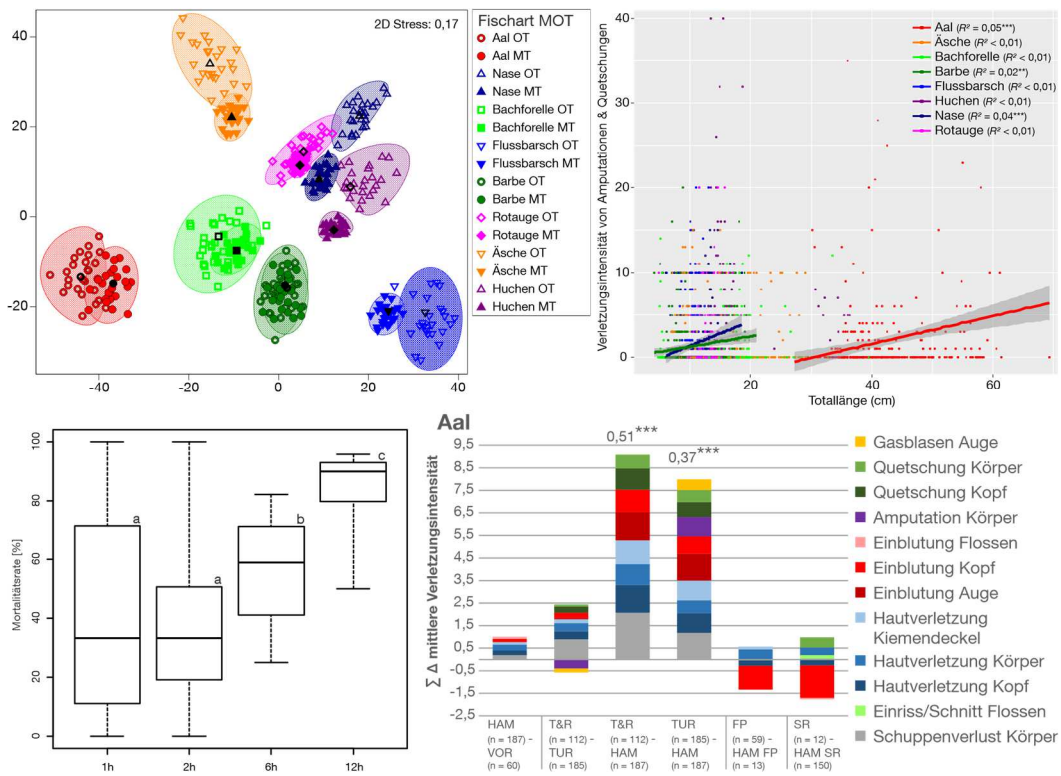


LEHRSTUHL FÜR AQUATISCHE SYSTEMBIOLOGIE
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
 WISSENSCHAFTSZENTRUM WEIHENSTEPHAN

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Anlage zum Abschlussbericht 2020
 Erläuterung der Ergebnisdarstellungen in Abbildungs- und Tabellenform



Dr. Melanie Mueller, M.Sc. Josef Knott, Prof. Dr. Jürgen Geist

30. JUNI 2020

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Vorwort	1
1. Säulen-, Stapel-, Linien-, Punkt- und Streudiagramme	1
1.1. Säulendiagramm	1
1.2. Stapeldiagramm	2
1.3. Liniendiagramm	8
1.4. Punktdiagramm	9
1.5. Streudiagramm	10
2. Box-Whisker Plots	12
3. Ordinationsverfahren zur Darstellung multivariater Datensätze	14
3.1. Nicht-metrische und metrische multidimensionale Skalierung (NMDS und MDS) ..	14
4. Tabellen	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Artspezifische Längen-Häufigkeitsverteilung aller in der Regnitz, im Kraftwerkskanal und in den beiden Fischpässen gefangenen Barben, Hasel, Nasen, Aitel, Gründlinge und Schwarzmundgrundeln	2
Abbildung 2 Gesamtanzahl und Artenzusammensetzung der gefangenen Fische in den verschiedenen Abstiegskorridoren Turbine, Spülrinne und Fischpass während der Beprobung des natürlichen Fischabstieges im Frühjahr und Herbst 2015	3
Abbildung 3 Prozentualer Anteil der nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 bis 5 der vier Versuchsfischarten bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Baiersdorf.....	4
Abbildung 4 Aufsummierte Differenz der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien zur Unähnlichkeit zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage aufgetrennt nach den vier getesteten Fischarten am Standort Baiersdorf.	6
Abbildung 5 Aufsummierte Differenz der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen für die Fischart Aal am Standort Baiersdorf.....	7
Abbildung 6 Beispiel eines typischen Druck- und Beschleunigungsprofils, das mit dem Sensorfisch bei der Passage der Wasserkraftschnecke während niedriger Turbinenlast gemessen wurde.....	8
Abbildung 7 Zusammensetzung der Fischarten beim natürlichen Fischabstieg aufgeschlüsselt nach den einzelnen Untersuchungstagen im Frühjahr und Herbst 2016	9
Abbildung 8 Fischartenspezifische Mortalitätsraten in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen und zusammengefasst für die Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Turbine nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen bei niedriger und hoher Turbinenlast am Standort Au/Iller	10
Abbildung 9 Lineare Regression der kumulativen Verletzungsintensität von Amputationen und Quetschungen am Körper nach der Turbinenpassage in Abhängigkeit von der Totallänge der acht untersuchten Fischarten am Standort Eixendorf.....	11
Abbildung 10 Box-Whisker Plot der Mortalitätsrate der gefangenen Fische des natürlichen Fischabstieges nach der Turbinenpassage im Frühjahr und Herbst 2015 für die unterschiedlichen Leerungsintervalle	13
Abbildung 11 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung der äußeren Verletzungsmuster am Standort Au/Iller unterteilt nach Fischarten und den verschiedenen Versuchsgruppen ..	15

Abbildung 12 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) im Ober- und Unterwasser an den untersuchten Wasserkraft-Standorten17

Abbildung 13 Metrische multidimensionale Skalierung basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch am Standort Au/Iller unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der in den verschiedenen Abstiegskorridoren und Versuchsgruppen ermittelten Mortalitätsraten unmittelbar nach dem Fang und nach 96 h in der Hälterung der Fischarten Aal, Nase, Flussbarsch und Bachforelle.....21

Vorwort

Das hier vorliegende Statistikglossar soll dazu dienen, die verschiedenen Abbildungstypen und Tabellentypen, die im Bericht zum Projekt „Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen“ zur Darstellung der Ergebnisse Verwendung finden, zu erläutern. Ziel ist es, die Form der Darstellung sowie die Bedeutung der dargestellten Elemente zu erklären und anhand von charakteristischen Beispielabbildungen darzulegen, wie der jeweilige Abbildungstyp interpretiert werden kann. Ferner werden die Grenzen der Interpretation aufgezeigt. Die den Abbildungen zugrunde liegenden statistischen Analysen und Berechnungen werden, soweit für das Verständnis der Darstellung notwendig, ebenfalls kurz erläutert. Dieses Glossar beinhaltet allerdings keine ausführliche Aufbereitung aller im Projekt verwendeten statistischen Testverfahren, sondern ist auf die Erläuterung aller relevanten Abbildungs- und Tabellentypen inklusive der direkt daran gekoppelten statistischen Methoden begrenzt. Eine weiterführende Beschreibung aller Testverfahren findet sich im Band 1 „Hintergrund & Methoden“ des Projektberichts.

1. Säulen-, Stapel-, Linien-, Punkt- und Streudiagramme

1.1. Säulendiagramm

Ein Säulendiagramm ist ein Diagramm, das durch auf der x-Achse senkrecht stehende Säulen (Rechtecke mit bedeutungsloser Breite) die Häufigkeitsverteilung einer Variablen veranschaulicht. Auf der x-Achse sind dabei die verschiedenen Kategorien aufgetragen, für die die auf der y-Achse aufgetragenen Häufigkeiten gemessen wurden. Im vorliegenden Bericht wurden Säulendiagramme z.B. zur Darstellung der Längenhäufigkeitsverteilung verschiedener Fischarten verwendet (Abbildung 1). Dabei werden die verschiedenen Größenklassen als Balken dargestellt, deren Höhe entweder die Individuenzahl oder den prozentualen Anteil am Gesamtfang darstellt. Die Säulen können dabei gruppiert nach verschiedenen Versuchsgruppen oder Habitaten (z.B. Regnitz, Kraftwerkskanal und Fischpässe in Abbildung 1) angeordnet sein.

