

LEHRSTUHL FÜR AQUATISCHE SYSTEMBIOLOGIE

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

WISSENSCHAFTSZENTRUM WEIHENSTEPHAN

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Abschlussbericht 2020

Band 2b: Freising an der Moosach

Vergleich von sonar-, kamera- und netzbasierten
Monitoringmethoden



M.Sc. Leonhard Egg, Dr. Melanie Mueller, Dr. Joachim Pander, M.Sc. Josef Knott,
Prof. Dr. Jürgen Geist

30. JUNI 2020

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
1. Einleitung & Methoden	1
1.1. Netzgestützte Erfassung des Fischabstieges	2
1.2. Sonargestützte Erfassung des Fischabstieges	3
1.3. Kameragestützte Erfassung des Fischabstieges	5
1.4. Statistische Auswertung.....	5
2. Ergebnisse & Diskussion	6
2.1. Erfasste Fischanzahl.....	7
2.2 Erfasste Fischlängen	10
2.3. Erfasste Artenzusammensetzung	14
Literaturverzeichnis	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vogelperspektive des Untersuchungsaufbaus	3
Abbildung 2 Links: ARIS Explorer 3000, zusätzlich ausgerüstet mit einem drehbaren Rotator AR2, Rechts: Halterungskonstruktion für das Sonar	4
Abbildung 3 Links: Hebekonstruktion mit Flaschenzug für den Fanghamen, Rechts: Angehobener Hamen am Kettenzug.....	5
Abbildung 4 Box-Whisker Plot der detektierten Anzahl an Fischen/0,75 h für die verschiedenen Monitoringsysteme.....	10
Abbildung 5 Box-Whisker Plot der detektierten Fischlängen für die verschiedenen Monitoringsysteme.....	11
Abbildung 6 A: Anzahl der mit den verschiedenen Monitoringsystemen erfassten Fische B: Relativer Beitrag zu der mit der jeweiligen Methode gefangenen Anzahl an Fischen	13
Abbildung 7 NMDS der Artenzusammensetzung, die mit dem kameragestützten System und dem Hamen erfasst wurde	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Mittelwerte und Standardabweichung der gemessenen abiotischen Parameter unterteilt nach Versuchstagen (1–6)	6
Tabelle 2 Gesamtzahl, mittlere Anzahl und Größe (inkl. Standardabweichung, Maxima und Minima), Anzahl Fische nach Größenklassen und prozentuale Aufteilung der Arten der mit den verschiedenen Monitoringsystemen detektierten Fische.....	8

1. Einleitung & Methoden

Das Monitoring von Fischwanderungen an Fischabstiegsanlagen oder anderen Abstiegskorridoren ist ein wichtiges Werkzeug zur Bewertung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. Indem die Anzahl der erfolgreich auf- bzw. abgestiegenen Fische erfasst wird, können Aussagen über die Populationsgröße reproduktionswilliger Individuen bei obligat wandernden Fischarten getroffen werden. Um diese Fischbewegungen zu untersuchen, werden meist arbeits- und materialaufwändige netzbasierte Methoden verwendet. Diese Systeme können sehr störanfällig sein, besonders zu Zeiten, in denen viel Treibgut wie z.B. Blätter, Äste und Blütenteile oder Sediment vom Flusssystem transportiert wird. Zudem unterliegt das Material der Fangeinheiten während der Exposition des Netzes einem nicht unerheblichen Verschleiß, was vor allem bei längeren Untersuchungsperioden zu Netzbrüchen führen kann. Da einige Fischarten wie z.B. der Aal und der Lachs während Zeiten hoher Treibgutfrachten wandern können, sind netzbasierte Systeme oft nur eingeschränkt einsetzbar. Zudem können der Fang und das Handling der Fische dazu führen, dass deren Wanderung unterbrochen, stark verzögert oder ganz aufgegeben wird. Wie in einer Studie über fangbedingte Fischschädigungen nachgewiesen wurde (Pander et al. 2018), bergen netzbasierte Systeme das Potenzial beträchtliche artspezifische Verletzungen zu verursachen. Diese können beispielsweise im Falle der Äsche, kombiniert mit langen Leerungsintervallen (12 h), zu Mortalitätsraten von bis zu 80% führen (siehe Band 2a). Trotzdem werden netzbasierte Methoden derzeit als das Mittel der Wahl eingesetzt, da man mit ihnen das Artenspektrum der wandernden Fische über annähernd alle Größenklassen sehr gut ermitteln kann und sich eine potenzielle individuelle Schädigung standardisiert erfassen lässt.

Sonar- und kameragestützte Untersuchungen des Fischabstieges wurden in der Vergangenheit vor allem bei großen diadromen Fischarten wie Lachsen oder Aalen durchgeführt (Cronkite et al. 2006, Pavlov et al. 2009, Lilja et al. 2010, Egg et al. 2017). Dabei hat sich gezeigt, dass sonar- und kameragestützte Methoden unter gewissen Bedingungen geeignet sind, diese großen Arten in den Wanderkorridoren zu erfassen und zu dokumentieren. Sonargestützte Systeme sind dabei prinzipiell trübungs- und lichtunabhängig und können ohne großen Arbeitsaufwand ähnlich einer Kamera installiert werden (Lilja et al. 2003). Aufgrund des hohen Anschaffungspreises kamen sonargestützte Systeme zur Untersuchung in der Vergangenheit eher selten zum Einsatz. Kameragestützte Systeme hingegen überzeugen mit einem relativ geringen Anschaffungspreis und wenig Arbeitsaufwand, können aber bei schlechten Lichtverhältnissen und bei Trübungswerten > 4 NTU oft keine verwertbaren Daten generieren (Johnson et al. 2004). Der wahrscheinlich größte Vorteil dieser beiden sogenannten innovativen Monitoringsysteme liegt darin, dass diese als nicht-invasiv

gelten und keinen Einfluss auf die Fischwanderung an sich haben. Fische, die detektiert werden, bemerken oft gar nicht, dass ihre Wanderung erfasst wurde und können diese ohne Störung weiterführen.

Bisher ist unbekannt, wie effektiv sich mit kamera- und sonargestützten Methoden Fischwanderungen im direkten Vergleich zu netzbasierten Methoden erfassen lassen. Um diese Erkenntnisse gewinnen zu können, sind standardisierte Versuche notwendig, in denen der wandernde Fischbestand zeitgleich mit diesen Methoden untersucht und verglichen wird. In der vorliegenden Studie wurden daher zeitgleich die drei verschiedenen Systeme Hamennetz mit Steertreuse (Pander et al. 2018), Sonargerät (Egg et al. 2017) und eine Unterwasserkamera angewandt, um potenzielle Fischwanderungen simultan zu untersuchen und die Ergebnisse der verschiedenen Methoden vergleichen zu können (Egg et al. 2018). Ein besonderer Fokus wurde darauf gerichtet, die Grenzen der einzelnen innovativen Systeme zu ermitteln und Empfehlungen zu geben, für welche wissenschaftlichen Fragestellungen sie jeweils geeignet sein können.

