

Kraftwerke Reichenau AG

Projekt Fischabstieg Reichenau

Untersuchungen zur Aktivität von adulten Seeforellen am Oberwasserkanal und Stauwehr mit bildgebenden Sonar



Ricardo Mendez AXH HTT-U

Patrick Riesen AXH HTT-T

Carlos Wyss AXH HTT-U

H 16405

28. Februar 2017

Zusammenfassung

Am Kraftwerk Reichenau (KWR) wurden bereits zwei Projektstudien für den Fischabstieg am Maschinenhaus durchgeführt, welche zwar technisch realisierbar, jedoch aus fischbiologischer Sicht wenig erfolgsversprechend waren. Deshalb konnte noch keine Empfehlung für die Umsetzung einer Fischabstiegsanlage am KWR abgegeben werden. Der Grund für diese Einschätzung lag bei der Tatsache, dass wenig zur Verhaltensbiologie der adulten Seeforelle bekannt war. Insbesondere war nicht bekannt, ob die adulten Seeforellen analog den jungen Forellen (Smolts) oberflächennah, oder auch bodennah oder indifferent in der vertikalen Wassersäule abwandern. Solange diese Verhaltensfrage nicht geklärt ist, kann im Rahmen einer Planung für eine Fischabstiegsanlage keine Positionierung eines Bypasseinstiegs oder eines Leitrechens definiert werden, über welche die Fische mit grosser Wahrscheinlichkeit, ohne Verletzungsgefahr und ohne grosse Verzögerung in das Unterwasser des Kraftwerks gelangen.

Um die Frage der Positionierung der Seeforellen in der Wassersäule während des Fischabstiegs zu untersuchen sowie auch um sonstige verhaltensbiologische Erkenntnisse zum Wanderverhalten von adulten Seeforellen zu erhalten (Zeitpunkt, Umwelteinflüsse usw.), hat die KWR und das Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden (AJF) das Ressort Umwelt/Wasserwirtschaft mit einer Verhaltensstudie beauftragt. Dabei wurden während rund 4 Monaten mit einem bildgebenden Sonar (ARIS) am KWR Seeforellen beobachtet. Im vorliegenden Bericht werden die Resultate wiedergegeben und interpretiert.

Die wichtigsten Erkenntnisse sind die folgenden:

- Die adulten Seeforellen wandern selten tiefer als 3 m unter der Wasseroberfläche. Dieses Erkenntnis erlaubt weitergehende Überlegungen für technische Lösungsfindungen für den Fischabstieg.
- Die adulten Seeforellen passieren die Rechen am Wehr oder Maschinenhaus nicht sofort nach Ankunft. In detailliert untersuchten Sequenzen konnte festgestellt werden, dass die Seeforellen das Sonarsichtfeld mehrmals kreuzten. D.h., dass die aktuellen Rechen oder die Strömungssituationen bereits für eine unbekannte Zeitdauer eine Leitwirkung oder eine Schutzfunktion haben. Früher oder später passieren die Seeforellen aber den Rechen.
- Am Rechen des KWR tauchen die adulten Seeforellen vermehrt auf, wenn im Vorder- und/oder Hinterrhein Schwallabfluss herrscht. Es scheint so, als würden die Seeforellen die Abflusserhöhungen für einen energiesparenden Abstieg zu nutzen.
- Über die ganze Untersuchungszeit wurden ganztägig Fische beobachtet. Es zeigte sich aber, dass während den Abend- und Nachtstunden mehr Sichtungen registriert wurden. Dieses Phänomen deckt sich mit verschiedenen Verhaltensstudien zu abwandernden Lachssmolts.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass bei erhöhtem Abfluss im Zusammenspiel der lunaren Rhythmik, respektive bei Vollmond, ein verstärkter Fischabstieg stattfinden kann. Bei tiefem Abfluss in Zusammenspiel mit Vollmond konnte jedoch keine verstärkte Wanderaktivität festgestellt werden.

Bericht

Die gewonnenen Erkenntnisse der Sonaruntersuchungen lassen weiterführende Gedanken für die Planung von potentiellen Fischabstiegsanlagen am KWR zu. In der folgenden Projektierungsphase kann z.B. geprüft werden, ob Fischleitsysteme, welche nicht die ganze Wassersäule abdecken (Partial-Depth), in Frage kommen. Mit zusätzlichen telemetrischen Untersuchungen könnte im Weiteren der ideale Standort eines Bypasses weiter eingegrenzt werden, damit der Fischabstieg bestmöglich funktioniert und der Betrieb des KWR möglichst wenig beeinträchtigt wird.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	5
1.1 Gesetzliche Ausgangslage	6
1.2 Ziele der Studie und Fragestellung	6
2 Systemanalyse	7
2.1 Kurzbeschreibung der Kraftwerke Reichenau AG	7
2.2 Aufstiegszählungen am Kraftwerk	8
2.3 Fischabstieg am Kraftwerk Reichenau	9
3 Grundlagen zum Sonar ARIS 3000	10
3.1 Grundlagen	10
3.2 Beobachtung von Fischen	15
3.3 Grössenbestimmung der Fische	16
3.4 Tiefenbestimmung der Fische	17
4 Untersuchungskonzept	19
4.1 Standort 1: Oberwasserkanal/Zentrale	19
4.2 Standort 2: Leitmauer Wehröffnung Grundablass	21
4.3 Aufnahmeintervalle und Verarbeitung	24
5 Umweltfaktoren als Zeitgeber für die Abwanderung	25
5.1 Einleitung	25
5.2 Hydrologische Abflüsse, meteorologische Zeitreihen und lunare Rhythmik	25
6 Resultate	29
6.1 Anzahl und Dauer von Fichsichtungen	29
6.2 Grössen der gesichteten Seeforellen	39
6.3 Position der Seeforellen in der Wassersäule	40
6.4 Bewegungspfade der Seeforellen	45
7 Diskussion	49
7.1 Welche Grössenklassen wandern zwischen November und Anfang März ab?	49
7.2 In welcher Wassertiefe wandern die adulten Seeforellen?	49
7.3 Wie verhalten sich die adulten Seeforellen am/vor dem Rechen?	50
7.4 Gibt es Umweltfaktoren als Zeitgeber für die Abwanderung?	51
8 Empfehlungen	55
Literaturverzeichnis	57
Abbildungsverzeichnis	59
Tabellenverzeichnis	61

Anhangsverzeichnis 61

1 Einleitung

Im Rahmen von zwei Projektstudien vom 8. Juli 2009 (Bericht H 13534, vgl. [3]) und vom 25. Oktober 2011 (Bericht H 14334, vgl. [4]) wurden die technischen und fischbiologischen Rahmenbedingungen für die Installation einer technischen Fischabstiegsanlage mittels Bypass beim Maschinenhaus der Kraftwerke Reichenau AG (KWR), welches eine Ausbauwassermenge von 120 m³/s hat, geprüft. Zum Fischabstieg mit Bypässen an grösseren Wasserkraftwerken mit einer Ausbauwassermenge grösser 50 m³/s ist generell wenig bekannt. Gemäss dem aktuellen Wissensstand vom Ressort Umwelt/Wasserwirtschaft der Axpo Power AG ist davon auszugehen, dass Bypassöffnungen von Fischen nur aufgefunden werden, wenn diese aktiv durch mechanische Leitrechen zur Bypassöffnung geleitet werden.

Die Resultate in der ersten Projektstudie [3] zeigten, dass der Erfolg der ursprünglichen Projektidee mit einer Bypassleitung vom Ober- ins Unterwasser unmittelbar an der Kraftwerkszentrale Reichenau mit grossen Unsicherheiten verbunden ist. Insbesondere die rauen Bedingungen in der offenen Bypassleitung aufgrund der Höhendifferenz des Ober- zum Unterwasserspiegel und der damit einhergehenden grossen Fliessgeschwindigkeit von rund 15.3 m/s wurden aufgrund der grossen Verletzungsgefahr als grundsätzlich kritisch für die Fische beurteilt. Mit der zweiten Projektstudie [4] konnte mittels eines Schleusensystems die Verletzungsgefahr minimiert werden und mehrere Einstiege über die vertikale Wassersäule vorgesehen werden. Trotzdem wurde die Wirksamkeit eines Bypasses auf Höhe des Kraftwerkeinlaufs am KWR als gering bezeichnet, weil zur Verhaltensweise der adulten Seeforelle wenig bekannt war und die Einstiegsöffnungen voraussichtlich nur zufällig von abwandernden Seeforellen aufgefunden werden. Darum konnte aufgrund der geringen Erfolgsaussichten der Massnahme noch keine Empfehlung für die Umsetzung einer Fischabstiegsmassnahme abgegeben werden.

Neben der Frage, inwieweit der Bypass nach Suchbewegungen vor dem Rechen von adulten Seeforellen aufgefunden wird, bestand in beiden Projektstudien die offene Frage, in welcher Höhe innerhalb der Wassersäule die adulten Seeforellen abwandern (bodennah, oberflächennah, im Mittelwasser oder indifferent). Auch umfangreiche Recherchen in der Literatur und Kontaktaufnahme mit erfahrenen Fischbiologen konnten die Frage nicht beantworten. Solange diese Verhaltensfrage nicht geklärt ist, kann im Rahmen einer Planung für eine Fischabstiegsanlage keine Positionierung eines Bypasseinstiegs oder eines Leitrechens definiert werden, über welche die Fische mit grosser Wahrscheinlichkeit, ohne Verletzungsgefahr und ohne grosse Verzögerung in das Unterwasser des Kraftwerks gelangen.

Um die Frage der Positionierung der Seeforellen in der Wassersäule während des Fischabstiegs zu beantworten sowie auch um sonstige verhaltensbiologische Erkenntnisse zum Wanderverhalten von adulten Seeforellen zu erhalten (Zeitpunkt, Umwelteinflüsse usw.), hat die KWR und das Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden (AJF) das Ressort Umwelt/Wasserwirtschaft mit einer Verhaltensstudie beauftragt. Dabei wurden während rund 4 Monaten mit einem bildgebenden Sonar (ARIS) am KWR Seeforellen beobachtet. Im vorliegenden Bericht werden die Resultate wiedergegeben und interpretiert.

1.1 Gesetzliche Ausgangslage

Nach den Bestimmungen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) Art. 83 und des Bundesgesetzes über die Fischerei (BGF) Art. 10 hat der Kanton Graubünden bis Ende 2014 eine strategische Planung für die Wiederherstellung der Fischwanderung durchgeführt. Im Rahmen dieser Planung wurden auch die Anlagenteile der KWR untersucht. Das AJF hat beim Stauwehr Reichenau der KWR am Alpenrhein eine wesentliche Beeinträchtigung hinsichtlich Fischabstieg identifiziert und zugehörige Massnahmen vorgeschlagen.

Mit Verfügung vom 12. April 2016 hat der Regierungsrat der KWR beim Stauwehr Reichenau bezüglich Fischabstieg und Fischschutz eine Sanierungspflicht angeordnet. Unter anderem wird folgendes verfügt:

Als Sanierungsziel wird die freie Fischwanderung der Zielfischarten flussabwärts sowie der ausreichende Schutz vor der Verdriftung von Fischen ins Triebwassersystem festgelegt. Auf weitergehende Massnahmen wird verzichtet.

Die KWR wird verpflichtet, beim Stauwehr Reichenau umgehend weitere Studien und die Planung bezüglich Sanierung Fischabstieg einzuleiten und dabei die vom Kanton vorgeschlagenen Massnahmen näher zu prüfen. Ein allfälliger Variantenentscheid hat in Absprache mit dem AJF zu erfolgen.

Die vorliegende Studie ist Bestandteil der verfügten Massnahmen zur Sanierung des Fischabstiegs. Im Weiteren ist es eine wichtige Grundlage für die kommende Planung einer Fischabstiegsanlage, da mit diesem Wissen gezielt funktionstüchtige und bei Möglichkeit verhältnismässige Massnahmen umgesetzt werden können. Gemäss Art. 83a GSchG und Art. 10 BGF werden diese Massnahmen zur Wiederherstellung der Fischgängigkeit dem Kraftwerk gemäss Energiegesetz (EnG) Art. 15a^{bis} und Energieverordnung (EnV) Art. 17d ff durch die Nationale Netzgesellschaft Swissgrid AG entschädigt.

1.2 Ziele der Studie und Fragestellung

Die Zielfischart ist die adulte Seeforelle. Die Situation bei den juvenilen Forellen beim Abstieg ist nicht Inhalt der Studie und wird in Kapitel 2.3 detailliert abgehandelt. Weitere Fischarten kommen im Alpenrhein bei Reichenau mit Ausnahme der Groppe nicht vor, obwohl teilweise Einzelsichtungen und einzelne Fänge anderer Fischarten durch die Angelfischerei nicht auszuschliessen sind.

Die Projektziele gemäss Auftrag sind die folgenden:

- Einfache Zählung/Nachweis von Fischen, welche während der Abwärtswanderung in der Zeitspanne November 2015 bis Februar 2016 das KWR passieren, respektive den Rechen im Oberwasserkanal anschwimmen.

Bericht

- Abschätzung der Positionierung der adulten Seeforellen während der Abwärtswanderung in der Wassersäule. Gemäss einschlägiger Literatur wandern Salmoniden üblicherweise oberflächennah ab. Detaillierte Studien zur Seeforelle sind jedoch keine bekannt.
- Genauere Auswertung über das Verhalten von Fischen in bestimmten Situationen (Suchbewegungen am Rechen).
- Bewegungspfade der Seeforellen in Rechennähe.

Im Verlauf der Auswertung der Daten und der ersten Besprechungen mit dem Auftraggeber wurden weitere Ziele definiert, respektive Fragestellungen aufgeworfen:

- Untersuchung, ob offensichtliche Verhaltensmuster in Abhängigkeit von äusseren Umwelteinflüssen erkennbar sind (Abfluss, Lufttemperatur, Wassertemperatur, Tag/Nacht, Mondphase).

Aus all diesen Zielen lassen sich die folgenden Fragestellungen formulieren, welche in der abschliessenden Diskussion analysiert werden:

- Welche Grössenklassen wandern zwischen November und Anfang März ab?
- In welcher Wassertiefe wandern die adulten Seeforellen?
- Wie verhalten sich die adulten Seeforellen am/vor dem Rechen?
- Gibt es Umweltfaktoren als Zeitgeber für die Abwanderung?

2 Systemanalyse

2.1 Kurzbeschreibung der Kraftwerke Reichenau AG

Die Anlage der KWR ist ein reines Laufwasserkraftwerk. An der 78 m breiten Wehranlage mit einer schmalen Regulieröffnung mit Grundablass und drei weiteren Regulieröffnungen von 18 m Breite wird ein Abfluss von maximal 120 m³/s in den Oberwasserkanal ausgeleitet und zur Zentrale geführt (vgl. Abb. 2.1). Die Wehranlage liegt rund 2.6 km und die Zentrale rund 3.9 km flussabwärts des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein.

Der Bau des Kraftwerks erfolgte in den Jahren 1959 – 1962 zur sicheren und günstigen Stromversorgung der damaligen Emser Werke AG und heutigen EMS Chemie AG. Die Anlage produziert im Mitteljahr bei einer Ausbauwassermenge von 120 m³/s und einem Bruttogefälle von 18 m 106.8 GWh. Die Axpo AG ist seit März 2003 zu 85 % am Aktienkapital der KWR beteiligt. Die restlichen 15% sind im Besitz des Kantons Graubünden. Der Betrieb und Unterhalt der Kraftwerksanlage wird durch die Axpo Hydro Surselva AG (AHS) sichergestellt.

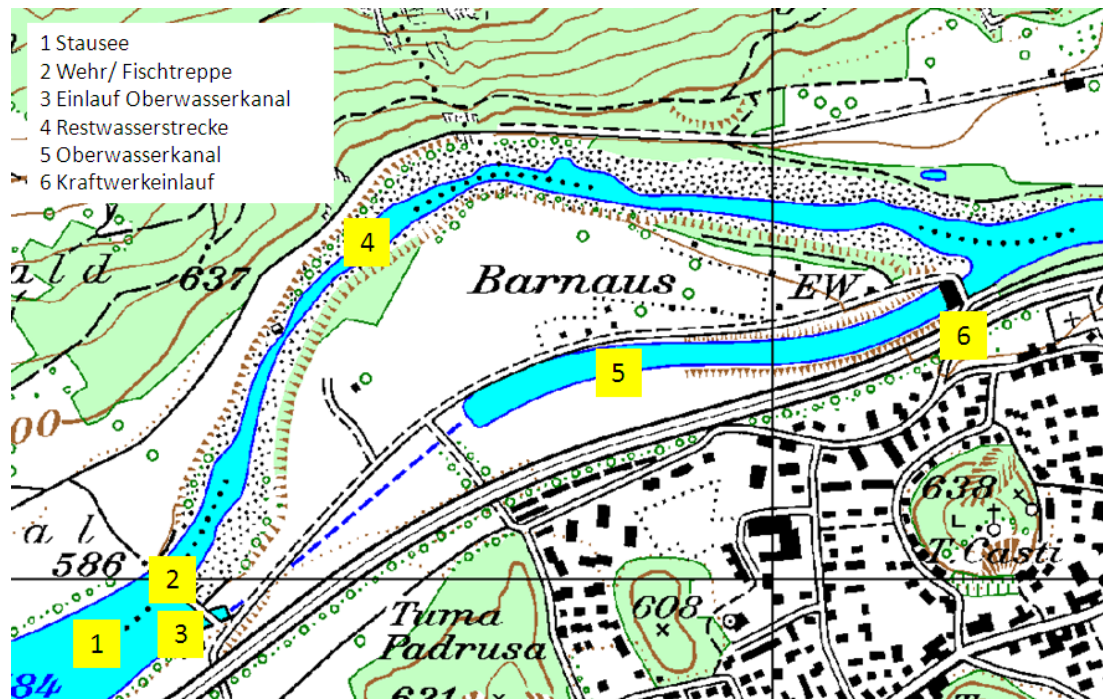


Abb. 2.1 Übersichtsplan der Kraftwerke Reichenau AG

2.2 Aufstiegszählungen am Kraftwerk

Nach Inbetriebnahme des Kraftwerks im Jahr 1962 – welches ohne Fischtreppe gebaut wurde – konnte ein kontinuierlicher Rückgang der Seeforellenbestände im Bodensee, wie auch ein massiver Rückgang an reproduktionswilligen Seeforellen unterhalb des KWR festgestellt werden. Um dem Rückgang der Seeforellen entgegen zu wirken, konnte im Jahr 2000 die am linksseitigen Ufer angeordnete Fischtreppe (Vertical-Slot-Pass) auf Höhe der Wehranlage in Betrieb genommen werden. Die Fischtreppe wurde vom KWR mit Unterstützung durch Bund und dem Kanton Graubünden realisiert.

Mit dem Vorder- und Hinterrhein wurde dadurch ein grosses Laichgebiet der Seeforelle wieder erschlossen. Seit 2007 werden in der Fischtreppe beim KWR alle aufsteigenden Fische mittels Videoaufnahmen kontinuierlich erfasst. Diese Resultate zeigen, dass die Fischtreppe seit 2007 von durchschnittlich rund 800 Seeforellen pro Jahr passiert wurde. Im Jahr 2015 sind mit 608 adulten Seeforellen vergleichsweise wenige Fische gezählt worden (Datengrundlage: AJF, vgl. Abb. 2.2).

Da die Seeforelle zu den Mehrfachlaichern gehört, wird jeweils nach dem Laichgeschäft ein Teil der Seeforellen wieder abwandern. Die Thematik des Abstiegs wird in Kapitel 2.3 genauer betrachtet.

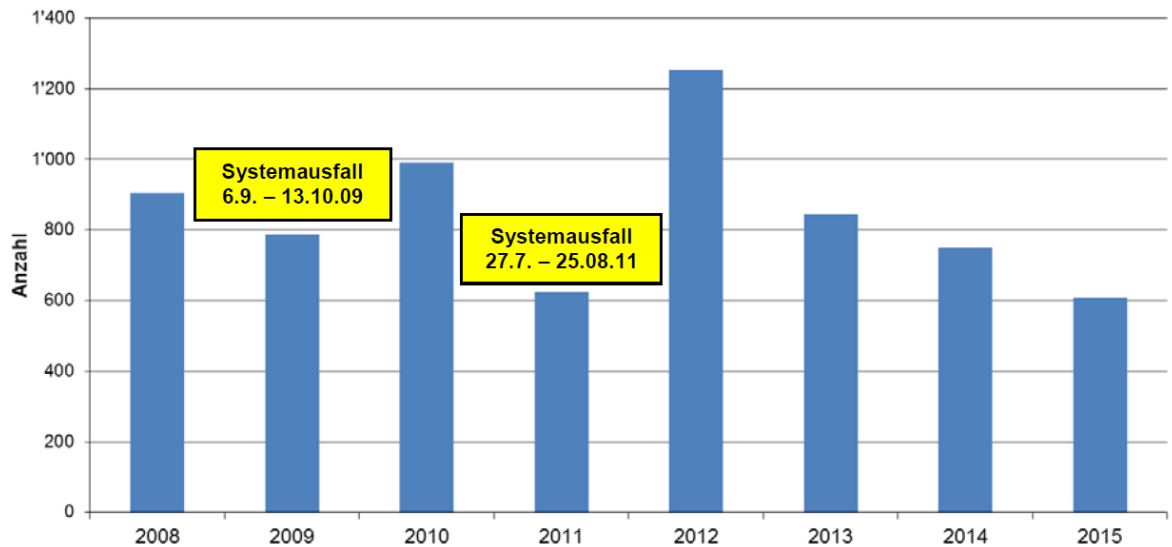


Abb. 2.2 Entwicklung der jährlichen Bodensee-Seeforellen-Fänge bei der Fischtreppe des KW Reichenau, Domat/Ems seit 2008 (AJF).