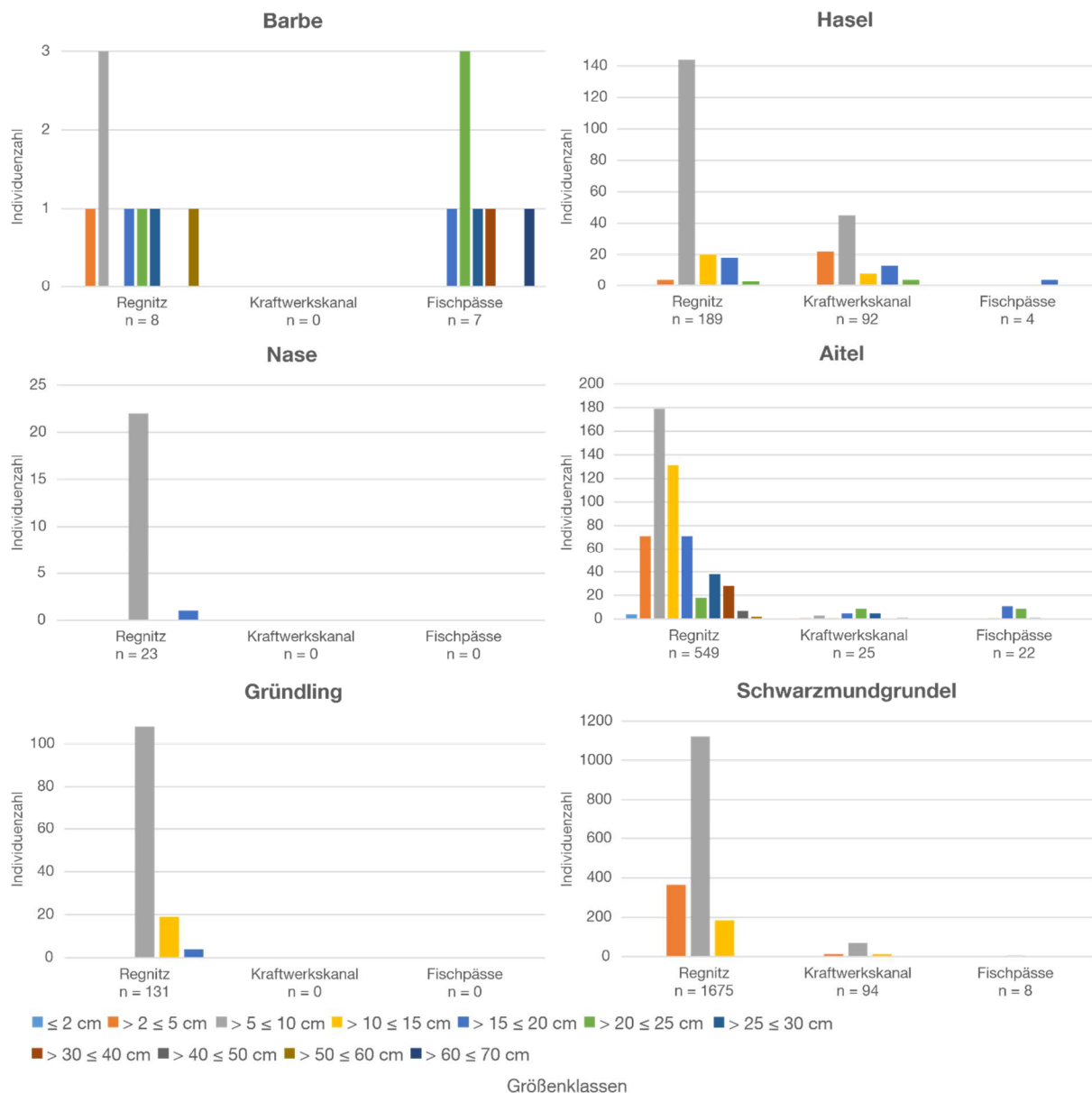


Abbildung 1 Artspezifische Längen-Häufigkeitsverteilung aller in der Regnitz, im Kraftwerkskanal und in den beiden Fischpässen gefangenen Barben, Hasel, Nasen, Aitel, Gründlinge und Schwarzmundgrundeln; die Länge der farbigen Säulen repräsentiert die Anzahl an Individuen der entsprechenden Größenklasse, man beachte die jeweilige Skala; die Einteilung der Größenklassen erfolgte gemäß Wasserrahmenrichtlinie, n = Gesamtindividuenzahl der Art im entsprechenden Bereich.

1.2. Stapeldiagramm

Stapeldiagramme stellen absolute oder relative Häufigkeiten in einer Rechtecksäule dar. Die jeweiligen Häufigkeiten der einzelnen Kategorien, wie z.B. Fischarten (Abbildung 2), werden demnach als unterschiedlich große Flächen proportional zu deren Häufigkeit dargestellt. Die Gesamtgröße der Säule kann dabei die Summe der absoluten Häufigkeiten (Abbildung 2), oder bei einer Darstellung von relativen Häufigkeiten (Prozentangaben) 100% widerspiegeln

(z.B. Abbildung 3). Stapeldiagramme wurden im vorliegenden Bericht in verschiedenen Zusammenhängen verwendet. Sie dienen beispielsweise zur Darstellung des in verschiedenen Abstiegskorridoren gefangenen Fischartenspektrums (Abbildung 2) bei der Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs im Projektteil A, wobei die Individuenzahl der einzelnen Arten aus allen Leerungen für die verschiedenen Korridore jeweils kumulativ aufgetragen wird und die Höhe des Balkens die Gesamtindividuenzahl über alle Arten anzeigt. Die Prozentwerte über den Balken zeigen dabei an, wieviel Prozent der Fische den jeweiligen Abstiegskorridor genutzt haben.

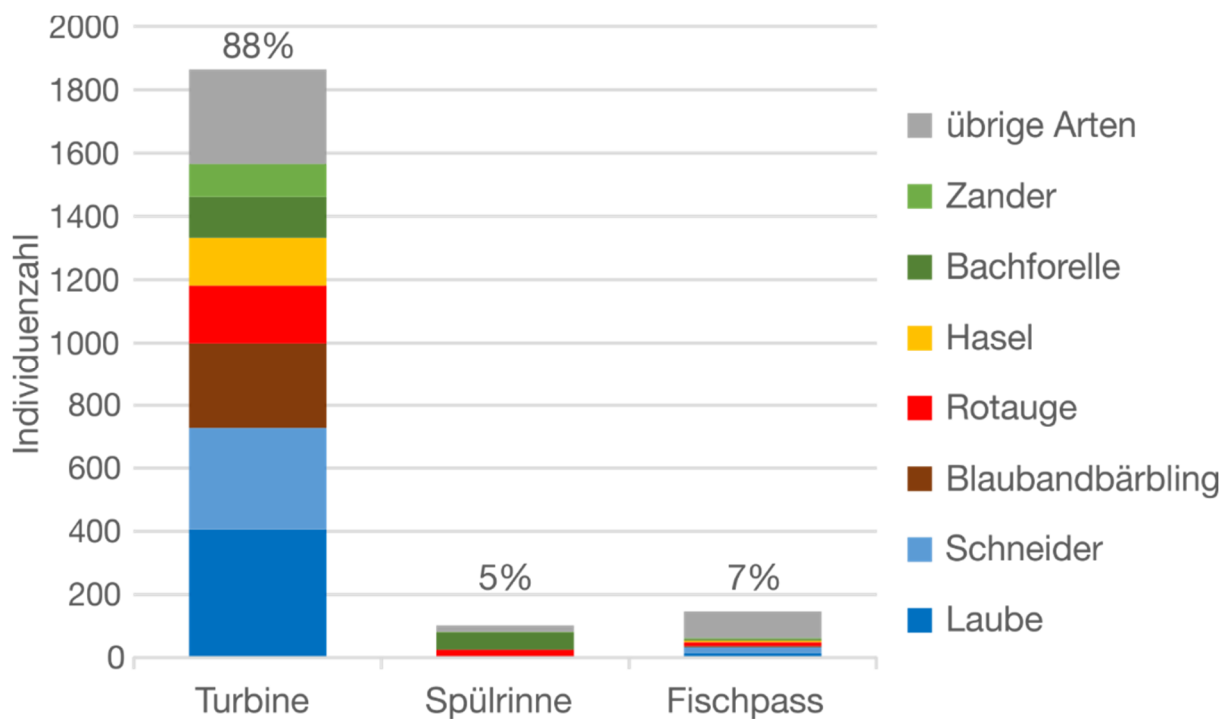


Abbildung 2 Gesamtanzahl und Artenzusammensetzung der gefangenen Fische in den verschiedenen Abstiegskorridoren Turbine, Spülrinne und Fischpass während der Beprobung des natürlichen Fischabstieges im Frühjahr und Herbst 2015. Dargestellt sind die sieben häufigsten Arten und zusammengefasst alle übrigen Arten.

Weiterhin wurde im Projektteil A der prozentuale Anteil an Individuen der Fischarten aus den standardisierten Fischzugaben mit den verschiedenen Vitalitätsstufen 0, 1, 3, und 5 als Stapeldiagramm dargestellt (Abbildung 3). Die Vitalitätsstufe 5 (dargestellt in rot) bedeutet hier eine maximale Auswirkung auf die Vitalität (= maximaler Vitalitätsverlust) und stellt daher die toten und nicht überlebensfähigen Individuen dar (entspricht den Vitalitätsstufen 0 und 1 bei der Freilandhebung). Unterschiedliche Kleinbuchstaben oberhalb der Stapelbalken symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Fischpass, Spülrinne). Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen)

der einzelnen Fangeinrichtungen. Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet.