Der Versuch wurde in der Moosach am Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie in Freising durchgeführt (siehe Band 2a). Die Moosach bietet mit ihrem relativ konstanten Abflussregime ($MQ = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$; Pegel Freising) und ihrer hohen Sichttiefe hervorragende Bedingungen. Zudem wird der Fließquerschnitt durch ein Schütz verengt und bietet dadurch perfekte Bedingungen für sonar- und kameragestützte Untersuchungen. Der Versuch fand im Sommer 2016 bei einem mittleren Abfluss von $2,36 \text{ m}^3/\text{s}$ statt (04.07.2016–11.07.2016).

Um die abiotischen Verhältnisse während des Versuchs aufzuzeichnen, wurden dreimal täglich Strömung, Temperatur, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung gemessen. Die Strömungsgeschwindigkeit [m/s] wurde mit einem elektromagnetischen Strömungsmessgerät (Ott MF pro, Ott, Kempten, Deutschland) an neun verschiedenen Messpunkten vor dem Schütz erfasst (orografisch links, mittig und rechts jeweils 10 cm unter der Wasseroberfläche, in der Mitte der Wassersäule und 10 cm über dem Gewässergrund). Die Trübung [NTU], die Sauerstoffkonzentration [mg/l], der pH-Wert, die Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] und die Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] wurden orografisch rechts am Flussufer mit einem Multimeter (WTW, Weilheim, Deutschland) gemessen.

1.1. Netzgestützte Erfassung des Fischabstieges

Zur Erfassung des Fischabstieges wurde direkt unterhalb des Schützes im Unterwasser ein Kontrollfanghamen mit Steertreuse eingesetzt (siehe Band 2a, Abbildung 1). Der Hamen (ENGEL-NETZE, Bremerhaven, Deutschland) hatte eine Länge von 6,50 m. Das knotenlose

Nylonnetz setzte sich aus vier verschiedenen Maschenweiten zusammen (von vorne nach hinten: 30 mm, 20 mm, 15 mm und 8 mm). Der Hamen wurde mithilfe eines Bootes in 0,75 h Intervallen geleert. Um sicherzustellen, dass alle abgestiegenen Fische auch tatsächlich in den Steert eingeschwommen sind und sich keine Fische mehr in dem Bereich zwischen Schütz und Hamenöffnung befanden, wurde dieser Bereich vor und nach jedem 0,75 h Intervall elektrobefischt (3 kW, EFKO, Leutkirch, Deutschland). Unmittelbar nach dem Elektrofischen wurde der Hamen mit einem Flaschenzug angehoben, um ausschließen zu können, dass Fische außerhalb des 0,75 h Intervalls in den Hamen einschwimmen (Abbildung 3). Die Fische wurden anschließend vermessen, gewogen und auf Artniveau bestimmt. Zusätzlich wurde jeden zweiten Tag eine Hamenvalidierung mit 40 Gummifischen unterschiedlicher Größe (5 cm und 10 cm) und unterschiedlichem spezifischem Gewicht (schwimmend und sinkend) durchgeführt. Dabei wurde über den gesamten Versuchszeitraum eine Wiederfangrate von 100% erreicht.

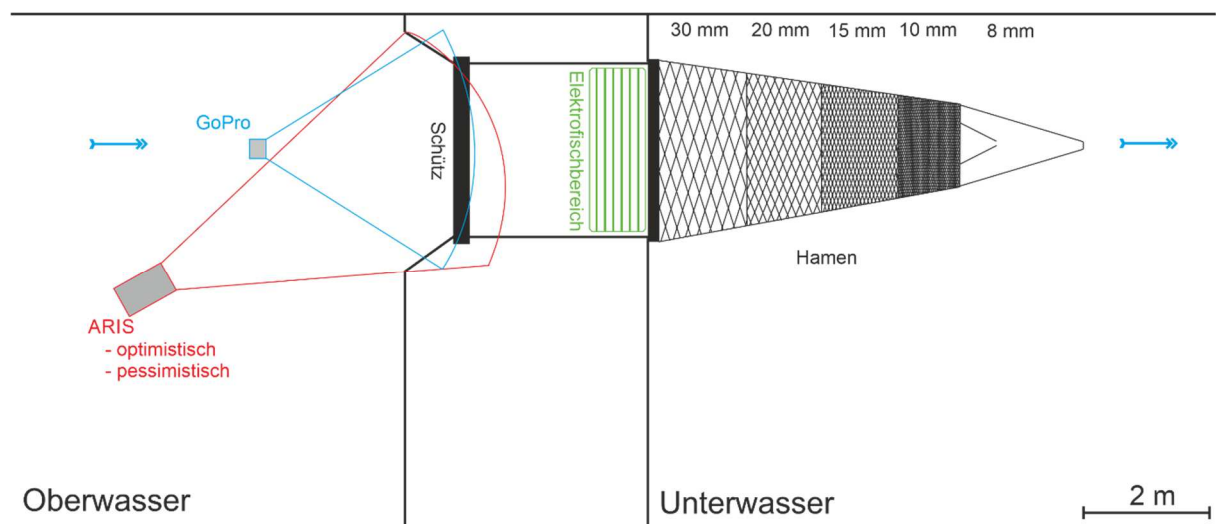


Abbildung 1 Vogelperspektive des Untersuchungsaufbaus. Rot: Sonargestütztes Monitoringsystem mit verschiedenen Aufnahmeverfahren (optimistisch und pessimistisch). Blau: Kameragestütztes Monitoringsystem. Grün: Bereich, der vor und nach jedem Intervall elektrisch befishet wurde. Abgeändert nach Egg et al. (2018).

