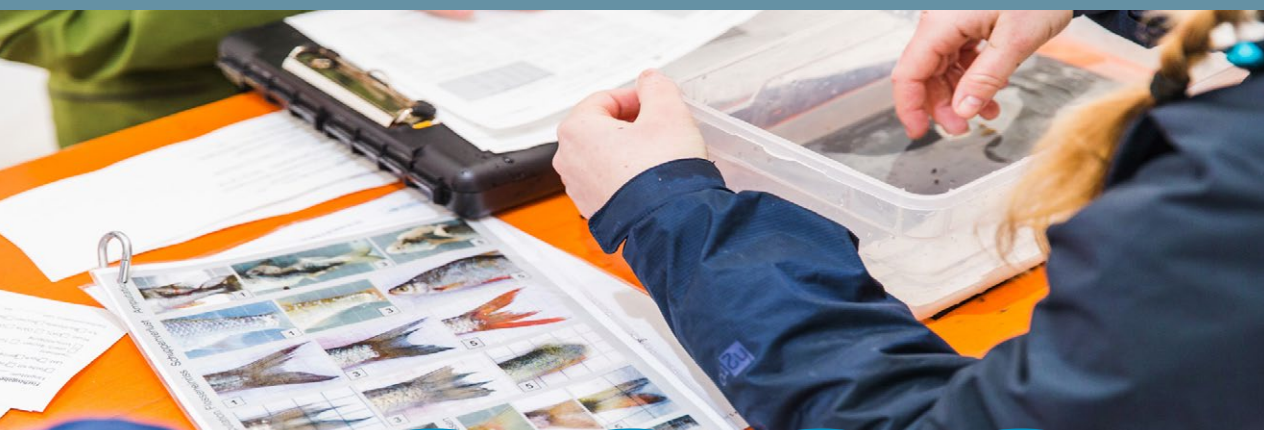




Erfassung und Dokumentation von Fischverletzungen an Wasserkraftanlagen

Fischökologisches Monitoring an
innovativen Wasserkraftanlagen



Wasser





**Fischökologisches Monitoring an innovativen
Wasserkraftanlagen**

**Erfassung und Dokumentation
von Fischverletzungen an
Wasserkraftanlagen**

Impressum

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen
Erfassung und Dokumentation von Fischverletzungen an Wasserkraftanlagen

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

LfU

Redaktion:

LfU: Hannah Ingermann, Dr. Madlen Gerke, Dr. Heidi Kammerlander, Diana Genius, Dr. Christoph Mayr, Birgit Lohmeyer

Bildnachweis:

Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Mühlenweg 22, 85354 Freising:
Titelbild und Abbildungen 1-7. S. 2-16

Stand:

Mai 2023

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbem oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
2	Versuchsdesign zur Erfassung von Fischverletzungen an Wasserkraftanlagen	5
3	Erläuterungen zum Verletzungsprotokoll	7
4	Anwendungsbeispiel Verletzungsprotokoll	16
5	Ableitung von Beeinträchtigungsgraden zur Bewertung von Fischverletzungen	18
6	Anwendungsbeispiel zur Ableitung von Beeinträchtigungsgraden	19
7	Literatur	20
8	Anhang	21

1 Einführung

Bei der Kraftwerkspassage können Fische durch unterschiedlichste Einflüsse wie die Kollision mit Turbinenteilen oder dem Rechen, aber auch durch Druckunterschiede und Scherkräfte verletzt werden. In vielen bisherigen Untersuchungen wurden Fischverletzungen nur grob klassifiziert, was einen belastbaren Vergleich spezifischer Verletzungsmuster und ihrer Schwere sowie die Zuordnung von Verletzungen zu bestimmten Anlagenteilen nur eingeschränkt zulässt. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projekts „Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen“ durch die TU München (TUM) – Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie ein Verletzungsprotokoll entwickelt (Mueller et al. 2017), bei dem neben der Erfassung der Vitalität und generellen Gesundheitskriterien zwischen neun verschiedenen äußeren Verletzungstypen differenziert wird (z.B. Amputation, Schuppenverlust). Durch die systematische Untersuchung 18 verschiedener Körperregionen jedes Fisches können insgesamt 86 unterschiedliche Kombinationen aus Verletzungen und betroffenen Körperregionen dokumentiert werden.

Mit dieser Arbeitshilfe können Verletzungen von Fischen an Wasserkraftanlagen standardisiert erfasst und objektiv evaluiert werden. Sie eignet sich daher vor allem für Personen der Verwaltung und Ingenieurbüros. Um exemplarisch aufzuzeigen, welche Aussagen mithilfe dieser Methode möglich sind, sind Fallbeispiele zur Anwendung des Verletzungsprotokolls an zwei Wasserkraftanlagen beigefügt.

2 Versuchsdesign zur Erfassung von Fischverletzungen an Wasserkraftanlagen

Grundsätzlich können zur Erfassung von Fischverletzungen an Wasserkraftanlagen zwei verschiedene Untersuchungsmethoden angewendet werden (siehe auch Wagner & Warth 2020):

- Experimenteller Ansatz: standardisierte Zugaben von Zucht- oder Wildfischen an verschiedenen Anlagenteilen, Netzfang unterhalb der Anlage
- Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs: Netzfang natürlich abwandernder Fische unterhalb der Anlage.

Standardisierte Fischzugaben eignen sich im Vergleich zu ausschließlichen Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs aus den folgenden Gründen besser für die Erfassung kraftwerksbedingter Fischverletzungen und –mortalität:

- Der Ausgangszustand der zugegebenen Fische ist bekannt bzw. kann anhand einer Stichprobe von Referenzfischen bestimmt werden (Kontrollgruppe „Vorschädigung“). Im Vergleich dazu können potentielle Vorschädigungen des natürlichen Fischbestands nur eingeschränkt erfasst werden. Zwar können Elektrofischungen im Oberwasser durchgeführt werden, um die potentiellen Vorschädigungen des natürlichen Fischbestands vor der Passage des Kraftwerks näherungsweise abzuschätzen. Allerdings können mit dieser Methode nur mobile Fische, die auf Strom reagieren, erfasst werden. Stark verletzte oder tote Fische können mit dieser Methode also nicht berücksichtigt werden.
- Handling- und fangbedingte Verletzungen können erfasst werden, indem eine Stichprobe von Referenzfischen direkt in die Fangeinrichtung gegeben wird (Kontrollgruppe „Hamen“). Dadurch ist es im Gegensatz zu Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs möglich, Verletzungs- und Mortalitätsraten nach der Kraftwerkspassage um handling- und fangbedingte Effekte zu korrigieren.
- Die Fische können an verschiedenen Anlagenteilen zugegeben werden, beispielsweise direkt in die Turbine oder oberhalb des Rechens. Dadurch kann das Schädigungspotential der unterschiedlichen Anlagenbauteile individuell bestimmt werden, was bei ausschließlicher Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs nicht möglich wäre.
- Die Anzahl der Versuchsfische kann festgelegt werden und ist beeinflussbar. Beim natürlichen Fischabstieg ist dies nicht möglich.
- Durch die standardisierten Zugaben können gezielt bestimmte Abfluss- oder Betriebszustände untersucht werden. Beim natürlichen Fischabstieg besteht im Gegensatz dazu die Gefahr, dass zu diesen bestimmten Zeitpunkten zu wenige Fische absteigen.