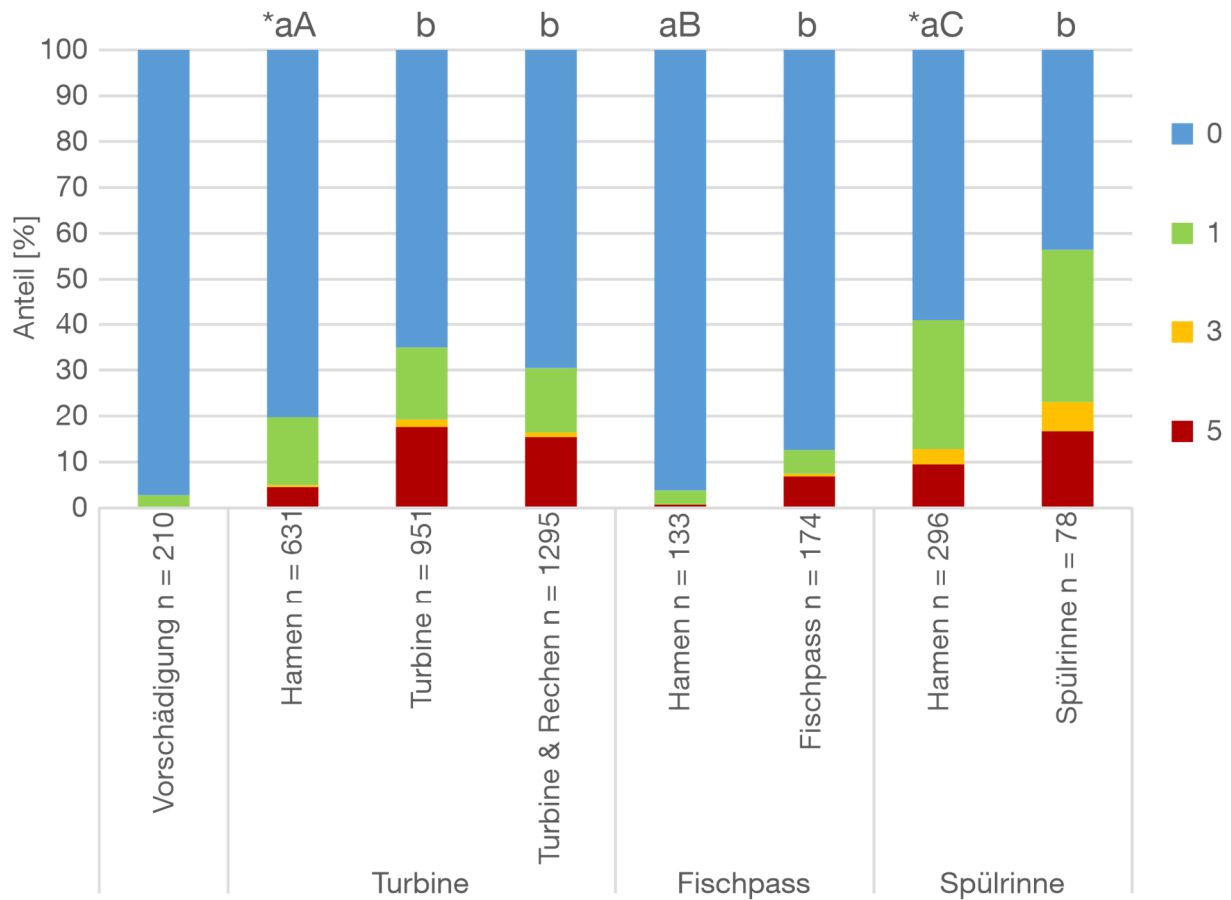


Abbildung 3 Prozentualer Anteil der unmittelbar nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 (= vollkommen vital) bis 5 (= tot; siehe Band 1) der vier Versuchsfischarten bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Baidersdorf, aufgetrennt in die verschiedenen Abstiegskorridore (Turbine, Fischpass, Spülrinne) und unterschiedlichen Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine (Fisch hat nur Turbine passiert) und Turbine & Rechen (Fisch hat Turbine und Rechen passiert). Die unterschiedlichen Farben im Stapelbalken symbolisieren die Vitalitätsstufen (rot = 5, orange = 3, grün = 1, hellblau = 0). Unterschiedliche Kleinbuchstaben oberhalb der Stapelbalken symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test) zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Fischpass, Spülrinne). Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen. Signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet. n = Individuenzahl.

Zur Darstellung der Ergebnisse der SIMPER-Analyse (siehe Band 1, Kapitel 6.12.3) wurden sowohl in Projektteil A als auch in Projektteil B Stapeldiagramme verwendet. In Projektteil A zeigen die Ergebnisse der SIMPER Analyse an, welche Verletzungen in einer bestimmten Versuchsgruppe besonders stetig vorkamen und daher einen Beitrag zur Ähnlichkeit

zwischen den verschiedenen Replikaten innerhalb dieser Gruppen leisten bzw. welche Verletzungen einen Beitrag zum Unterschied zwischen zwei Versuchsgruppen leisten. Die Differenz der mittleren Intensität dieser von der SIMPER Analyse identifizierten Verletzungen (arithmetischer Mittelwert über alle Individuen) zwischen den Versuchsgruppen wurde im vorliegenden Bericht kumulativ in Form von Stapeldiagrammen dargestellt. Um eine Interpretation zuzulassen, in welcher Versuchsgruppe die mittlere Verletzungsintensität jeweils höher bzw. niedriger war, wurden die absoluten Werte aufgetragen. Positive Differenzen werden dabei nach oben aufgetragen, negative Differenzen nach unten. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzung des Minuenden (in der Balkenbeschriftung oben stehende Versuchsgruppe) an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität des Subtrahenden (in der Balkenbeschriftung unten stehende Versuchsgruppe). Die Höhe der Balken zeigt die Differenz der kumulativen mittleren Verletzungsintensität (aufsummiert über die einzelnen Verletzungen) zwischen den jeweils miteinander verglichenen Versuchsgruppen. Somit ist die Höhe der Balken ein Indikator dafür, zwischen welchen Versuchsgruppen die größten Unterschiede in den Verletzungsmustern der Fische bestehen (je größer der Balken insgesamt vom Minimum bis zum Maximum desto größer der Unterschied zwischen den Versuchsgruppen). Aus der Anzahl der verschiedenen Farben im Balken kann interpretiert werden, wie vielfältig die Verletzungen sind, die > 3% (innere Verletzungen, Projektteil B) bzw. > 5% (äußere Verletzungen) zu den Unterschieden beitragen. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für ein kumulatives Stapeldiagramm zu den inneren Verletzungen am Standort Baiersdorf. Es ist für die vier untersuchten Fischarten jeweils die Differenz der Intensität der nach SIMPER > 3% zum Unterschied zwischen Fischen mit und ohne Turbinenpassage beitragenden Verletzungen kumulativ aufgetragen. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für die äußeren Verletzungen aller getesteten Fische am Standort Baiersdorf. Übertragen auf Projektteil B zeigen die Ergebnisse der SIMPER Analyse an, welche Taxa in einem bestimmten Gewässerbereich besonders stetig vorkommen und daher einen Beitrag zur Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Replikaten (Transekten) innerhalb dieser Gewässerbereiche leisten bzw. welche Taxa einen Beitrag zum Unterschied zwischen zwei Gewässerbereichen leisten. Die Stapeldiagramme sind analog zu Projektteil A zu interpretieren, wobei die Höhe der Balken in diesem Fall die Differenz der kumulativen Summe der mittleren normalisierten Individuenzahlen zwischen den jeweils verglichenen Gewässerbereichen anzeigt.

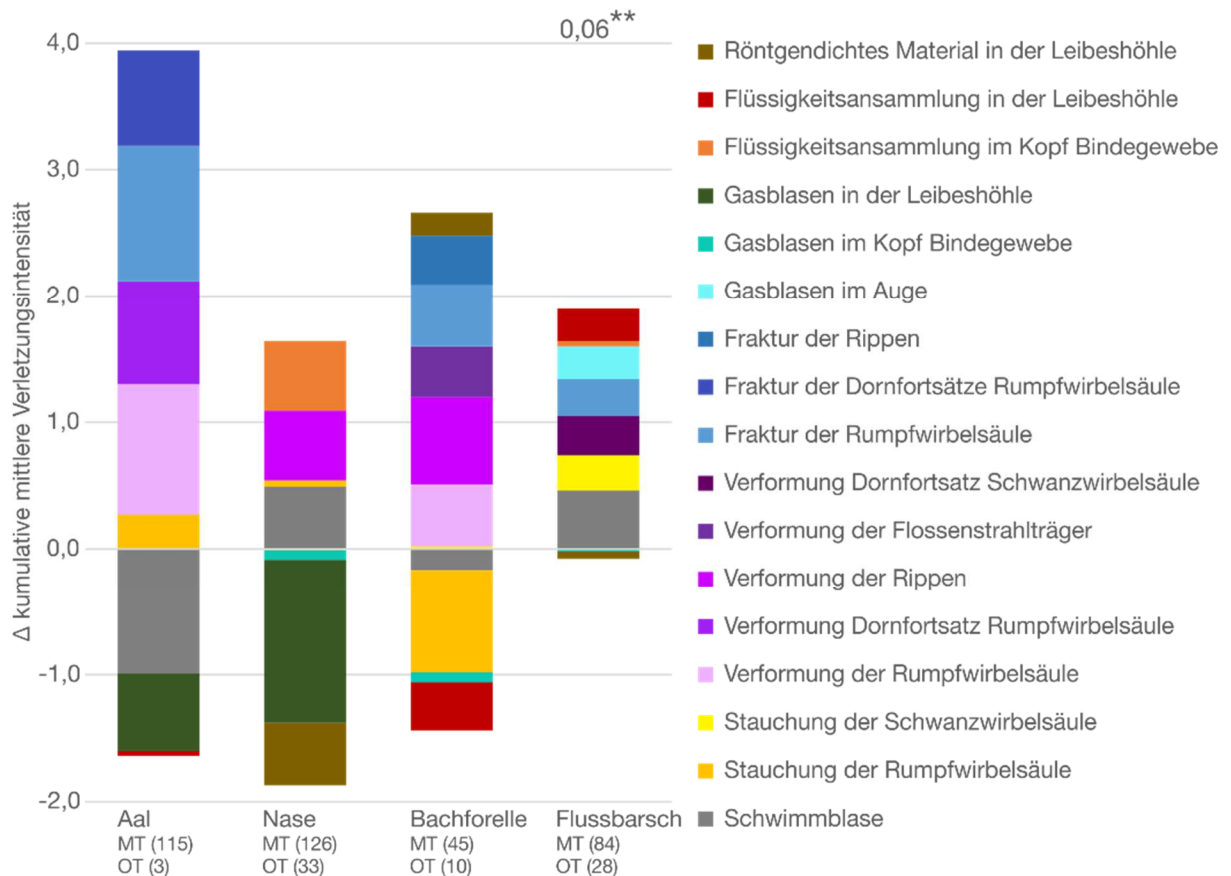


Abbildung 4 Aufsummierte Differenz ($\sum \Delta$) der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 3\%$) aus der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit zwischen Individuen mit (MT) und ohne Turbinenpassage (OT) aufgetrennt nach den vier getesteten Fischarten am Standort Baiersdorf. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzungskategorie bei den Individuen mit Turbinenpassage an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität bei den Individuen ohne Turbinenpassage. Unterscheiden sich die Verletzungsmuster der paarweisen Vergleiche der Versuchsgruppen nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

