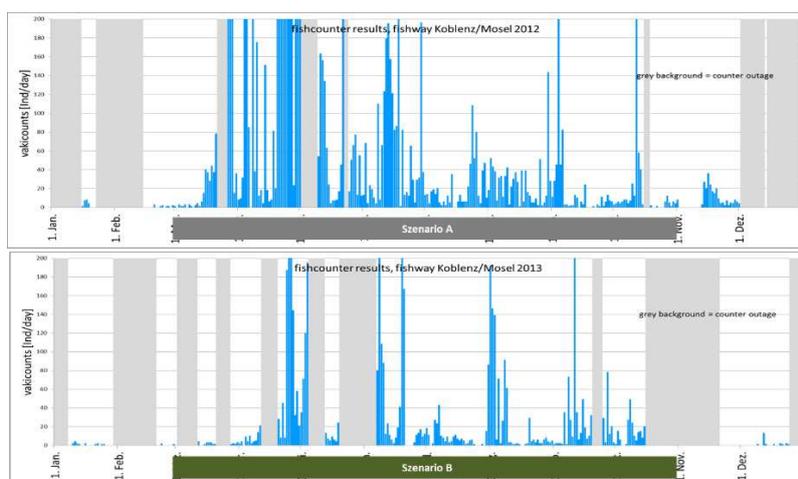
### **Beispiel: Untersuchungsdesign und Stichprobengröße bei Auffindbarkeitsuntersuchungen**

Umgang mit Variabilität: *bewusst einbeziehen, statistisch berücksichtigen*

Bereich: *Versuchsplanung (Untersuchungsdesign und Stichprobenermittlung)*

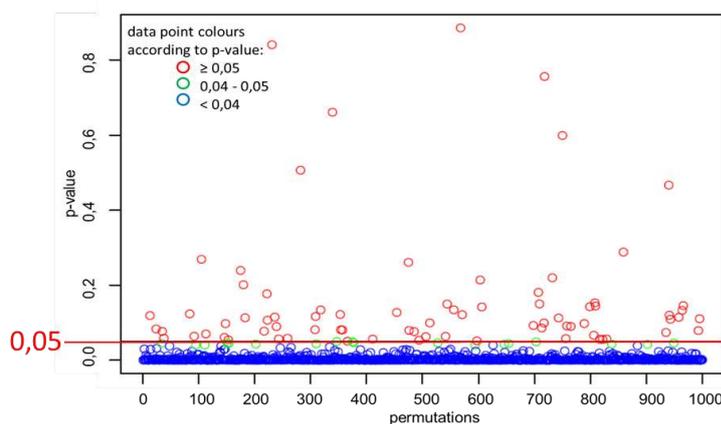
Dieses Beispiel nimmt erneut Bezug auf die bereits oben genannten Untersuchungen an den Pilotstandorten des Forschungskonzeptes zur ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen. Bei den geplanten Untersuchungen zur Leitströmung, aber auch zu verschiedenen Einstiegs kombinationen (multiple Einstiege in die FAA) soll es grundsätzlich darum gehen, die Auswirkung verschiedener Szenarien (beispielsweise lange vs. kurze Leitströmung, oder 1 Einstieg vs. 2 Einstiege) auf die Anzahl einsteigender Fische zu untersuchen. Die natürliche Variabilität soll hier bewusst einbezogen werden, indem die natürlicherweise aufsteigenden Fische bei ihrem Einstieg in die FAA mit Videozählung oder Reuse erfasst werden. Da bereits u.a. von Fischzählungen mit dem Videozähler der BfG an der Mosel (Standort Koblenz, BfG 2014, 2017) bekannt ist, dass die Zahl aufsteigender Fische stark schwanken kann, war in diesem Beispiel die Herausforderung, ein Untersuchungsdesign zu entwerfen, das diese Schwankungen bestmöglich berücksichtigt und auf dieser Grundlage die notwendige Stichprobenzahl zu ermitteln.

Für den Ablauf der Untersuchungen wurden daher tageweise wechselnde Szenarien vorgesehen. Längere Untersuchungszeiten je Szenarien würden dazu führen, dass der natürliche Unterschied zwischen den Zeiträumen die Effekte der untersuchten Szenarien überlagert und maskiert (Bild 7). Kürzere Abstände <24h würden wiederum neue Variabilität hervorrufen (diurnale Wandervorlieben).