2.3 Fischabstieg am Kraftwerk Reichenau

Die Abwärtswanderung von Fischen funktioniert auf anderen biologischen Mechanismen als die Aufwärtswanderung. Bei der Aufwärtswanderung folgen die Fische der Leitströmung bis sie schliesslich in eine Fischtreppe gelangen und so ein Wanderhindernis überwinden können. Bei der Abwärtswanderung werden die Fische durch die Leitströmung meist zu den Turbinen geleitet. Deshalb dienen Fischtreppen aufgrund der schwierigen Auffindbarkeit, respektive der nicht wahrnehmbaren Strömung kaum als flussabwärts gerichteter Wanderweg. Videoaufzeichnungen in der Fischtreppe des KWR von 2007 bis 2010 zeigen, dass nur vereinzelt Seeforellen abwärts schwimmen. Ob es sich bei diesen Beobachtungen um gezielte Abwärtswanderungen oder um Zufall handelte, bleibt offen. Die Schwierigkeit der Realisierung von geeigneten Fischabstiegsanlagen liegt darin, eine generelle Standardlösung für jedes Kraftwerk zu finden. Jedes Kraftwerk und jedes Fließgewässer hat seine speziellen Eigenarten, welche bekannt sein müssen, damit anschliessend eine fallspezifische Standortlösung gefunden werden kann.

Die jungen Seeforellen, die im Frühjahr bei steigenden Abflüssen im Alter von 1 bis 2 Jahren von den Laichplätzen im Vorder- und Hinterrhein in den Bodensee abwandern, durchschwimmen ungehindert die Rechenanlagen (lichte Weite Rechen am Wehr 70 mm, Rechen am Maschinenhaus 60 mm) und gelangen zu den Turbinen bei der Zentrale des KWR. Sie können die langsam drehenden Kaplan-turbinen meist unbeschadet passieren. Bei Jungfischen wird von einer Mortalität von rund 10% ausgegangen, welche aus fischbiologischer Sichtweise vertretbar ist. Weil das KWR bis zum Bodensee das einzige Hindernis im Alpenrhein bildet, ergibt sich während der Rückwanderung keine kumulierte Mortalität an weiteren Kraftwerksanlagen.

Die adulten Seeforellen im Bodensee steigen nach dem Erreichen der Laichreife wieder in die Laichgewässer auf. Mit dem Bau der Fischtreppe beim KWR konnte die flussaufwärts gerichtete Migrationsroute für laichreife Seeforellen sichergestellt werden. Bei einer erfolgreichen Reproduktion im Vorder- und Hinterrhein ist der erste Kreislauf des Lebenszyklus somit geschlossen und die Erhaltung der Art bei einer erfolgreichen Reproduktion sichergestellt.

Da die Seeforelle - wie auch der atlantische Lachs und die Meerforelle – zu den Mehrfachlaichern gehört, ist auch die unversehrte Rückkehr der Adulten in den Bodensee von Bedeutung. Zurzeit steht den adulten abgelaichten Seeforellen nur der Weg über die Wehranlage bei Überlauf oder bei geöffneten Schleusen während Hochwasserereignissen, sowie über die Fischtreppe oder durch die Turbinen offen.

Eine andere technische Abstiegsanlage ist beim KWR nicht vorhanden, respektive der Stand der Technik bezüglich Fischabstieg war zum Zeitpunkt des Kraftwerkbaus im Jahr 1962 – wie auch heute noch – wenig entwickelt.

Die Problematik der Rückwanderung von adulten Seeforellen in den Bodensee wird in Untersuchungen von Peter [5] und Caviezel [6] angesprochen, welche im Vorder- und Hinterrhein Telemetrie-Versuche durchführten. Sie stellten dabei fest, dass rückwandernde Seeforellen bei geschlossenen Schleusen mehrheitlich im Stausee von Domat/Ems verblieben (vgl. Abb. 2.1). In [6] wurde weiter festgestellt, dass 11 von 19 Seeforellen sich bald nach der Laichzeit im Stau des KWR wiederfanden. Peter [5] beobachtete im Jahr 2002, dass aufgrund von erhöhten Wasserständen bei geöffneten Schleusen sechs markierte Seeforellen das Kraftwerk passieren konnten und in den Bodensee zurückwanderten. In einer weiteren Telemetriestudie von Mendez [7] zur Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau wurde bei der automatischen Registrierstation in Domat/Ems am 30. November 2006 eine Seeforelle registriert, welche auf ihrer Rückwanderung in den Bodensee das Kraftwerk passiert hatte. An besagtem Tag herrschte am Wehr Reichenau während rund 9 Stunden Überlauf (Mittelwert November 45 Minuten pro Tag), wonach diese Seeforelle vermutlich den Weg über die Wehrfelder wählte.

Die Telemetriestudien haben gezeigt, dass adulte rückwandernde Seeforellen das KWR nicht jederzeit passieren können. Deswegen besteht an der Anlage des KWR Handlungsbedarf, um den abwandernden Seeforellen während der Abstiegszeit einen sicheren Weg ins Unterwasser zu bieten. Der Abwanderzeitpunkt liegt gemäss Erfahrungen von Sichtungen vor dem Wehrrechen in den Wintermonaten.

3 Grundlagen zum Sonar ARIS 3000

3.1 Grundlagen

Die Axpo Power AG (Axpo) setzt für die Aufnahmen ein hochauflösendes bildgebendes Sonar vom Typ ARIS Explorer 3000 des Herstellers Sound Metrics (<http://www.soundmetrics.com>) ein.

Bericht

Das ARIS Explorer 3000 Sonar ist ein Multi-Beam Sonar. Das Gerät sendet aktiv und empfängt akustische Wellen, wobei die empfangenen akustischen Wellen über eine Anordnung von mehreren Empfängerantennen (sogenannte *Beams*) verarbeitet werden.

Eigenschaften	Werte
Sichtfeld	30° x 14°
Frequenz	1.8 Mhz
Anzahl <i>Beams</i>	128
Winkel pro <i>Beam</i> im Sichtfeld	0.25°
Auflösung entlang <i>Beam</i>	bis 3 mm (verwendet: 4.5 bis 5.8 mm)
Bildrate	≥ 4 Bilder/sek

Tab. 3.1 Technische Daten zum Sonar ARIS 3000

Die akustischen Schallwellen, welche vom Gerät erzeugt werden, werden an Objekten reflektiert und können vom Gerät wieder empfangen werden. Mit der mehrfachen Empfängerantennenkonfiguration (*Multi-Beam*) können die empfangenen Schallwellen räumlich gerichtet ihren Quellen zugeordnet werden. Durch die Signalverarbeitung und Positionierung der Signalquellen kann ein akustisches „Intensitätsbild“ abgebildet werden.

Die Funktionsweise ist in Abb. 3.1 schematisch dargestellt. Grundsätzlich beleuchtet das Sonar wie eine „akustische“ Taschenlampe einen breiten, dünnen Kegel von ca. 30° x 14° auf eine Distanz von maximal 15 m. Das Sonar macht je nach Einstellungen etwa vier bis acht Bilder pro Sekunde. Die Helligkeit der akustischen Bilder entspricht der „Lautstärke“ der zurückgeworfenen Signale. Die Objekte im Blickbereich des Sonars können je nach Konturen und Topographie einen Schattenwurf erzeugen (Abb. 3.1).

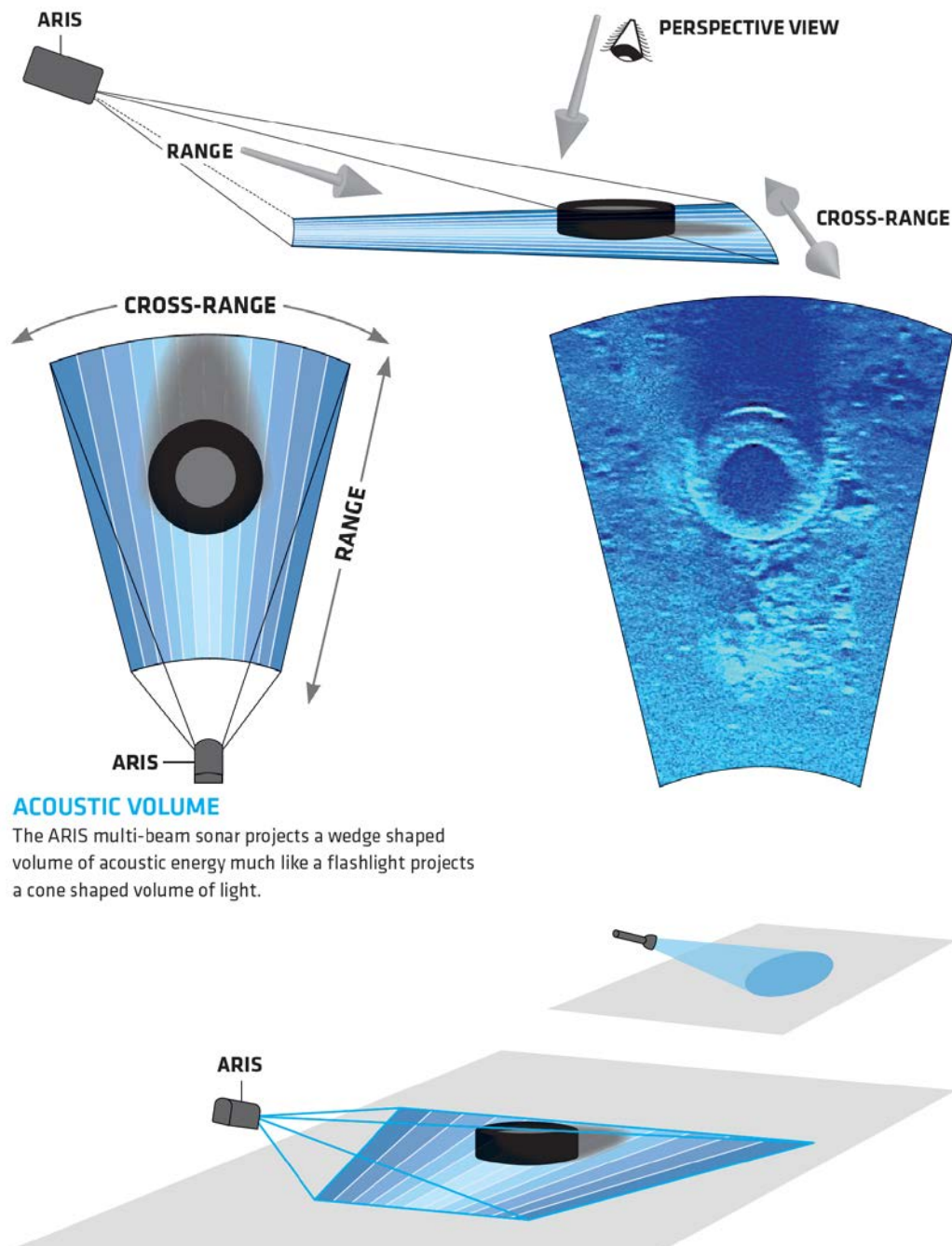


Abb. 3.1 Schematische Darstellung der Funktionsweise des Sonars (Abbildung aus [2])

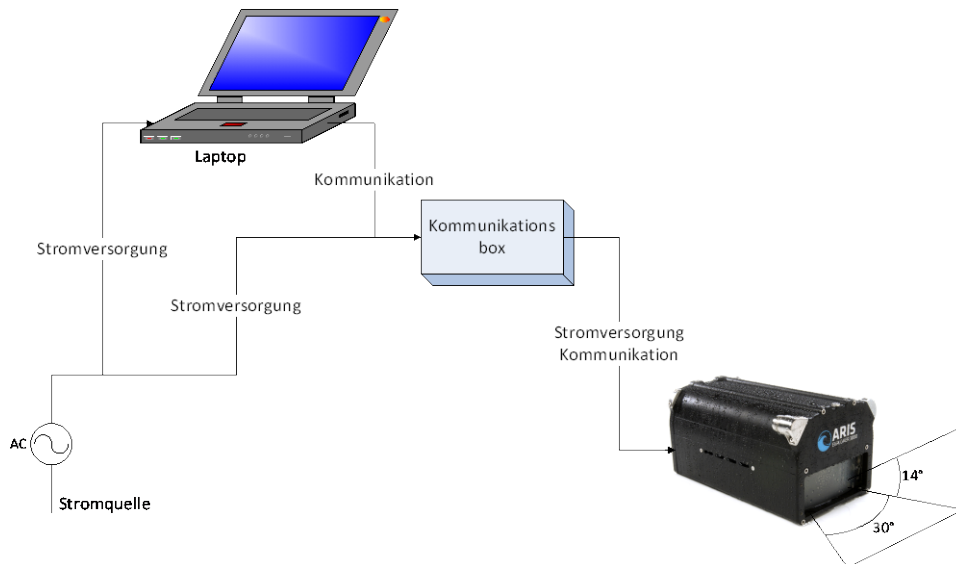


Abb. 3.2 Aufbau des Sonarsystems ARIS

Das ARIS 3000 hat mit den hohen Arbeitsfrequenzen von 1.8 oder 3 MHz eine sehr hohe bildliche Auflösung, jedoch eine beschränkte Reichweite. Die Reichweite bei Arbeitsfrequenz von 1.8 MHz beträgt 15 m. Bei einer Frequenz von 3 MHz beträgt die Reichweite noch 5 m. Der Aufbau des Sonarsystems ist relativ simpel, siehe dazu Abb. 3.2.

In Abb. 3.3 ist der Bezug des Sichtkegels (Arbeitsfrequenz 1.8 MHz) zu einem Koordinatensystem dargestellt.

Fachbegriffe:

- Range: Reichweite / Distanz vom Sonar im Blickbereich r_{\min} bis r_{\max} in X-Richtung
- Cross-Range: Breite des Blickfelds in Y-Richtung. Nimmt mit zunehmender Distanz zu.
- Heading: Orientierung in der XY-Ebene
- Pitch: Neigung gegenüber der XY-Ebene
- Roll: Rotation aus der Ebene

Es gilt folglich: Range = X-Richtung bzw. Cross-Range = Y-Richtung. Die Auflösung entlang dem Cross-Range entspricht der Anzahl *Beams* des Sonars.

Es ist zu beachten, dass alle Signale, welche innerhalb dem definierten Akustik-Kegel von 14° Höhe vom Sonar erfasst werden, auf eine planare Bildfläche in der XY-Ebene projiziert werden (siehe dazu Abb. 3.4). Der Akustik-Kegel wird mit zunehmender Distanz vom Sonar grösser und führt somit zu einer Verzerrung des Bildes. Dies muss bei der Interpretation der Sonarbilder berücksichtigt werden.

Bericht

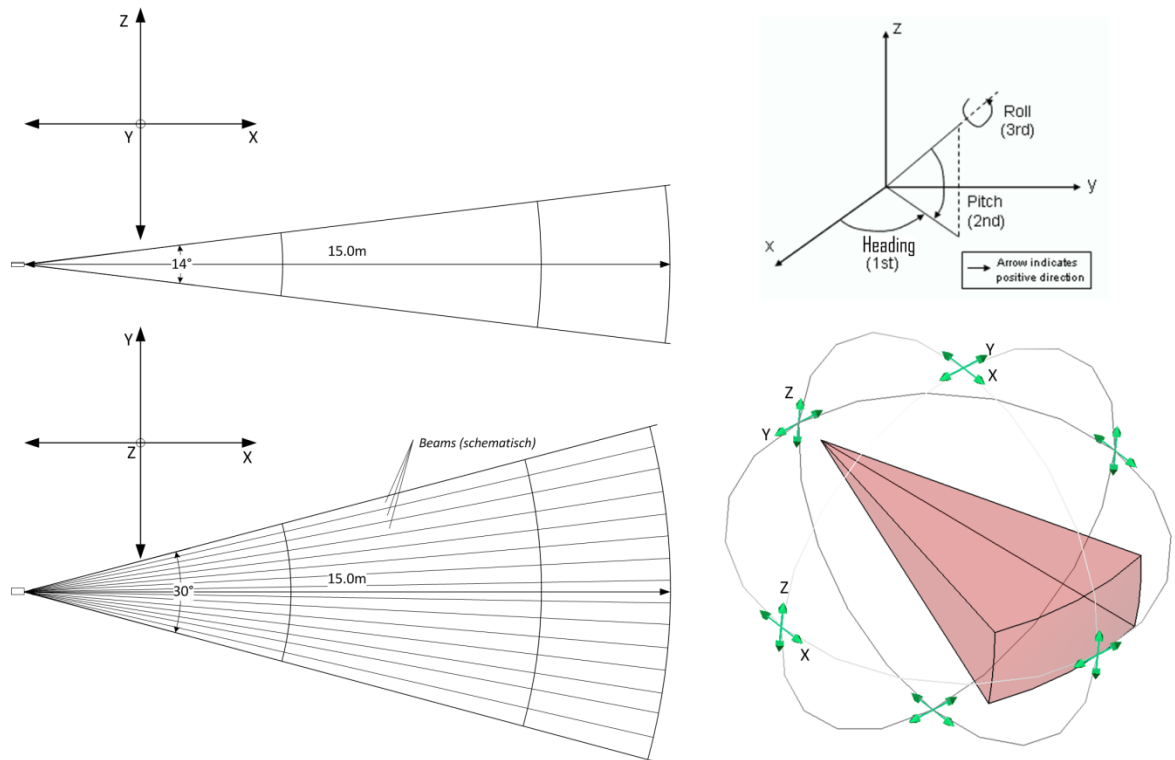


Abb. 3.3 Definitionen der Dimension und Orientierung des Sichtkegels des Sonars im Bezug zum Koordinatensystem

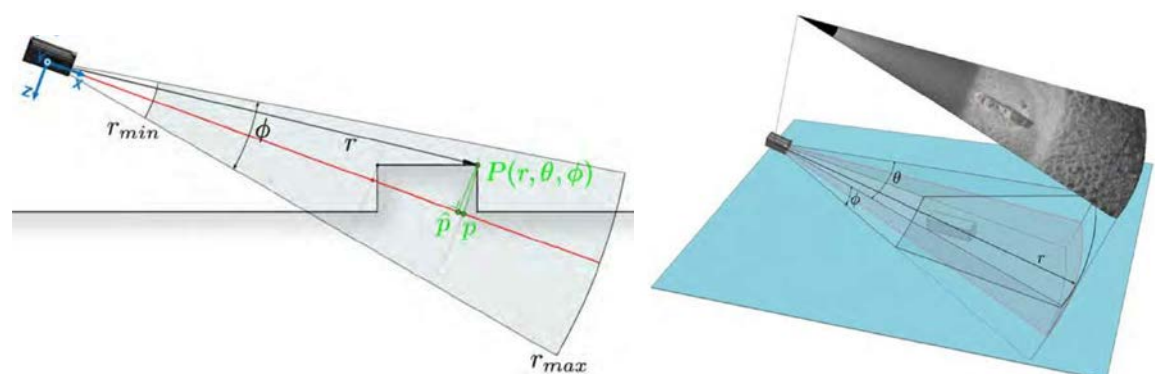


Abb. 3.4 Veranschaulichung der Projektion der Signale innerhalb dem Akustik-Kegel auf eine Ebene (rot), welche dem Sonarbild entspricht (Abbildungen aus [1]; Seite 14 und 17).

3.2 Beobachtung von Fischen

Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung und der Bildrate von ≥ 4 Bilder/s eignet sich das ARIS-Sonar ideal um Fische und deren Verhalten zu beobachten. Das Sonar wird dabei unter Wasser in einer fixen Orientierung befestigt und kann permanent Bilder aufzeichnen. Die Bilder können später als bewegte Bilder analog einem Video visualisiert werden.

Bei einer horizontalen oder leicht geneigten Orientierung des Sonars (XY-Ebene ungefähr parallel zur Wasseroberfläche bzw. Grund) sind die Konturen der Fische, welche sich innerhalb des Sichtkegels befinden, sehr gut sichtbar (Abb. 3.5a). In der XY-Ebene des Sonars sind auch Längenmessungen der Fische möglich. Falls sich zwei oder mehrere Fische in der Blickrichtung des Sonars exakt hintereinander befinden, dann können die hinteren Fische aufgrund des akustischen Schattens des vordersten Fisches nicht unbedingt erkannt werden. Je näher sich ein Fisch beim Sonar befindet, umso grösser ist der akustische Schatten, welcher der Fisch nach hinten wirft.

Um Fische in den Bildern gegenüber der Umgebung hervorzuheben wird mittels eines mathematischen Filters der statische Hintergrund in den Einzelbildern eliminiert. Im Idealfall erscheint ein Fisch als helle „Spur“ im ansonsten dunklen Bild (Abb. 3.6). Alle Einzelbilder innerhalb eines Aufnahme-Intervalls von jeweils 15 min werden zu einem speziellen Einzelbild (\rightarrow Echogramm) verdichtet. Eine eigens entwickelte Software verarbeitet die Echogramme automatisiert und markiert dabei alle helle „Spuren“. Jede Markierung ist eine potentielle Fischbeobachtung und wird von der Software katalogisiert und in einer Datenbank gespeichert. Alle Aufnahmesequenzen ohne Spuren werden verworfen.

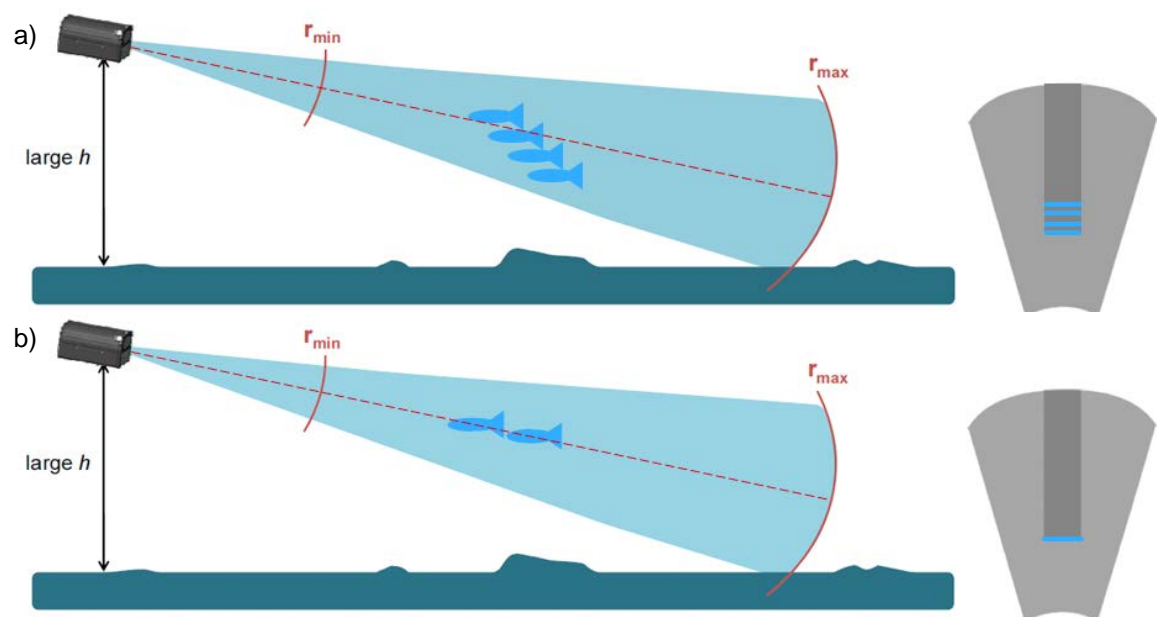


Abb. 3.5 Darstellung von Fischen im Sichtkegel des Sonars und resultierende schematische Sonarbilder (rechts). Bilder modifiziert aus [1].