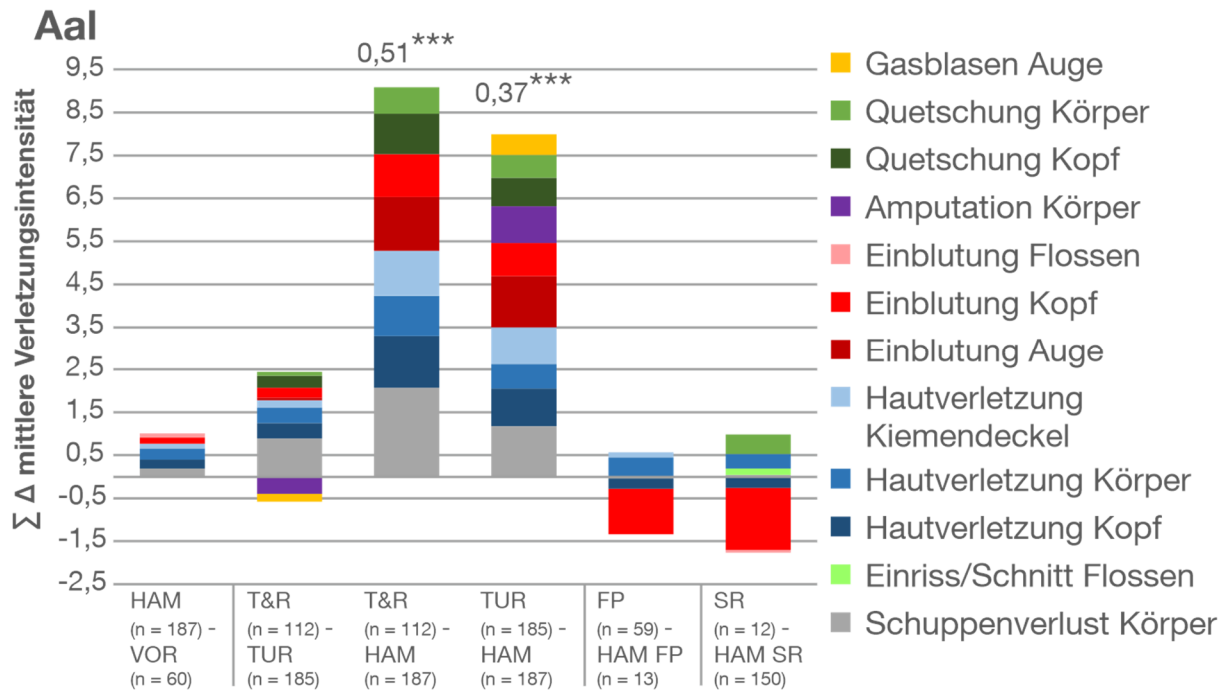


Abbildung 5 Aufsummierte Differenz ($\sum \Delta$) der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 5\%$) aus der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen (x-Achse) für die Fischart Aal am Standort Baiersdorf. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzungskategorie des Minuenden an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität des Subtrahenden. HAM = Hamen, VOR = Vorschädigung, T&R = Turbine & Rechen, TUR = Turbine, FP = Fischpass, SR = Spülrinne. Unterscheiden sich die Verletzungsmuster der paarweisen Vergleiche der Versuchsgruppen nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

1.3. Liniendiagramm

Ein Liniendiagramm ist die grafische Darstellung von Merkmalen über die Zeit oder entlang eines Gradienten. Liniendiagramme wurden im Projektteil A verwendet, um die vom Sensorfisch gemessenen Variablen Druck (y-Achse links) und Beschleunigung (y-Achse rechts) während der Turbinenpassage (Zeit, x-Achse) darzustellen (Abbildung 6). Durch die Verwendung von zwei y-Achsen können beide Variablen in einem Diagramm dargestellt werden.

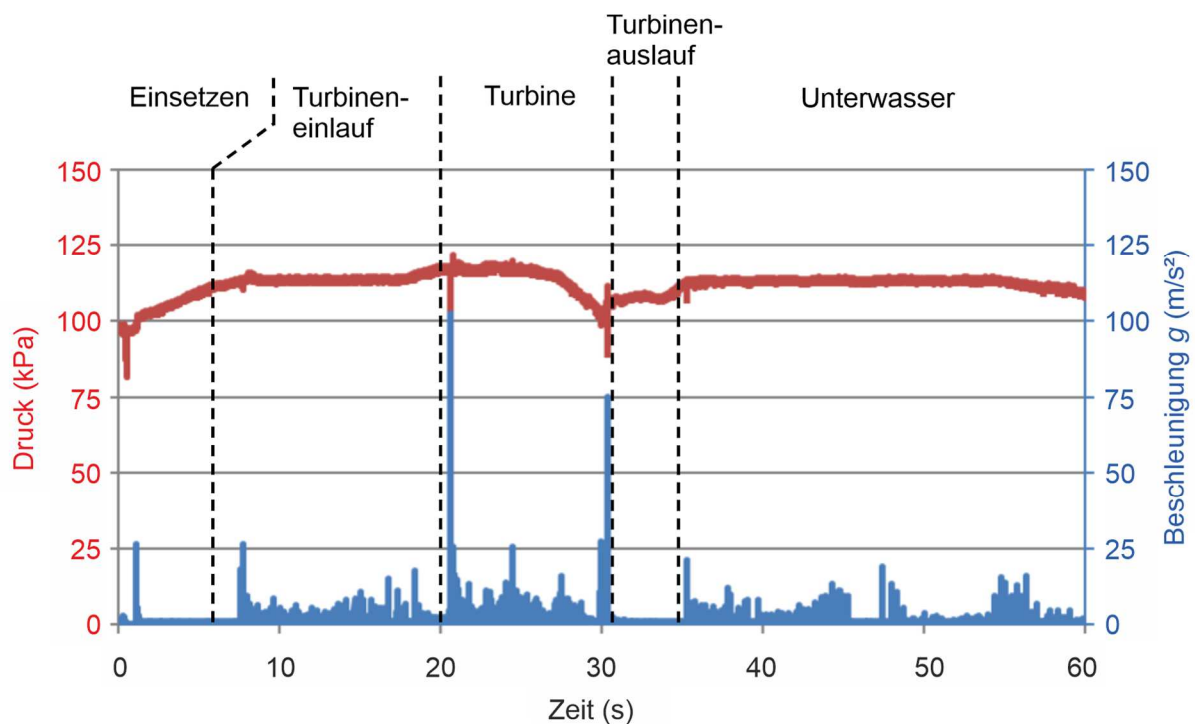


Abbildung 6 Beispiel eines typischen Druck- und Beschleunigungsprofils, das mit dem Sensorfisch bei der Passage der Wasserkraftschnecke während niedriger Turbinenlast gemessen wurde. Die Spitzenauslässe der blauen Linie (Beschleunigung) zeigen Kollisionsereignisse an, die der roten Linie (Druck) Dekompressionereignisse. Die Beschleunigung wird als Faktor der Erdbeschleunigung g angegeben.

Darüber hinaus wurden im Projektteil A beim natürlichen Fischabstieg kombinierte Stapel- und Liniendiagramme verwendet, um die Abstiegszahlen der verschiedenen Arten in Zusammenschau mit der Abflussganglinie zu visualisieren (Abbildung 7).

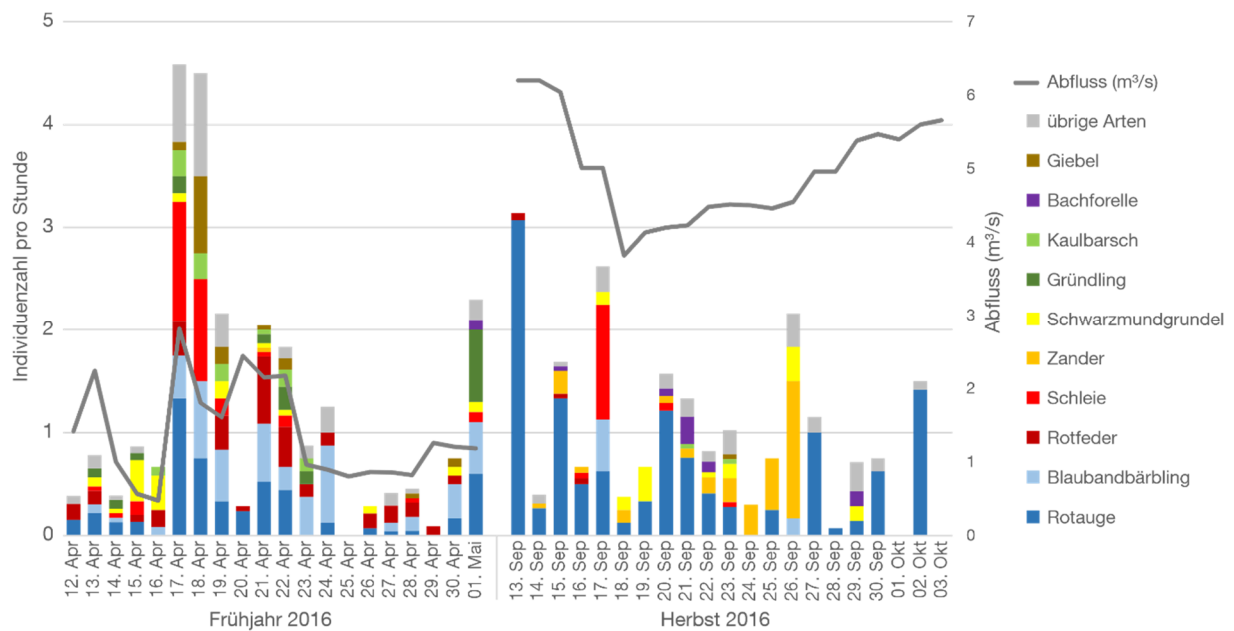


Abbildung 7 Zusammensetzung der Fischarten beim natürlichen Fischabstieg: Die Abbildung zeigt die mittlere Individuenzahl jeder Art pro Stunde (y-Achse links) und den mittleren Tagesabfluss der Roth am Pegel Roth Bleiche (y-Achse rechts) aufgeschlüsselt nach den einzelnen Untersuchungstagen im Frühjahr und Herbst 2016. Einzeln dargestellt sind die zehn häufigsten Arten, alle übrigen Arten wurden zusammengefasst. Die Angabe der mittleren Individuenzahl pro Untersuchungsstunde für jeden Befischungstag (normierter Einheitsfang pro Tag) ermöglicht einen Vergleich zwischen den einzelnen Befischungstagen und anderen Untersuchungsstandorten.

1.4. Punktdiagramm

Punktdiagramme wurden im Projektteil A verwendet, um die Ergebnisse der verschiedenen Varianten zur Berechnung der kraftwerksbedingten Mortalitätsraten für die verschiedenen Fischarten einzeln und kraftwerksübergreifend zu visualisieren. Dabei ist es möglich, den verschiedenen Kategorien auf der x-Achse (z.B. Fischarten, Kraftwerksstandorte, Turbinentypen) beliebig viele Werte auf der y-Achse zuzuordnen (z.B. Mortalitätsraten der verschiedenen Berechnungswege in %). Um unterscheiden zu können, welche Werte mit welcher Berechnungsmethode ermittelt wurden, wurden den einzelnen Berechnungswegen verschiedene Symbole und Farben (Unterscheidung der Versuchsgruppen) zugeordnet. Es kann hierbei vorkommen, dass nicht immer jeder Datenpunkt einzeln zu erkennen ist. Das tritt auf, wenn bei den jeweiligen Berechnungswegen sehr ähnliche Ergebnisse erzielt wurden und sich die Datenpunkte deshalb überlappen. Der Wertebereich der für jede Kategorie ermittelten Mortalitätsraten wurde mit einem grauen Balken symbolisiert (Abbildung 8).