Standardisierte Fischzugaben sind wesentlich aufwendiger als Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs. Die Versuchsfische müssen beschafft werden (aus Fischzuchten oder bei der Verwendung von Wildfischen durch Elektrofischungen) und zur Vorbereitung der Untersuchungen gehältert, ggf. narkotisiert und markiert werden. Daher handelt es sich um genehmigungspflichtige Tierversuche (Wagner & Warth 2020; vergleiche Kapitel 3). Um verschiedene Fischarten, Abstiegskorridore und Betriebszustände (Hoch- oder Niedriglast) untersuchen zu können empfiehlt es sich, die standardisierten Fischzugaben in mehrere Versuchsblöcke aufzuteilen. Diese sollten innerhalb weniger Tage durchgeführt werden, um eine zu lange Hälterung der Versuchsfische zu vermeiden. Für eine statistische Absicherung der Ergebnisse ist eine relativ hohe Anzahl an Versuchsfischen notwendig, die bereits im

Rahmen der Fallzahlplanung im Tierversuchsantrag festgelegt werden muss. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass in der Regel nicht alle Fische nach der Passage der Anlage wiedergefangen werden können. Im Fischmonitoring-Projekt der TUM wurde beispielsweise mit einer Fallzahl von 309 Fischen bei drei geplanten Durchgängen (103 Fische pro Durchgang) je Abstiegskorridor, Fischart und Betriebszustand kalkuliert (siehe Erläuterungen im TUM Abschlussbericht Band 1: Mueller et al. 2020a, Kapitel 6.12.1).

Wenn Fischverletzungen trotz der genannten methodischen Limitierungen ausschließlich anhand von Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs erfasst werden, sollten leichtere Verletzungen, wie etwa Schuppenverluste oder Flosseneinrisse, die auch im Wildtierbestand relativ häufig vorkommen bzw. durch Netzfang und Handling verursacht werden können, aus der Datenauswertung ausgeschlossen werden.

3 Erläuterungen zum Verletzungsprotokoll

Zunächst werden für jeden Fisch allgemeine Angaben wie Standort, Fangdatum und Fanguhrzeit in das Protokollblatt eingetragen, um eine korrekte Sortierung der Datenblätter zu ermöglichen. Da Verletzungen den verschiedenen Abstiegskorridoren einer Wasserkraftanlage (zum Beispiel Turbine, Bypass-System) zugeordnet werden sollen, wird außerdem die Reuse des entsprechenden Korridors, in der der bewertete Fisch gefangen wurde dokumentiert (siehe Abb. 1).

Fischökologisches Monitoring an Wasserkraft-Pilotanlagen (AZ 55.2-1-55-2532-31-15) Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie

Protokoll „Fischschäden Einzelindividuen“ (für standardisierte Fischzugaben)

Standort: _____ Fangdatum: _____ Fanguhrzeit: _____ Leerungsintervall: 1h anderes: _____

Last: hoch gering mittel Tag: 1 2 Reuse: MT MR1 MR2 MFP

Treatment: oberhalb Rechen Turbine Hamenschädigung Vorschädigung

Fischart: Aal Äsche Bachforelle Barbe Barsch Huchen Nase Rotauge Größe (cm): _____

Allgemeine Kriterien sofort:	Allgemeine Kriterien Hälterungskontrolle:
Vitalität: <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 24h <input type="checkbox"/> 48h <input type="checkbox"/> 72h <input type="checkbox"/> 96h
Atemfrequenz: <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 0
Ernährungszustand: <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2
Verpilzung: <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Parasiten (_____): <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 (_____)
	Bearbeiter Hälterungskontrolle: _____

Schädigungsbedingte Kriterien:

	Schuppenverlust	Ampu- tation	Einriss	Einblu- tung	Que- tschung	Hautver- letzung/ Wunden	Verletzung Rückgrat	Pigment- Veränderung	Gas- blasen
Kopf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auge rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auge links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kiemendeckel links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kiemendeckel rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper links vorne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper links hinten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper rechts vorne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper rechts hinten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper dorsal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Körper ventral	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brustflosse (BrF) rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brustflosse (BrF) links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauchflosse (BF) rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bauchflosse (BF) links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Afterflosse (AF)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwanzflosse (SF)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rückenflosse (RF)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Eintragen von Verletzungen in den Stufen 0 = keine, 1 = leicht, 3 = mittel, 5 = stark.

sofort: Fisch eingefroren fotografiert gehältert freigelassen

Hälterungskontrolle: Fisch eingefroren fotografiert freigelassen

Rinne: _____ Box: _____

Auswerter: _____ Schreiber: _____

Fisch Nr: *hier Etikett kleben!*

Abb. 1: Protokollblatt zur Dokumentation der Fischverletzungen; abgeändert nach Mueller et al. 2017

Zur Bewertung wird der Fisch in eine mit Wasser gefüllte, der Fischgröße entsprechenden Plastikbox (z.B. 30 × 17×10 cm für Fische bis etwa 25 cm) gegeben. Die Wassermenge wird so bemessen, dass alle Flossen gut entfaltet werden können. Am Boden der Plastikbox ist ein Lineal angebracht, um die Länge des Fisches zu messen. Für ein standardisiertes Vorgehen, wird der Körper des Fisches in die Bereiche Kopf, Augen, Kiemendeckel, vorderer und hinterer Teil des Körpers (Trennlinie am After), Rückenseite (dorsal), Bauchseite (ventral), Rückenflosse, Schwanzflosse, Afterflosse, Bauchflossen, Brustflossen sowie linke und rechte Körperhälfte eingeteilt (siehe Abb. 2).

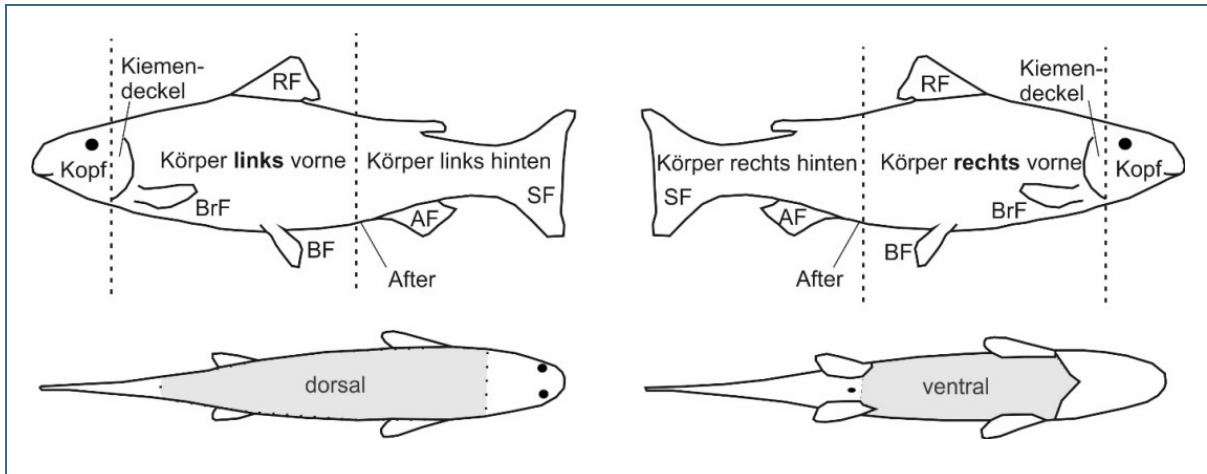


Abb. 2: Einteilung des Fischkörpers in verschiedene Bereiche zur Dokumentation der auftretenden Verletzungen. RF= Rückenflosse, BrF= Brustflosse, BF= Bauchflosse, AF= Afterflosse, SF= Schwanzflosse; abgeändert nach Mueller et al. 2017

Anschließend werden von einer geschulten Person die allgemeinen Kriterien Vitalität, Atemfrequenz, Ernährungszustand, Verpilzung sowie Parasitenbefall beurteilt und die Informationen von einer zweiten Person in das Protokollblatt eingetragen. Zur korrekten Beurteilung können die Beispielbilder in Abb. 4 verwendet werden. Die allgemeinen Kriterien erlauben Rückschlüsse auf die potentielle Regenerationsfähigkeit eines Fisches. Für die allgemeinen Kriterien müssen bereits bei der Planung des Tierversuches Abbruchkriterien definiert werden, die auf eine starke Belastung des Tieres hinweisen und bei deren Auftreten der Versuch für das Tier abgebrochen werden muss (Tab. 1). Aus der Einstufung der Abbruchkriterien muss eine eindeutige Zuweisung der Belastungsstufen möglich sein. Die Kriterien Vitalität und Atemfrequenz, deren Verringerung mit einer zunehmenden Belastung einhergeht, werden beispielsweise mit den folgenden Intensitätsstufen bewertet (vergleiche Tab. 2):

- 4 = keine Belastung
- 3 = geringe Belastung
- 2 = mittlere Belastung
- 1 = starke Belastung, Tier lebt noch
- 0 = starke Belastung, Tier ist tot.