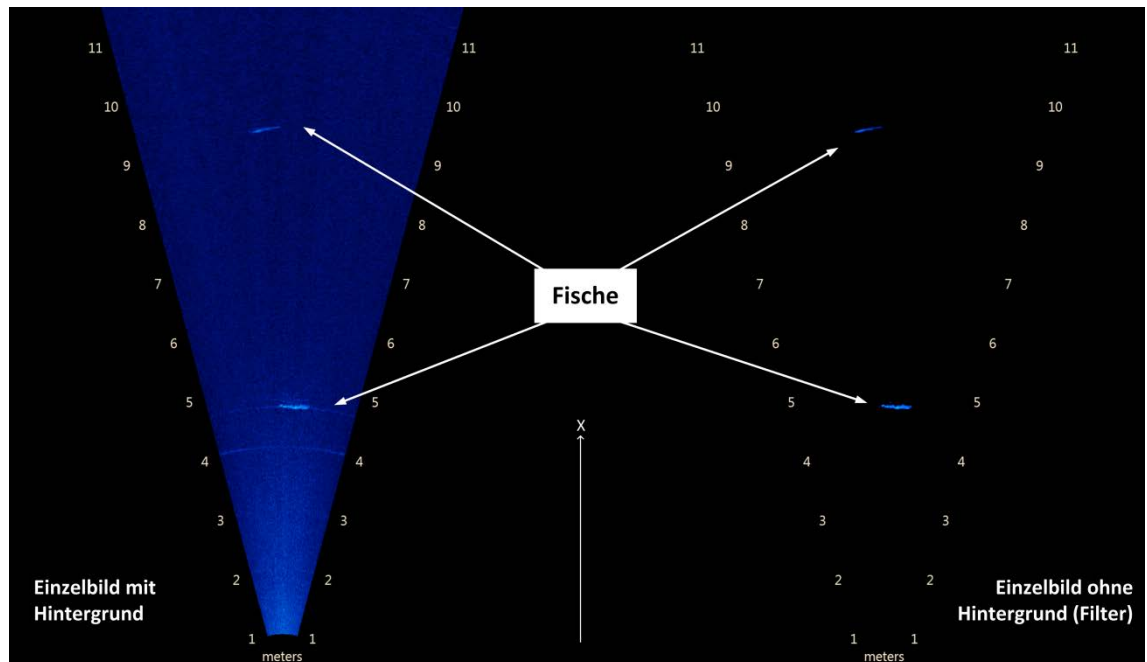


Abb. 3.6 Hervorheben von Fischen durch eine Filterung (Subtraktion) des akustischen Hintergrundbilds.

Verschiedene Faktoren wie im Wasser treibendes Holz und Laub, oder Strömungen und Luftblasen (verursacht durch Turbulenzen), können in den Echogrammen auch Spuren erzeugen. Diese Spuren können bei der Verarbeitung der Echogramme grösstenteils nicht direkt ausgesondert werden. Die Häufigkeit von solchen Störsignalen ist stark abhängig von Rahmenbedingungen wie Abfluss, Hydrologie, Standort des Sonars, und Position des Sonars in der Wassertiefe. Die katalogisierten Sequenzen müssen folglich im Nachgang gesichtet und sortiert werden (siehe Kapitel 5).

Mit dem oben beschriebenen Verfahren lassen sich alle nicht verwertbaren Aufnahmesequenzen beseitigen und ein detaillierter Katalog von Beobachtungssequenzen (→ Fische-sichtungen) erzeugen.

3.3 Grössenbestimmung der Fische

Die Grösse einer Seeforelle in einer ausgewählten Sichtung wird manuell in der Software ArisFish des Sonar-Herstellers (Sound Metrics) bestimmt. Die Genauigkeit der Längenmessung wird beeinflusst durch

- die korrekte Einstellung der Aufnahmeparameter des Sonars,
- die Empfängerantennenkonfiguration des Sonars (Anzahl *Beams*),
- die Sichtweite des Sonarkegels (hier 30°),
- die Schnelligkeit der Bewegung des Fisches innerhalb des Sichtfelds,
- die Entfernung des Fisches zum Sonar und

Bericht

- Störende Hintergrundobjekte im akustisch beleuchteten Sichtkegel.

Gemäss verschiedenen Vergleichsstudien ([9], [10]) können die digitalen Längenmessungen bei korrekter Einstellung der Aufnahmeparameter des Sonars und idealen Sonarbildern der Fische bis auf 3-4 cm akkurat sein.

In [9] wurde ein ARIS 1800 Sonar mit 96 *Beams* verwendet. Das von der Axpo verwendete Sonar ARIS 3000 hat 128 *Beams* und die am Gerät nötigen Einstellungen zu einer korrekten Bestimmung der Fischlänge, wie sie in [9] vorgeschlagen werden, wurden in dieser Untersuchung in allen Beobachtungsperioden eingehalten. Vergleichsstudien zwischen automatisch bestimmter und tatsächlicher Grösse der gesichteten Seeforellen wurden jedoch innerhalb dieser Untersuchung nicht gemacht. Es kann konservativ angenommen werden, dass die hier gemachten Längenmessungen der Seeforellen innerhalb einer Genauigkeit von ± 8 cm liegen.

Diese Annahme ist ohne weitere Begründungen für diese Untersuchung ausreichend, da das primäre Ziel der Grössenmessung darin besteht, allenfalls gesichtete kleine Fische ≤ 25 cm von allen anderen zu unterscheiden. Die gesichteten mittleren und grossen Fische ≥ 45 cm gehören ausschliesslich zur Gattung von Seeforellen, welche die Zielfischart der Untersuchung ist. Es kann sich dabei aber auch um grosse Bachforellen oder Regenbogenforellen handeln. Letztere kommen oberhalb Reichenau selten vor, da nur sehr wenige grosse Regenbogenforelle die Fischtreppe am Kraftwerk Reichenau passieren.

3.4 Tiefenbestimmung der Fische

Eine Positionierung von im Sonarfeld gesichteten Seeforellen kann je nach Orientierung auf zwei Arten mit unterschiedlicher Genauigkeit erfolgen.

3.4.1 Tiefenbestimmung via Distanz und Winkel

Die Antennengeometrie des Sonars mit 128 *Beams* in der XY-Ebene dient dazu, die gerichteten Schallwellen zu lokalisieren und ein akustisches Bild zu erzeugen. Wird folglich die XY-Ebene des Sonars (Abb. 3.3) senkrecht zur Wasseroberfläche orientiert, und gleichzeitig eine Seitenkante des Sonarsichtfeldes parallel zur Wasseroberfläche ausgerichtet, dann kann ein Fisch, welcher das Sichtfeld entlang der Z-Achse (parallel zur Wasseroberfläche) durchquert, anhand von Distanz und Winkel im Sonarsichtfeld (= Auflösung der *Beams*) in der Wassertiefe lokalisiert werden. Dies ist in Abb. 3.7 a veranschaulicht.

Diese Positionsbestimmung ist relativ genau, der Fehler ist distanzabhängig, der maximale Fehler bei 15 m Distanz vom Sonar und einer Winkelauflösung der *Beams* von $\sim 0.25^\circ$ ist ~ 6.5 cm. Hingegen kann diese Tiefenbestimmung nicht automatisiert durchgeführt werden. Für jede Fischeinsichtung muss die Position des Fisches von Hand bestimmt werden. Für eine ausgewählte Fischeinsichtung wurde jeweils die tiefste Position des gesichteten Fisches während der Sequenz bestimmt.

Bericht

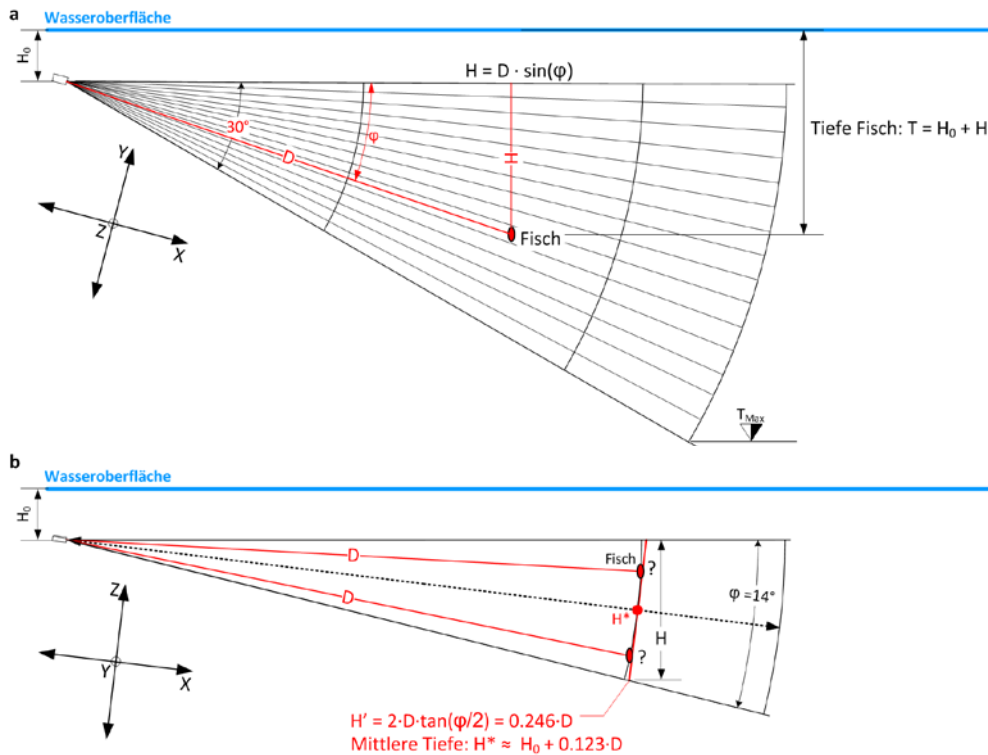


Abb. 3.7 Tiefenbestimmung eines Fisches via (a) Beam (Winkel φ) und Distanz vom Sonar oder (b) nur via Distanz vom Sonar

Ist das Sonar nicht vollständig senkrecht zur Wasseroberfläche orientiert, erfolgt die Tiefenbestimmung via eine doppelte Koordinatentransformation, bei welcher die Neigung und Rotation des Sonars berücksichtigt werden. Die Tiefe eines Fisches für eine beliebige Konfiguration des Sonars mit Neigung (Pitch) Θ_1 und Rotation (Roll) Θ_2 entspricht

$$T_{Fisch} = -D \sin \theta_1 + y \cos \theta_1 \sin \theta_2 + H_0, \text{ wobei } y = D \cdot \sin \varphi$$

3.4.2 Tiefenbestimmung nur via Distanz

Bei der horizontalen Orientierung des Sonars kann eine ungefähre Tiefenangabe nur via Distanz eines Fisches zum Sonar abgeschätzt werden. Wie bereits in Kapitel 3.1 erklärt, wird der akustische Kegel in die XY-Ebene projiziert. Die akustische Reflexion eines Fisches bei einer bestimmten Distanz, D , kann innerhalb der Mächtigkeit des Sichtkegels bei Distanz, D , nicht zugeordnet werden. Es kann folglich nur ein Band für die mögliche Tiefenposition des Fisches bestimmt werden. Der Fisch befindet sich bei der Entfernung, D , des Sonars im Bereich

$$T_{Fisch} = H_0 + 0.123 D \pm 0.123 D$$

Die obige Formel gilt approximativ für eine geringe Neigung des Sonars ($\leq 10^\circ$). Diese vereinfachte Tiefenbestimmung kann prinzipiell für jede Fischechtung automatisiert bestimmt werden.

4 Untersuchungskonzept

Für die Untersuchungen wurden zwei Standorte definiert (Abb. 4.1):

- 1 Standort linksufrig am Oberwasserkanal unmittelbar vor der Zentrale
- 2 Standort auf Leitmauer bei der Wehröffnung Grundablass

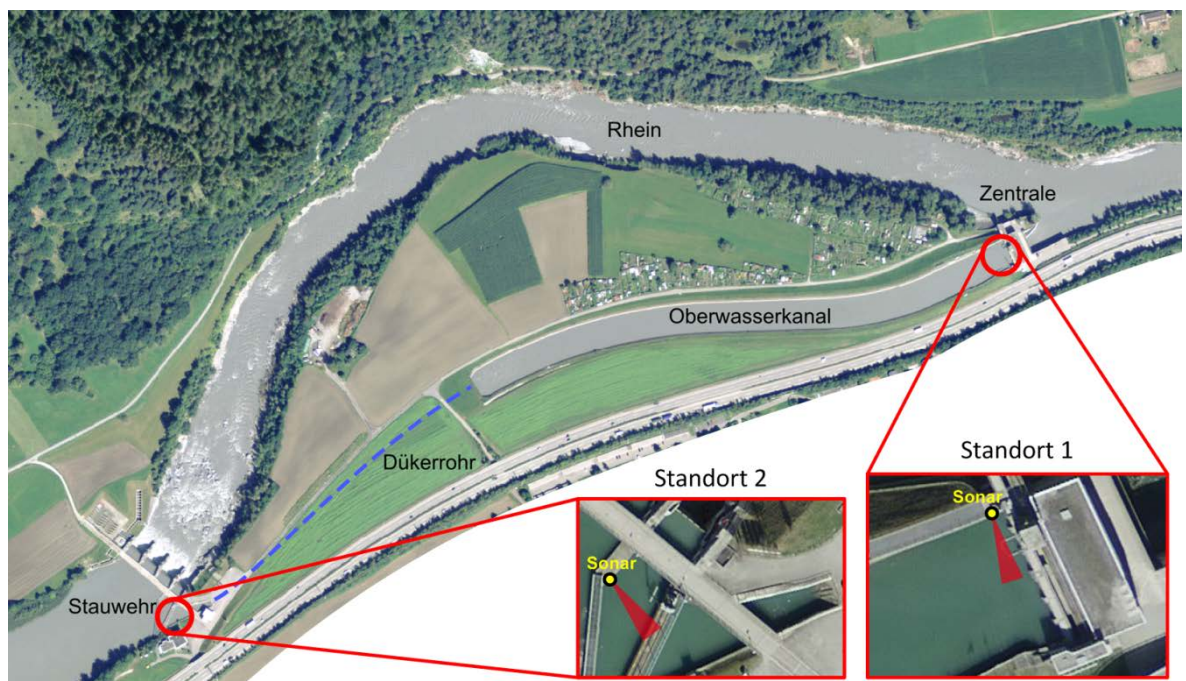


Abb. 4.1 Situation der KWR mit den beiden Untersuchungsstandorten am Oberwasserkanal/Zentrale und am Stauwehr und der Position des Sonars

Bei beiden Standorten wurden die Orientierung des Sonars und die Blickrichtung variiert. Die unterschiedlichen Orientierungen des Sonars werden nachfolgend im Detail beschrieben. Sie wurden nicht vorgängig, sondern vor Ort während der Durchführung der Aufnahmen festgelegt.

4.1 Standort 1: Oberwasserkanal/Zentrale

Für die Beobachtung der Seeforellen im Oberwasserkanal wurde das Sonar an der linksufrigen vertikalen Betonwand unmittelbar oberhalb des linken Umlaufs positioniert. Das Sonar wurde mithilfe einer an der Wand verankerten Schiene fixiert. Eine Befestigungshilfe für die Schiene wurde vorgängig im Oktober 2015 bei der alljährlichen Entleerung des Kanals angebracht.

Bericht

4.1.1 Orientierung 1.1

Heading / Pitch / Roll: $128^\circ / -32^\circ / 123^\circ$

Wassertiefe: $\sim 1.8\text{ m}$

Für die erste Beobachtungsperiode wurde das Sonar in Blickrichtung der Oberkante der Rechen-einläufe bei Maschine 1 orientiert, siehe dazu die Abb. 4.2.

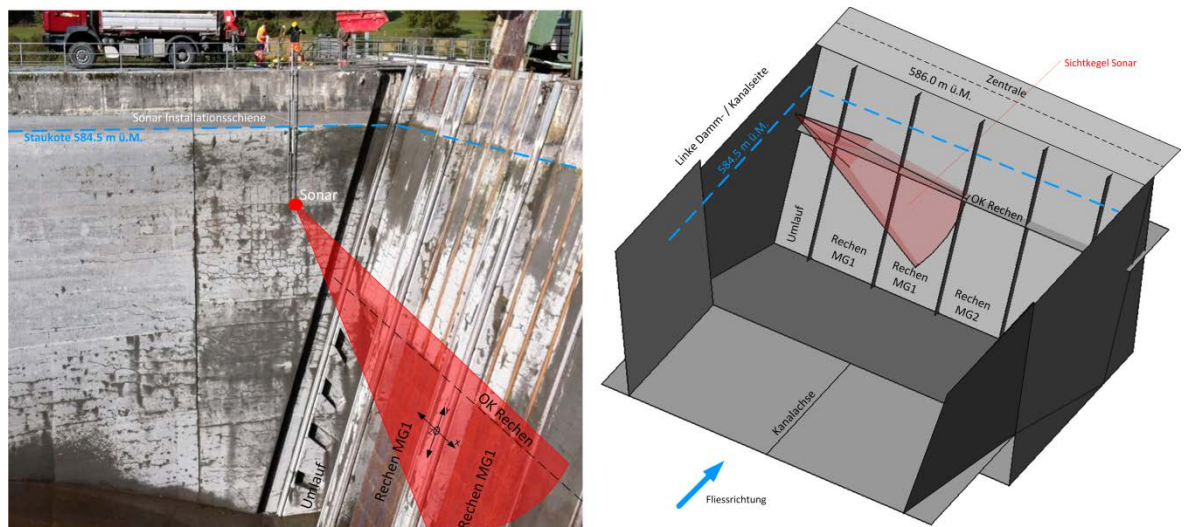


Abb. 4.2 Positionierung des Sonars am Standort 1 mit Orientierung 1.1 in Richtung Recheneinläufe

Das Gerät wurde in einer mittleren Wassertiefe von ca. 1.8 m positioniert. Die rotierte XY-Ebene des Sonar-Sichtkegels ist in etwa parallel zur Fläche entlang der Recheneinläufe bzw. der geneigten Rückseite der Zentrale. Im Sichtfeld des Sonars liegen die Oberkante der Recheneinläufe der Maschinen und ein Teil der obliegenden Betonwand.

4.1.2 Orientierung 1.2

Heading / Pitch / Roll: $171^\circ / -8^\circ / 0^\circ$

Wassertiefe: $\sim 1\text{ m}$

In einer zweiten Beobachtungsperiode wurde das Sonar abgedreht und in das offene Wasser vor dem Maschineneinlauf 1 orientiert (Abb. 4.3). Das Sonar wurde in einer Wassertiefe von 1 m mit einer Neigung von 8° ausgerichtet. Die Oberseite des Sichtkegels ist horizontal zur Wasseroberfläche.

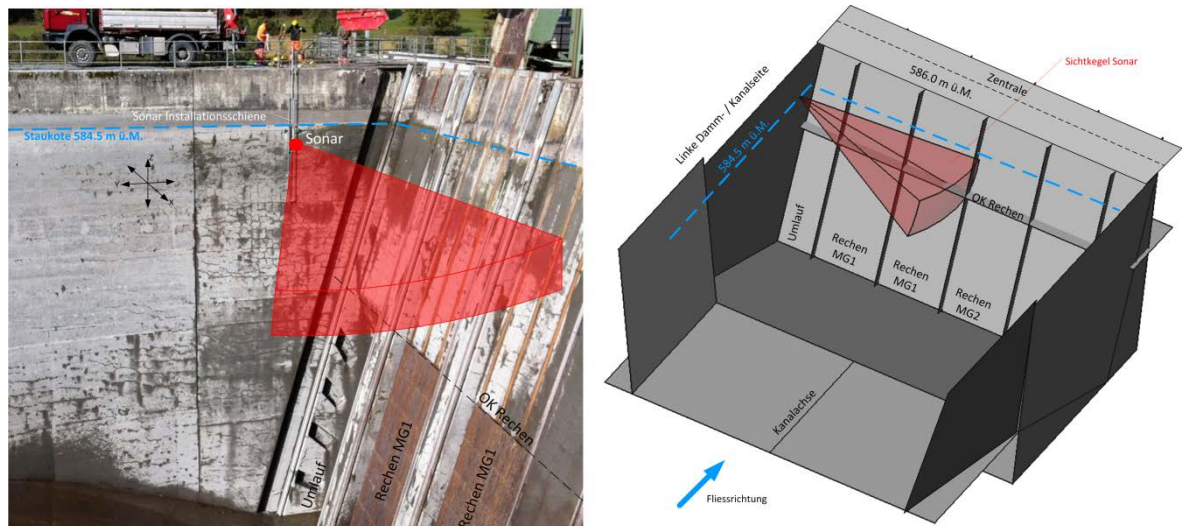


Abb. 4.3 Positionierung des Sonars am Standort 1 mit Orientierung 1.2 in Richtung Wasserkörper

4.2 Standort 2: Leitmauer Wehröffnung Grundablass

Am zweiten Standort sollten die Seeforellen im Bereich vor dem Recheneinlauf zum Triebwasserweg (Düker und anschließender OW-Kanal) beobachtet werden. Dazu wurde das Sonar auf der Leitmauer zwischen der Wehröffnung des Grundablasses und Wehröffnung 1 positioniert und in Richtung des Rechens orientiert.