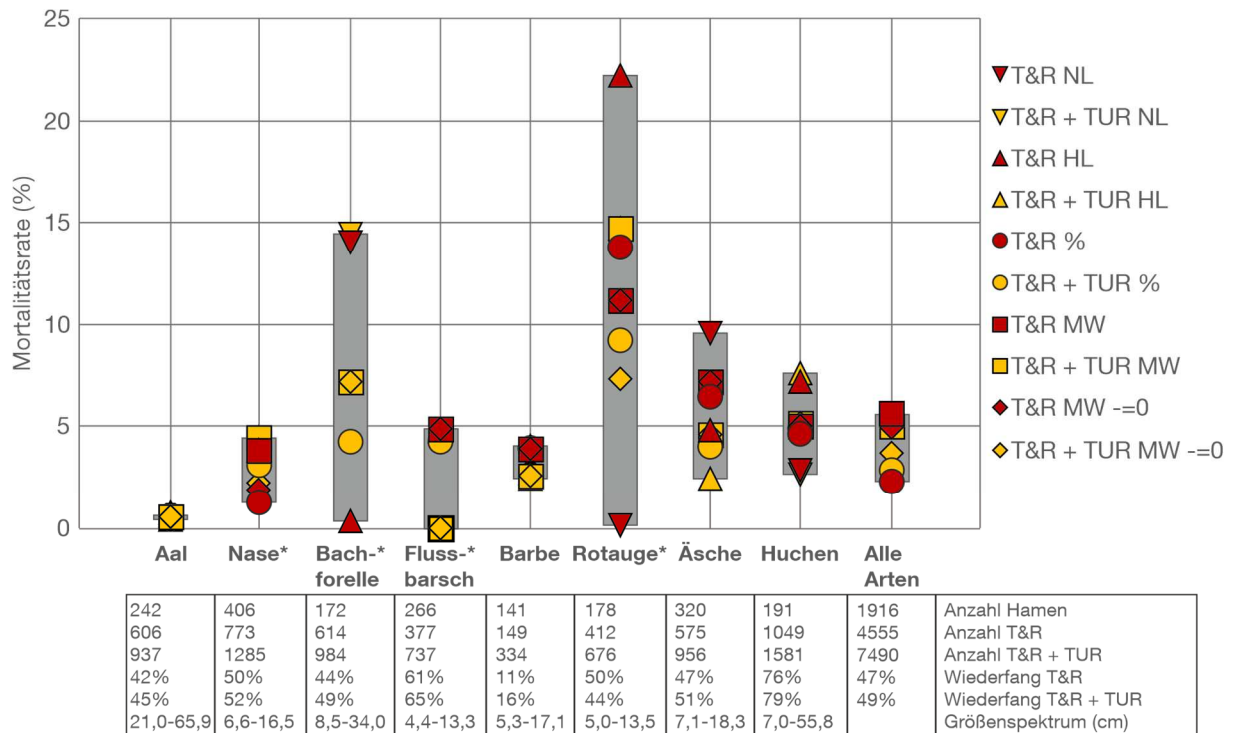


Abbildung 8 Fischartenspezifische Mortalitätsraten bei den standardisierten Fischzugaben in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen (T&R) und zusammengefasst für die Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Turbine (T&R + TUR) nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen bei niedriger (NL) und hoher (HL) Turbinenlast. Für die Berechnung wurde die Summe sofort und verzögert nach 96 h verstorbener Fische berücksichtigt. Abgebildet sind für die einzelnen Fischarten sowie für alle Fischarten insgesamt die anteilmäßig berechneten Raten (%) bzw. über niedrige und hohe Turbinenlast gemittelte Raten (MW) am Standort Au an der Iller. Im Falle von höheren Mortalitäten in der Kontrollgruppe Hamen ergaben sich negative kraftwerksbedingte Mortalitätsraten. Diese wurden entweder aus der Berechnung ausgeschlossen oder gleich 0 gesetzt (--=0). Fischarten, bei denen in den verschiedenen Berechnungswegen negative Mortalitätsraten auftraten, sind mit * gekennzeichnet. Der graue Balken symbolisiert den Wertebereich der ermittelten Mortalitätsraten. Zur Berechnung der Mortalitätsraten siehe Band 1.

1.5. Streudiagramm

Ein Streudiagramm ist die grafische Darstellung von beobachteten Wertepaaren zweier statistischer Merkmale (z.B. Verletzungsintensität nach der Turbinenpassage in Abhängigkeit von der Totallänge). Diese Wertepaare werden in ein kartesisches Koordinatensystem eingetragen, wodurch sich eine Punktwolke ergibt. Durch das Muster der Punkte im Streudiagramm lassen sich mögliche Informationen über die Abhängigkeitsstruktur der beiden Merkmale erkennen. Auf der x-Achse sind dabei die unabhängige Variable (z.B. Totallänge) aufgetragen und auf der y-Achse die davon abhängige Variable (z.B. Verletzungsintensität). Im vorliegenden Bericht wurden Streudiagramme zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Fischgröße und

Fischverletzungen verwendet (Abbildung 9). Dabei ist jeder dargestellte Punkt ein Fisch mit seiner spezifischen Totallänge, der die Turbine passiert hat und dabei eine gewisse Verletzungsintensität erlitten hat. Die unterschiedlichen Farben symbolisieren die verschiedenen Fischarten. Die Regressionsgerade des linearen Modells zeigt den Zusammenhang zwischen beiden Variablen an. Die hellgrauen Bereiche an der Regressionsgeraden symbolisieren das 95% Konfidenzintervall. Das Konfidenzintervall gibt den Erwartungsbereich an, in welchem bei einer identischen Wiederholung des Experiments 95% der Werte liegen. Als statistische Kennzahlen des angewandten linearen Modells (Regressionsanalyse) werden zudem die Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) und das Bestimmtheitsmaß (R^2) angegeben (in Klammern in der Legende). Das Bestimmtheitsmaß gibt an, wie viel Streuung in den Daten durch das angewandte lineare Modell erklärt werden kann. Es ist definiert als der Anteil der „erklärten Variation“ an der „Gesamtvariation“ und liegt zwischen 0 (kein linearer Zusammenhang) und 1 (perfekter linearer Zusammenhang).

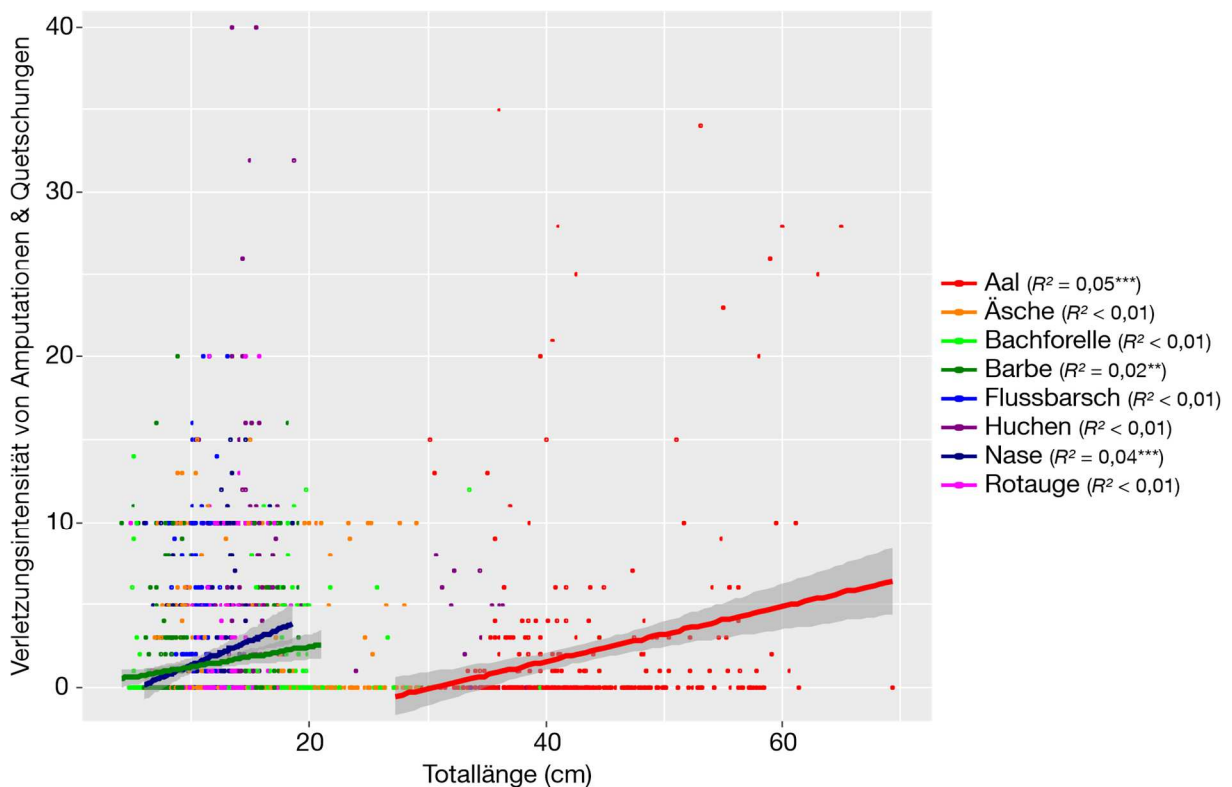


Abbildung 9 Lineare Regression der kumulativen Verletzungsintensität von Amputationen und Quetschungen am Körper nach der Turbinenpassage in Abhängigkeit von der Totallänge der acht untersuchten Fischarten am Standort Eixendorf. Hellgraue Bereiche an der Regressionsgeraden symbolisieren das 95% Konfidenzintervall. In Klammern ist das adjustierte Bestimmtheitsmaß (R^2) und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

2. Box-Whisker Plots

Beim Boxplot bzw. Box-Whisker-Plot handelt es sich um ein Diagramm, das zur grafischen Darstellung der Verteilung von numerischen Messwerten im Anwendungsbereich der univariaten Statistik (siehe Band 1, Kapitel 6.12.2 und 7.4) verwendet wird. Ein Boxplot vermittelt einen schnellen Eindruck darüber, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen. Deshalb wurden alle Werte der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung dargestellt. Diese fünf Punkte beinhalten den Median, die zwei Quartile (25% und 75%) sowie Minimum und Maximum. Ein Boxplot besteht aus einem Rechteck, genannt Box, und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern. Diese Linien werden als „Whisker“ (deutsch: Schnurrhaare) bezeichnet und werden durch einen Querstrich abgeschlossen. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Sie wird durch das obere (75%) und das untere Quartil (25%) begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand und ist ein Maß der Streuung der Daten. Des Weiteren wird der Median als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Bereiche, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch die Whisker werden die außerhalb der Box liegenden Werte dargestellt. Die Länge der Whisker wird entweder durch Minimum und Maximum begrenzt, oder sie wird auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands beschränkt. In letzterem Fall werden die Werte außerhalb der Whisker als Kreise oder Punkte separat in das Diagramm eingetragen.