1.2. Sonargestützte Erfassung des Fischabstieges

Bei der sonargestützten Untersuchung potenzieller Fischwanderungen wurde der Abstieg über das Schütz mit einem hochauflösenden Imaging Sonar (ARIS Explorer 3000, Soundmetrics, Belleview, USA) erfasst. Durch das hochfrequente Multibeam Sonar (Abbildung 2) mit einem horizontalen Winkel von 28° und einem vertikalen Winkel von 14° wurden licht- und trübungsunabhängig Echtzeitaufnahmen von Strukturen und Bewegungen im Gewässer aufgezeichnet. Für diese Untersuchung wurde das ARIS auf eine Frequenz von 3,0 MHz eingestellt (Identifikationsfrequenz laut Hersteller), da dieser Modus die höchste

Auflösung generiert und somit auch die Wahrscheinlichkeit steigt, Fischarten zu erkennen und kleine Fische beim Abstieg erfassen zu können. Um den optimalen Bildausschnitt einzustellen und zur Nachjustierung während der Untersuchungen, wurde das Sonar mit einem drehbaren Schwenkarm ausgestattet (Abbildung 2, AR2 Rotator Soundmetrics, Belleview, USA). Dieses Modul ermöglicht eine laptopgesteuerte Drehbewegung sowie eine Veränderung der Neigung vom Ufer aus. Das ARIS wurde auf der orografisch rechten Seite vor dem Querbauwerk mit einer eigens für diesen Versuch entwickelten Halterung angebracht (Abbildung 2). In dieser Position konnte der ganze Bereich des geöffneten Leerschützes in einer Einstellung abgedeckt werden. Das Sonar zeichnete synchron zu den Leerungsintervallen des Hamennetzes das Geschehen vor dem Leerschütz in 0,75 h Intervallen auf. Absteigende Fische konnten so erfasst werden und im Nachhinein mit der Software ARISFish (Soundmetrics, Belleview, USA) gezählt und vermessen werden. Die Videodaten wurden einzeln mit 20 FPS (frames per second) gesichtet. Jedes abgestiegene fischähnliche Objekt wurde im Echogramm markiert und manuell vermessen (optimistische Messung). Da anzunehmen war, dass bei dieser Zählmethode auch abdriftendes Blattmaterial fälschlicherweise als Fisch detektiert wird, wurde zusätzlich ein zweites Auswerteverfahren (pessimistische Messung) definiert. Hierbei wurde nur jeder abgestiegene Fisch erfasst, der zusätzlich eine eindeutige Schwimmbewegung, die sogenannte Tail-Beat-Frequenz Signatur, im Echogramm aufwies (Mueller et al. 2010).

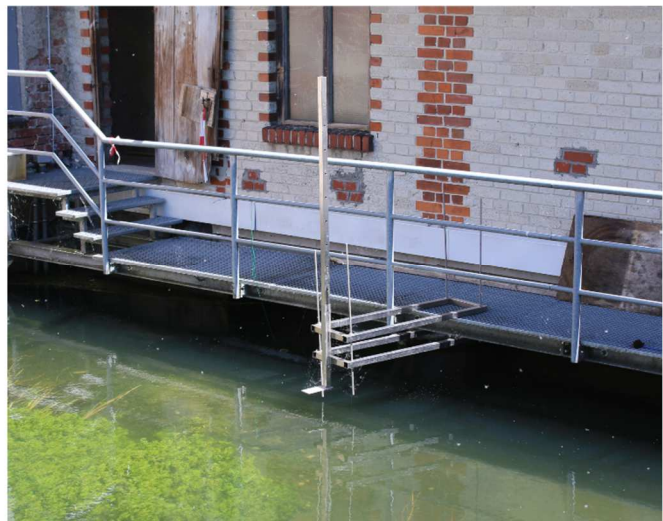


Abbildung 2 Links: ARIS Explorer 3000, zusätzlich ausgerüstet mit einem drehbaren Rotator AR2, Rechts: Halterungskonstruktion für das Sonar.



Abbildung 3 Links: Hebekonstruktion mit Flaschenzug für den Fanghamen, Rechts: Angehobener Hamen am Kettenzug.

1.3. Kameragestützte Erfassung des Fischabstieges

Das kameragestützte System wurde ebenfalls im Oberwasser der Moosach installiert (Abbildung 1). Die verwendete GoPro High Definition Kamera (GoPro 4 Hero, San Mateo, USA) wurde in einem Unterwassergehäuse mit einem extra für diesen Zweck gebauten Arm zur Videoaufnahme 10 cm unter der Wasseroberfläche installiert. Für eine optimale Detektierbarkeit der abgestiegenen Fische an dem Leerschütz wurde eine Auflösung von 1280*720 Pixel gewählt. Die Kamera zeichnete synchron zu den 0,75 h Leerungsintervallen des Hamennetzes und des sonargestützten ARIS Explorer 3000 auf. Die aufgezeichneten Videos wurden im Nachgang gesichtet und die abgestiegenen Fische eines jeden 0,75 h Intervalls wurden gezählt, ihre Art bestimmt und ihre Länge geschätzt.

1.4. Statistische Auswertung

Um methodenspezifische Unterschiede in der Detektionswahrscheinlichkeit der abgestiegenen Fische zu untersuchen, wurden die ermittelten Fischzahlen und Fischlängen mithilfe von univariater Statistik verglichen. Da die Datensätze nicht normalverteilt waren, wurden der Kruskal-Wallis-Test und als post-hoc Test der paarweise Mann-Whitney U-Test mit Bonferroni-Korrektur verwendet (R Core Team 2017).

Zusätzlich wurden die mit den verschiedenen Systemen ermittelten Arten- und Größenklassenzusammensetzungen mit multivariater Statistik analysiert. Die

Artenzusammensetzungen wurden mit einer ANOSIM (Analysis of Similarities) auf Unterschiede zwischen den Systemen getestet und die Ergebnisse in einer NMDS (nicht-metrische multidimensionale Skalierung) dargestellt. Zur Analyse der Größenklassenzusammensetzung wurde eine SIMPER Analyse durchgeführt (Primer 6, Plymouth Marine Laboratories, United Kingdom, www.primer.com), um Größenklassen zu identifizieren, die für die Unterschiede zwischen den Systemen verantwortlich sind. Als Signifikanzniveau wurde $P \leq 0,05$ gewählt.

Detaillierte Beschreibungen der angewandten statistischen Tests und Erläuterungen zu den verwendeten Abbildungstypen finden sich in Band 1 und im Statistikglossar.

2. Ergebnisse & Diskussion

Die Untersuchung fand bei konstanten abiotischen Bedingungen im Sommer 2016 statt (Tabelle 1). Über den gesamten Versuchszeitraum gemittelt betrug der Abfluss der Moosach 2,36 m³/s (HND, Pegel Freising), die Trübung lag bei 3,32 NTU, die Sauerstoffkonzentration bei 11,67 mg/l, die Wassertemperatur bei 16,0°C und die elektrische Leitfähigkeit bei 781 µS/cm. Die durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten vor dem geöffneten Schütz lagen 10 cm unter der Wasseroberfläche bei 0,43 m/s, in der Mitte der Wassersäule bei 0,46 m/s und 10 cm über der Gewässersohle bei 0,36 m/s. Damit wurde der Versuch bei günstigen konstanten abiotischen Bedingungen durchgeführt. Vor allem die konstant niedrigen Trübungswerte ermöglichten einen uneingeschränkten Einsatz des kameragestützten Systems.

Tabelle 1 Mittelwerte und Standardabweichung der gemessenen abiotischen Parameter unterteilt nach Versuchstagen (1–6).