4.2.1 Orientierung 2.1

Heading / Pitch / Roll: $143^\circ / -9^\circ / 0^\circ$

Wassertiefe: $\sim 1\text{ m}$

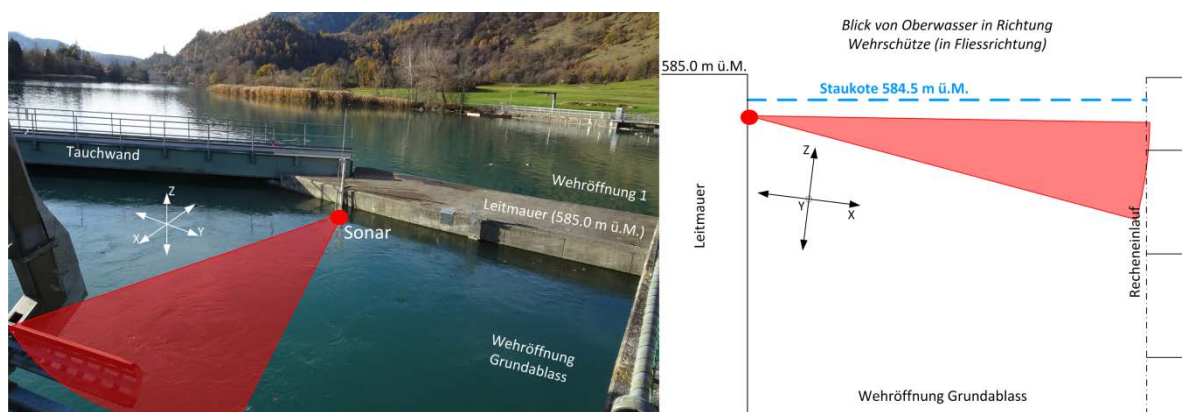


Abb. 4.4 Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.1 in Richtung Recheneinlauf

Im entfernten Ende des Sichtkegels des Sonars befindet sich der Recheneinlauf. Der Sichtkegel durchleuchtet das Vorfeld des Rechs in der Wehröffnung Grundablass quer zur Fliessrichtung zwischen 1 bis maximal 4 m Wassertiefe.

4.2.2 Orientierung 2.2

Heading / Pitch / Roll: $102^\circ / -17^\circ / 73^\circ$

Wassertiefe: $\sim 0.3\text{ m}$

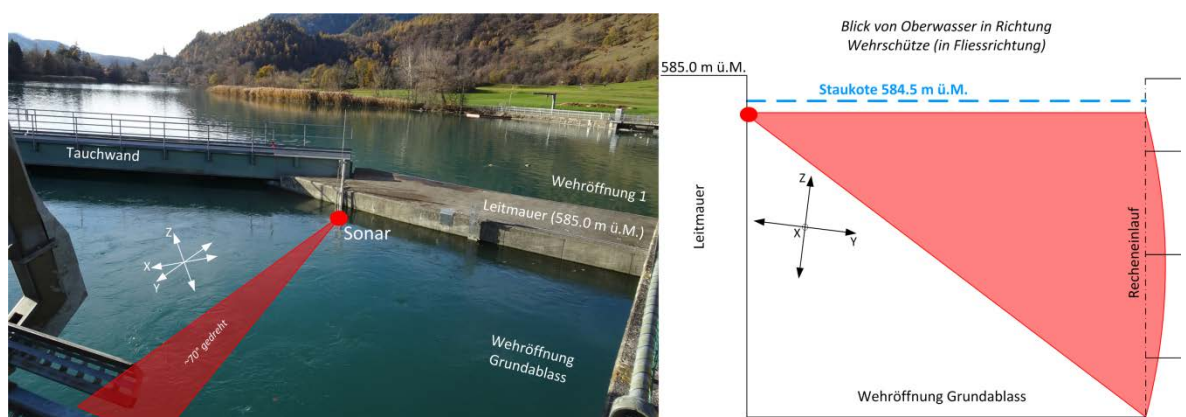


Abb. 4.5 Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.2 ($\sim 70^\circ$ geneigt gegenüber Orientierung 2.1)

Die Orientierung 2.2 wurde speziell verwendet, um die Fische im Vorfeld des Rechs über die gesamte Wassertiefe zu beobachten und die Positionen der Fische in der Wassersäule genau zu bestimmen. Aufgrund der Projektion der Signale in die Ebene (Abb. 3.4) kann bei einer horizontalen Orientierung 2.1 des Sonars die Position eines Fisches in der Wassersäule (entlang der Z-Achse) nur auf eine Bandbreite gemäss dem Sonarkegel eingegrenzt werden. In der XY-Ebene hingegen ist aufgrund der Antennengeometrie (Strahlenbündel) des Geräts eine genaue Positionierung möglich. Es ist zu erwähnen, dass mit dieser Orientierung hingegen keine Längenmessung der Fische möglich ist.

4.2.3 Orientierung 2.3

Heading / Pitch / Roll: $78^\circ / -7^\circ / 0^\circ$

Wassertiefe: 0.4 m

Das Sonar wurde in einer dritten Phase nochmals ähnlich der Orientierung 2.1 ausgerichtet, jedoch mit Blickrichtung weiter flussabwärts zum Übergang vom Ende des Recheneinlaufs zur Pfeilerwand des linken Widerlagers. Ein Vergleich der Orientierungen 2.1-2.3 ist in Abb. 4.7 veranschaulicht.

Bericht

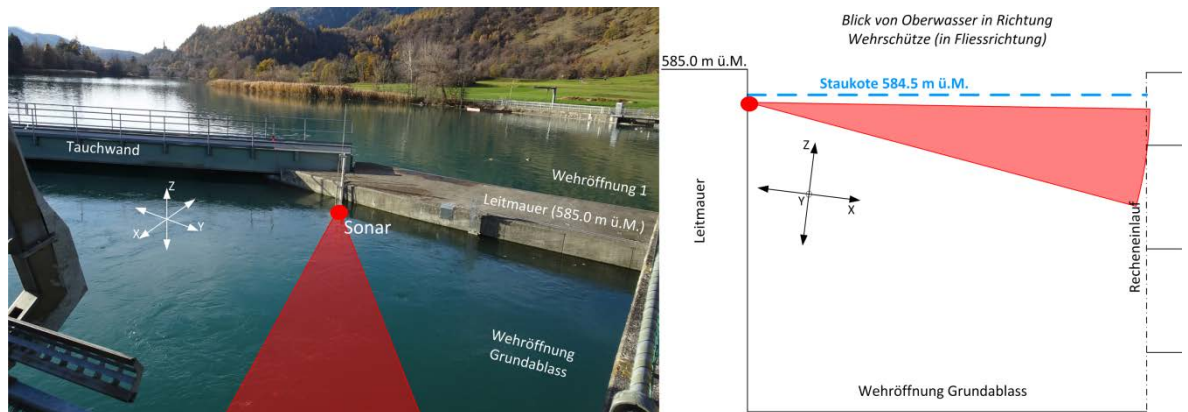


Abb. 4.6 Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.3

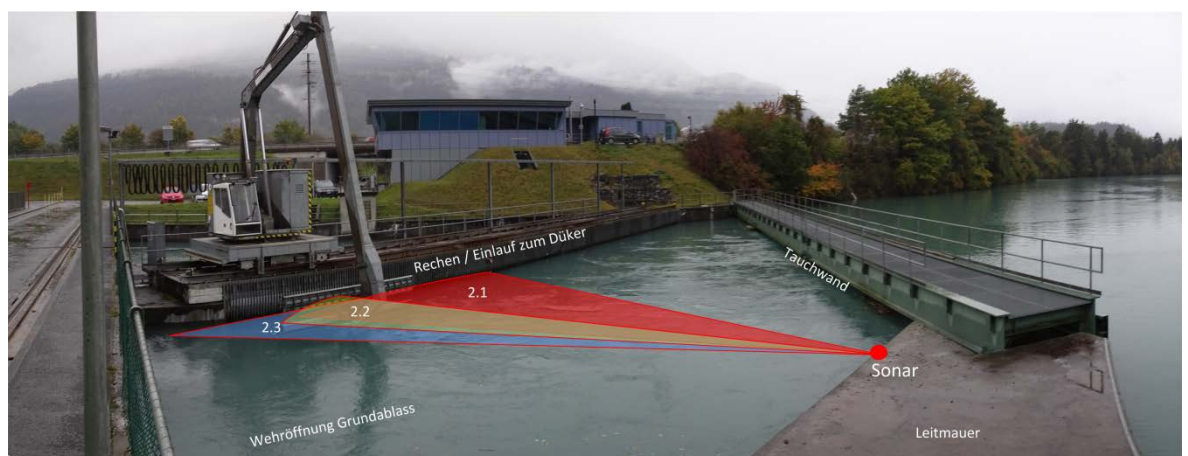


Abb. 4.7 Orientierungen 2.1 bis 2.3 im Bereich der Wehröffnung Grundablass

4.3 Aufnahmeintervalle und Verarbeitung

Alle Aufnahmen wurden zwischen dem 3. November 2015 und dem 11. März 2016 durchgeführt. In diesen 129 Tagen wurde das Sonar fast durchgehend betrieben. Insgesamt summierten sich die Unterbrüche aufgrund von Wechsel des Standorts bzw. der Orientierung und kurzzeitigen Systemunterbrüchen auf weniger als 80 h bzw. 3 Tage.

Aufnahme block	Standort	Orientierung	Von	Bis	Aufnahme tage
1	1	1.1	03.11.2015 11:15h	23.11.2015 09:30h	20
2	1	1.2	23.11.2015 10:30h	30.11.2015 08:00h	7
3	2	2.1	30.11.2015 14:00h	23.12.2015 09:30h	23
4	2	2.2	23.12.2015 11:30h	18.01.2016 09:30h	26
5	2	2.3	18.01.2016 10:00h	23.02.2016 00:15h	36
6	1	1.2	25.02.2016 11:15h	11.03.2016 08:00h	15
				Gesamtdauer:	127

Tab. 4.1 Aufnahmeblöcke und Zeitdauer der Beobachtungsperioden an den Sonarstandorten in Tagen

Das Sonarsystem erzeugt pro Tag im Schnitt eine Datenmenge von 105 GB. Die Gesamtdatenmenge für alle Aufnahmen vor der Verarbeitung beläuft sich auf knapp 13 TB. Den Autoren ist nur eine Studie mit Sonaruntersuchungen bekannt, welche eine noch grössere Datenmenge verarbeitet hat [8]. Zur semiautomatischen Markierung der Fische wurden insgesamt 11'900 Echogramme erzeugt.

5 Umweltfaktoren als Zeitgeber für die Abwanderung

5.1 Einleitung

Die Abwanderaktivität von Fischen wird durch verschiedene Umweltfaktoren, welche als Zeitgeber wirken, gesteuert. Diese Zeitgeber und die gegenseitige Beeinflussung sind generell noch wenig erforscht, respektive zum Abwanderverhalten der adulten Seeforelle sind keine spezifischen Studien bekannt. Gemäss [11] korrespondieren die Abwanderzeiträume bei Fischen mit biologischen Rhythmen, die durch die Periodizität der geophysikalischen Zeitgeber bedingt sind. Als gängige wichtige geophysikalische und biologische Zeitgeber werden gemäss [11] die folgenden Zeitgeber genannt:

- Jahreszeitliche Rhythmik (bei Seeforellen in etwa bekannt, siehe Kapitel 2.3)
- Tageszeitliche Rhythmik
- Lunare Rhythmik (Mondphasen)
- Abfluss (Spezialfall Alpenrhein mit Schwall/Sunk)
- Wassertemperatur

Es können aber auch weitere Faktoren eine wichtige Rolle für den Abwanderzeitpunkt spielen, welche sich in den meisten Fällen beeinflussen, respektive mehrere zusammenspielende Faktoren eine spezielle Verhaltensreaktion auslösen können. Dazu gehören die folgenden Faktoren:

- Trübung
- Sauerstoff
- Bewölkung, Regen, Luftdruck
- Biotische Interaktionen (z.B. Nahrungs- oder Raumkonkurrenz)

Da zum Abwanderverhalten der adulten Seeforelle wenig bekannt ist, wurden für die spätere Interpretation der Resultate die im folgenden Kapitel aufgeführten Umweltparameter dokumentiert.

5.2 Hydrologische Abflüsse, meteorologische Zeitreihen und lunare Rhythmik

Als Metainformationen zu den Sonaraufnahmen wurden folgende Zeitreihen von weiteren Quellen zusammengetragen:

Abflussdaten:

Durchfluss Kanal und Wehrüberfall [Tagesmittel] und Abflussmessdaten der BAFU-Messstellen bei Domat/Ems, Ilanz (Vorderrhein) und Fürstenu (Hinterrhein) [Tagesmittel]

Meteodaten (Meteoschweiz):

Lufttemperatur, Niederschlag und Luftdruck von drei Wetterstationen [Tagesmittel] gemäss Tab. 5.1

Bericht

Weiteres:

Mondphasenkalender

Standort	Landeskoordinaten	Lage	Richtung
Chur	759471 / 193157	8 km nordöstlich	flussabwärts (Alpenrhein)
Ilanz	735685 / 181966	18 km südwestlich	flussaufwärts (Vorderrhein)
Andeer	752687 / 164036	26 km südlich	flussaufwärts (Hinterrhein)

Tab. 5.1 Standorte der Meteostationen relativ zum KWR

Zusätzlich wurden die öffentlich verfügbaren Abflussmessdaten vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) an den hydrologischen Messstationen von Domat/Ems, Ilanz und Fürstenau beigezogen (Abb. 5.2). Bei der Messstation von Ilanz am Vorderrhein sind auch Messungen der Wassertemperatur verfügbar.

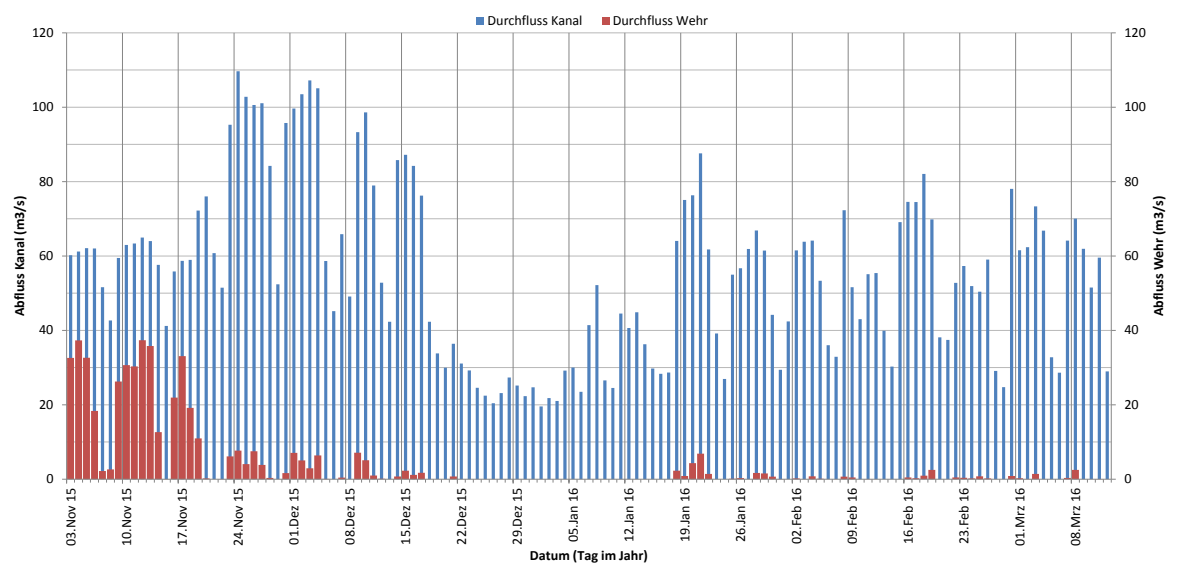


Abb. 5.1 Tagesmittelwerte vom Durchfluss am KWR in der Untersuchungsperiode

Bericht

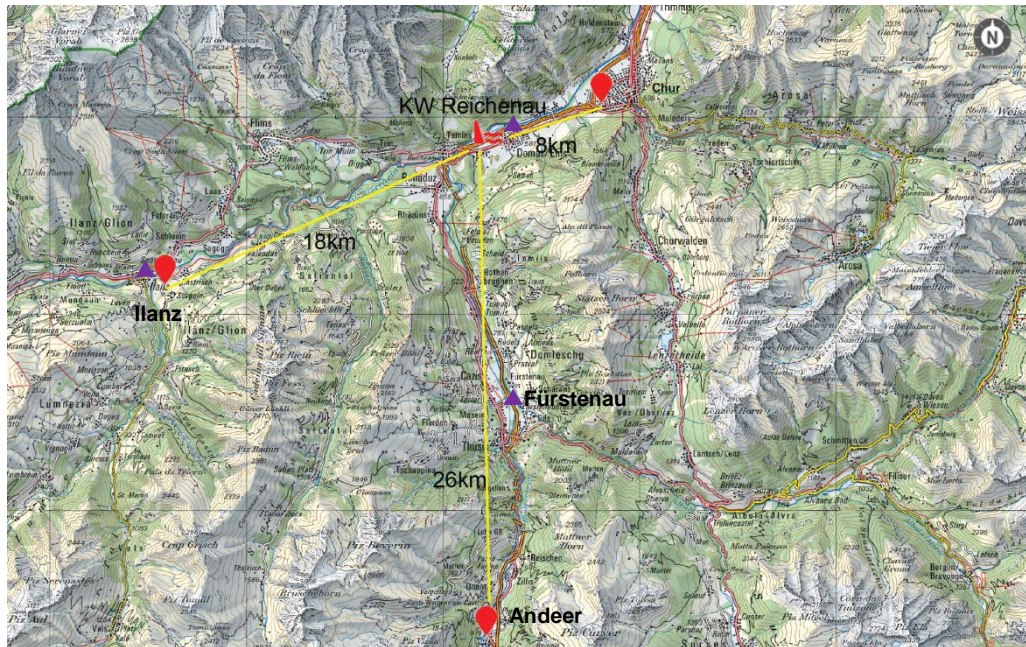


Abb. 5.2 Standorte der drei Wetterstationen (●) mit Angaben zu Lufttemperatur, Niederschlag und Luftdruck und Standorte der BAFU-Messstationen (▲) mit Abflussmessungen

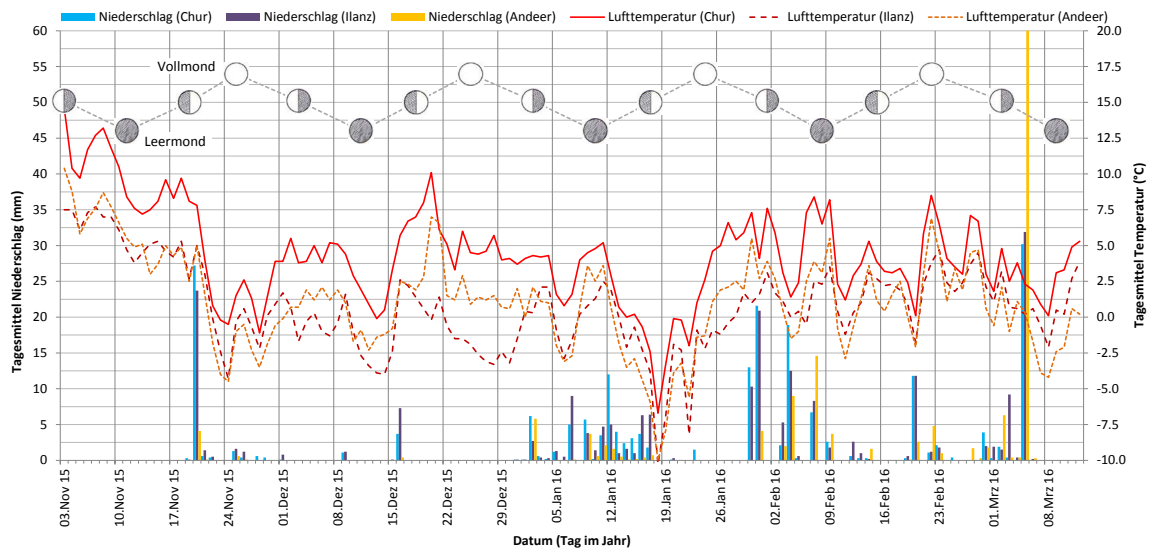


Abb. 5.3 Tagesmittelwerte von Temperatur und Niederschlag gemessen an den Wetterstationen Chur, Ilanz und Aandeer, und Mondkalender

Bericht

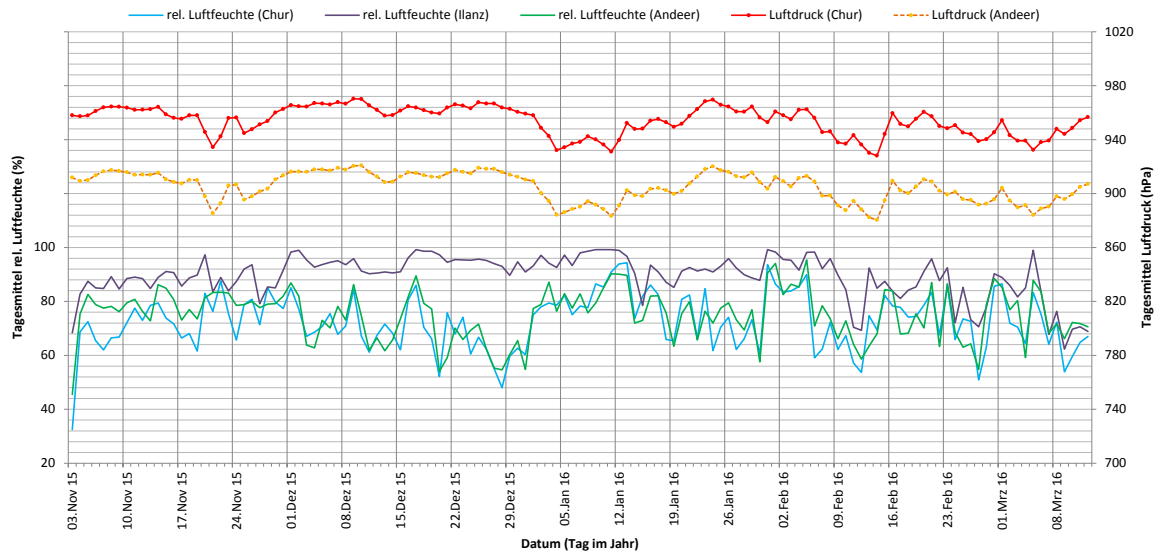


Abb. 5.4 Tagesmittelwerte von Luftfeuchte und Luftdruck gemessen an den Wetterstationen Chur, Ilanz und Andeer (Ilanz: Luftdruck nicht verfügbar)

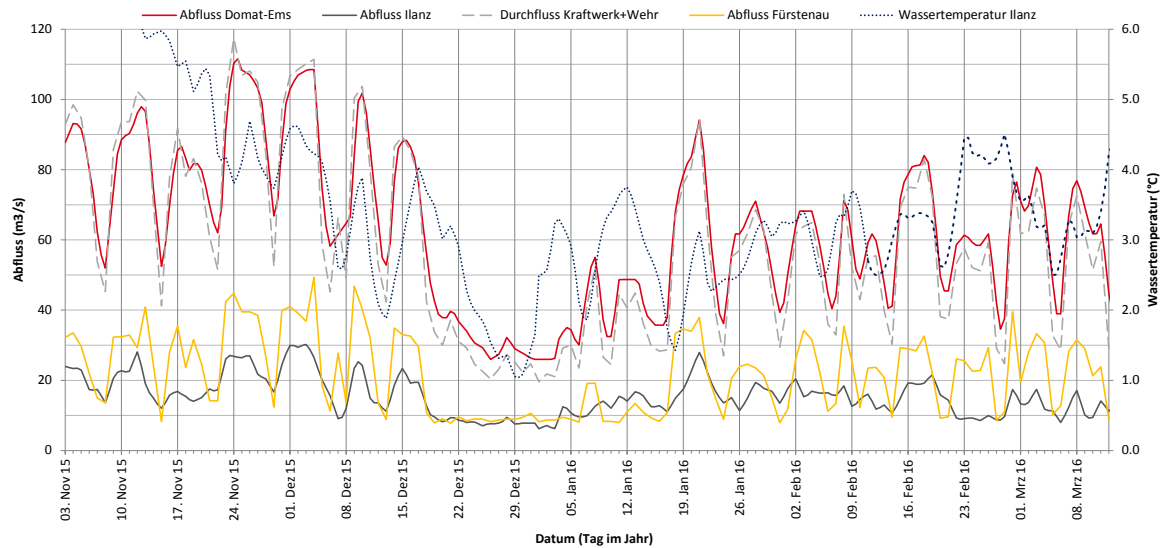


Abb. 5.5 Daten der hydrologische Messstationen Domat/Ems (Alpenrhein), Ilanz (Vorderrhein) und Fürstenua (Hinterrhein) des BAFU: Tagesmittelwerte der Abflüsse und Wassertemperatur (nur Ilanz).