Die Intensitätsstufen 0 und 1 entsprechen dabei dem Schweregrad „keine Wiederherstellung der Lebensfunktion“ gemäß der EU-Tierversuchsrichtlinie (2010/63/EU). Noch lebende Individuen, die in einem der Abbruchkriterien die Einstufung 1 erhalten, müssen mit einem zugelassenen hoch dosierten Betäubungsmittel schmerzfrei getötet werden. Im Gegensatz zu den Kriterien Vitalität und Atemfrequenz erfolgte die Einstufung bei den Kriterien Verpilzung und Parasiten im Rahmen des Projektes der TUM in umgekehrter Reihenfolge (0 = kein Befall, 4 = starker Befall), da aufsteigende Zahlen hier einen zuneh-

menden Befall darstellen und mit einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes einhergehen (vergleiche Tab. 2). Das Protokollblatt und das zugehörige „Score-Sheet“ (siehe Anhang, Abb. 5 bis Abb. 7) für die Bewertung entsprechen den Standards für die Durchführung von Tierversuchen und müssen vor Versuchsbeginn mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt werden.

Tab. 1: Erläuterungen zur Einstufung der allgemeinen Kriterien zur Bewertung des Gesundheitszustandes des Fisches (TUM Abschlussbericht Band 1, abgeändert nach Mueller et al. 2017)

Kriterium	Stufen	Definition	Belastung	Maßnahmen
Vitalität	4	Fisch vollständig vital, normal ausgeprägtes Schwimm- und Fluchtverhalten	Keine	Keine Maßnahmen notwendig
	3	Leicht reduziertes Schwimmvermögen (verzögerte Flucht, aber noch kein Taumeln)	Gering	Keine Maßnahmen notwendig
	2	Mäßig reduziertes Schwimmvermögen (leichtes, vorübergehendes Taumeln bei Berührung, Fisch schwimmt danach aber wieder gerade)	Mittel	Versuchsleitung informieren, zusätzliche Kontrolle nach 1 h, bei weiterer Verschlechterung des Gesundheitszustandes Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	1	Stark reduziertes Schwimmvermögen (permanentes Taumeln), stark reduzierte Atmung, ggf. Abspreizen der Kiemendeckel	Stark	Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	0	Fisch ist tot	Stark	Versuchsleitung informieren, Konservierung bei -20°C
Atemfrequenz	4	Normale Atemfrequenz beim vitalen Fisch mit normal ausgeprägtem Schwimmverhalten	Keine	Keine Maßnahmen notwendig
	3	Übermäßige Bewegung von Maul und Kiemendeckel, Luftschnappen an der Oberfläche, Anzeichen für Stress	Gering	Sauerstoffversorgung durch Begasung mit Luft verbessern
	2	Leicht reduzierte Atemtätigkeit, oft in Verbindung mit Taumeln bei Störung	Mittel	Versuchsleitung informieren, zusätzliche Kontrolle nach 1 h, bei weiterer Verschlechterung des Gesundheitszustandes Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)

Kriterium	Stufen	Definition	Belastung	Maßnahmen
Atemfrequenz	1	Stark verringerte bis fast gar keine Bewegung der Kiemendeckel bei Fischen mit geringer Vitalität, diese Fische taumeln meist an der Wasseroberfläche	Stark	Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	0	Fisch atmet nicht mehr und ist tot	Stark	Versuchsleitung informieren, Konservierung bei -20°C
Ernährungszustand	4	Fisch mit der Art und Größe entsprechend normaler Kondition	Keine	Keine Maßnahmen notwendig
	3	Fisch etwas unterernährt, leicht eingefallene Flanken	Gering	Keine Maßnahmen möglich, da diese das Versuchsergebnis beeinflussen würden
	2	Fisch stark unterernährt, Fisch mit deutlich eingefallenen Flanken, ggf. Anzeichen für Stress	Mittel	Keine Maßnahmen möglich, da diese das Versuchsergebnis beeinflussen würden
Verpilzung	0	Keine Verpilzung	Keine	Keine Maßnahmen notwendig
	1	Schwache Pilzinfektion mit weißen Punkten auf < 1% der Körperfläche	Gering	Keine Maßnahmen notwendig
	2	Moderate Pilzinfektion auf bis zu 30% der Körperfläche	Mittel	Versuchsleitung informieren, zusätzliche Kontrolle nach 1 h, bei weiterer Verschlechterung des Gesundheitszustandes Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	3	Starke Pilzinfektion auf > 30 % < 70 % der Körperfläche	Stark	Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	4	Starke Pilzinfektion auf > 70 % der Körperfläche	Stark	Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
Parasiten	0	Kein Befall mit Parasiten		Keine Maßnahmen notwendig
	1	Schwacher Parasitenbefall mit weniger als 1 % der Körperfläche betroffen		Keine Maßnahmen notwendig

Kriterium	Stufen	Definition	Belastung	Maßnahmen
Parasiten	2	Moderater Parasitenbefall mit bis zu 30 % der Körperfläche betroffen		Versuchsleitung informieren; zusätzliche Kontrolle nach 1 h, bei weiterer Verschlechterung des Gesundheitszustandes Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	3	Starker Parasitenbefall mit >30 % < 70 % der Körperfläche betroffen		Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)
	4	Starker Parasitenbefall mit > 70 % der Körperfläche betroffen		Versuchsleitung informieren, Versuchsabbruch für das Tier durch schmerzfreie Euthanasie mittels Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-facher Überdosierung von MS 222)

Anschließend werden das Auftreten und die Intensität der Verletzungen beurteilt und die Informationen in das Protokollblatt eingetragen. Die bewertungsrelevanten Verletzungstypen sind in Tab. 2 beschrieben. Die Verletzungen werden in den folgenden Intensitätsstufen erfasst:

- 0 = keine Verletzung
- 1 = geringe Intensität
- 3 = mittlere Intensität
- 5 = hohe Intensität.

In Abb. 3 und Abb. 4 sind typische Verletzungen dargestellt, an denen die Bewertung der Intensitäten nachvollzogen werden kann. Generell folgt die Bewertung bei flächigen oder klar quantifizierbaren Verletzungsmustern nach prozentualen Anteilen an der Gesamtfläche des betroffenen Körperteils (für die Zuordnung der Intensität jeder Verletzung siehe „Score sheet“ 1-3 im Anhang).

Für die Auswertung der Ergebnisse wird die Einstufung des allgemeinen Kriteriums Vitalität mit den Intensitätsstufen der Verletzungen harmonisiert, d.h. die Vitalitätsstufen 0 und 1 entsprechen der Intensität 5 (= tot), da der Fisch sowohl bei Vitalität 0 als auch bei Vitalität 1 den Versuch nicht überlebt hat, Vitalität 2 entspricht Intensität 3, Vitalität 3 entspricht Intensität 1 und Vitalität 4 entspricht Intensität 0 (= keine Verletzung).