Tag	1	2	3	4	5	6
Temperatur [°C]	15,6 ± 1,0	16,3 ± 0,7	16,2 ± 0,4	13,5 ± 3,2	16,3 ± 0,7	18,0 ± 0,7
Sauerstoffkonzentration [mg/l]	11,76 ± 1,18	11,72 ± 0,87	11,45 ± 0,66	11,63 ± 0,78	11,79 ± 0,66	11,06 ± 0,54
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	781 ± 2	781 ± 2	783 ± 2	781 ± 1	781 ± 1	778 ± 1
pH	8,5 ± 0,8	9,5 ± 0,1	9,8 ± 0,4	9,3 ± 3,4	9,5 ± 0,4	9,5 ± 0,4
Trübung [NTU]	2,54 ± 0,32	2,86 ± 0,40	3,13 ± 0,34	4,18 ± 0,55	3,94 ± 0,34	3,26 ± 0,28
Strömung Wasseroberfläche [m/s]	0,48 ± 0,03	0,47 ± 0,11	0,44 ± 0,08	0,43 ± 0,06	0,41 ± 0,07	0,33 ± 0,10
Strömung Gewässermittle [m/s]	0,54 ± 0,07	0,48 ± 0,09	0,43 ± 0,06	0,44 ± 0,05	0,37 ± 0,05	0,48 ± 0,17
Strömung 10 cm über Grund [m/s]	0,45 ± 0,16	0,41 ± 0,10	0,34 ± 0,08	0,34 ± 0,09	0,27 ± 0,08	0,34 ± 0,05
Abfluss [m ³ /s]	2,50 ± 0,00	2,39 ± 0,06	2,36 ± 0,00	2,36 ± 0,00	2,36 ± 0,00	2,23 ± 0,00

2.1. Erfasste Fischanzahl

Insgesamt wurden 804 Fische mit dem Hamen über die sechs Tage gefangen. Verglichen mit den netzbasierten Fängen ergibt sich für den optimistischen sonargestützten Ansatz (insgesamt 503 Fische) eine Detektionsrate von 63%. Im Gegensatz dazu ergab der pessimistische sonargestützte Ansatz (465 Fische) eine Detektionsrate von 45%. Das kameragestützte System erzielte mit 365 Fischen die geringste Detektionsrate aller alternativen Systeme (Tabelle 2). Im Vergleich zu den Fängen aus dem Hamen konnten mit den alternativen Systemen im gleichen Zeitraum weniger absteigende Fische erfasst werden. Die mittlere Anzahl an Fischen/0,75 h im Hamen war signifikant höher als die Fischdetektionen des pessimistischen sonargestützten bzw. des kamerabasierten Systems (paarweiser Mann-Whitney U-Test: $P < 0,05$; Abbildung 4). Der mit Hilfe der pessimistischen sonargestützten Auswertung ermittelte Wert war 1,7-mal geringer als die Fangzahlen des Hamens. Mit dem kamerabasierten System wurden 2,2-mal weniger Fische als mit dem Hamen ermittelt. Auch im Vergleich zum optimistischen sonargestützten System war die mittlere Anzahl an Fischen/0,75 h im Hamen tendenziell höher, auch wenn in diesem Fall kein signifikanter Unterschied nachgewiesen wurde (paarweiser Mann-Whitney U-Test: $P > 0,05$).

Tabelle 2 Gesamtzahl, mittlere Anzahl und Größe (Totallänge) \pm Standardabweichung sowie Maxima und Minima, Anzahl Fische nach Größenklassen und prozentuale Aufteilung der Arten der mit den verschiedenen Monitoringsystemen detektierten Fische.

	ARIS optimistisch	ARIS pessimistisch	GoPro	Hamen
Gesamte Anzahl	503	465	364	804
Mittlere Anzahl/0,75 h	9,3 \pm 5,8	8,6 \pm 5,7	6,7 \pm 5,9	14,9 \pm 10,9
Maximale Anzahl/0,75 h	26	26	27	44
Minimale Anzahl/0,75 h	0	0	0	0
Mittlere Größe [mm]	129 \pm 76	131 \pm 78	147 \pm 119	116 \pm 86
Maximale Größe [mm]	709	709	900	840
Minimale Größe [mm]	40	40	40	31
Anzahl Fische < 50 mm	11	10	5	29
Anzahl Fische > 50-100 mm	227	203	162	502
Anzahl Fische > 100-150 mm	132	124	81	115
Anzahl Fische > 150-200 mm	61	56	45	50
Anzahl Fische > 200-250 mm	31	31	41	57
Anzahl Fische > 250-300 mm	27	27	21	38
Anzahl Fische > 300 mm	14	14	9	13
Laube [%]	0,0	0,0	6,0	13,1
Aal [%]	0,0	0,0	1,6	0,5
Hecht [%]	0,0	0,0	0,8	0,7
Dreistachliger Stichling [%]	0,0	0,0	0,0	1,0
Signalkrebs [%]	0,0	0,0	0,5	0,9
Flussbarsch [%]	0,0	0,0	0,5	0,2
Bitterling [%]	0,0	0,0	0,0	2,5
Rotaugen [%]	0,0	0,0	3,0	6,6
Bachforelle [%]	0,0	0,0	69,0	66,8
Rotfeder [%]	0,0	0,0	6,3	7,5
Schleie [%]	0,0	0,0	0,0	0,2
Unbekannt [%]	100,0	100,0	12,1	0,0

Die geringere Anzahl an erfassten Fischen der alternativen Systeme lassen den Schluss zu, dass die Ergebnisse durch falsch-negative Detektionen beeinflusst sind. Dieser Effekt könnte prinzipiell aus der gerätespezifischen Auflösung der verschiedenen Systeme resultieren, da die Fische sich in toten Winkeln (z.B. hinter Erhebungen am Gewässergrund) aufhalten können oder von größeren Fischen überdeckt werden können. Letzteres ist vor allem relevant für flussabwärts wandernde Fischschwärme, die eine korrekte Zählung der Fischindividuen unmöglich machen (Becker et al. 2011). Im Fall des kameragestützten Systems können