6 Resultate

In den folgenden Kapiteln werden die Resultate der gesamten Aufnahmedauer erläutert:

- Anzahl und Dauer von Fischechtungen
- Grössen der gesichteten Seeforellen
- Position der Seeforellen in der Wassersäule
- Bewegungspfade der Seeforellen

Videsequenzen zu ausgewählten Fischechtungen

Zusätzlich zu den Resultaten befindet sich in Anhang 2 eine Zusammenfassung von Videsequenzen von ausgewählten Fischechtungen während der verschiedenen Aufnahmeblöcke. Die Videsequenzen sind auf der beigelegten CD einsehbar.

6.1 Anzahl und Dauer von Fischechtungen

6.1.1 Übersicht Untersuchungsperiode

Wie bereits in Kapitel 3.2 erklärt, wird eine grosse Anzahl der automatisch erfassten Markierungen nicht von Fischen verursacht. In Abb. 6.1 ist ersichtlich, dass während der gesamten Untersuchungsperiode jeweils nur ein Bruchteil von tatsächlichen Fischebeobachtungen aus den automatisch erfassten Markierungen resultiert, und dass die Anzahl der automatisch erfassten Markierungen keinen direkten Rückschluss auf die Aktivität von Fischen zulässt. Dies gilt im Allgemeinen nicht für jede Untersuchung, da die Anzahl erfasster Markierungen stark von den äusseren Bedingungen im Wasser abhängig ist (Geschwemmsel, Luftblasen usw.).

Die semiautomatische Verarbeitung vereinfacht die Verarbeitung der grossen Datenmenge massgeblich, indem Zeitperioden ohne Fischeaktivität direkt verworfen werden können. Dennoch ist eine persönliche Sichtung der Markierungen durch einen Fischebiologen unumgänglich.

Der Aufwand zur Durchsicht der Markierungen und Bestimmung von Fischechtungen war erheblich. Aus insgesamt 70'552 Markierungen resultierten 4778 Fischechtungen (Aufstieg Seeforellen im Jahr 2015 bei 208 Exemplaren). Eine Bestimmung der Fischegrösse und Bewegungsbahn gemäss den Resultaten in Kapitel 6.2 bzw. 6.4 war für alle gesichteten Fische über die gesamte Untersuchungsperiode innerhalb des Projektzeitraumes jedoch nicht möglich. Auch ist es mit der Sonarmethode nicht möglich, jeden Fisch individuell zu identifizieren. Im Jahr 2015 wurden in der Fischeaufstiegshilfe 608 Seeforellen gezählt, welche der Anzahl Fischechtungen von 4778 gegenüberstehen. Dies zeigt, dass viele abgestiegene Seeforellen mehrfach mit dem Sonar aufgenommen wurden, respektive dass viele Seeforellen im Rahmen der Suchbewegungen für den Abstieg nicht sofort die Rechen passieren, sondern hin und her schwimmen.

Bericht

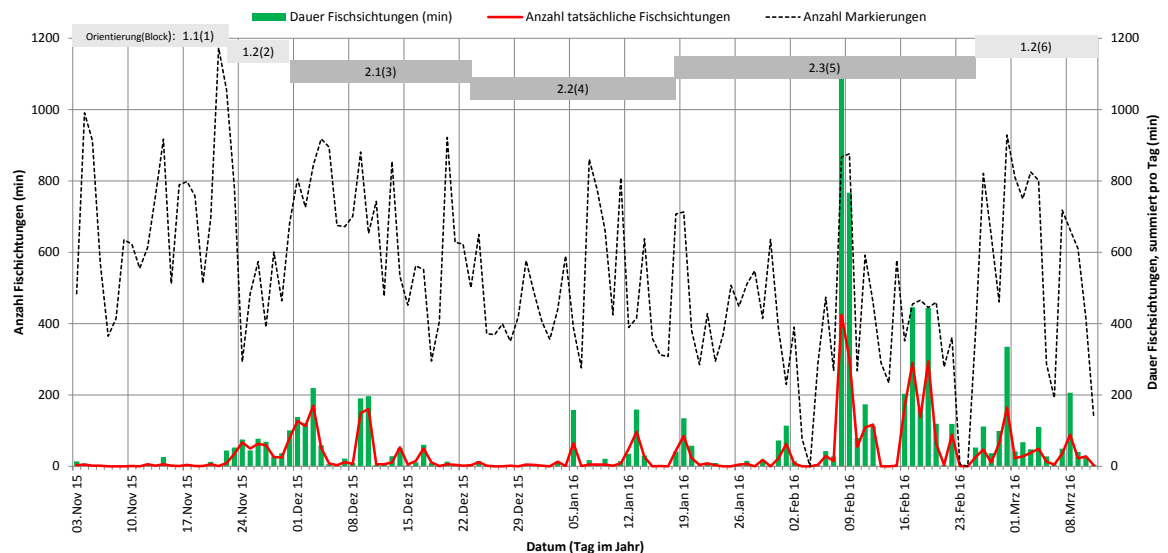


Abb. 6.1 Tatsächliche Fischechtungen im Vergleich zur Anzahl der automatisch identifizierten Markierungen während der gesamten Untersuchungsperiode. Die grauen Balken entlang der Zeitachse entsprechen den Zeitintervallen der verschiedenen Aufnahmeblöcke gemäss Tab. 4.1

In Abb. 6.1 sind folgende Zeitperioden von Interesse:

- Von Mitte November 2015 bis Mitte Dezember 2015 wurde sowohl im Oberwasserkanal (O1.2) als auch beim Stauwehr (O2.1) jeden Tag eine deutliche Anzahl von Fischen gesichtet. Die Anzahl Sichtigungen pro Tag variierte dabei zwischen 50 bis etwa 180 Sichtigungen. Insbesondere an jedem der drei Dezembertage vom 3.12., 9.12. und 10.12. betrug die summierte Dauer der Fischechtungen mehr als 3 h.
- Von Mitte Dezember 2015 bis Anfangs Februar 2016 wurden mit Ausnahme der vier Tage (5.1.16, 12.1.16, 19.1.16 und 1.2.16) tageweise keine, oder nur wenige Fischechtungen gemacht. An den vier erwähnten Tagen konnte jedoch eine markante Anzahl von Fischen gesichtet werden.
- Am 8.2.2016 wurde die grösste Anzahl von 425 Fischechtungen während der gesamten Untersuchungsperiode gezählt. Die summierte Dauer aller 425 Sichtigungen beträgt mehr als 18 h und ist im Vergleich zu anderen Beobachtungstagen ausserordentlich hoch. Im Mittel wurde an jedem Tag nicht mehr als 1 h an Fischechtungen aufgezeichnet.
- Nach dem 8.2.2016 wurde, mit Ausnahme von einzelnen wenigen Tagen, jeweils täglich eine mässige Anzahl von Fischechtungen registriert. An den Tagen vom 9.2., 17.2., 19.2., 29.2. und 8.3. wurden hingegen deutlich mehr Sichtigungen gezählt.

In Abb. 6.2 ist eine Auswertung der Fischechtungen während der Untersuchungsperiode nach Tageszeit dargestellt. Generell wurden bei jeder Tageszeit Fischechtungen registriert. Während

Bericht

den Tagstunden vom Mittag 12 h bis in den Nachmittag 17 h wurden vergleichsweise weniger Sichtungen registriert als in den Abendstunden (20-23 h) und in der Nacht (2-5 h).

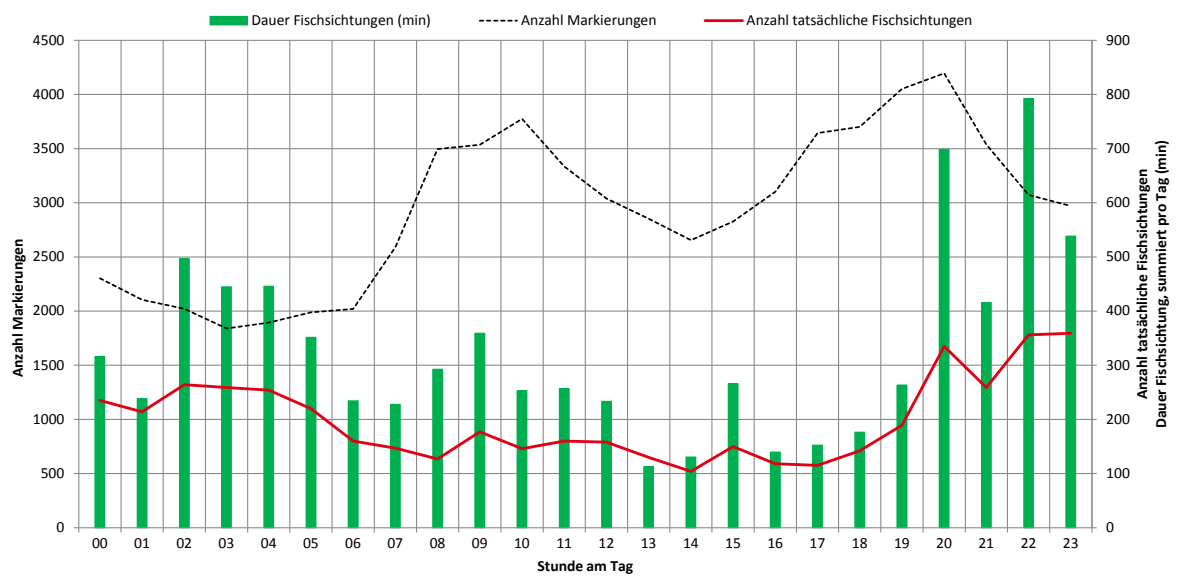


Abb. 6.2 Tageszeitabhängige Verteilung der Fischechtungen während der gesamten Untersuchungsperiode vom 3.11.2015 bis 11.3.2016

In Anhang 1 sind für jeden Aufnahmeblock 1-6 eine zusammenfassende Abbildung gemäss Abb. 6.1 bzw. Abb. 6.2 enthalten.

6.1.2 Aufnahmeblock 1 (20 Tage)

Die erste Aufnahmeperiode mit Orientierung 1.1 (Kapitel 4.1.1) am Oberwasserkanal direkt vor den Recheneinläufen der Maschine 1 fand kurz nach der jährlichen Entleerung und anschliessender Füllung des Oberwasserkanals statt.

Insgesamt wurden während dieser ersten Beobachtungsphase keine bis wenige Fische gesichtet. Gegen Ende der Periode, am 22.11. und 23.11. wurden vermehrte Zählungen gemacht. Diese entsprechen mindestens zwei oder drei Seeforellen von mittlerer Grösse (~50cm), welche wiederholt gesichtet wurden. Auch wurde mehrfach ein einzelner kleiner Fisch gesichtet (Abb. 6.4).

Die Durchflussmenge im Kanal stieg vom 22.11. auf den 23.11. markant an, der erhöhte Abfluss wohl bedingt durch eine vorhergehende Schlechtwetterperiode, welche durch einen deutlichen Abfall des Luftdrucks bzw. der Lufttemperatur am 19.-21.11., und einem markanten Niederschlagsereignis am 20.11. (siehe auch Abb. 5.3) charakterisiert wird.

Bericht

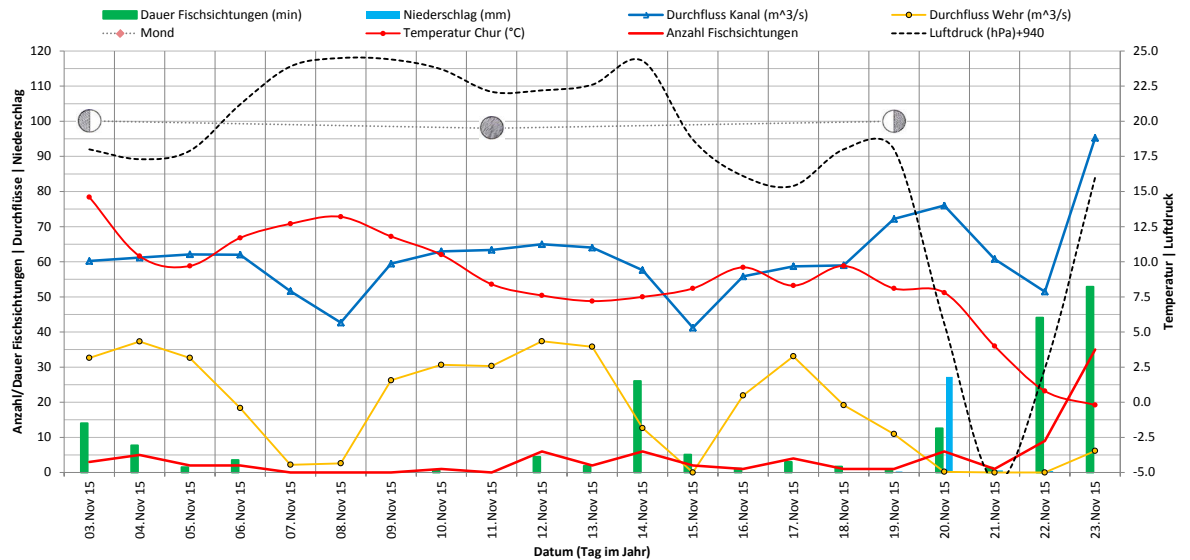


Abb. 6.3 Anzahl und Dauer von Fischechtungen während Aufnahmeblock 1 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

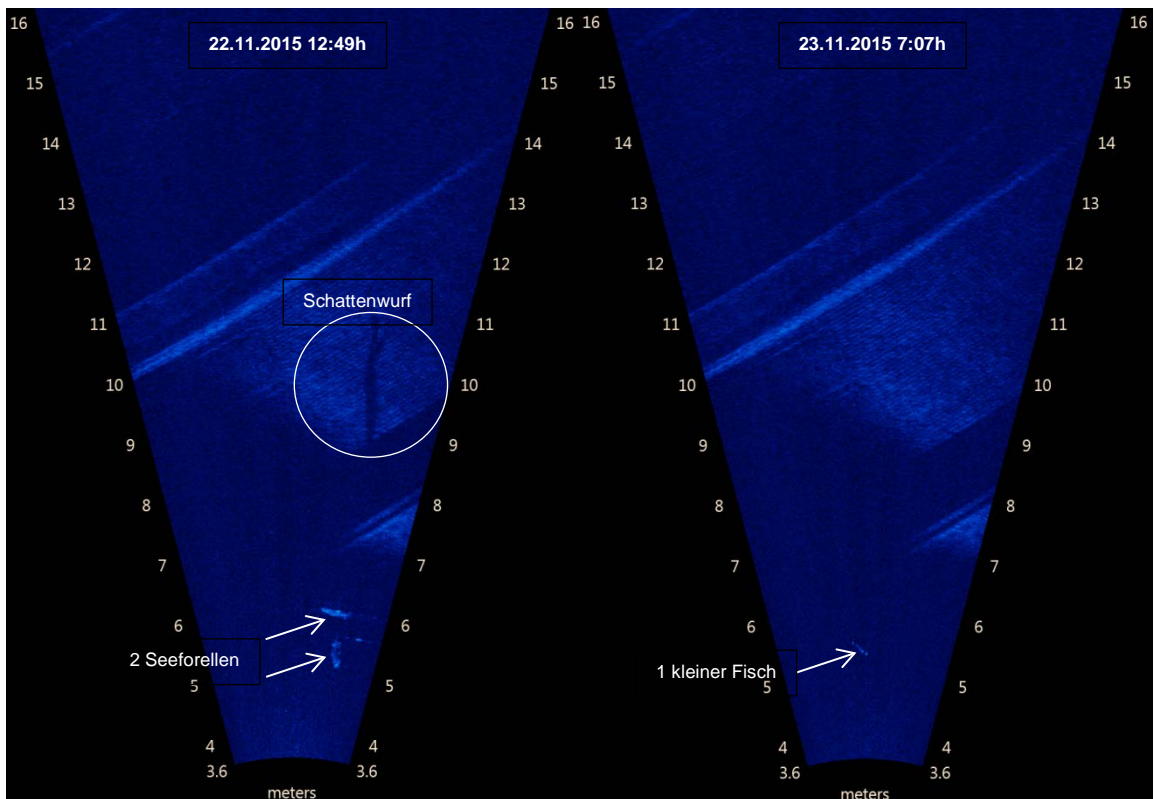


Abb. 6.4 Zwei Fischechtungen während der Aufnahmeperiode 1

6.1.3 Aufnahmeblock 2 (7 Tage)

Nachdem während dem ersten Aufnahmeblock nur wenige Fische direkt vor dem Recheneinlauf gesichtet wurden, wurde das Sonar neu orientiert, in der Hoffnung, mit einer horizontalen Ausrichtung, eine grössere Anzahl von Fischen zu erfassen. Grund dafür war, dass vor den Untersuchungen die Hypothese aufgestellt wurde, dass adulte Seeforellen analog den Lachssmolts oberflächennah abwandern.

Es wurden denn auch mit dieser Einstellung deutlich mehr Sichtungen gezählt. Sowohl kleinere Gruppen von ein bis vier Seeforellen, wie auch einzelne Fische wurden gesichtet. Die tägliche Anzahl und Dauer der Fische-sichtungen in dieser Aufnahmeperiode, speziell in der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode, änderte sich ähnlich dem Durchfluss im Kanal und stieg am 30.11. deutlich an. Am 25.11., bei Vollmond, wurden im Vergleich zum vorhergehenden und nachfolgenden Tag deutlich weniger Fische-sichtungen gezählt. Abgeleitet vom raschen Abfalls des Luftdrucks und dem Niederschlagsereignis vom 25.11., fand am gleichen Tag auch ein Wetterumschwung statt.