Tab. 2: Beschreibung der äußerlich sichtbaren Verletzungen

Verletzungstyp	Beschreibung
Schuppenverluste	Schuppenlose Stellen an der Körperoberfläche in normalerweise beschuppten Bereichen. Vor allem häufig bei Rundschuppen, hier auch leicht zu erkennen. Bei Kammschuppen ist ggf. ein Ertasten entschuppeter Bereiche notwendig.
Pigmentveränderungen	Veränderungen der normalen Pigmentierung des Fisches, die vermutlich durch Berührung entstehen. Meist als dunkle, dünne Streifen erkennbar, auch flächige Veränderungen oder aufgehellte Körperbereiche möglich.
Hautverletzungen	Verletzungen der Haut des Fisches von kleineren Abschürfungen bis hin zu Fleischwunden, die in das Muskelfleisch eindringen.

Verletzungstyp	Beschreibung
Einrisse der Flossen	Verletzungen der Flossenhäute zwischen den Flossenstrahlen von kleineren Einrissen bis hin zur vollständigen Durchtrennung der Flossenhaut bis zum Flossenansatz
Gasblasen	Unter der Haut eingelagerte, äußerlich sichtbare Luftbläschen, die in den Augen oder in den Flossenhäuten auftreten können.
Quetschungen	Druckstellen am Körper des Fisches, die zu einer sichtbaren Veränderung der natürlichen Körperform führen.
Einblutungen	Blutergüsse oder andere blutende Körperstellen. Können in den Augen, Flossen und an sonstigen Körperteilen auftreten.
Amputation	Teilweise oder vollständige Abtrennung von Körperteilen (Kopf, Kiemendeckel, Flossen, Totaldurchtrennungen des Körpers). Am Körper ist die Grenze zur Hautverletzung durch ein Eindringen der Verletzung bis in die Leibeshöhle gesetzt (Verletzung des Muskelfleisches = Hautverletzung Intensität 5, Einschnitt am Körper bis in die Leibeshöhle = Amputation Intensität 1).
Verletzung Rückgrat	Verformungen des Rückgrats wie z.B. Knicke oder S-Kurven.

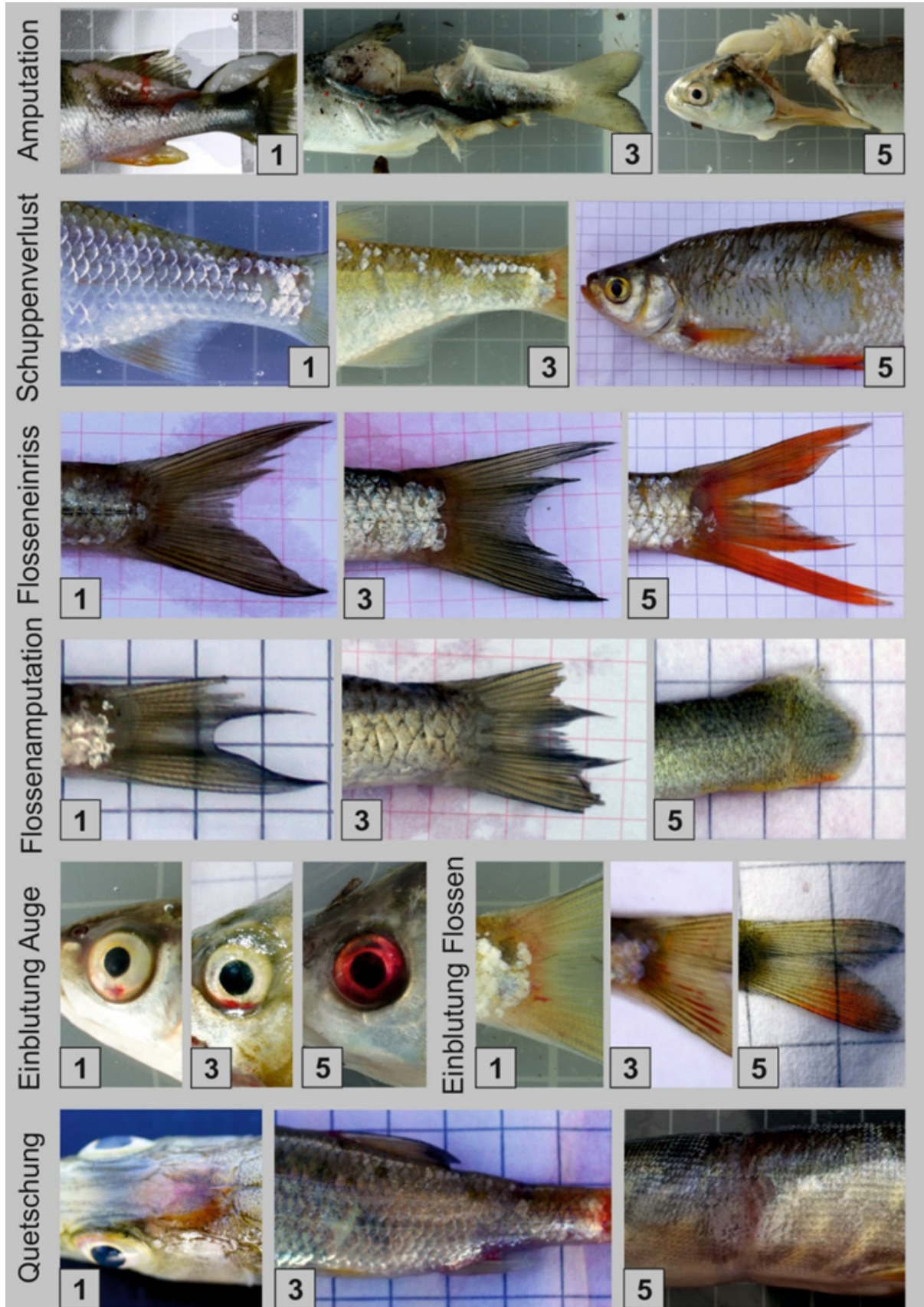


Abb. 3: Beispielbilder zu Fischverletzungstypen Amputation, Schuppenverlust, Flosseneinriss, Flossenamputation, Einblutung in die Augen und Flossen sowie Quetschung in verschiedenen Intensitätsstufen (1 = geringe Intensität, 3 = mittlere Intensität, 5 = hohe Intensität); abgeändert nach Mueller et al. 2017