zudem die Lichtverhältnisse und die Trübung des Wassers limitierende Faktoren darstellen. Da die Studie bei sehr klarer Sicht durchgeführt wurde (durchschnittlich 3,32 NTU), kann die Trübung des Wassers als Grund für die Unterschätzung ausgeschlossen werden. Da während des gesamten Untersuchungszeitraums keine kameragestützten Fischbewegungen nach Sonnenuntergang detektiert werden konnten, können die Lichtverhältnisse als am stärksten limitierender Faktor identifiziert werden. Demzufolge kann dieses System nicht für Monitoringmaßnahmen nach Sonnenuntergang und/oder schlechter Sicht empfohlen werden. Neben den falsch-negativen Detektionen können falsch-positive Detektionen (z.B. Treibgut wird fälschlicherweise als Fisch erkannt) in Betracht gezogen werden (Hateley & Gregory 2006). Da die innovativen Systeme durchschnittlich geringere Fischzahlen im Vergleich zum Hamen erfassen konnten, kann angenommen werden, dass falsch-positive Detektionen in diesem Datensatz keine große Rolle spielten oder von den falsch-negativen Detektionen überlagert wurden. Zudem können falsch-positive Detektionen für die pessimistische sonargestützte Auswertung ausgeschlossen werden, da das verwendete Kriterium der Tail-Beat-Frequenz nur bei lebenden Fischen mit eigener Schwimmbewegung auftritt. Auch bei dem kameragestützten System sind falsch-positive Detektionen, aufgrund der zusätzlichen Information von Farbe und Morphologie der Fische, verbunden mit einer hohen Auflösung des Videomaterials, sehr unwahrscheinlich. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass falsch-positive Detektionen von den falsch-negativen Detektionen ausgeglichen wurden, was die Unterschiede in den Größenklassen erklären könnte.

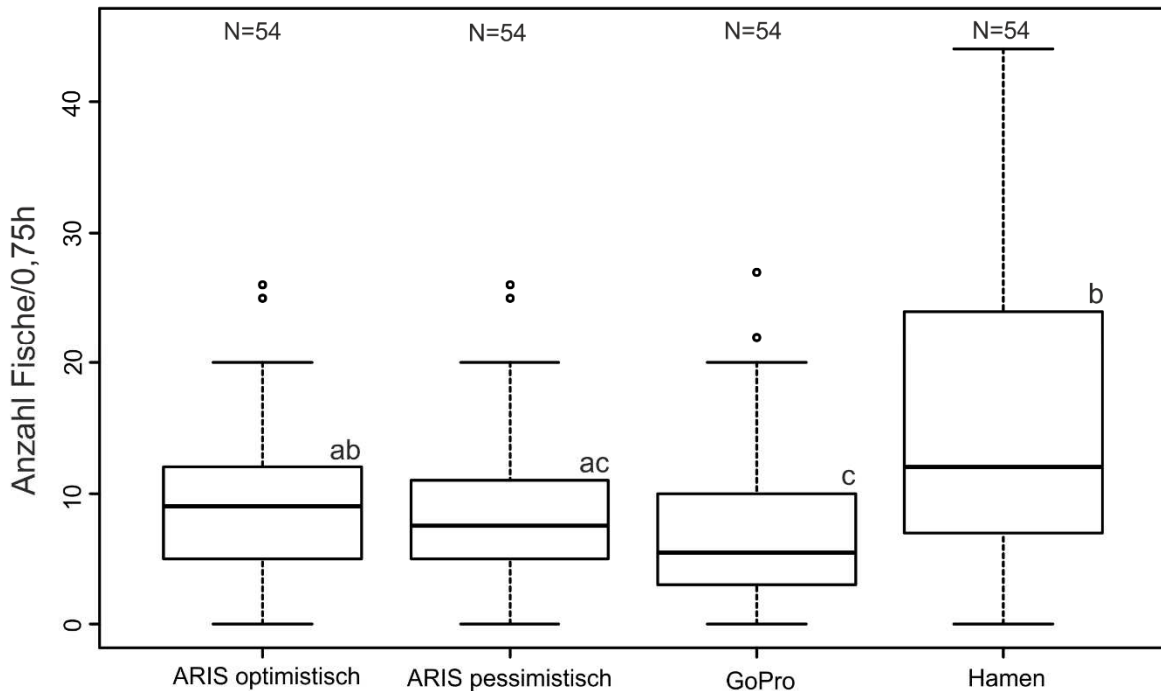


Abbildung 4 Box-Whisker Plot der detektierten Anzahl an Fischen/0,75 h für die verschiedenen Monitoringsysteme. Box: 25% Quantil, Median, 75% Quantil; Whisker = Wertebereich bis zum 1,5-fachen Interquantilabstand; Kreise = Werte außerhalb des 1,5-fachen Interquantilabstands; N = Anzahl der Intervalle; unterschiedliche Kleinbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test). Abgeändert nach Egg et al. (2018).

2.2 Erfasste Fischlängen

Die sonar- und kamerabasierten Systeme detektierten im Vergleich zum Hamen höhere mittlere Fischlängen (Tabelle 2, Abbildung 5). Dies liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit an der höheren Ungenauigkeit dieser Systeme gegenüber dem Hamen auch kleine Fische zu erfassen. Wie auch bei der Anzahl der Fische, erzielte der optimistische sonargestützte Ansatz das beste Ergebnis im Vergleich zum Hamen. Allerdings erfasste das netzbasierte- und das kamerabasierte System Fischlängen über 710 mm, die mit den sonar-basierten Systemen nicht erfasst wurden. Als Grund hierfür konnte die hohe Frequenz des Sonars (3,0 MHz) als mögliche Fehlerquelle identifiziert werden. Schallimpulse dieser hohen Frequenz sind in der Lage große Objekte zu durchdringen ohne ein klares Signal zurück an den Geber zu senden. Dadurch würde selbst bei großen und charakteristischen Fischarten wie z.B. dem Hecht, die Silhouette des Fisches nicht ausreichend dargestellt, was zu falsch negativen Zählungen geführt haben könnte.