**Bild 7:** *Beispiel für den Einfluss der Untersuchungszeiträume: Grafiken stellen die Tagessummen aufsteigender Fische an der FAA Mosel/Koblenz dar; y-Achse ist bei 200 Individuen gekappt; obere Darstellung 2012, untere Darstellung 2013; mit Szenario A und B wird angedeutet, dass die großen natürlichen Unterschiede zwischen den Jahren einen möglichen Effekt von Szenarien komplett maskieren würde*

Im gewählten Untersuchungsdesign werden zwei aufeinanderfolgende Tage als verbundener Stichprobenblock definiert, in dem jedes Szenario einmal 24h lang betrieben wird (in zufällig wechselnder Abfolge). Getestet werden Unterschiede in der Anzahl aufsteigender Fische zwischen den Szenarien A und B mit dem Wilcoxon signed rank Test. Anhand dieses Untersuchungsdesigns wurde die notwendige Stichprobengröße anhand einer Datensimulation ermittelt (Dorrmann & Kühn 2011). Als Grundlage dienten Daten des Videozählers der BfG an der Mosel in Koblenz (2012 bis 2014). Mit diesen Daten konnten 282 Stichprobenblöcke simuliert werden, wobei jeweils der Tagesaufstieg bei Szenario A im Original beibehalten und bei Szenario B ein "positiver Effekt" in Form einer prozentualen Steigerung des Tagesaufstiegs hinzugerechnet wurde. Je Effekt (von 0 bis 180 %) wurde eine solche Simulation 1000 mal gerechnet und die p-Werte für den Unterschied zwischen A und B ermittelt. Bei jeder Berechnung wurde die Abfolge A und B je Untersuchungsblock neu zufällig ausgewählt. Auf diese Weise wurde die Variabilität der Tagesfänge aufgegriffen, da die Tage mit simuliertem Effekt (Szenario B) jeweils andere waren. Entsprechend variabel fiel auch die Verteilung der p-Werte aus (Bild 8; Beispiel für 1000 Berechnungen mit 40% Effekt).



**Bild 8:** *Beispiel für die Variabilität der ermittelten p-Werte bei einem simulierten Effekt von 40 % mehr Fischen; bei Simulationen mit p-Werten oberhalb der roten Linie ( $>0,05$ ) wäre der Effekt nicht als solcher erkannt worden (falsch negative Entscheidung)*

Die Simulation ergab, dass wir mindestens 150 Stichprobenblöcke benötigen, um einen 50 % igen Effekt nachweisen zu können, wenn wir den  $\alpha$ -Fehler auf  $p < 0,05$  festlegen (5 % Risiko einen Effekt festzustellen obwohl es keinen gibt) und den  $\beta$ -Fehler auf max. 2,5 % (Risiko, einen vorhandenen Effekt nicht festzustellen).

Unter der Annahme, dass aus einem Jahr einer solchen Untersuchung etwa 100 "nutzbare" Blöcke resultieren, muss man realistischerweise 1,5 Jahre Untersuchungsdauer ansetzen um vor dem Hintergrund der natürlichen Variabilität zwei solche Szenarien statistisch valide miteinander vergleichen zu können.

## Literatur

- BfG & BAW (2017): Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für Fische an den Staustufen der Bundeswasserstraßen - Rahmenkonzept für Forschung und Entwicklung. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz und Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.
- BfG (2014): BfG registrierte an Fischaufstiegsanlage Koblenz 30.000 Fische. Pressemitteilung. [https://www.bafg.de/DE/Service/presse/2014\\_04\\_08.html?nn=168662](https://www.bafg.de/DE/Service/presse/2014_04_08.html?nn=168662)
- BfG (2017): BfG registriert an Fischaufstiegsanlage Koblenz über 230.000 Fische. Pressemitteilung. [https://www.bafg.de/DE/Service/presse/2017\\_04\\_07.html?nn=168662](https://www.bafg.de/DE/Service/presse/2017_04_07.html?nn=168662)
- Dormann, C.F., and Kühn, I. (2011): Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ, [https://www.ufz.de/export/data/1/22396\\_deutschstatswork\\_23022011.pdf](https://www.ufz.de/export/data/1/22396_deutschstatswork_23022011.pdf). p. 245.
- Heynen, M.; Czerny, R.; Herbst, M.; Henning, M.; Pitsch, M. (in Prep.): Passage through a fishway entrance at different velocities - results from flume experiments with small non-salmonids
- Huntingford, F.A. (2004): Implications of domestication and rearing conditions for the behaviour of cultivated fishes. *Journal of Fish Biology* Vol. 65 pp.122–142
- Katopodis, C. and Gervais, R. (2016): Fish swimming performance database and analyses. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/002. vi + 550 p.
- Washburn, E., and Hateley, J. (2018): Guidance for assessing the efficiency and related metrics of fish passage solutions using telemetry. In 6. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen am 6./7. Juni 2018 in Koblenz Koblenz, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, pp. 54-59.
- Wolf, M., and Weissing, F. (2012): Animal personalities: consequences for ecology and evolution. *Trends Ecol Evol* Vol. 27, No. 8, pp. 452-461