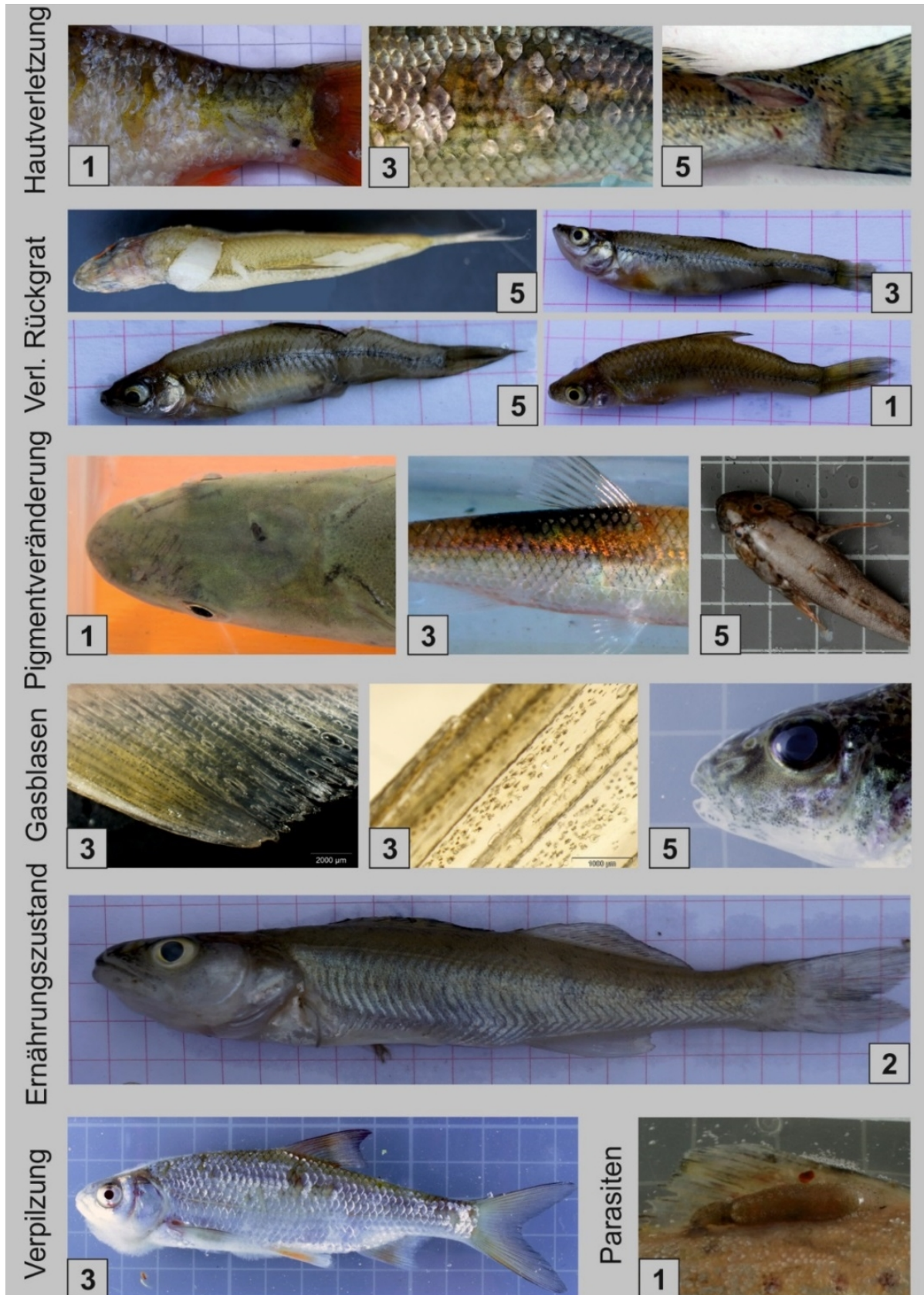


Abb. 4: Beispielbilder zu den Verletzungstypen Hautverletzung, Verletzung Rückgrat, Pigmentveränderung und Gasblasen in verschiedenen Intensitätsstufen (0 = keine Verletzung, 1 = geringe Intensität, 3 = mittlere Intensität, 5 = hohe Intensität), sowie zu den allgemeinen Kriterien in verschiedenen Belastungsstufen (Ernährungszustand: 4 = keine, 3 = gering, 2 = mittel; Verpilzung und Parasiten: 0 = keine, 1 = gering, 2 = mittel, 3 und 4 = stark); abgeändert nach Mueller et al. 2017

Nach der Bewertung werden die Fische, sortiert nach Versuchsgruppe (=Reuse) in der sie gefangen wurden, Größe und Fischart bzw. Schuppentyp (Kammschupper oder Rundschupper), in nummerierte Hälterungsboxen gegeben. Um verzögerte Effekte zu erfassen wird die Vitalität aller Individuen während der Hälterungskontrollen nach 24, 48, 72 und 96 Stunden kontrolliert. Die Ergebnisse werden analog zur sofortigen Bewertung auf dem Protokoll dokumentiert. Um nach der Hälterung eine Zuordnung jedes Fisches zu ermöglichen, wird eine individuelle Identifikationsnummer („Barcode“) vergeben. Die schmerzfrei mittels einer Überdosis eines Narkotikums (z.B. 10-fache Überdosierung von MS 220) getöteten und die durch die Passage gestorbenen Fische (sofort und verzögert) werden eingefroren, um im Nachgang innere Verletzungen mittels Röntgendiagnostik zu erfassen. Die inneren Verletzungen werden anhand der Röntgenbilder mit einem standardisierten Protokoll für innere Verletzungen erfasst (Mueller et al. 2020b), allerdings wird für dieses Verfahren ein Röntgenlabor benötigt. Weitere Methoden zur Erfassung innerer Verletzungen wie beispielsweise Sektion und Durchleuchtung werden in Schmalz et al. 2015 erläutert.

Vor Untersuchungsbeginn am Standort sollte ein Einführungs- und Eichungstermin stattfinden, um die Auswertenden zu schulen. Dabei sollten tote und lebendige Fische mit unterschiedlichen Verletzungen ausgewertet und die Ergebnisse von Fachleuten geprüft, sowie Abweichungen besprochen werden. Zudem empfiehlt es sich, erstmalige Teilnehmende nicht direkt mit der Untersuchung und der Auswertung der Verletzungen zu betrauen. Da für die Anwendung des Protokolls im Regelfall zwei Personen zum Auswerten und Schreiben gebraucht werden können erstmalig Teilnehmende als Schreibkräfte an den Auswertungen teilnehmen und in das Thema eingearbeitet werden.

Um den Ausgangszustand der Versuchsfische zu erfassen müssen diese in Bezug auf Vorschädigungen untersucht werden. Die Kontrollgruppe „Vorschädigung“ ermöglicht es, die Verletzungen der Fische in den untersuchten Versuchsgruppen im Verhältnis zum Ausgangszustand der eingesetzten Zuchtfische zu beurteilen. Für die statistische Absicherung ist auf eine möglichst hohe Anzahl an Fischen in der Kontrollgruppe „Vorschädigung“ zu achten. Im Projekt der TUM wurden bei ausreichend hoher Gesamtanzahl an Versuchsfischen mindestens 240 Fische pro Fischart auf Vorschädigungen untersucht. Auswertende sollten innerhalb eines Versuchsblocks nicht durch eine andere Person ausgetauscht werden und Fische aus verschiedenen Versuchsgruppen bewerten, um systematische Fehler durch Bearbeitereffekte zu vermeiden.

4 Anwendungsbeispiel Verletzungsprotokoll

Eine Validierung dieser Methodik wurde an der konventionellen nachgerüsteten Wasserkraftanlage Baidersdorf an der Regnitz (TUM Abschlussbericht 2020, Band 3: Mueller et al. 2020c) mit 3.087 Individuen aus vier Fischarten aus Fischzuchten (Bachforelle, Nase, Flussbarsch und Aal) mit genauer Dokumentation der Vorschädigung durchgeführt (standardisierte Fischzugaben). Die Fischzugaben erfolgten an drei Stellen: oberhalb des Rechens (Versuchsgruppe „Turbine & Rechen“), unmittelbar vor der Turbine (Versuchsgruppe „Turbine“) und am Eingang des Hamens unterhalb des Kraftwerks (Kontrollgruppe „Hamen“). Dadurch konnte gezielt zwischen dem Einfluss des Rechens und der Turbine sowie handling- bzw. fangbedingten Verletzungen differenziert werden. Anhand einer Stichprobe (insgesamt 63 Aale, 74 Bachforellen, 43 Flussbarsche und 33 Nasen) wurde zudem vor Beginn der Versuche bestimmt, ob und mit welchen Vorschädigungen die Versuchsfische aus den Fischzuchten und nach dem Transport am Standort eintrafen (Kontrollgruppe „Vorschädigung“). Zusätzlich wurde das Protokoll an 2.262 Individuen aus 32 Wildfisch-Arten (Fang im Turbinenkorridor/Natürlicher Fischabstieg: 1.865 Individuen, Fang mittels Elektrofischungen im Oberwasser: 397 Fische) getestet, um die Ergebnisse der standardisierten Fischversuche validieren zu können bzw. Unterschiede zwischen Zucht- und Wildfischen aufzuzeigen.