Im vorliegenden Bericht wurden Boxplots häufig zur Darstellung von Mittelwertsvergleichen in verschiedenen Zusammenhängen verwendet. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel eines Boxplots zum Vergleich der Mortalität der Fische des natürlichen Fischabstiegs bei verschiedenen Leerungsintervallen am Standort Baiersdorf. Auf der y-Achse ist die Mortalität in Prozent aufgetragen, in die Boxen sind die Daten der einzelnen Leerungsintervalle bei unterschiedlichen Intervalllängen als Wiederholungen eingegangen. Die Anzahl der Datenpunkte pro Box ist in der Abbildungslegende als „n“ angegeben. Signifikante Unterschiede zwischen den Boxen (hier Intervalllängen) werden mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

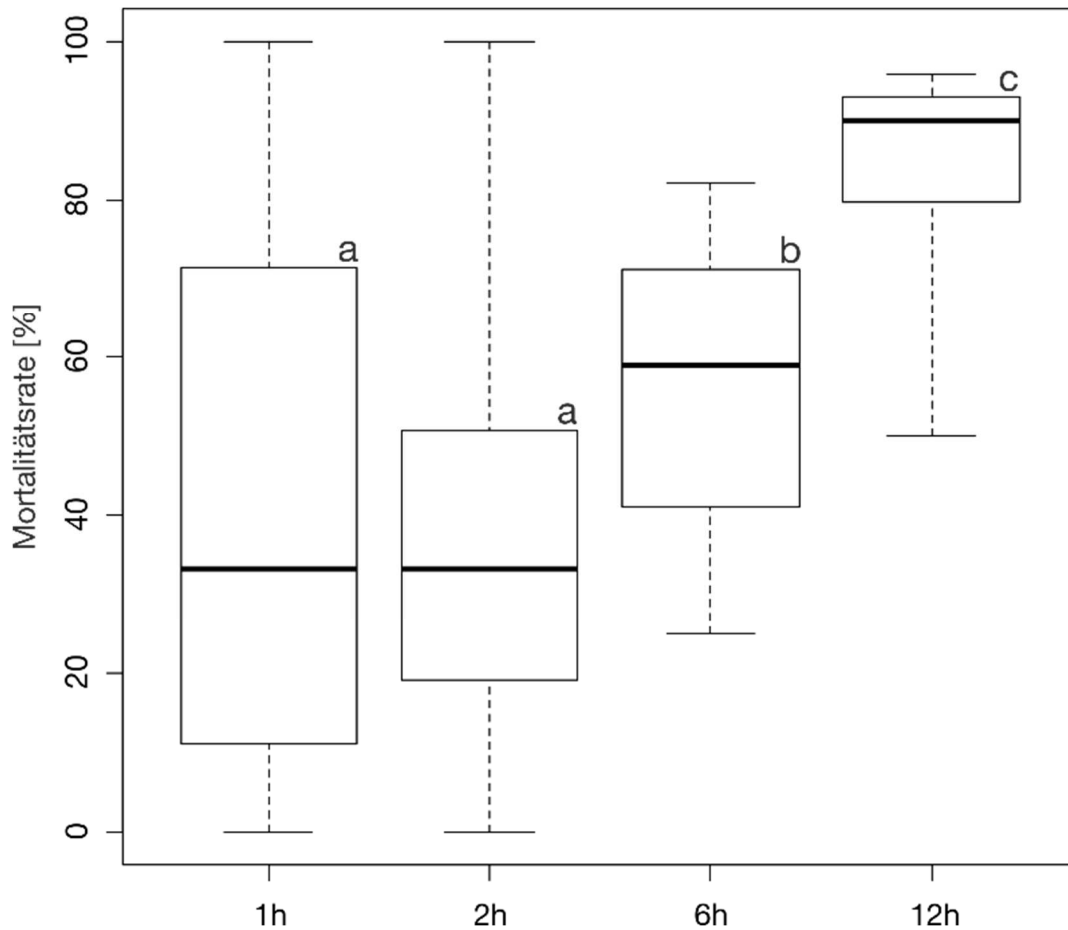


Abbildung 10 Box-Whisker Plot der Mortalitätsrate der gefangenen Fische des natürlichen Fischabstieges nach der Turbinenpassage im Frühjahr und Herbst 2015 für die unterschiedlichen Leerungsintervalle 1 h (n Leerungen = 14, n Individuen = 58), 2 h (n Leerungen = 27, n Individuen = 519), 6 h (n Leerungen = 9, n Individuen = 325) und 12 h (n Leerungen = 11, n Individuen = 962). Box: 25% Quantil, Median, 75% Quantil; Whisker: Minima und Maxima; verschiedene Kleinbuchstaben oberhalb der Box zeigen signifikante Unterschiede in der Anzahl der toten Fische zwischen den Leerungsintervallen (paarweiser Proportion-Test).

3. Ordinationsverfahren zur Darstellung multivariater Datensätze

Ordinationsverfahren zielen darauf ab, multivariate Datensätze grafisch in einem Koordinatensystem zu veranschaulichen. Diese werden häufig in der Ökologie verwendet, um z.B. verschiedene Aufnahmen von Artengemeinschaften oder abiotische Habitateigenschaften zu vergleichen und deren Unterschiede entlang eines oder mehrerer Gradienten zu verdeutlichen. Im vorliegenden Bericht wurden die Verfahren „nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS)“ und „multidimensionale Skalierung (MDS)“ verwendet.

3.1. Nicht-metrische und metrische multidimensionale Skalierung (NMDS und MDS)

Das Ziel einer NMDS ist es, für die einzelnen Proben (Individuen der verschiedenen Fischarten in Projektteil A, Proben bzw. Transekte in Projektteil B) kodierende Symbole in einem in der Regel zweidimensionalen Koordinatensystem räumlich so anzuordnen, dass die Abstände zwischen den Symbolen im Raum möglichst exakt den erhobenen Ähnlichkeiten (z.B. Bray-Curtis Koeffizienten) entsprechen. Je weiter die Symbole voneinander entfernt sind, desto unähnlicher sind sich die Proben und je näher sie beieinander sind, desto ähnlicher sind sie sich. Es werden also Informationen über Paare von Proben erhoben, um daraus metrische Informationen über die Objekte zu ermitteln. Neben der räumlichen Konfiguration von Objekten liefert die multidimensionale Skalierung einen sogenannten Stress-Wert als Kennziffer, welcher anzeigt, wie gut die zuvor errechneten Ähnlichkeitswerte als Abstände zwischen den Symbolen in der Grafik wiedergegeben werden können. Der Stress-Wert beurteilt also die Güte der Konfiguration, welche bis zu einem Wert von 0,2 als ausreichend angesehen wird (siehe Band 1, Kapitel 6.12.3). Aus der Grafik kann anhand der Abstände der Symbole zueinander abgelesen werden, wie ähnlich sich die einzelnen Proben in den Werten der untersuchten Variablen (z.B. Arten im Projektteil B oder Verletzungen im Projektteil A) sind. Anhand der Streuung der Symbole in der Grafik kann die Variabilität des Datensatzes beurteilt werden. Sind alle Symbole auf einem sehr engen Raum des Diagramms nah beieinander, besteht eine geringe Variabilität in den Daten. Sind die Symbole weit über die Diagrammfläche verteilt, besteht eine hohe Variabilität. Da die NMDS-Grafik lediglich relative Ähnlichkeiten der Proben zueinander darstellt, ist eine Skalierung der Achsen nicht üblich und es kann auch keine Einheit für die Achsen des Diagramms benannt werden. Dementsprechend kann

aus der Grafik nur eine relative Ähnlichkeit der Proben innerhalb eines Datensatzes zueinander interpretiert werden. Ein direkter Vergleich von Abständen zwischen verschiedenen NMDS-Diagrammen ist nicht möglich. Im Modul A dieses Projekts werden anhand der NMDS Ähnlichkeiten im Verletzungsmuster zwischen den Versuchsgruppen und Fischarten dargestellt. Die unterschiedlichen Symbole und Farben kodieren für die verschiedenen Versuchsgruppen und Fischarten (siehe Abbildungslegende). Die Anordnung der Symbole resultiert aus der gemittelten Ähnlichkeit der einzelnen Individuen in ihrem gesamten Verletzungsmuster, d.h. im Auftreten der verschiedenen Verletzungen an den unterschiedlichen Körperteilen in unterschiedlicher Intensität. Symbole, die nah beieinander liegen, stellen Versuchsgruppen und Fischarten dar, die ähnliche Verletzungen in ähnlicher Intensität aufweisen. Aus Abbildung 11 ist beispielsweise zu erkennen, dass sich die einzelnen Fischarten in ihrem Verletzungsmuster sehr stark unterscheiden. Insbesondere die Verletzungsmuster der Arten Aal, Barbe und Flussbarsch unterscheiden sich sehr stark von den übrigen Arten. Weiterhin ist zu erkennen, dass sich die Verletzungsmuster der Versuchsgruppen innerhalb der Fischarten unterschiedlich stark unterscheiden.