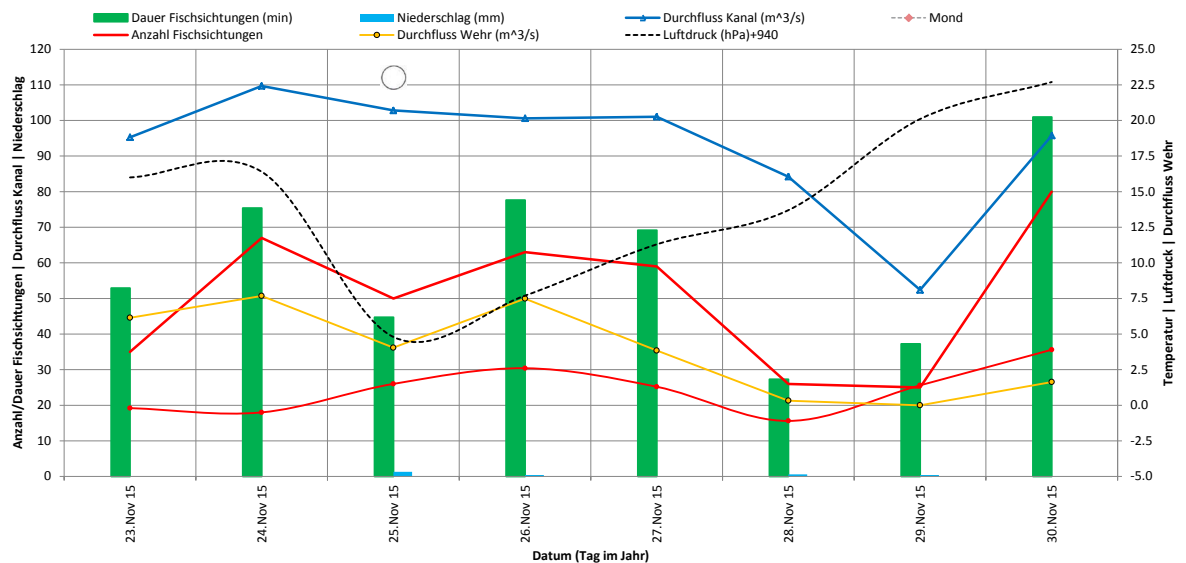


Abb. 6.5 Anzahl und Dauer von Fische-sichtungen während Aufnahmeblock 2 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

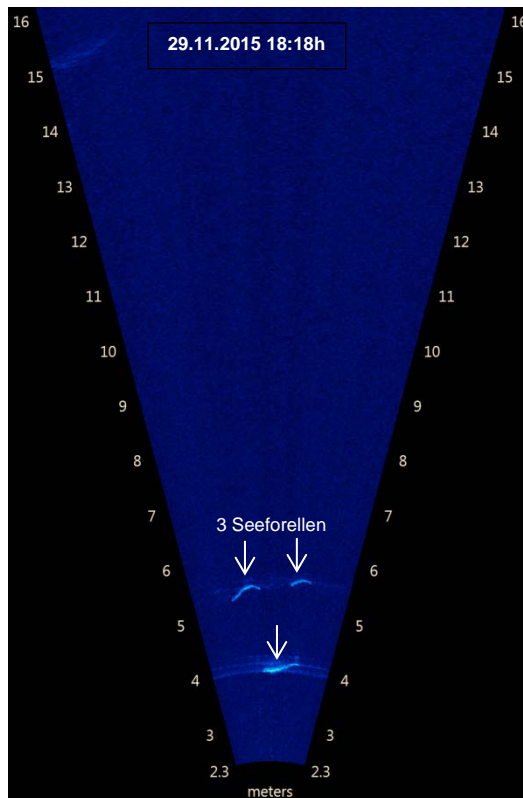


Abb. 6.6 Sichtung von drei mittleren Seeforellen (ca. 50-60 cm Grösse) während Aufnahmeblock 2

6.1.4 Aufnahmeblock 3 (23 Tage)

Am 30.11.2015 wurde das Sonar flussaufwärts zum Stauwehr verschoben (Abb. 4.4). Die Anzahl und Dauer von Fischechtungen während dieser dritten Periode variierte relativ deutlich mit der Durchflussmenge am Oberwasserkanal. An Tagen mit geringem Durchfluss am Kanal und wenig bis kein Wehrüberfall wurden nur sehr wenige Sichtigungen gezählt. Hingegen wurde an Tagen mit hohem Durchfluss eine grosse Anzahl von Sichtigungen registriert. Am 9. und 10.12. wurden besonders viele Sichtigungen registriert und die Gesamtdauer an Sichtigungen war deutlich höher als in den vorangegangenen vier Tagen mit geringem Durchfluss. An diesen beiden Tagen wurde mehrmals eine kleine Schule von 6 bis 8 Seeforellen mittlerer Grösse erfasst, welche sich im Sichtfeld des Sonars bewegten.

Nach dem 17.12. fiel der Durchfluss des Kanals stark ab (unter $40 \text{ m}^3/\text{s}$). Gleichzeitig ging auch die Anzahl registrierter Fischechtungen markant zurück.

Bericht

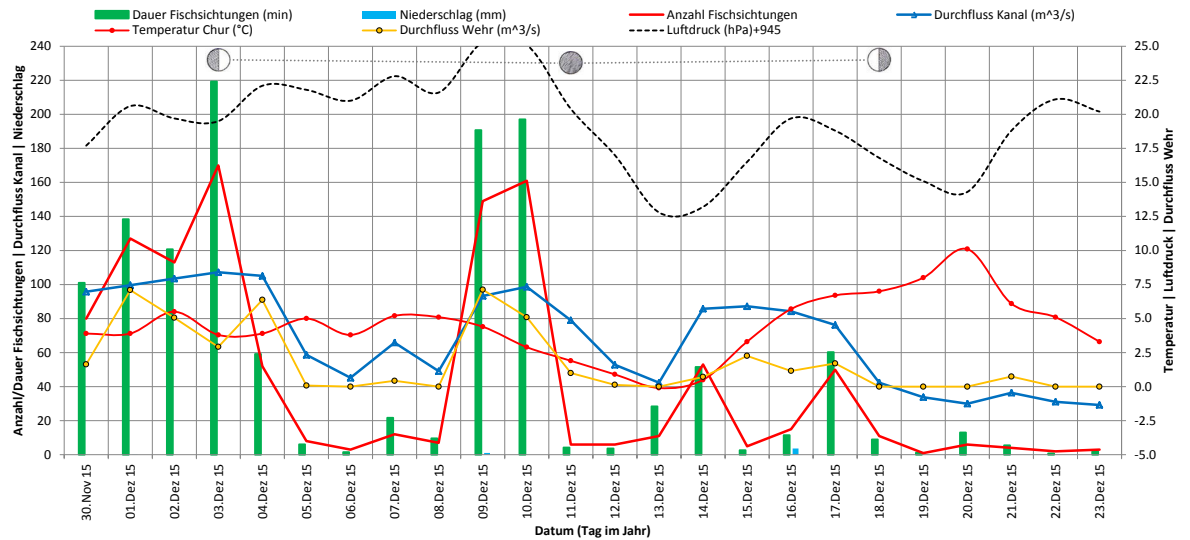


Abb. 6.7 Anzahl und Dauer von Fischechtungen während Aufnahmeblock 3 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

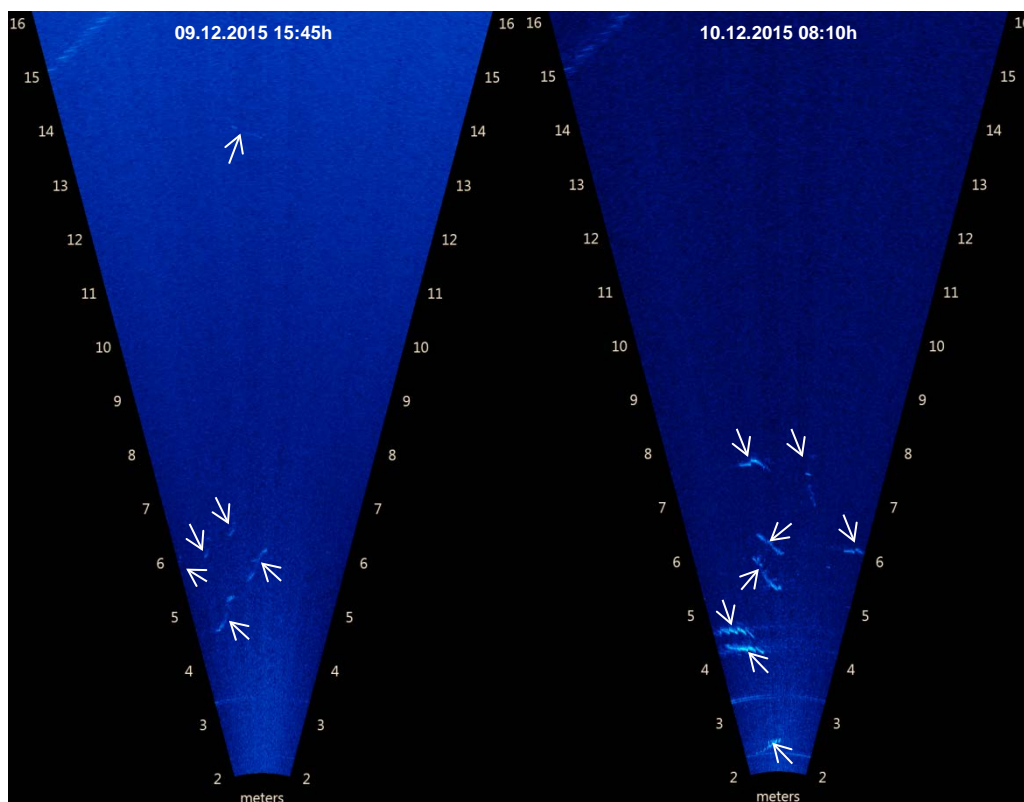


Abb. 6.8 Links: Gruppe von 6 Seeforellen / Rechts: kleine Schule von 8 Seeforellen

6.1.5 Aufnahmeblock 4 (26 Tage)

Zur genauen Bestimmung der Position von gesichteten Seeforellen in der Wassersäule, wurde das Sonar während der vierten Beobachtungsphase in einer gekippten Position gehalten (Kapitel 4.2.2). Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Tiefenposition der gesichteten Seeforellen und die Resultate dazu sind in Kapitel 6.3 beschrieben.

Die Zeitperiode über Weihnachten/Neujahr vom 22.12.2015 bis 3.1.2016 ist geprägt von sehr geringen Abflussverhältnissen. Der tägliche mittlere Durchfluss am Kanal betrug in dieser Zeit meist nicht mehr als 30 m³/s und änderte sich kaum über diese Tage. Dies hat damit zu tun, dass während der Weihnachtszeit die Speicherkraftwerke nur selten im Einsatz stehen. D.h., dass während dieser Zeit kein Schwall/Sunk im Alpenrhein verursacht wurde, respektive ein konstanter Sunk vorhanden war. In dieser Periode wurden keine oder nur sehr wenige Fische gesichtet.

An zwei einzelnen Tagen, dem 5.1. und dem 13.1.2016, wurden dennoch gehäuft Fische gesichtet. Diese beiden Tage heben sich in Abb. 6.9 deutlich hervor. Beiden Ereignissen geht ein leichter Anstieg des Durchflusses (Schwall) innerhalb der vorhergehenden 1-2 Tage voran.

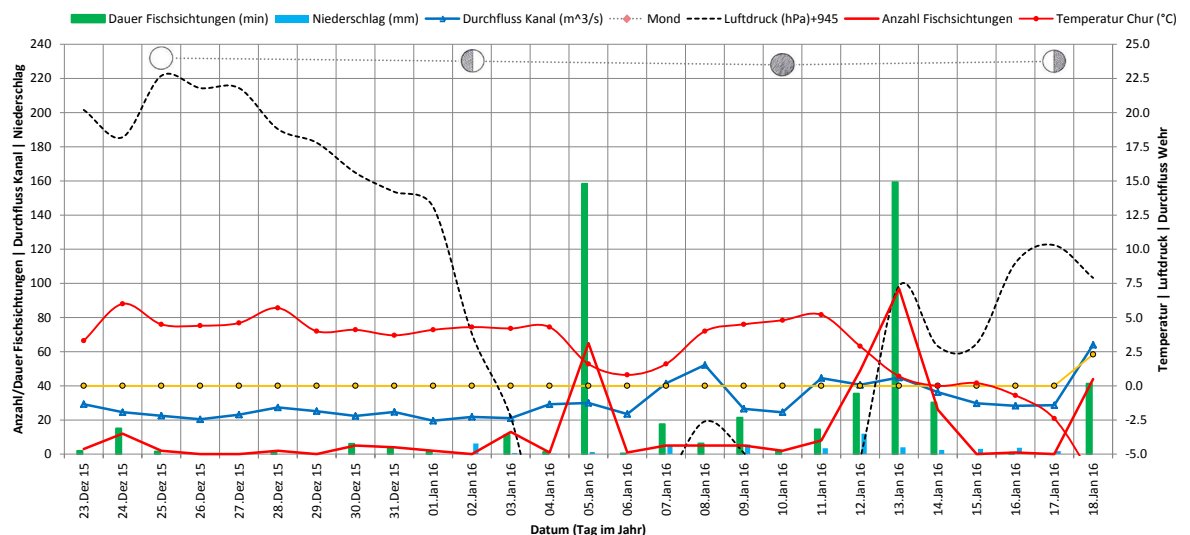


Abb. 6.9 Anzahl und Dauer von Fische-sichtungen während Aufnahmeblock 4 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

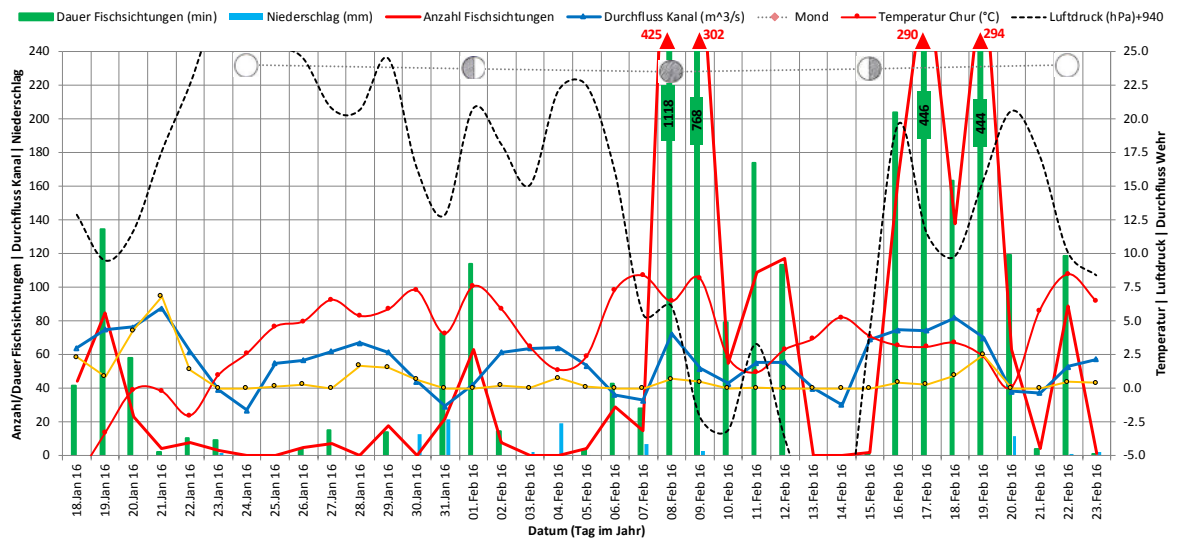


Abb. 6.10 Anzahl und Dauer von Fischechtungen während Aufnahmeblock 5 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

6.1.6 Aufnahmeblock 5 (36 Tage)

In der ersten Hälfte vom 18.1. bis 5.2. der fünften Beobachtungsperiode wurden, ähnlich dem Aufnahmeblock 4, an den meisten Tagen keine oder nur sehr wenige Fischechtungen registriert. Dazwischen gab es zwei Intervalle von jeweils 2-3 Tagen (18. - 20.1. und 31.1. / 1.2.), an welchen eine deutliche Anzahl Fischechtungen gezählt wurde.

Am 8.2. wurde eine ausserordentliche Zahl von 425 Fischechtungen registriert, und Fische wurde über eine summierte Dauer von mehr als 1100 min (~18 h) beobachtet. Auch am darauffolgenden Tag, dem 9.2. war die Anzahl (302) der gesichteten Fische noch ausserordentlich hoch. Es ist zu erwähnen, dass die hohe Anzahl von Fischechtungen am 8.2. mit dem ersten Leermond nach den tiefsten Wintertemperaturen zusammenfällt.

In Abb. 6.11 ist die stündliche Verteilung der Fischechtungen während der zwei Tage vom 8. und 9.2. dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass während den Tagesstunden wenig Aktivität registriert wurde, und dass die Aktivität der Seeforellen in der Nacht nach dem Maximum des Leermondes um 15:38 h am 8.2. am grössten war. Gleichzeitig war der Durchfluss am Kraftwerk am 8.2. von 6:00h morgens bis um Mitternacht konstant grösser als 60 m³/s.

Bei den erwähnten 425 Fischechtungen handelt es sich natürlich nicht um 425 Fische, sondern um eine Vielzahl suchender Fische. Die Möglichkeiten für individuelle Erkennung von Fischen sind mit dem Sonar beschränkt. Trotzdem wurde für den 8.2 versucht, anhand von Längenmessungen der Seeforellen und der zeitlichen Identifizierung die Anzahl Seeforellen einzuschränken. Diese Detailuntersuchung zeigt, dass insgesamt zwischen 20 und 30 Seeforellen am Rechen nach einem Abstieg suchten. Das sind im Vergleich zur Gesamtzahl der aufgestiegenen Seeforellen an der Fisch-

Bericht

terrasse von 608 Individuen 3.3 – 4.93 % an einem einzigen Tag, unter der Annahme, dass alle aufgestiegenen Seeforellen nach dem kräftezehrenden Laichvorgang nicht verendet sind.

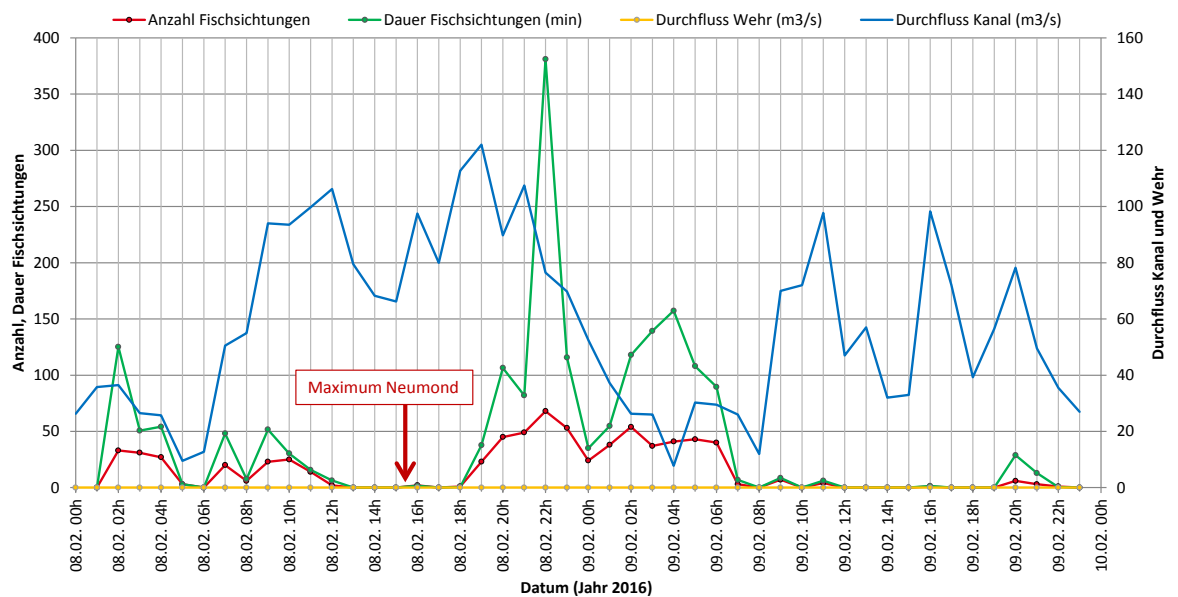


Abb. 6.11 Tageszeitabhängige stündliche Verteilung der Fische-sichtungen vom 8.2. bis 9.2.2016

In den dem Neumond nachfolgenden 14 Tagen wurde mit Ausnahme von drei Tagen (13.-15.2.) stetig eine hohe Anzahl von Fische-sichtungen registriert. Während den drei Tagen vom 13. bis 15.2. wurden praktisch keine Sichte-sungen gezählt, gleichzeitig ging der Durchfluss am Kanal deutlich zurück, und auch ein deutliches relatives Tief des Luftdrucks trat während dieser Zeitperiode ein (Abb. 6.10).

6.1.7 Aufnahmeblock 6 (15 Tage)

In der letzten Beobachtungsphase wurde das Sonar nochmals flussabwärts zum Oberwasserkanal verschoben und für weitere 15 Tage installiert.

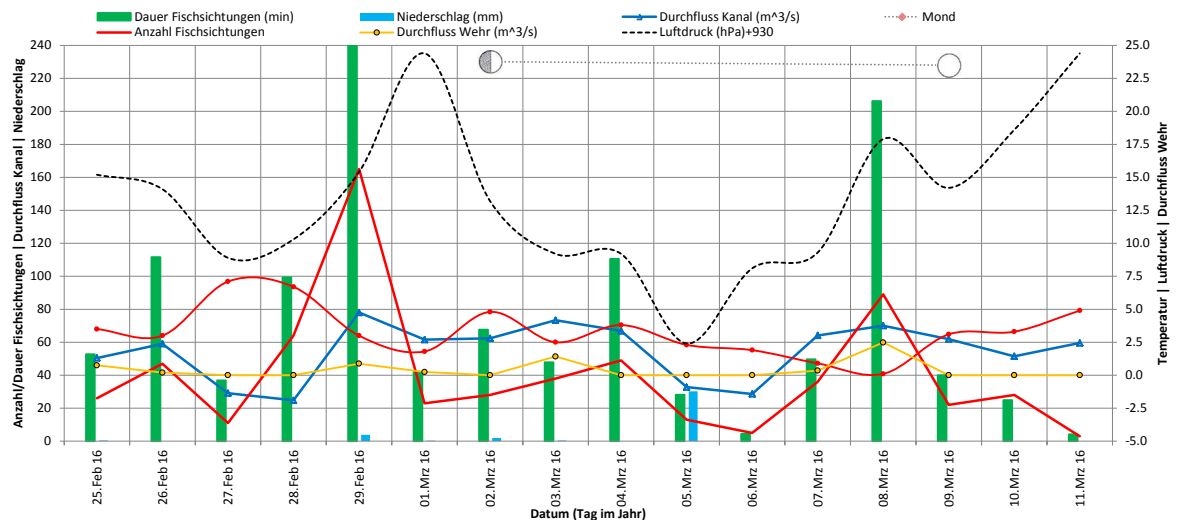


Abb. 6.12 Anzahl und Dauer von Fischsichtungen während Aufnahmeblock 6 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.

Im Oberwasserkanal wurden während dieser letzten Epoche regelmässig täglich eine mässige Anzahl Sichtungen registriert (Abb. 6.12). Insgesamt wurden im Durchschnitt während dieser dritten Beobachtungsperiode am Oberwasserkanal deutlich mehr Fischsichtungen registriert als in den zwei Beobachtungsperioden im November/Dezember 2015. Am 29.2. und 8.3. gab es nochmals je eine grosse Anzahl Sichtungen. Bei beiden Ereignissen tritt gleichentags oder innerhalb der zwei vorhergehenden Tage ein deutlicher Anstieg des Durchflusses am Kraftwerk ein.