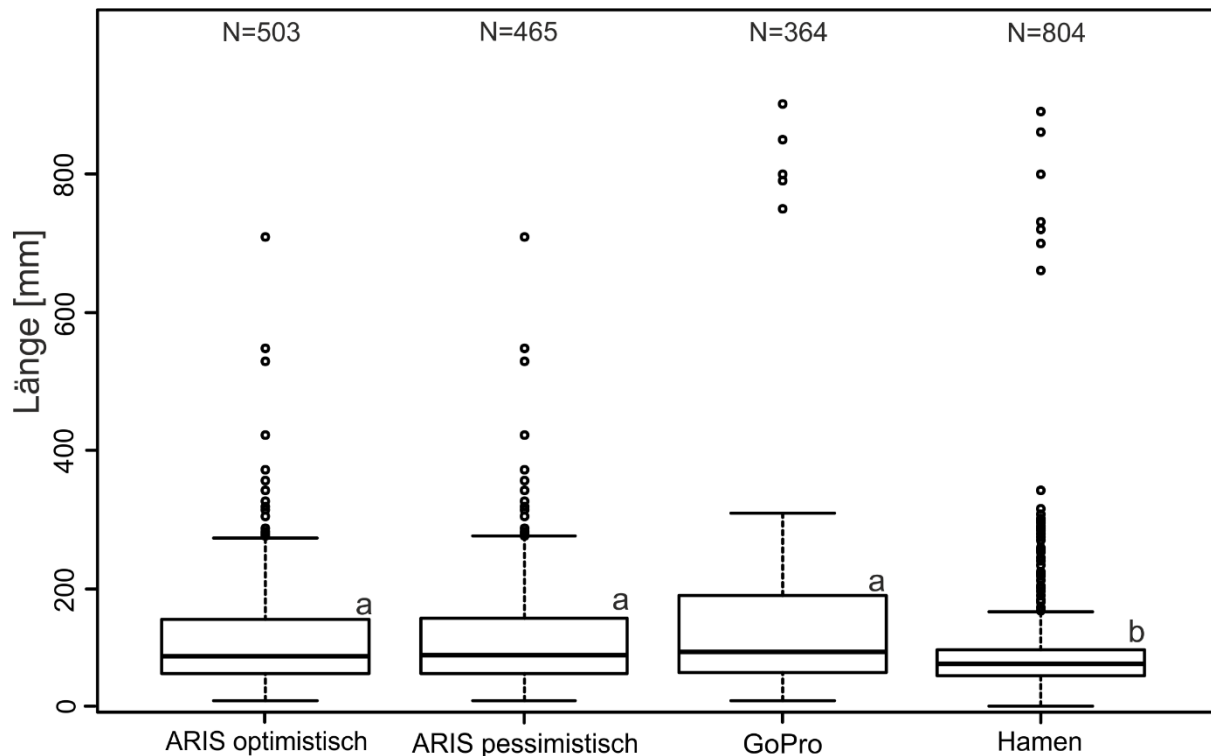


Abbildung 5 Box-Whisker Plot der detektierten Fischlängen für die verschiedenen Monitoringsysteme. Box: 25% Quantil, Median, 75% Quantil; Whisker = Wertebereich bis zum 1,5-fachen Interquartilabstand; Kreise = Werte außerhalb des 1,5-fachen Interquartilabstands; N = Anzahl der Fische; unterschiedliche Kleinbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test). Abgeändert nach Egg et al. (2018).

Der Hamen detektierte eine dreimal höhere Anzahl an Fischen der Größenklasse < 50 mm als die sonargestützten Systeme und eine sechsmal höhere Anzahl im Vergleich zu dem kameragestützten System (Tabelle 2). In der folgenden Größenklasse (> 50–100 mm) detektierte der Hamen doppelt so viele Fische im Vergleich zu den sonargestützten Systemen und dreimal mehr Fische als das kameragestützte System (Abbildung 6). Aus den Unterschieden in dieser Größenklasse ergab sich in der SIMPER Analyse der größte Beitrag zur Unähnlichkeit zwischen den verglichenen Methoden. In der darauf folgenden Größenklasse (> 100–150 mm) ermittelten die sonarbasierten Systeme eine ähnliche Anzahl an abgestiegenen Fischen im Vergleich zum Hamen. Das kameragestützte System zeigte weitere Defizite in dieser Größenklasse und unterschätzte die Anzahl der Fische. Demnach kann das sonargestützte System für Untersuchungen von Fischen > 100 mm empfohlen werden. Das kameragestützte System kann für Fischlängen > 150 mm bei ausreichenden Lichtverhältnissen und geringen Trübungsverhältnissen empfohlen werden.

Die geringere Fischzahl in den kleinen Größenklassen könnte auf Messfehler der einzelnen Methoden zurückgeführt werden. Messungen aus den Netzfängen können potenziell mit einem marginalen Messfehler von ± 10 mm, durch die Bewegungen der Fische beim Messen, behaftet sein. Im Gegensatz dazu können sonargestützte Methoden einen weitaus größeren

Messfehler aufweisen. Dieser kann durch die Position des Sonars, das Fischverhalten und den Winkel des Fisches zum Geber beeinflusst werden. Burwen et al. (2010) demonstrierten, dass sogar derselbe Fisch (Lachs 900 mm) einen Messfehler von bis zu 130 mm innerhalb einer kompletten Schwimmbewegung aufweisen kann. Demnach nimmt die Wahrscheinlichkeit stark ab, Fische < 100 mm, die ungünstig im Sonarkegel stehen, zu detektieren. Zudem wird in der Studie von Burwen et al. (2010) darauf hingewiesen, dass die Messgenauigkeit steigt, wenn der Fisch sinusförmig im Kegel des Sonars erscheint. Die Messgenauigkeit sinkt dagegen mit senkrechter oder gerader Position des Fisches zum Geber. Demzufolge kann die Überschätzung der Fischlängen durch die sonargestützten Systeme mit arten- und individuenpezifischem Schwimmverhalten während des Absteigens erklärt werden. Die gewählte Frequenz von 3,0 MHz erwies sich trotz der Herstellerbeschreibung als „Identifikations-Frequenz“ als ungünstig für größere Größenklassen. Fische > 200 mm erschienen auf dem Echogramm kleiner als sie tatsächlich waren, die Fische werden durch die hohe Frequenz schlechter dargestellt und korrekte Messungen der Länge waren nicht möglich. Die während der Untersuchung der Aalwanderung an der Wasserkraftanlage Lindesmühle genutzte Frequenz von 1.8 MHz (Egg et al. 2017) ergab deutlich klarere Bilder und wird auf Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchung empfohlen.