Die standardisierten Fischzugaben an der Wasserkraftanlage Baidersdorf haben ergeben, dass die Diversität der Verletzungen der insgesamt 3.087 Individuen aus vier Fischarten sehr hoch war. Über alle getesteten Fischarten und Versuchsgruppen einschließlich der Kontrollgruppe „Vorschädigung“ wurden leichte Verletzungen wie Einrisse in den Flossen (63 %, Prozentangabe stets als Anteil von 100 % aller wiedergefangenen Fische) und Schuppenverluste (60 %) am häufigsten beobachtet. Seltener traten Einblutungen (44 %), Hautverletzungen (43 %), Teilamputationen der Flossen (31 %), Pigmentveränderungen (24 %) und Quetschungen (11 %) auf. Amputationen von Körperteilen wurden lediglich für 2 % aller untersuchten Fische dokumentiert. Gasblasen in den Flossen und Verletzungen des Rückgrats traten am seltensten auf (< 1 % aller Fische). Schwere Verletzungen wie Amputationen von Körperteilen und Wirbelsäulenverformungen traten ausschließlich nach der Turbinenpassage (Versuchsgruppen „Turbine“ und „Turbine & Rechen“) mit geringer Häufigkeit aber in hoher Intensität auf. Verletzungen mittleren Schweregrades wie Einblutungen, Hautverletzungen und Gasblasen in den Augen traten nach der Turbinenpassage ebenfalls mit erhöhter Intensität auf. Die Verletzungintensität und -häufigkeit war bei Fischen nach der Kraftwerkspassage (Versuchsgruppe „Turbine“ und „Turbine & Rechen“) generell höher als bei den Kontrollgruppen „Vorschädigung“ und „Hamen“. Im Vergleich zu den Kontrollgruppen war nach der Turbinenpassage beispielsweise die Anzahl des Verletzungstyps „Gasblasen in den Augen“ um das 12-fache, die Anzahl von Quetschungen um das bis zu Sechsfache und die Intensität von Einblutungen um das bis zu Vierfache erhöht. Eine Verringerung der Vitalität, Schuppenverluste, Einrisse in den Flossen, Hautverletzungen und Einblutungen trugen am stärksten zu den Unterschieden zwischen den Versuchsgruppen mit Turbinenpassage und der Kontrollgruppe „Hamen“ bei.

Grundsätzlich waren die Verletzungsmuster stark artspezifisch und können Hinweise auf die Risikopotentiale verschiedener Kraftwerkstypen und Bauweisen geben. Beispielsweise war die mittlere Verletzungintensität von Schuppenverlusten und Hautverletzungen bei den oberhalb des 15 mm Vertikalrechens eingesetzten Aalen höher als bei Aalen der Versuchsgruppe „Turbine“, die den Rechen nicht passiert haben (siehe Mueller et al. 2020c, Kapitel 2.1.2.4). Dies deutet darauf hin, dass der Rechen, der zum Schutz der Fische gedacht ist, bei zu hoher Anströmgeschwindigkeit zusätzliche Verletzungen insbesondere bei mittelgroßen Fischen verursachen kann. Zudem war die Variabilität der Verletzungen der einzelnen Individuen sehr hoch, daher ist eine hohe Anzahl an Versuchsfischen notwendig, um die Effekte der Fischpassage durch die Wasserkraftanlage zuverlässig ermitteln zu können.

Auch bei den 2.262 Wildfischen aus 32 Arten unterschieden sich die Verletzungsmuster nach der Turbinenpassage deutlich zwischen den Fischarten. Am stärksten waren diese Unterschiede zwischen Arten mit Rundschuppen und Kammschuppen ausgeprägt. Fische mit Rundschuppen wiesen beispielsweise häufiger und intensivere Schuppenverluste auf, da die Schuppen lockerer in der Haut sitzen als bei Kammschuppen. Die Verletzungsmuster unterschieden sich nach der Turbinenpassage deutlich zwischen Wildfischen und Zuchtfischen der gleichen Art. Im Vergleich zu den Zuchtfischen aus den standardisierten Fischzugaben wiesen Wildfische nach der Turbinenpassage durchschnittlich eine höhere Intensität von Schuppenverlusten und eine stärkere Beeinträchtigung der Vitalität auf. Dies deutet darauf hin, dass viele der Wildfische bereits vorgeschädigt waren, bevor sie die Anlage passiert hatten, zum Beispiel aufgrund von Verletzungen durch die Passage oberhalb gelegener Wasserkraftanlagen (nächstgelegenes Kraftwerk ca. 6,7 km oberstrom) oder durch Begegnungen mit Prädatoren. Bei oberhalb des Wasserkraftwerks mittels Elektrofischerei gefangenen Wildfischen waren bereits verschiedene Verletzungen unterschiedlicher Intensitäten vorhanden.

5 Ableitung von Beeinträchtigungsgraden zur Bewertung von Fischverletzungen

Wagner et al. (2019) haben im Rahmen eines Projektes des Umweltbundesamts die mithilfe des Verletzungsprotokolls dokumentierten Verletzungen in einem weiteren Schritt vor der Datenanalyse in ein fünfstufiges Bewertungssystem von Beeinträchtigungsgraden umkodiert. Die Beeinträchtigungsgrade beginnen bei 0 = unverletzt und reichen bis 5 = letal. Je nach Verletzungsintensität und Verletzungstyp (verletztem Körperteil) können die Beeinträchtigungsgrade variieren. Bei der Ableitung der Beeinträchtigungsgrade aus den Verletzungen wird berücksichtigt, dass verschiedene Kombinationen aus Verletzungstyp, betroffener Körperregion und Verletzungsintensität unterschiedliche Auswirkungen auf die biologische Fitness des Fisches haben können. Beispielsweise bedeutet ein Flosseneinriss auch bei einer Intensität 5 (vergleiche Abb. 3) aufgrund bestehender Heilungschancen nur eine vorübergehende Beeinträchtigung und wird daher dem Beeinträchtigungsgrad 2 zugeordnet (leichte Verletzungen). Eine Amputation am Körper ist hingegen schon bei einer Intensität von 1 (vergleiche Abb. 3) als eine ernsthafte Beeinträchtigung der Fitness anzusehen und wird dem Beeinträchtigungsgrad 4 (präletal) zugeordnet (Tab. 3). Fische mit einer sofortigen oder verzögerten Mortalität innerhalb der Beobachtungsdauer (in Wagner et al. 2019: 48 Stunden) werden unabhängig von den Verletzungen dem Beeinträchtigungsgrad 5 zugeordnet.

Die zusätzliche Berechnung der aus den Verletzungen resultierenden Beeinträchtigungen erlaubt also Rückschlüsse darauf, wie sich die Kraftwerkspassage auf die Fitness der Fische auswirkt. Dieser Ansatz erlaubt, ebenso wie die Erfassung von äußeren Verletzungen nach Mueller et al. (2017), eine vergleichbare Beurteilung von Fischschädigungen unter Berücksichtigung von Vorschädigungen und Handlingeffekten.