6.2 Grössen der gesichteten Seeforellen

Grössenmessungen (Kapitel 3.3) der gesichteten Seeforellen wurden für folgende Zeitperioden ausgewertet:

- 03.11.2015 bis 30.11.2015 Aufnahmeblöcke 1 und 2 Periode „Herbst“
- 18.01.2016 bis 11.03.2016 Aufnahmeblöcke 5 und 6 Periode „Frühjahr“

Es konnten nicht alle Aufnahmeintervalle innerhalb des Projektzeitraumes ausgewertet werden.

In Abb. 6.13 ist das Resultat der Grössenmessungen als Histogramm bzw. Häufigkeitsverteilung dargestellt. Die gesichteten Seeforellen haben meist eine Grösse zwischen 45 bis 60 cm, das Mittel liegt bei etwa 55 cm.

Im Herbst 2015 wurden aufgrund des kurzen Zeitraums deutlich weniger Fische gezählt, die Anzahl der Grössenmessungen in dieser Periode ist deutlich kleiner. Dennoch wurden in dieser Periode im Vergleich mehr kleinere Fische gesichtet bzw. gemessen. In der Periode Herbst waren 80%

Bericht

der gesichteten Seeforellen kleiner oder gleich 60 cm, in der Periode Frühjahr verschob sich die Häufigkeitsverteilung leicht, 80% der Fische entsprachen eine Grösse von 70 cm oder weniger.

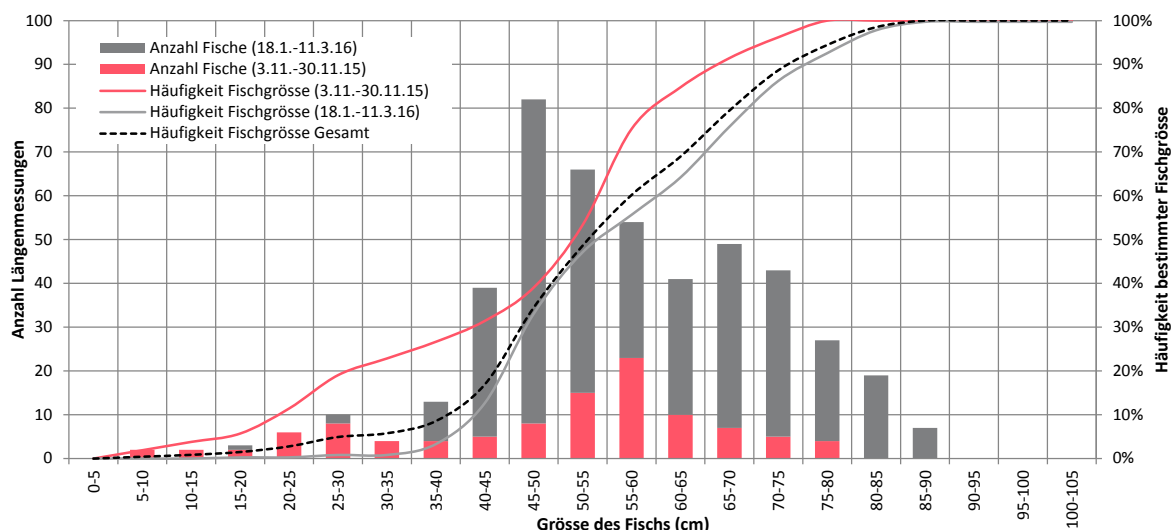


Abb. 6.13 Gestapelte Anzahl und Häufigkeit der Grösse der gesichteten Fische während zwei ausgewerteten Zeitperioden (siehe Text in Kapitel 6.2)

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für die Grössenmessungen für die Zeitperioden „Herbst“ und „Frühjahr“ ist aufgrund der unterschiedlichen Dauer und den unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Beobachtungsstandorte, Sonar-Orientierung, Abflussverhältnisse etc.) mit Vorsicht zu beurteilen.

Die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Fischgrössen für die gesamte ausgewertete Zeitperiode (Herbst und Frühjahr) ist ungleichmässig, dies wird durch einen Knick in der Verteilungskurve bei den Fischgrössen von 35-40 bzw. 40-45 cm deutlich. Zehn Prozent der vermessenen Fische haben eine Grösse zwischen 5 und 40 cm, hingegen sind bereits 20% der vermessenen Fische kleiner oder gleich 45 cm.

Die Ungleichmässigkeit in der Verteilung der gemessenen Fischgrössen gibt ein Hinweis darauf, dass es sich bei den registrierten Fischen primär um adulte Seeforellen handelt, welche nach dem Laichgeschäft wieder in den Bodensee zurückwandern wollen. Kleinere Forellen mit einer Körperlänge von ≤ 40 cm sind in der Untersuchungsperiode wenige vorhanden.

6.3 Position der Seeforellen in der Wassersäule

Eine wichtige Frage innerhalb dieser Studie (Kapitel 1.2) zur Migration der Seeforellen ist die Wassertiefe, auf welcher sich die flussabwärts wandernden Seeforellen hauptsächlich bewegen.

Bericht

Eine genaue Bestimmung der Tiefenposition gemäss der Methode in Kapitel 3.4.1 wurde für den Aufnahmeblock 4 durchgeführt. Die maximal bestimmbare Tiefenposition (T_{Max} in Abb. 3.7a) am Standort der Aufnahmen und der Orientierung 2.2 (Abb. 4.5) des Sonars betrug 8.5 m. Damit konnte der Einlaufrechen zwischen Unterkante der Tauchwand bis auf die Kote der Kiesschwelle im Sonarsichtfeld erfasst werden. Siehe dazu den Vergleich eines Sonarbildes (ohne Fische) zur Geometrie des Einlaufrechens in Abb. 6.14.

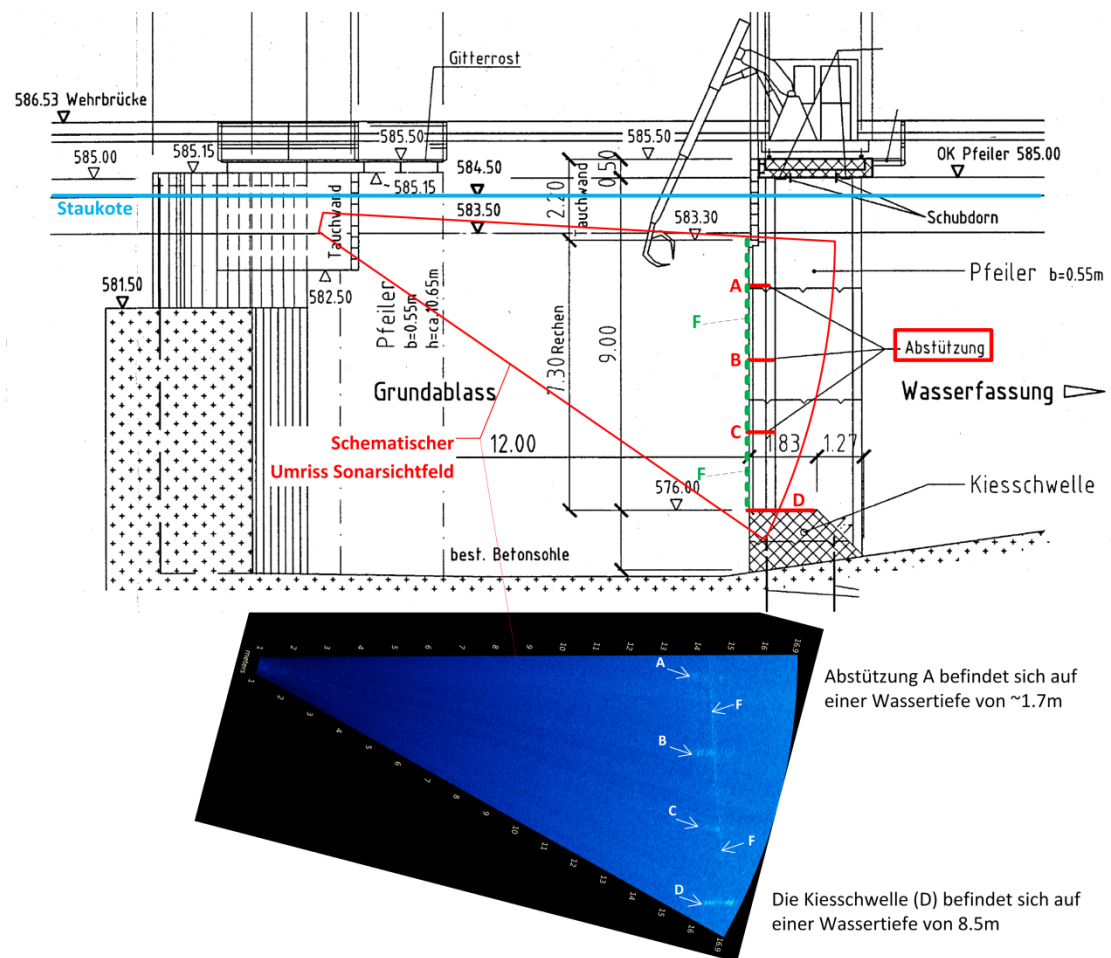


Abb. 6.14 Zuordnung des Sonarbildes mit der Ansicht der Wehrröpfung Grundablass (in Flussrichtung) zur Geometrie des Einlaufrechens (A-C: horizontale Abstützungen, D: Kote der Kiesschwelle).

Die Resultate sind in Abb. 6.15 dargestellt. Unter einer Wassertiefe von 4.0 m wurden nur 2 Seeforellen beobachtet, Am meisten Seeforellen wurden oberhalb von etwa 1.3 m beobachtet (~50%), und etwa 80% innerhalb der ersten 2.2 m Wassertiefe. Unterhalb von 2 m Wassertiefe sinkt die Zahl von gesichteten Fischen stark.

Bericht

Für die Aufnahmeblöcke 2, 3, 5 und 6 wurde die vereinfachte Tiefenbestimmung durchgeführt (Kapitel 3.4.2). Die Resultate sind in Abb. 6.16 bzw. Abb. 6.17 dargestellt.

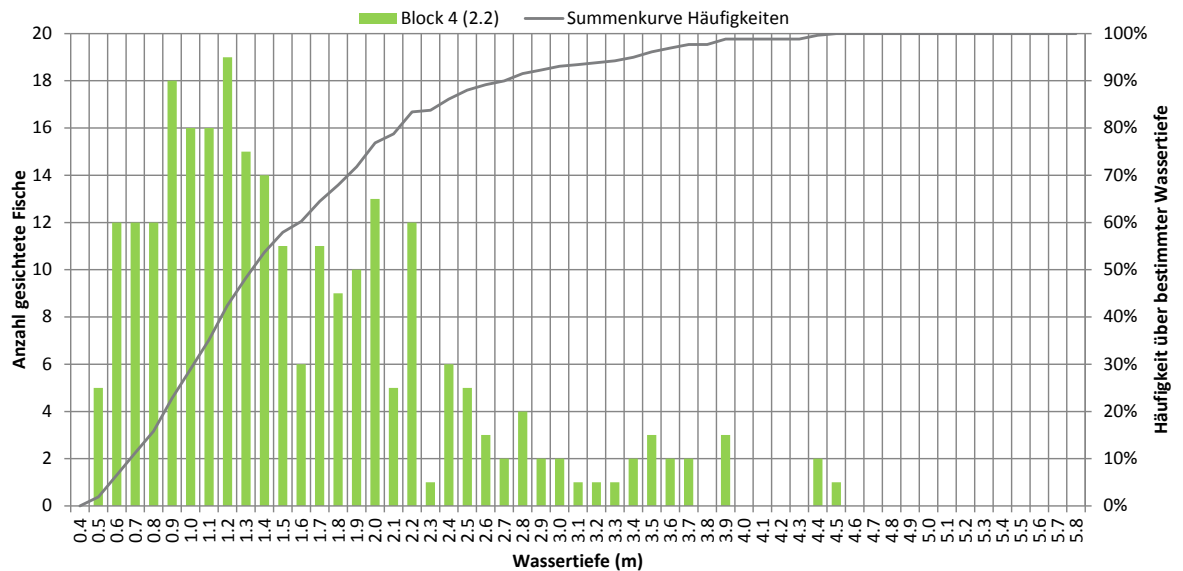


Abb. 6.15 Gemessene Tiefenpositionen von Seeforellen während des Aufnahmeblocks 4 (23.12.15-18.1.16)

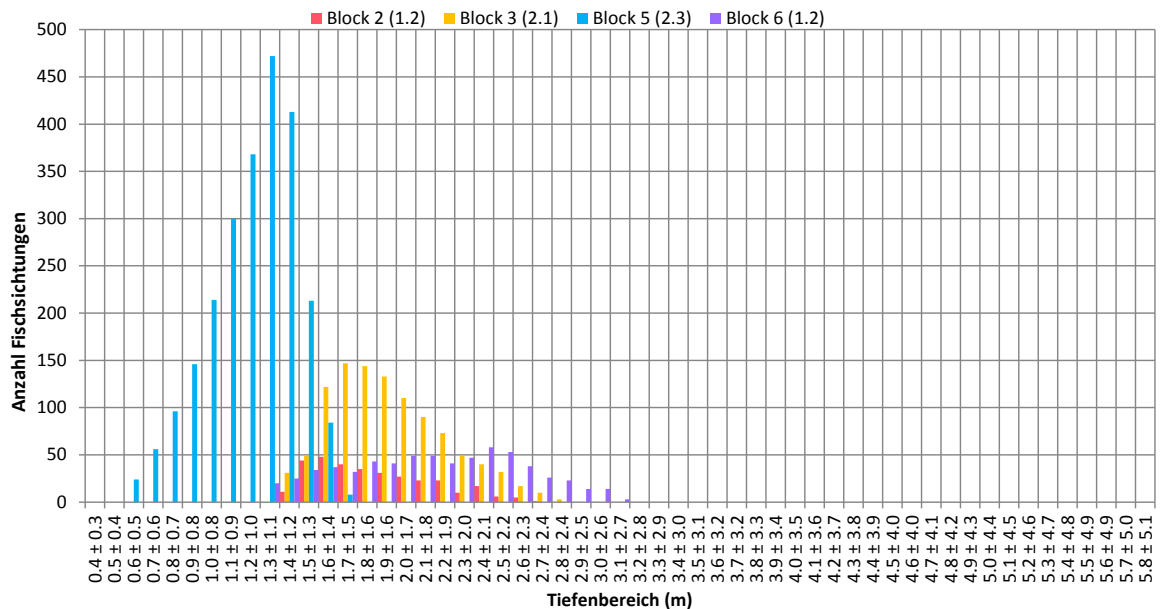


Abb. 6.16 Automatisch ermittelte Tiefenpositionen (Tiefenbereiche, nach Methode Kapitel 3.4.2) von Seeforellen für die Aufnahmeblöcke 2, 3, 5 und 6

Bericht

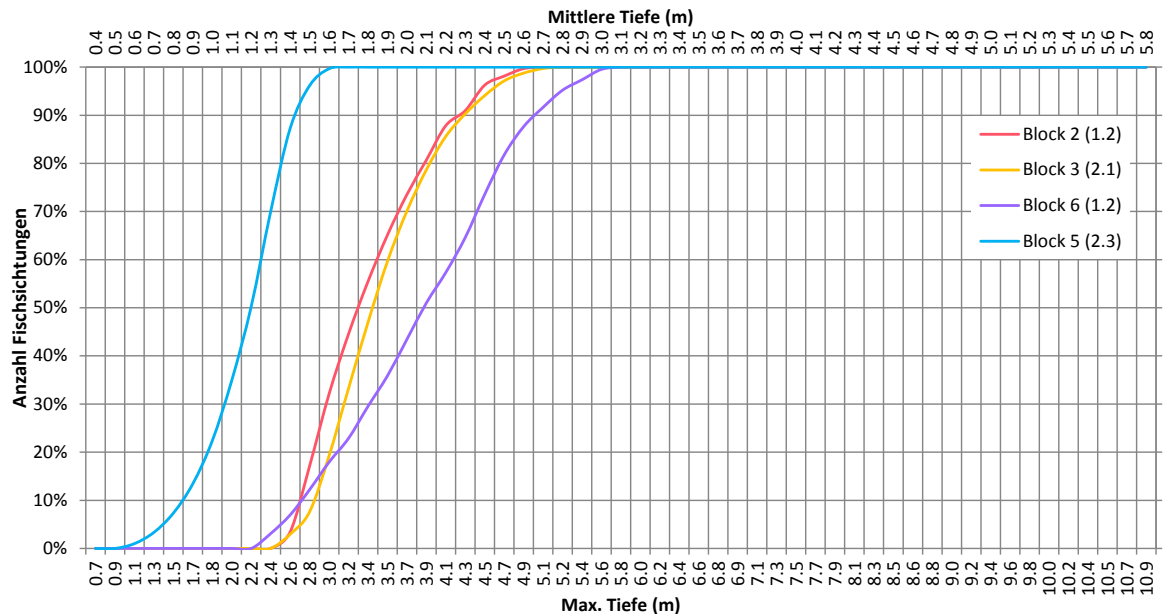


Abb. 6.17 Häufigkeit der in Abb. 6.16 ermittelten Tiefenbereiche für die Aufnahmeblöcke 2, 3, 4, und 6. Die mittlere Tiefe entspricht der XY-Ebene des Sonar-Sichtkegels, die maximale Tiefe der Unterkante des Sichtkegels (siehe Abb. 3.7b)

Für den Aufnahmeblock 5 mit einer Dauer von 36 Tagen konnte die grösste Anzahl Fische-sichtungen ausgewertet werden, und die Diagramme Abb. 6.16 bzw. Abb. 6.17 zeigen, dass für Block 5 alle Fische-sichtungen oberhalb von maximal 1.6 m mittlerer Wassertiefe (= 3.0 m maximale Wassertiefe bei Unterkante Sonarkegel) ermittelt wurden.

Aufgrund der kürzeren Dauer wurden in den Aufnahmeblöcken 2, 3 und 6 deutlich weniger Fische gezählt, hingegen wurden die Fische offensichtlich in tieferen Bereichen erfasst. Dies zeigt sich anhand der Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen für die Blöcke 2, 3 und 6 zu grösseren Wassertiefen in Abb. 6.17. Die Häufigkeitsverteilungen für die Aufnahmeblöcke 2 und 3 sind trotz unterschiedlicher Standorte relativ ähnlich, jedoch wurden die Fische auf 1.3 m bis 2.7 m mittlerer Wassertiefe erfasst, was ungefähr 0.6 m tiefer liegt, als bei Aufnahmeblock 5. Während Block 6 wurden über eine mittlere Wassertiefe von 1.3 m bis 3 m gleichmässig verteilte Fische-sichtungen registriert (Abb. 6.16). Die Steigung der Häufigkeitsverteilung für den Aufnahmeblock 6 in Abb. 6.17 ist deutlich flacher als bei den anderen Aufnahmeintervallen. Nur die Häufigkeitsverteilung von Aufnahmeblock 5 liefert für (mittlere) Wassertiefen < 1.4 m ähnliche Resultate wie die anhand der genauen Tiefenbestimmung ermittelte Verteilungskurve in Abb. 6.15.

Die vereinfachte Tiefenbestimmung zeigt für die verschiedenen Aufnahmeintervalle deutlich unterschiedliche Resultate. Die Häufigkeitsverteilungen in Abb. 6.17 sind möglicherweise verfälscht und könnten nicht natürliche Offsets enthalten. Das wahrscheinlichste Problem ist, dass die Bestimmung der Wassertiefe (H_0 , siehe Abb. 3.7) nicht exakt durchgeführt werden konnte. Die Wassertiefe wurde anhand eines im Sonargerät enthaltenen Drucksensors ermittelt. Nach Rücksprache mit

Bericht

dem Sonarhersteller wurde festgestellt, dass für kleine Wassertiefen (< 5 m) aufgrund eines technischen Programmfehlers im Gerät der Drucksensor einen Fehler von bis zu ~ 0.2 m aufweisen kann. Die Wassertiefe H_0 musste daher rückwirkend geschätzt werden.

Bei der manuellen Tiefenbestimmung bei den Daten von Aufnahmeblock 4 tritt dieses Problem jedoch nicht auf, da das Sonarbild gemäss Abb. 6.14 anhand der bekannten Wassertiefen der Stützkörper und der Kiesschwelle exakt eingeordnet werden konnte, und somit die Berechnung der Wassertiefe einer Fischechtung auf weniger als 10 cm genau bestimmt werden konnte.

6.3.1 Gewichtete Verteilung der Positionen in der Wassersäule

Der vom Sonar erfasste Tiefenbereich ist von der Wassertiefe abhängig. Je höher in der Wassersäule, umso ein breiteres Tiefenband wird über die Wehrröffnung hinweg abgedeckt. Das bedeutet auch, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Seeforelle bei 8 m Wassertiefe zu erfassen, rein aufgrund des kleineren Sichtbereichs zusätzlich verringert wird. Demnach sollte den Fischechtungen, bei welchen ein Fisch in grosser Wassertiefe erkannt wurde, eine höhere Gewichtung zugeordnet werden.

Es wurde versucht, diesen Umstand durch eine Gewichtung der Fischechtungen in Funktion der Wassertiefe und der geringeren Wahrscheinlichkeit einer Erfassung (= Detektionswahrscheinlichkeit) zu kompensieren: Die Gewichtung wird anhand einer Detektionswahrscheinlichkeit P_D , die quadratisch mit zunehmender Wassertiefe abnimmt (Abb. 6.18), bestimmt. So ergibt sich eine Detektionswahrscheinlichkeit $P_D = 100\%$, wenn ein Fisch auf derselben Wassertiefe wie das Sonargerät erfasst wird. Bei der grössten Wassertiefe, bei welcher ein Fisch noch erfasst werden kann, ist die Detektionswahrscheinlichkeit $P_D = 0\%$.

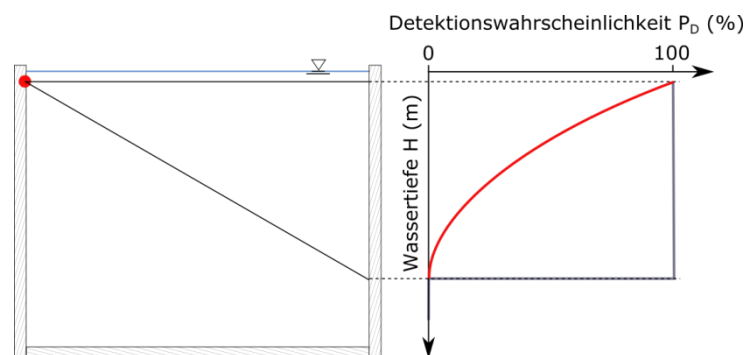


Abb. 6.18 Gewichtungsfunktion als Detektionswahrscheinlichkeit P_D in Funktion der Wassertiefe H . Der rote Kreis zeigt die Position des Sonargeräts.