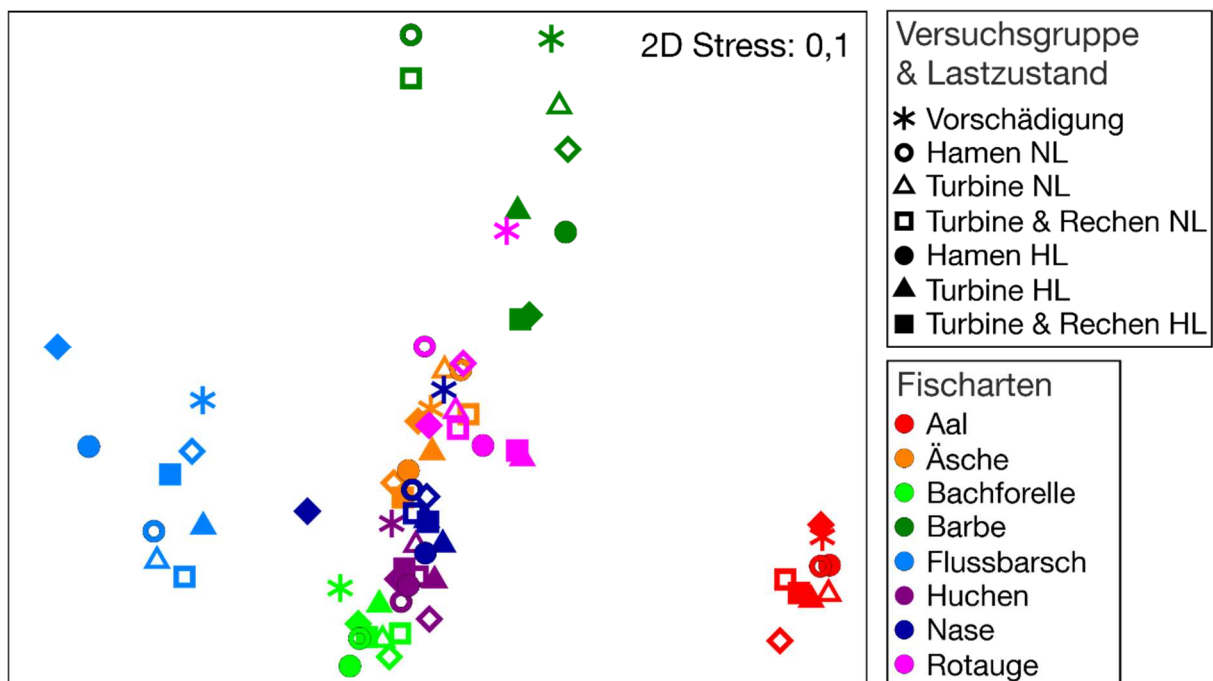


Abbildung 11 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS) der äußeren Verletzungsmuster am Standort Au/Iller unterteilt nach Fischarten und den verschiedenen Versuchsgruppen (Band 1). NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Werte aller Individuen für jede Fischart und Versuchsgruppe gemittelt. Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

Bei den Fischarten Aal, Bachforelle und Huchen liegen die Symbole der einzelnen Versuchsgruppen am nächsten zusammen und streuen damit am wenigsten weit über das Diagramm. Dies bedeutet, dass die Versuchsgruppen sich bei diesen Arten untereinander am ähnlichsten in ihren Verletzungen sind, d.h. die geringste Variabilität in den Verletzungen aufweisen. Häufig weisen Fische direkt nach der Anlieferung aus den Fischzuchten z.B. Schuppenverluste und Flossenverletzungen in gleichmäßig geringen Intensitäten auf, während nach der Versuchsdurchführung eine Vielfalt anderer Verletzungen hinzukommen kann. Trennen sich die Symbole der Versuchsgruppen Turbine und Turbine & Rechen nicht deutlich von denen der Versuchsgruppen Vorschäden und Hamen ab, ist davon auszugehen, dass die Kraftwerkspassage keine oder nur wenige weitere Verletzungen verursacht hat.

Über die reinen Ähnlichkeiten verschiedener Proben zueinander können in der NMDS weitere Parameter zusätzlich visualisiert werden. Eine Möglichkeit der Visualisierung ist z.B. die Darstellung sogenannter „Bubbles“. Hier können einzelne quantitative Variablen, wie z.B. die Mortalität als verschieden große Kreise dargestellt werden. Diese Möglichkeit wurde in Band 12 genutzt, um die Ergebnisse aus Projektteil A (Wertebereich der ermittelten Mortalitätsraten) und Projektteil B (Unterschiede in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser = serielle Diskontinuität) zu verschneiden. Die Größe der Kreise stellt dabei die Quantität der dargestellten Variable dar, wie in Abbildung 12 die minimalen und maximalen Werte der Mortalität über alle Fischen für jeden Standort.

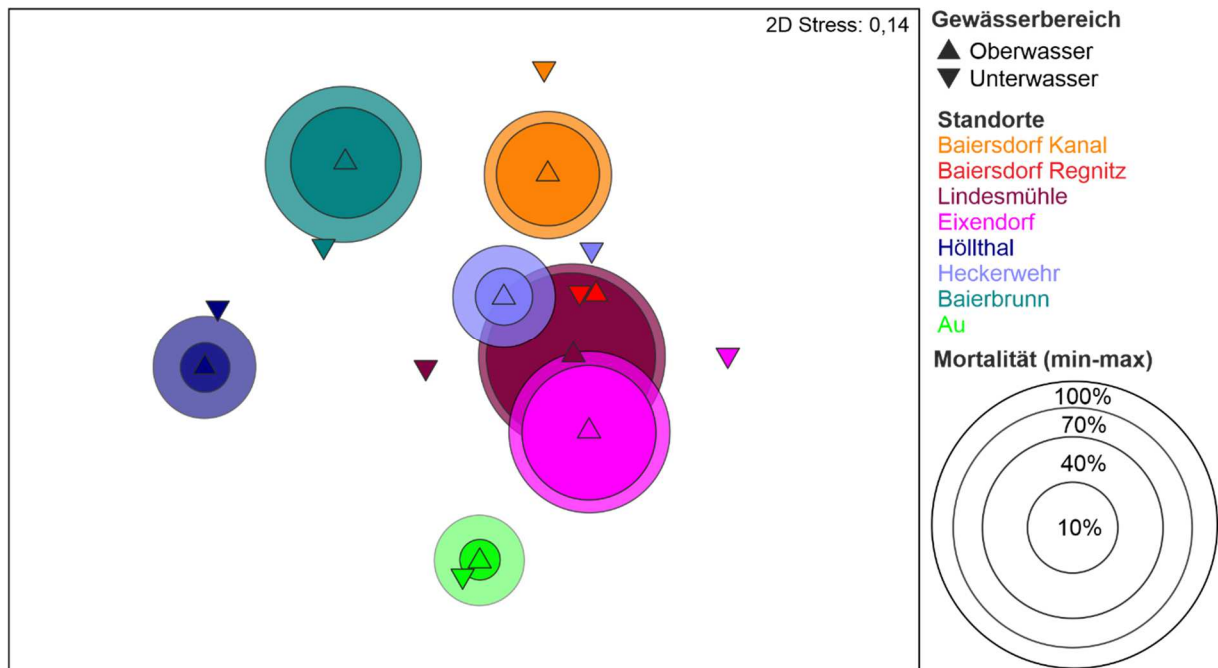


Abbildung 12 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS) der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (basierend auf normalisierten Individuenzahlen der Organismengruppen Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) im Ober- und Unterwasser an den sieben untersuchten Wasserkraft-Standorten. In Baiersdorf wurde darüber hinaus der Kraftwerkskanal berücksichtigt (Ausleitungskraftwerk). Dargestellt sind gemittelte Werte für jeden Standort/Gewässerbereich über alle Transekte und saisonalen Beprobungen. Der Abstand zwischen den Symbolen entspricht der Ähnlichkeit der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (geringer Abstand = hohe Ähnlichkeit) und zeigt daher die Stärke der Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums. Den Symbolen für das Oberwasser sind jeweils die Minimalwerte (deckende Farbe) und Maximalwerte (transparente Farbe) der mittleren Mortalität über alle Fischarten als Kreise unterschiedlicher Größe (Skalierung nach Werten, siehe Legende) hinterlegt.

Bei einer sehr großen Anzahl an zu betrachtenden Proben kann es dazu kommen, dass eine Abbildung der Einzelindividuen in einer NMDS-Grafik aus Gründen der Darstellbarkeit im zwei- oder dreidimensionalen Raum nicht mehr praktikabel ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Verletzungsmuster einzelner Individuen in einer Abbildung visualisiert werden sollen. Eine adequate Visualisierung der komplexen Ähnlichkeitsverhältnisse solch einer Vielzahl von Proben im zweidimensionalen Raum ist meist nicht möglich und aus einer Berechnung der Ähnlichkeiten (Bray-Curtis Koeffizienten) auf Basis der tatsächlichen Proben resultieren nur schwer interpretierbare Diagramme. Hier bietet es sich an, für die grafische Darstellung nicht die tatsächlichen Ähnlichkeitswerte jedes einzelnen Individuums zu verwenden, sondern für jede Versuchsgruppe Stichprobenwiederholungen, sogenannte „Bootstrap Averages“, zu berechnen. Das „Bootstrapping“, oder selten auch als „Münchhausenmethode“ bezeichnet, ist eine Methode der Stichprobenwiederholung (Resampling), bei der aus einer bereits vorhandenen Stichprobe mehrere neue Stichproben

durch „Ziehen mit Zurücklegen“ generiert werden (Stichprobenwiederholungen). Bildlich kann man sich das wie folgt vorstellen: Alle Fische einer Versuchsgruppe befinden sich in einer Fischwanne. Anstatt jeden einzelnen Fisch für die Darstellung in der Abbildung zu verwenden wird eine Stichprobe einer bestimmten Zahl an Fischen gezogen und aus diesen Fischen ein mittleres Verletzungsmuster berechnet (= Bootstrap Average). Danach werden die Fische wieder zurück in die Wanne gelegt und erneut eine Stichprobe gezogen. Die Mittelwerte aus diesen Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) können genutzt werden, um die Genauigkeit des Mittelwerts der Ausgangsstichprobe zu ermitteln. Bootstrap Averages und daraus ableitbare Bootstrap Regionen (Region in der 95% der Bootstrap Averages liegen) können zur Darstellung der Varianz in multivariaten Datensätzen mittels Ordinationsverfahren (hier metrische mehrdimensionale Skalierung, MDS) verwendet werden, ähnlich wie Box-Whisker-Plots zur Darstellung von einzelnen Variablen. Die Bootstrap Regionen (im Diagramm dargestellte farbigen Flächen) können vereinfacht ausgedrückt als multivariate Standardabweichung interpretiert werden und zeigen die Varianz des Mittelwerts. Das metrische Verfahren der mehrdimensionalen Skalierung wird hier gegenüber dem nicht-metrischen bevorzugt, da so eine direkte Interpretation der Streuung und Ähnlichkeitsverhältnisse aus den Bootstrap-Averages und Regionen möglich ist. Eine entsprechende MDS ist in Abbildung 13 gezeigt. Jedes Symbol in der Grafik entspricht dem Mittelwert aus einer Stichprobenwiederholung der Verletzungsmuster der jeweiligen Versuchsgruppe und Art. Der Abstand der Symbole entspricht damit der Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen und Arten. Bei einer Stichprobenzahl von weniger als fünf in einer Versuchsgruppe müssen die Bootstrap Regionen mit Vorsicht interpretiert werden, da die geringe Stichprobenzahl die Gesamtheit aller Verletzungsmuster möglicherweise nicht optimal repräsentiert. Die Variabilität des Verletzungsmusters zwischen den Einzelindividuen einer Versuchsgruppe kann bei dieser Darstellungsform jedoch nicht mehr interpretiert werden.