Tab. 3: Beeinträchtigungsgrade von Verletzungen und Intensitäten, die mithilfe des Verletzungsprotokolls erfasst wurden, aus Wagner et al. (2019). Die Beeinträchtigungsgrade stellen den Fitnessverlust dar, den der Fisch infolge der Verletzung erleidet. Die Beeinträchtigungsgrade reichen von 1 (unverletzt) bis 5 (letal)

Verletzungen	Intensität 1	Intensität 3	Intensität 5
Amputation Kopf	4	4	5
Amputation Kiemendeckel	3	3	3
Amputation Körper	4	5	5
Amputation Flossen	2	2	3
Schuppenverlust Körper	2	3	4
Hautverletzung/Wunden Kopf	3	3	3
Hautverletzung/Wunden Körper	3	3	3
Einblutung/Hämatom Auge	2	2	2
Einblutung/Hämatom Kopf	2	2	2
Einblutung/Hämatom Körper	2	2	2
Einblutung/Hämatom Flossen	2	2	2
Quetschung	3	3	3
Einriss Flossen	2	2	2
Pigmentveränderung Kopf	2	2	2
Pigmentveränderung Körper	2	2	2
Verletzung Rückgrat	4	4	4
Glotzauge	2	2	2
Gasblasen Auge	2	2	2
Gasblasen Flossen	2	2	2

6 Anwendungsbeispiel zur Ableitung von Beeinträchtigungsgraden

An der Wasserkraftanlage Rappenberghalde am Neckar (Standort mit 15 mm Horizontal-Leitrechen und schleusenartigem Bypasssystem) wurden von August 2016 bis April 2017 die Verletzungen und die Mortalität von individuell markierten Wildfischen nach der Passage der verschiedenen Abstiegs-korridore am Standort (Hauptturbinen, Leerschuss, Bypass, Restwasserturbine am Ausleitungswehr) untersucht. Für die Untersuchung wurden insgesamt 1.868 Fische (v.a. Gründling, Schneider, Aitel) im Neckar nahe der Kraftwerksanlage gefangen, auf Vorschädigungen untersucht und mit passiven Sendern (PIT-tags) versehen. Die individuelle Markierung aller Fische ermöglichte den Vergleich des Gesundheitszustandes jedes Individuums vor und nach der Standortpassage. Hierdurch konnte der Effekt auch leichter Vorschädigung der Fische auf die passagebedingte Schädigung genau analysiert werden. Zudem wurde eine Kontrollgruppe direkt in die jeweilige Fangeinrichtung eingebracht, um eine Differenzierung von fang- und passagebedingten Effekten zu ermöglichen (165 Individuen pro Fangeinrichtung, potamodrome Wildfische aus dem Neckar mittels Elektrofischung, Zukauf von 210 Blankaalen aus Rhein und Neckar).

Die standardisierten Versuche zur Schädigung zeigten, dass fast 89 % der mit PIT-Tags markierten Fische nach dem Wiederaufstieg Verletzungen aufwiesen, die dem Beeinträchtigungsgrad 2 entsprechen. Dabei handelte es sich um als leicht einzustufende Verletzungen wie etwa Flosseneinrisse (36 %) oder kleinflächige Schuppenverluste (26 %), die geringfügige Beeinträchtigungen darstellen und in der Regel wieder abheilen. Da derartige Verletzungen auch im Wildtierbestand natürlicherweise relativ häufig vorkommen bzw. durch Fang und Handling verursacht werden können, wurden Verletzungen des Beeinträchtigungsgrades 2 aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Im Leerschuss und in der Hauptturbine wiesen jeweils etwa 27 % der wiedergefangenen Fische Verletzungen auf, die mindestens einer mittelschweren Beeinträchtigung (Beeinträchtigungsgrad 3) entsprechen. Die über den Leerschuss abgestiegenen Fische wiesen dabei überwiegend mittelschwere Beeinträchtigungen auf (z.B. Schuppenverluste der Intensität 3, oberflächliche Hautverletzungen). Schwere Verletzungen, die tödlich sind oder wahrscheinlich zum Tod führen (Beeinträchtigungsgrade 4 und 5), kamen im Leerschuss nur bei 2 %, in der Hauptturbine allerdings bei 24 % der wiedergefangenen Fische vor. Der geringste Anteil verletzter Fische fand sich nach der Bypasspassage (0 % für Beeinträchtigungsgrad 3, 1 % für Beeinträchtigungsgrade 4 und 5). Die Restwasserturbine verursachte höhere Schädigungs-raten als die Hauptturbine: Im Subkorridor Restwasserturbine des Ausleitungswehrs wiesen 44 % der wiedergefangenen Fische schwere Verletzungen der Beeinträchtigungsgrade 4 und 5 auf. Durch die Passage der Restwasserturbine sind die Fische demnach einem hohen Verletzungsrisiko ausgesetzt, welches schwere Beeinträchtigungen der Fitness mit sich bringen kann.

7 Literatur

Mueller, M., Knott, J., Egg, L., Bierschenk, B., Pander, J. & Geist, J. (2020a): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 1 Hintergrund und Methoden. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 182 Seiten.

Mueller, M., Sternecker, K., Milz, S. & Geist, J. (2020b): Assessing turbine passage effects on internal fish injury and delayed mortality using X-ray imaging. PeerJ 8:e9977. DOI 10.7717/peerj.9977.

Mueller, M., Knott, J., Egg, L., Suttor, C., Pander, J. & Geist, J. (2020c): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 3 Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 92 Seiten.

Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. (2017). Evaluation of external fish injury caused by hydropower plants based on a novel field-based protocol. Fisheries Management and Ecology 24, 240-255. DOI: 10.1111/fme.12229.

Schmalz, W., Wagner, F. & Damien, S. (2015). Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung des Fischschutzes und Fischabstieges. Forum „Fischschutz und Fischabstieg“. 215 Seiten.

Wagner, F., Warth, P. & Schmalz, W. (2019). Evaluierung von Fischschutz- und Fischabstiegsmaßnahmen an einem Wasserkraftstandort für die Umsetzung des WHG § 35. Abschlussbericht. Umweltbundesamt. 179 Seiten.

Wagner, F. & Warth, P. (2020): Evaluierung primärer Schädigung von Fischen an Wasserkraftanlagenstandorten. Methodische Empfehlungen zur Quantifizierung des Schädigungs- und Mortalitätsrisikos von Fischen bei der Passage von Wasserkraftanlagenstandorten. Fact Sheet 03. Forum „Fischschutz und Fischabstieg“. 13 Seiten.