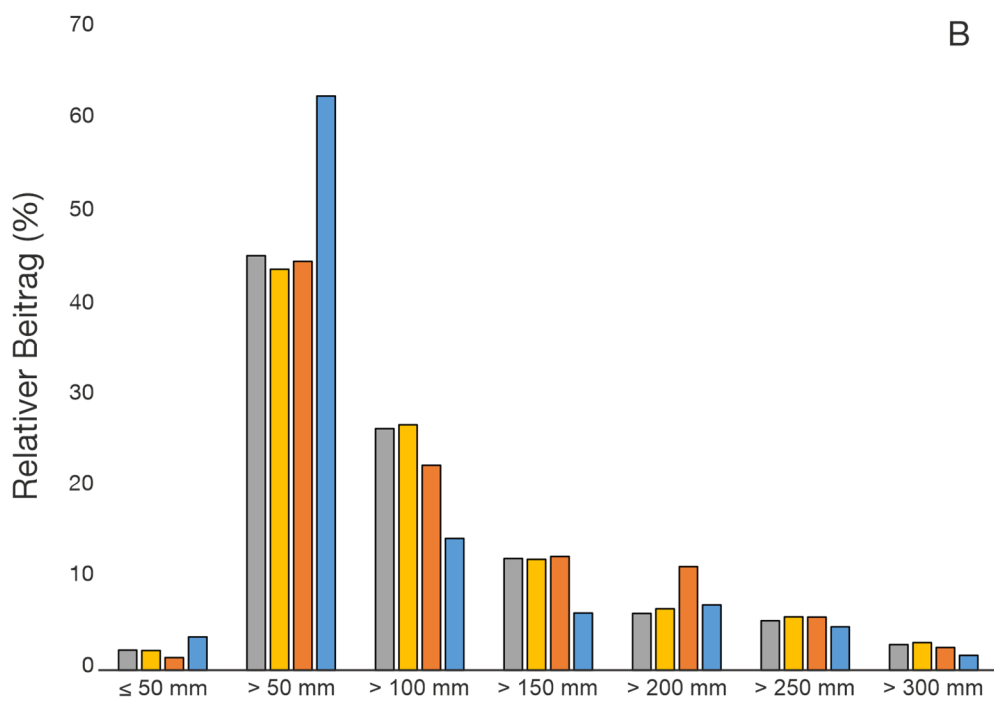
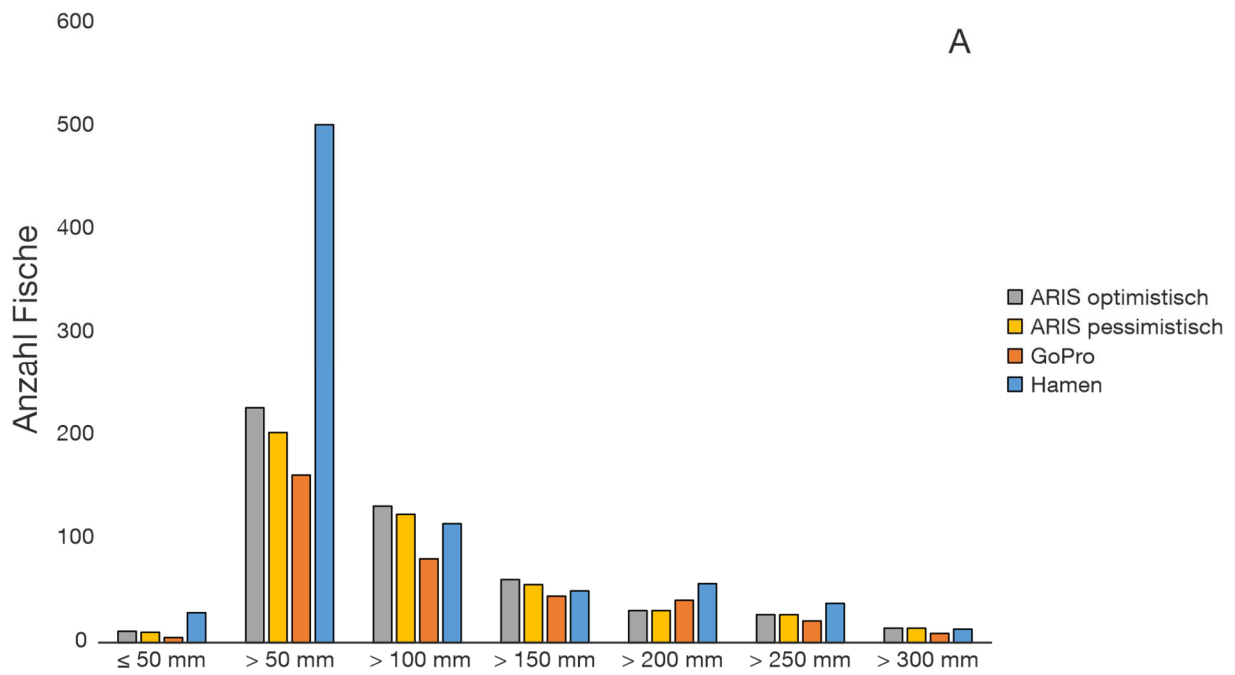


Abbildung 6 A: Anzahl der mit den verschiedenen Monitoringsystemen erfassten Fische eingeteilt in sieben Größenklassen. B: Relativer Beitrag in % zu der mit der jeweiligen Methode gefangenen Anzahl an Fischen unterteilt nach Größenklassen. Abgeändert nach Egg et al. (2018).

2.3. Erfasste Artenzusammensetzung

Im Hamen wurden während des gesamten Versuchszeitraums elf verschiedene Arten (Tabelle 2) gefangen. Demgegenüber wurden mit dem kameragestützten System insgesamt acht Arten detektiert. 12% der Fische konnten nicht bestimmt werden und wurden als „unbekannt“ geführt (Tabelle 2). Mit dem sonarbasierten System konnten keine Fische auf Artniveau bestimmt werden. Demnach sind sonarbasierte Systeme für Untersuchungen der Artenzusammensetzung ungeeignet (Horne et al. 2003). Nur besonders charakteristische Arten wie der Aal erlauben eine präzise Identifikation (Hateley & Gregory 2006, Egg et al. 2017). Allerdings kann auch die Identifikation dieser sehr charakteristischen Arten schwierig werden, wenn Arten mit ähnlicher Körperform im Gewässer vorkommen wie z.B. das Flussneunauge. In der Untersuchung von Langkau et al. (2012) konnte unter Zuhilfenahme von im Gewässer platzierten Platten der akustische Schatten der Fische genutzt werden, um Arten zu bestimmen. Diese Bedingungen sind jedoch nur unter großem Aufwand realisierbar und im Freiland daher schwer umsetzbar. Das kameragestützte System und der Hamen zeigten einen statistisch signifikanten Unterschied in der jeweils ermittelten Artenzusammensetzung (ANOSIM: R-Wert = 0,20; $P < 0,001$). Es gab jedoch auch eine relativ starke Überschneidung zwischen beiden Methoden, was sich in der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitsverhältnisse (NMDS) widerspiegelt (Abbildung 7). Die im Hamen am meisten gefangene Art war mit über 60% die Bachforelle. Besonders bei kleineren Fischarten hatte das kameragestützte System Probleme, alle abgestiegenen Fische aufzuzeichnen. Im Vergleich zum Hamen wurden von dem kameragestützten System 2,5-mal weniger Bitterlinge detektiert und halb so viele Lauben, Rotaugen und Stichlinge. Die im Vorfeld definierten Grenzen des kameragestützten Systems, Fische < 150 mm korrekt zu detektieren, gelten demnach auch hier. Zusammenfassend ist das kameragestützte System zwar prinzipiell in der Lage, die Artenzusammensetzung abwandernder Fische aufzuzeichnen, dieses System kann aber nur für Untersuchungen empfohlen werden, bei denen Fische > 150 mm im Fokus stehen und ausreichend gute Lichtverhältnisse vorherrschen.