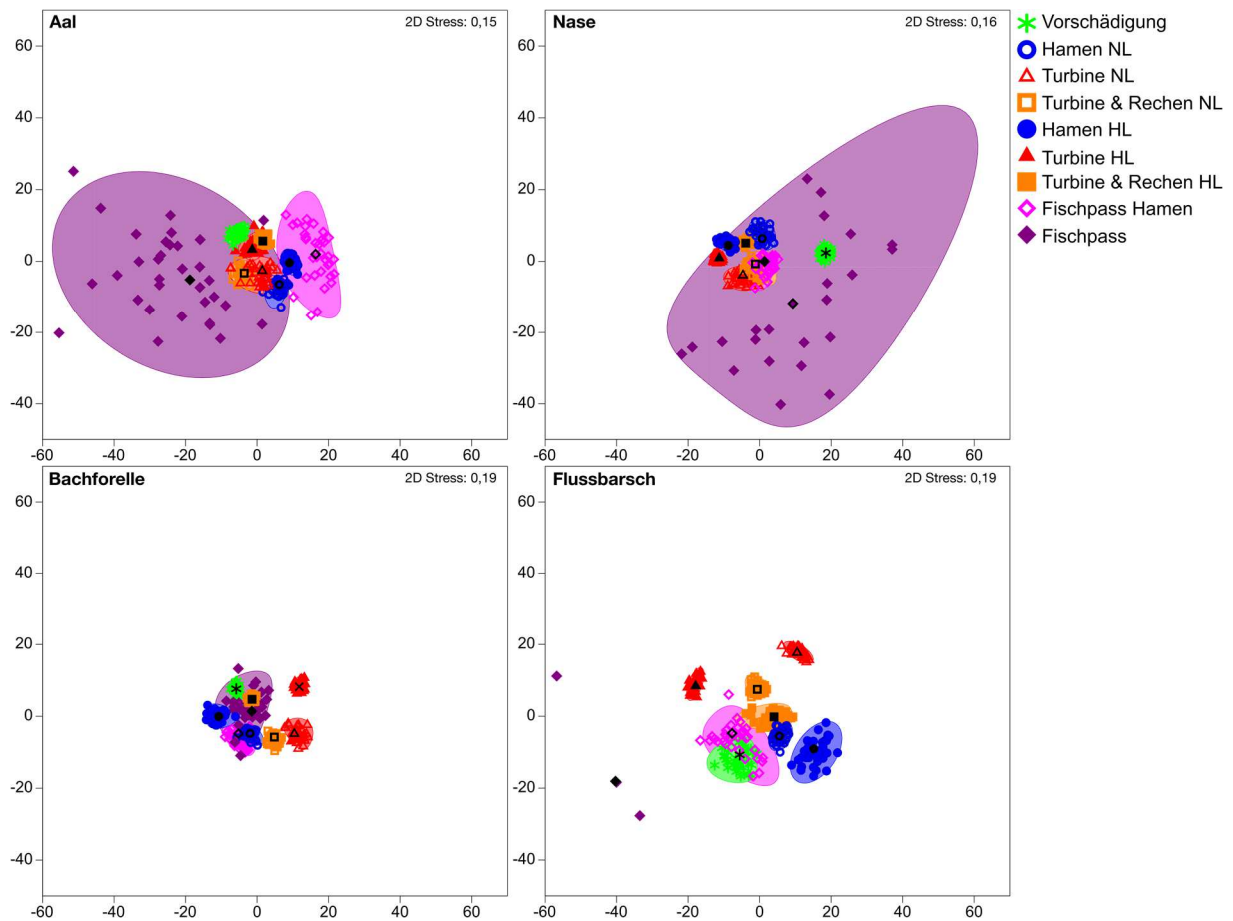


Abbildung 13 Metrische multidimensionale Skalierung (MDS) basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch am Standort Au/Iller unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen (Band 1). NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Die schwarzen Symbole stellen jeweils den Mittelwert der Ausgangsstichprobe der Versuchsgruppe dar, die farbigen Symbole die Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen. Die transparent-farbigen Flächen kennzeichnen die Region, in die 95% der Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen fallen (Bootstrap Regionen, ähnlich Konfidenzintervall). Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit). Für Nase ($n = 4$) und Flussbarsch ($n = 2$) müssen die Bootstrap Regionen der Versuchsgruppe Fischpass mit Vorsicht interpretiert werden, da die geringe Stichprobenzahl die Gesamtheit aller Verletzungsmuster möglicherweise nicht optimal repräsentiert.

4. Tabellen

Über detaillierte Informationen wird im vorliegenden Bericht mit Hilfe von Tabellen in kurzer und knapper Form ein Überblick bereitgestellt. Dies betrifft beispielsweise die Präsentation der im Projektteil A für die verschiedenen Fischarten aus den standardisierten Fischzugaben ermittelten Mortalitätsraten. Tabelle 1 zeigt ein Beispiel vom Standort Baiersdorf. Angegeben sind die Mortalitätsraten in den verschiedenen Abstiegskorridoren (erste Spalte von links) aufgeteilt in die verschiedenen Versuchsgruppen (zweite Spalte von links) und differenziert in sofortige und verzögerte (96 h) Mortalität (dritte Spalte von links) für die einzelnen Fischarten (Spalten 4–7). Die Mortalitätsraten sind dabei als prozentualer Anteil toter und nicht überlebensfähiger Fische (Vitalität 0 und 1 im Feld, zusammengefasst zur transformierten Vitalitätsstufe 5 = maximale Auswirkung auf die Vitalität für die Datenauswertung) an der Gesamtzahl der wiedergefangenen Individuen zu verstehen. Als Bezugsgröße wurde der Wiederfang gewählt, da für die nicht wiedergefangenen Individuen unklar ist, ob diese ins Oberwasser der Kraftwerksanlage geflüchtet und nicht abgestiegen sind, oder abgestiegen sind und tot oder lebendig aus dem Netz verloren gegangen sind (durch aktives oder passives Entweichen aus den Maschen bzw. Verbleiben im Eingangsbereich des Hamens). Je höher die Wiederfangrate ist, für um so weniger Fische ist der Ausgang des Versuchs unklar und desto sicherer ist somit das Ergebnis. Um die Qualität des Datensatzes abschätzen zu können, ist daher in allen Darstellungen von Mortalitätsdaten der Wiederfang als absolute Zahl und/oder als prozentualer Wert (Wiederfangrate) mit angeben. Für die verzögerte Mortalität nach 96 h dient ebenfalls die Anzahl der wiedergefangenen Individuen als Bezugsgröße zur Berechnung des prozentualen Anteils der verzögert verstorbenen Individuen.

Tabelle 1 Übersicht der in den verschiedenen Abstiegskorridoren und Versuchsgruppen ermittelten Mortalitätsraten (%) unmittelbar nach dem Fang (sofort) und nach 96 h in der Hälterung (96 h) der Fischarten Aal, Nase, Flussbarsch und Bachforelle. Unterschiedliche Kleinbuchstaben an den Mortalitätsraten symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Aalrohr, Fischpass, Spülklappe) nach Proportion-Test. Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen. Signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet.

Versuchsgruppe		Aal	Nase	Bachforelle	Flussbarsch
Vorschädigung	sofort	0,0 n = 121	0,0 n = 48	0,0 n = 40	0,0 n = 30
	96 h	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamen	sofort	0,0 ^a n = 84	0,0 ^{aA} n = 77	0,0 ^a n = 80	0,0 ^a n = 91
	96 h	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbine	sofort	59,5 ^b n = 42	11,1 ^{ab} n = 9	35,0 ^b n = 20	23,7 ^b n = 38
	96 h	7,1	11,1	0,0	0,0
Turbine & Rechen	sofort	42,9 ^b n = 14	50,0 ^b n = 6	0,0 ^{ab} n = 7	16,7 ^b n = 24
	96 h	14,3	33,3	14,3	0,0
Hamen	sofort	0,0 n = 90	2,4 ^A n = 83	0,0 n = 80	0,0 n = 90
	96 h	0,0	2,4	0,0	0,0
Aalrohr	sofort	0,0 n = 14	0,0 n = 2	0,0 n = 2	5,9 n = 17
	96 h	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamen	sofort	0,0 n = 86	17,2 ^B n = 64	0,0 n = 57	0,0 ^a n = 91
	96 h	0,0	7,8	0,0	0,0
Fischpass	sofort	0,0 n = 14	19,6 n = 51	0,0 n = 27	7,4 ^b n = 54
	96 h	0,0	7,8	3,7	1,9
Hamen	sofort	0,0 n = 93	49,4 ^{C*} n = 79	0,0 n = 82	3,4 n = 87
	96 h	0,0	17,7	1,2	2,3
Spülklappe	sofort	0,0 n = 16	56,5 n = 46	2,0 n = 99	5,5 n = 235
	96 h	6,3	13,0	3,0	2,6

Darüber hinaus finden sich im Projektbericht weitere, einfache tabellarische Darstellungen, die keiner weiteren Erklärung bedürfen.