8 Anhang

Körperregion	Körperteil	Intensität	Schuppenverlust	Amputation	Einrisse	Einblutungen	Quetschungen	Hautverletzungen	Verletzung Wirbelsäule	Pigmentveränderung	Gasblasen									
Kopf	Schädel	0	 	Keine Amputation 0%	 	Keine Einblutungen 0%	Keine Quetschungen 0%	Keine Hautverletzungen 0%	 	Keine Pigmentveränderungen 0%	 									
		1		Kopf teilweise abgetrennt <50%		Einzelne rote Punkte <5% der Kopffläche	Einzelne Druckstelle <5% des Kopfes	Einzelne Schürfwunden mit <5% der Hautoberfläche		Einzelne dünne Verfärbungen <5% der Kopffläche, hell oder dunkel										
		3		Großteil des Kopfes abgetrennt 50%-75%		Blutiges Maul/Nase mit 5%-15% der Kopffläche	Mehrere Druckstellen, 5%-20% der Kopffläche	Großflächige Hautverletzungen 5-20% der Hautoberfläche oder einzelne tiefere Fleischwunde bis auf den Schädelknochen		Viele helle oder dunkle Verfärbungen auf 5%-15% der Kopffläche										
		5		Kopf (fast) vollständig abgetrennt >75%		Ganzer Kopf blutig >15%	> 20% des Kopfes deformiert	>20% der Haut vollständig abgeschüft oder mehrere tiefe Fleischwunden		Flächen >15% hell oder dunkel verfärbt										
	Augen	0		Auge unversehrt und zu 100% in der Augenhöhle		 	Keine Einblutungen 0%	Keine Quetschungen 0%		 		 	 	 	Keine Gasblasen 0%					
		1		Auge steht aus der Augenhöhle >50% heraus			Einzelner roter Punkt im Auge <5%	<5% des Auges leicht nach innen oder außen gedrückt							Einzelne kleine Gasblasen <5%					
		3		Nur noch <50% des Auges in der Augenhöhle bzw. Auge hängt nur noch am Sehnerv fest			Mehrere rote Punkte im Auge oder teile des Auges blutig 5%-25%	5%-20% des Auges nach innen oder außen gedrückt							Mehrere kleine oder einzelne größere Gasblasen die bis zu 20% des Auges einnehmen					
		5		Auge fehlt, 0% in der Augenhöhle.			Auge zu >25% blutig	>20% des Auges nach innen oder außen gedrückt							Große Gasblasen oder mehrere mittlere Gasblasen >20% des Auges					
	Kiemen- deckel	0		 			Keine Amputation 0%	 							Keine Einblutungen 0%	Keine Quetschungen 0%	Keine Hautverletzung 0%	 	 	Keine Pigmentveränderung 0%
		1					<50% des Kiemendeckels fehlend								Einzelne rote Punkte <5% der Kiemendeckeloberfläche	Einzelne Druckstellen auf <5% der Kiemendeckeloberfläche	Kleine Abschürfungen von <5% der Kiemendeckeloberfläche			Einzelne dünne Verfärbungen <5% der Kiemendeckeloberfläche, hell oder dunkel
		3					>50% des Kiemendeckels fehlend								Mehrere rote Punkte mit 5%-25% der Kiemendeckeloberfläche	Mehrere Druckstellen auf 5%-20% der Kiemendeckeloberfläche	Einzelne großflächige Abschürfung von 5-20% oder einzelne tiefe, auf den Knochen reichende Fleischwunde			Viele helle oder dunkle Verfärbungen auf 5%-25% der Kiemendeckeloberfläche
		5					Kiemendeckel fehlt vollständig								Mehr als >25% des Kiemendeckels blutig	>20% der Kiemendeckeloberfläche deformiert	Haut auf >20% vollständig abgeschüft oder mehrere tiefe Fleischwunden			Flächen >25% hell oder dunkel verfärbt

Abb. 5: „Score Sheet“ Seite 1 mit den Schädigungskriterien zur Einteilung der Intensität der Einzelverletzungen im Fischschädigungsprotokoll, ausgekreuzte Tabellenfelder zeigen Schädigungskombinationen an, die sich nicht ergeben können; abgeändert nach Mueller et al. 2017

Körperregion	Körperteil	Intensität	Schuppenverlust	Amputation	Einrisse	Einblutungen	Quetschungen	Hautverletzungen	Verletzung Wirbelsäule	Pigmentveränderung	Gasblasen
Linke, rechte, vordere und hintere Körperhälfte		0	Alle Schuppen vorhanden 0%	Leibeshöhle geschlossen und alle Körperteile vorhanden 0%		Keine Einblutungen 0%	Keine Quetschungen oder Druckstellen 0%	Keine Hautverletzung 0%		Keine Pigmentveränderung 0%	
		1	>30% der normalerweise beschuppten Körperfläche ohne Schuppen	Körper zu <25% durchtrennt, Muskelgewebe dabei vollständig durchtrennt und der Leibeshöhle geöffnet, Wirbelsäule nicht sichtbar		Einzelne rote Punkte <5% der Körperfläche	Leichte Druckstellen auf <5% der Körperfläche	Kleine Abschürfungen von <5% der Körperfläche		Einzelne Verfärbungen <5% der Körperoberfläche, hell oder dunkel	
		3	30%-70% der normalerweise beschuppten Körperfläche ohne Schuppen	Körper zu 25%-50% durchtrennt, Wirbelsäule sichtbar und intakt		Mehrere rote Punkte 5-20% der Körperfläche	5-20% der Körperfläche mit Druckstellen/Quetschungen	Größere Abschürfungen von 5-20% der Körperfläche oder einzelne ins Muskelgewebe reichende Wunden		Viele helle oder dunkle Verfärbungen auf 5%-25% der Körperfläche	
		5	>70% der normalerweise beschuppten Körperfläche ohne Schuppen	>50% des Körpers durchtrennt, Wirbelsäule durchtrennt (Keine zusätzliche Dokumentation von Verletzungen der Wirbelsäule!)		Größere blutige Bereiche >20% der Körperfläche	>20% der Körperfläche deformiert	Haut auf >20% vollständig abgeschürft oder mehrere ins Muskelgewebe reichende Wunden		Flächen >25% hell oder dunkel verfärbt	
Körper	Dorsal	0							Keine Verformung der Wirbelsäule		
		1							Einzelne Biegung in der Wirbelsäule		
		3							S-Förmige Verkrümmung der Wirbelsäule		
		5							Wirbelsäule im sonst intakten Fisch gebrochen		
Körper	Ventral	0				Keine Einblutungen 0%		Keine Hautverletzung 0%		Keine Pigmentveränderung 0%	
		1				Einzelne kleine rote Punkte auf < 5% der Bauchfläche		Kleine Abschürfungen von <5% der Bauchfläche		Einzelne Verfärbungen <5% der Bauchfläche, hell oder dunkel	
		3				Mehrere rote Punkte die 5-20% der Bauchfläche bedecken		Größere Abschürfungen von 5-20% der Bauchfläche oder einzelne ins Muskelgewebe reichende Wunden		Viele helle oder dunkle Verfärbungen auf 5%-20% der Bauchfläche	
		5				Bereiche >20% der Bauchfläche blutig		Haut auf >20% vollständig abgeschürft oder mehrere ins Muskelgewebe reichende Wunden		Flächen >20% hell oder dunkel verfärbt	

Abb. 6: „Score Sheet“ Seite 2 mit den Schädigungskriterien zur Einteilung der Intensität der Einzelverletzungen im Fischschädigungsprotokoll, ausgekreuzte Tabellenfelder zeigen Schädigungskombinationen an, die sich nicht ergeben können; abgeändert nach Mueller et al. 2017

Abb. 7: „Score Sheet“ Seite 3 mit den Schädigungskriterien zur Einteilung der Intensität der Einzelverletzungen im Fischschädigungsprotokoll, ausgekreuzte Tabellenfelder zeigen Schädigungskombinationen an, die sich nicht ergeben können; abgeändert nach Mueller et al. 2017

Körperregion	Körperteil	Intensität	Schuppenverlust	Amputation	Einrisse	Einblutungen	Quetschungen	Hautverletzungen	Verletzung Wirbelsäule	Pigmentveränderung	Gasblasen
Flossen Brust-, Bauch-, After-, Rücken-, und Schwanz- flosse		0		Keine Amputation 0%	Keine Einrisse 0%	Keine Einblutungen 0%	X	X	X	Keine Pigmentveränderungen 0%	Keine Gasblasen 0%
		1		<30% der Flossenstrahlen fehlen	< 5 kurze Einrisse	Einzelne kleine rote Punkte auf < 5% der Flossenfläche				Einzelne Verfärbungen <5% der Flossenfläche hell oder dunkel	Einzelne kleine Gasblasen <5%
		3		30%-70% der Flossenstrahlen fehlen	>5 kurze Einrisse oder einzelne sehr tiefe Einrisse	Mehrere rote Punkte die 5- 25% der Flossenfläche bedecken				Viele helle oder dunkle Verfärbungen auf 5%-25% der Flossenfläche	Mehrere kleine oder einzelne größere Gasblasen die bis zu 20% der Flosse einnehmen
		5		>70% der Flossenstrahlen fehlen (keine Dokumentation von Einrisse mehr)	Flosse vollständig zerfetzt	Bereiche >25% der Flossenfläche blutig	X	X	Flächen >25% hell oder dunkel verfärbt	Große Gasblasen oder mehrere mittlere Gasblasen >20% der Flosse	



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