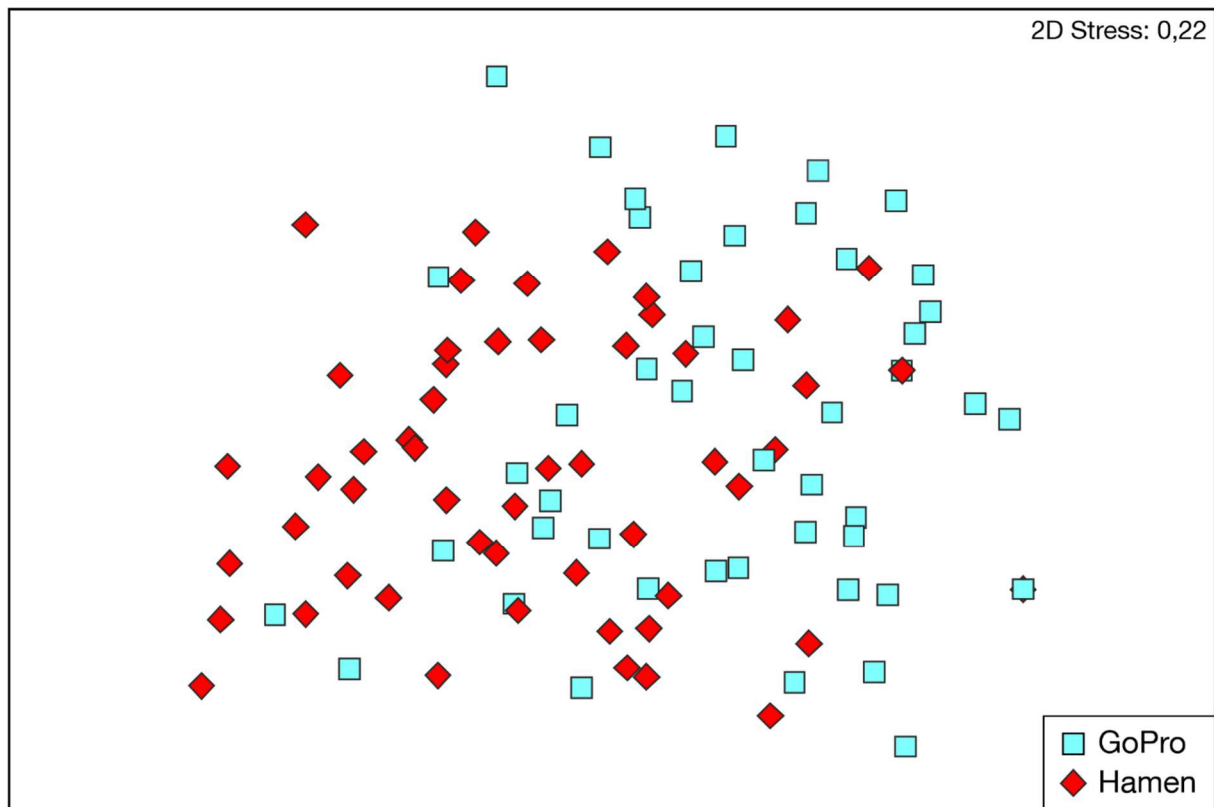


Abbildung 7 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS) basierend auf der Bray-Curtis Ähnlichkeit der gesamten Artenzusammensetzung, die mit dem kameragestützten System (GoPro) und dem Hamen erfasst wurde. Der Abstand der Symbole im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit in der Artenzusammensetzung (geringer Abstand = große Ähnlichkeit). Abgeändert nach Egg et al. (2018).

Literaturverzeichnis

- Becker A., Whitfield A. K., Cowley P. D., Järnegren J. & Næsje T. F. (2011) An assessment of the size structure, distribution and behaviour of fish populations within a temporarily closed estuary using dual frequency identification sonar (DIDSON). *Journal of Fish Biology*, 79(3), 761-775.
- Burwen D. L., Fleischmann S. J. & Miller J. D. (2010) Accuracy and precision of salmon length estimates taken from DIDSON sonar images. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139(5), 1306-1314.
- Cronkite G. M. W., Enzenhofer H. J., Ridley T., Holmes J., Lilja J. & Benner K. (2006) Use of high-frequency imaging sonar to estimate adult sockeye salmon escapement in the horsefly river, British Columbia – Introduction. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2647, 1-47.
- Egg L., Mueller M., Pander J., Knott J. & Geist J. (2017) Improving European Silver Eel (*Anguilla anguilla*) downstream migration by undershot sluice gate management at a small-scale hydropower plant. *Ecological Engineering*, 106, 349-457.
- Egg L., Pander J., Mueller M. & Geist J. (2018) Comparison of sonar-, camera- and net-based methods in detecting riverine fish-movement patterns. *Marine and Freshwater Research*, 69, 1905-1912.
- Hateley J. & Gregory J. (2006) Evaluation of a multi-beam imaging sonar system (DIDSON) as Fisheries Monitoring Tool: Exploiting the Acoustic Advantage. Environment Agency, Technical Report, Warrington, UK.
- Horne J. K. (2003) The influence of ontogeny, physiology, and behaviour on the target strength of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *ICES Journal of Marine Science*, 60(5), 1063-1074.
- Johnson R. L., McKinstry C. A. & Mueller R. P. (2004) Chinook salmon adult abundance monitoring – hydroacoustic assessment of chinook salmon escapement to the Secesh River, Idaho. 2002-2004 Final Report (No. DOE/BP-00000652-17). Bonneville Power Administration (BPA), Portland, OR (United States).
- Langkau M. C., Balk H., Schmidt M. B. & Borcharding J. (2012) Can acoustic shadows identify fish species? A novel application of imaging sonar data. *Fisheries Management and Ecology* 19(4), 313-322.

- Lilja J., Keskinen T., Marjomäki T. J., Valkeajärvi P. & Karjalainen J. (2003) Upstream migration activity of cyprinids and percids in a channel, monitored by a horizontal split-beam echosounder. *Aquatic Living Resources*, 16(3), 185-190.
- Lilja J., Romakkaniemi A., Stridsman S. & Karlsson L. (2010) Monitoring of the 2009 salmon spawning run in River Tornionjoki/Torneälven using Dual-frequency IDentification SONar (DIDSON). A Finnish–Swedish collaborative research report. Finnish Game and Fisheries Research Institute & Swedish Board of Fisheries.
- Mueller A. M., Burwen D. L., Boswell K. M. & Mulligan T. (2010) Tail-beat patterns in Dual-Frequency Identification Sonar echograms and their potential use for species identification and bioenergetics studies. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139(3), 900-910.
- Pander J., Mueller M., Knott J. & Geist J. (2018) Catch-related fish injury and catch efficiency of stow-net-based fish recovery installations for fish-monitoring at hydropower plants. *Fisheries Management and Ecology*, 25(1), 31-43.
- Pavlov D. S., Borisenko E. S. & Pashin V. M. (2009) Investigations of spawning migration and assessment of abundance of the Kamchatka steelhead (*Parasalmo mykiss*) from the Utkholok River by means of DIDSON dual-frequency identification sonar, *Journal of Ichthyology*, 49(11), 1042-1064.
- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.