Die gewichtete Anzahl von Fischechtungen wird als Quotient zwischen Anzahl Fischechtungen und der Detektionswahrscheinlichkeit P_D (Abb. 6.18) berechnet. In Abb. 6.19 ist der Vergleich zwischen der nicht gewichteten und der quadratisch gewichteten Häufigkeitsverteilung der Anzahl

Fischsichtungen (in % der Gesamtanzahl Fischsichtungen) über die Wassertiefe für den Aufnahmeblock 4 (genaue Tiefenbestimmung) dargestellt.

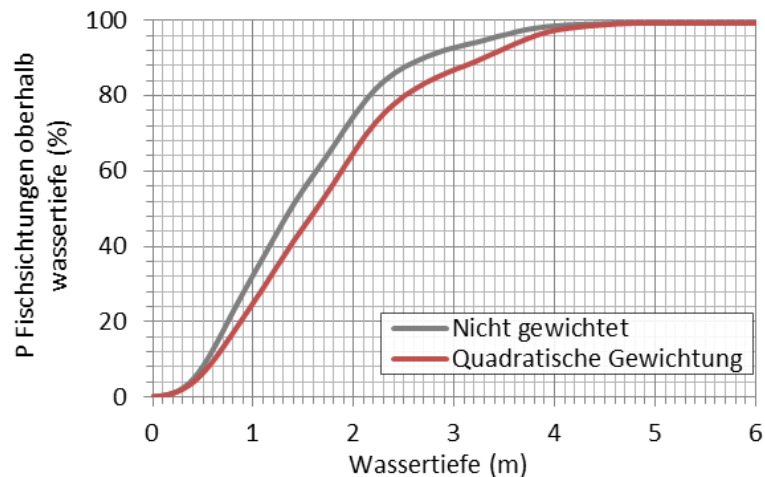


Abb. 6.19 Quadratisch gewichtete und nicht-gewichtete Wahrscheinlichkeit P der Anzahl Fischsichtungen oberhalb einer bestimmten Wassertiefe (Aufnahmeblock 4).

Mit der Gewichtung wird die Verteilungskurve zu grösseren Wassertiefen verschoben. Die Wassertiefe oberhalb welcher 80% aller Fischsichtungen (Aufnahmeblock 4) erfasst werden, steigt von 2.2 m auf 2.6 m. Mit Gewichtung werden 90% der Fischsichtungen oberhalb von 3.4 m anstatt 2.6 m Wassertiefe erfasst.

6.4 Bewegungspfade der Seeforellen

Um eine Aussage über die Bewegungen der Fische innerhalb dem Sichtfeld zu erhalten, wurden während der Periode vom 18.1. bis 2.2.2016 (erste Hälfte der Aufnahmeperiode 5, Orientierung 2.3) die horizontalen Bewegungspfade der gesichteten Seeforellen innerhalb dem Sonarsichtkegel ausgewertet. Für jede Fischsichtung wurde ein möglichst einfacher Vektor zwischen dem Erscheinungspunkt und dem Punkt des Verlassens des Sonarsichtfelds anhand der Distanz vom Sonar (auf 0.5 m gerundet) und den drei Positionen «Rechts, Mitte, Links» beschrieben. Falls sich der Fisch nicht auf einem ungefähr linearen Pfad durch das Sichtfeld bewegte, wurde die Bewegungsbahn anhand mehrerer Punkte zwischen Erscheinen und Verlassen des Sonarsichtfelds beschrieben.

Die Positionierung des Sonarkegels in der Umgebung ist in Abb. 6.21 dargestellt (siehe auch Abb. 4.6). Der linke Rand („Links“) des Sonarkegels ist der Wehrschütze flussabwärts in der Wehröffnung zugewandt, der rechte Rand („Rechts“) ist flussaufwärts, auf der Seite des Einlaufrechens und der Tauchwand.

Bericht

Die Bewegungspfade der Seeforellen von 250 Sichtungen wurden in fünf Bewegungsmuster gemäss Tab. 6.1 eingeordnet. Die Bewegungspfade innerhalb dem Sonarkegel sind in Abb. 6.21 für diese fünf Gruppen dargestellt.

Die Anzahl Seeforellen der Gruppen RL (62) und LR (66) sind sehr ähnlich. Die Differenz von Bewegungspfaden zwischen den Gruppen „ML,LM“ (36) und „MR,RM“ (32) ist auch gering. Die aufgezeichneten Bewegungstrajektorien verdichten sich nicht zu bevorzugten „Wanderpfaden“, sondern erscheinen innerhalb der Gruppe eher zufällig gerichtet. Bei der Gruppe RL konzentriert sich jedoch der Bereich der Bewegungspfade deutlich auf den Bereich zwischen 3 bis 10 m Entfernung des Sonars. Die Bewegungspfade der Gruppe LR erscheinen dagegen mehr gestreut.

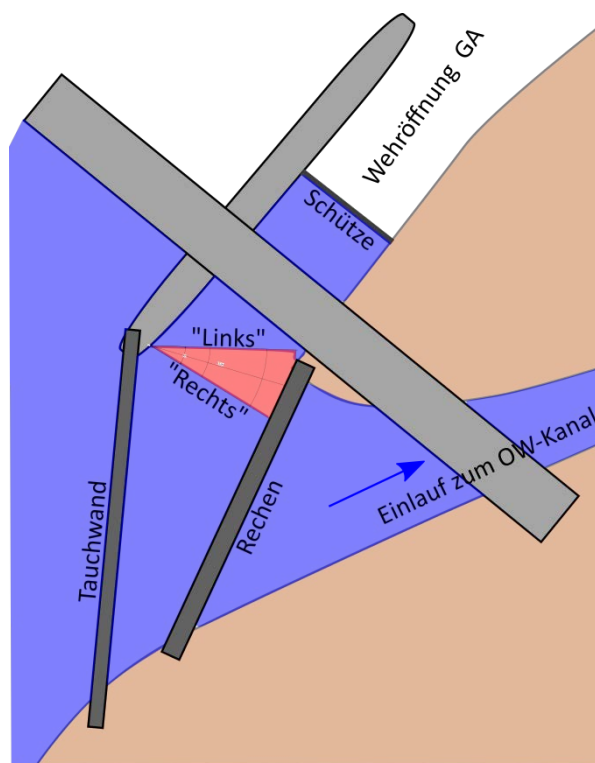


Abb. 6.20 Skizze des Untersuchungsbereichs für die Orientierung des Sonarkegels gemäss Abb. 6.21 zur Gruppierung der Bewegungstrajektorien der Seeforellen, welche das Sonarfeld von „Links“ bzw. „Rechts“ oder umgekehrt durchqueren.

Gruppe	Bewegungsmuster
LL	Von links erscheinend und links verschwindend
LR	Von links erscheinend und nach rechts verschwindend
RR	Von rechts erscheinend und rechts verschwindend
RL	Von rechts erscheinend und nach links verschwindend

Gruppe	Bewegungsmuster
ML, LM	Von der Mitte oder von links erscheinend und nach links oder Mitte verschwindend
MR, RM	Von der Mitte oder von rechts erscheinend und nach rechts oder Mitte verschwindend

Tab. 6.1 Gruppenbezeichnungen für Bewegungspfade der gesichteten Seeforellen

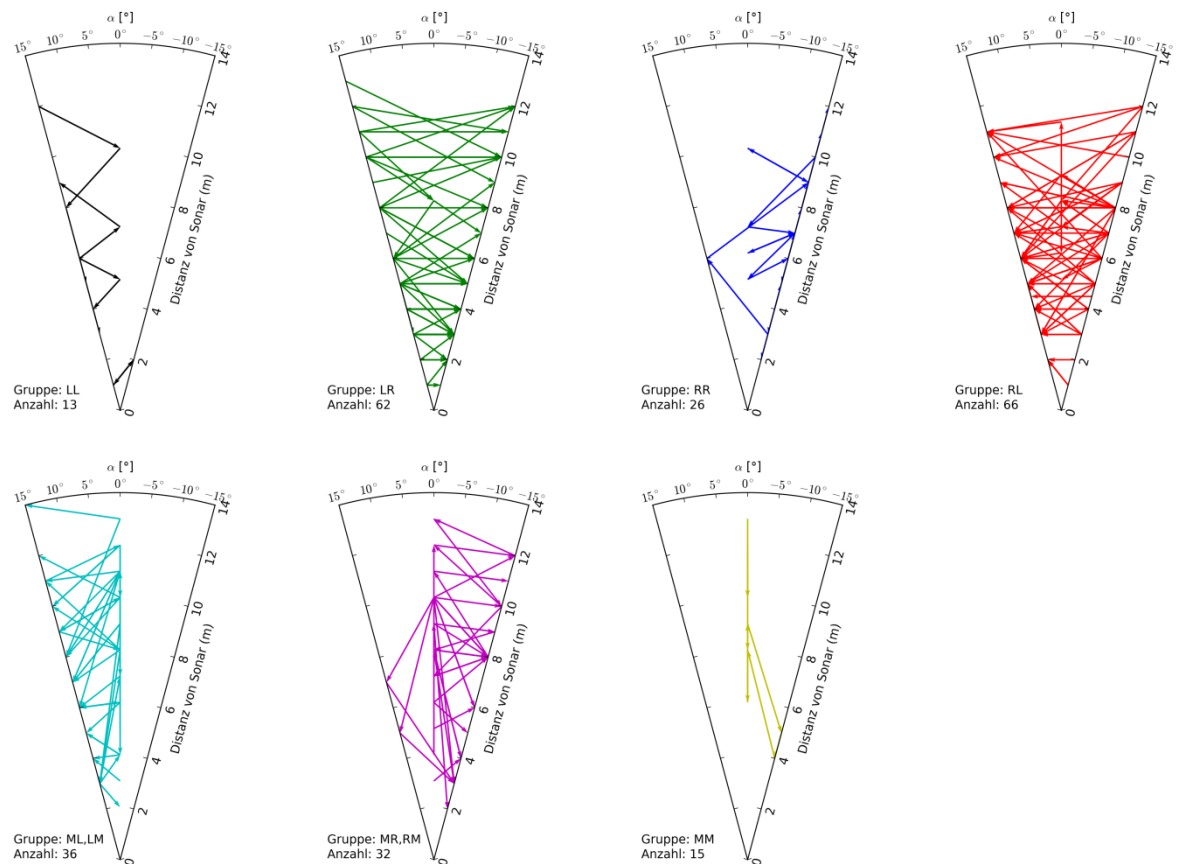


Abb. 6.21 Bewegungspfade von 250 gesichteten Seeforellen (im Zeitraum vom 18.1. bis 2.2.2016), gruppiert nach den fünf Bewegungsmustern von Tab. 6.1

Diese Resultate und Feststellungen lassen mögliche Folgerungen zu:

- Die gesichteten Seeforellen durchqueren das Sonarsichtfeld in Richtung Wehrschütze. Da in dieser Richtung die Wehrröfnung jedoch eine Sackgasse ist, durchqueren die gesichteten Fische offensichtlich das Sichtfeld des Sonars erneut in Richtung flussaufwärts.
- Es ist anzunehmen, dass die Seeforellen auf ähnlicher Wassertiefe flussabwärts oder flussaufwärts das Sonarsichtfeld durchqueren, ansonsten wären stark unterschiedliche Zählungen der Bewegungspfade zwischen den Gruppen RL und LR zu erwarten.

Bericht

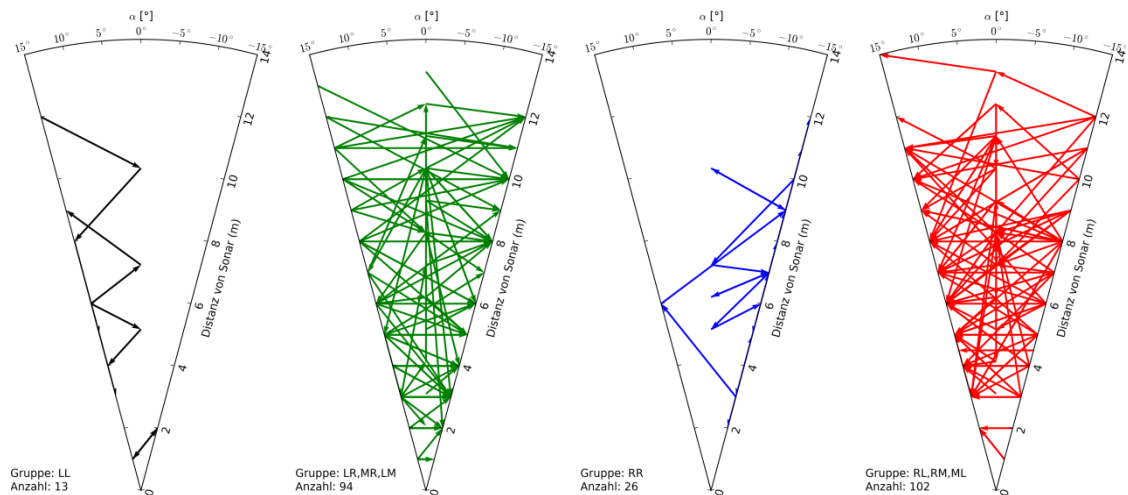


Abb. 6.22 Bewegungspfade von 250 gesichteten Seeforellen (im Zeitraum vom 18.1. bis 2.2.2016), gruppiert nach unterschiedlich zusammengefassten Gruppen (Tab. 6.1)

Da das Sonar während den Aufnahmen nur knapp unter der Wasseroberfläche positioniert war, ist eine Fluchtmöglichkeit der Seeforellen nach oben aus dem Blickfeld des Sonars nicht möglich. Folglich kann angenommen werden:

- Seeforellen, welche in der Mitte erscheinen, bewegen sich auf einer auftauchenden Bahn
- Seeforellen, welche in der Mitte verschwinden, bewegen sich auf einer abtauchenden Bahn

Unter dieser Annahme können die Teilgruppen MR und ML als auftauchend, bzw. die Teilgruppen LM und RM als abtauchend beschrieben werden. Folglich beschreiben die Teilgruppen LM und MR eine Teilstrecke einer auf- bzw. abtauchenden Seeforelle, welche von Links nach Rechts schwimmt (Gruppe LR), und die Teilgruppen RM und ML gehören zu einer ab- oder auftauchenden Seeforelle auf dem Weg durch das Sonarsichtfeld von Rechts nach Links (Gruppe RL).

Diese „reduzierte“ Gruppierung ist in Abb. 6.22 dargestellt. Wiederum ist die Anzahl Bewegungspfade der Gruppen LR (94) und RL (102) sehr ähnlich. Dadurch kann bestätigt werden, dass Seeforellen, welche nur teilweise im Sonarsichtfeld gesichtet wurden, auch auf Bewegungspfaden von Links nach Rechts (oder umgekehrt) das Sonarsichtfeld kreuzen. D.h., dass viele Seeforellen, respektive auch einzelne Seeforellen mehrmals in den Bereich zum Wehrfeld schwimmen und wieder zurück.

7 Diskussion

In der nachfolgenden Diskussion wird versucht, anhand der vorliegenden Resultate die Fragen aus Kapitel 1.2 zu beantworten.

7.1 Welche Grössenklassen wandern zwischen November und Anfang März ab?

Die Untersuchungsperiode der Sonaruntersuchungen wurde bewusst auf die Zeit zwischen November und Anfang März gesetzt, da gezielt das Abwanderverhalten der adulten Seeforellen untersucht werden sollte. Wie in Kapitel 6.2 gezeigt wird, kann davon ausgegangen, dass in dieser Zeitperiode tatsächlich ausschliesslich adulte Seeforellen abwandern, welche nach dem Ablichten im Vorder- und Hinterrhein sowie in ihren Seitengewässern in den Bodensee zurückwandern wollen. Der Einfachheit halber wurde eine Seeforelle als Seeforelle klassiert, wenn ihre Körperlänge grösser als 45 cm beträgt. Von allen gemachten Fischechtungen (inkl. Mehrfachechtungen) wurden 80% als Seeforellen klassiert. Insbesondere die ersten erfassten Forellen im Monat November 2016 hatten mit einem Anteil von 25% < 40 cm einen grösseren Anteil an voraussichtlich nicht abwandernden Seeforellen. Inwieweit diese Fische den Bereich um das KWR als Lebensraum nutzen, oder ob es abwanderwillige Seeforellen waren, kann mit den vorliegenden Daten nicht verifiziert werden.

Auch wurde festgestellt, dass per Abschluss der Sonar-Untersuchungen immer noch adulte Seeforellen vor den Rechen am Wehr und am Kraftwerk auftauchten und somit der Abstieg noch nicht abgeschlossen war. Jedenfalls ist aber klar, dass die grosse Abwanderung der Seeforellen-Smolts in der untersuchten Zeit zwischen November und März nicht eingetroffen ist. Diese setzt gemäss Schulz [14] erst dann ein, wenn im Frühling einerseits die Wassertemperaturen steigen und der Abfluss mit der Schneeschmelze steigt. Weitere Interpretationen zum Zeitpunkt der abwandernden adulten Seeforelle finden sich in Kapitel 7.4.2.

7.2 In welcher Wassertiefe wandern die adulten Seeforellen?

Um für absteigende Fische funktionierende und auffindbare Bypässe zur Verfügung zu stellen, ist die Frage nach dem Wanderverhalten an einem Leitrechen oder an einem Kraftwerk von grosser Bedeutung. Mit den vorliegenden Daten aus den Sonaruntersuchungen am KWR kann die Aussage gemacht werden, dass grosse absteigende Seeforellen, analog den kleinen Seeforellen oder den kleinen Lachsen (Smolts), eher oberflächennah abwandern (vgl. Kapitel 6.3). Am Rechen im Oberwasserkanal beträgt die Wassertiefe rund 9.85 - 10.45 m, am Rechen am Maschinenhaus 18.5 m. Die statistischen Analysen in Kapitel 6.3, zeigen, dass sich die beobachteten Seeforellen im Mittel auf einer Wassertiefe von 1.3 m bewegen und mehr als 80% der Fischechtungen in einer Wassertiefe kleiner als 2.2 m erfasst wurden.

Die erste durchgeführte Projektstudie H13534 sah vor, dass die Seeforellen einen Bypasseinstieg in einer Wassertiefe von 18.5 m finden sollten. Die damalige Skepsis gegenüber der Auffindbarkeit des Bypasses in einer so grossen Wassertiefe konnte somit bekräftigt werden. Obwohl das dama-

lige Projekt mit Gesamtkosten von rund CHF 110'000 sehr günstig ausgefallen wäre, hätte dieser kaum von einer adulten Seeforelle aufgefunden werden können, weshalb das Kosten/Nutzen-Verhältnis schlecht ausgefallen wäre. Auch die zweite Projektstudie H14334, in welcher mehrere Einstiege über die Wassersäule vorgesehen waren, hätte suboptimal funktioniert, da ein grosser oberflächennaher Einstieg zu einer Verbesserung der Auffindbarkeit geführt hätte.

Für die weitere Projektierung des Fischabstiegs am KWR wird geprüft, inwiefern ein Leitrechen am KWR gebaut werden kann, welcher die Seeforellen zu einem Bypass führt. Mit den vorliegenden Daten kann nun sogar die Option geprüft werden, einen „partial-depth-rack“, also ein Rechen, welcher nicht über die ganze Wassersäule reicht, einzusetzen. Ein solcher Rechen führt aus betrieblicher Sicht zu geringeren Fallhöhenverlusten, was jedoch im Rahmen der kommenden Projekte genau quantifiziert werden muss. Mit einer solchen Massnahme können zwar nicht alle absteigenden Seeforellen abgeholt werden, jedoch bei einem Zielerreichungsgrad von rund 80% oder mehr schon sehr viel für eine umweltverträgliche Lösung im Sinne der Seeforellenpopulation im Alpenrhein erreicht werden.

Auch besteht die Möglichkeit, mittels akustischer Telemetry noch genauere Daten zum Wanderverhalten der Seeforelle zu generieren und so die Risiken von Fehlplanungen von Fischabstiegsanlagen zu minimieren. Diese Methodik wird in Kapitel 7.3 genauer erläutert.

7.3 Wie verhalten sich die adulten Seeforellen am/vor dem Rechen?

Vor der Durchführung der Studie hatte man sich erhofft, mit dem Sonar detaillierte Verhaltensmuster am Rechen verfolgen zu können. In den untersuchten Rechenflächen am Maschinenhaus und am Einlauf zum Oberwasserkanal wurden jedoch wenige Seeforellen gesichtet, welche direkt am Rechen nach einer Abwanderoute gesucht haben. Dass die Seeforellen früher oder später direkt am Rechen suchen müssen, steht ausser Frage, zumal bekannt ist, dass viele Seeforellen den Rechen am Oberwasserkanal passieren und so in den Oberwasserkanal gelangen. Dafür wurden mit dem Sonar viele Seeforellen gesichtet, welche insbesondere vor dem Rechen im Oberwasserkanal vor dem Wehrschütz hin und her schwimmen. Dieses Verhalten wird so interpretiert, dass die Seeforellen in einem ersten Schritt den Rechen in den Oberwasserkanal als Barriere wahrnehmen und diesen nicht passieren. In einem zweiten Schritt suchen die Seeforellen vor dem Rechen und an den bestehenden Wehrstrukturen nach einer Alternativroute für den Abstieg. Wie in Kapitel 6.4 gezeigt wurde, durchquerten viele der Seeforellen das Sonarsichtfeld in Richtung der Wehrschütze. Da in dieser Richtung die Wehröffnung jedoch eine Sackgasse darstellt, durchqueren die Seeforellen das Sichtfeld des Sonars erneut in flussaufwärtsgerichteter Richtung. Je nach Seeforelle konnte dieses Verhalten mehrere Male beobachtet werden können. Am 8. Februar 2016 z.B., als insgesamt 446 Fische gesichtet wurden, konnten anhand von detaillierten Grössenmessungen rund 25-30 einzelne Individuen identifiziert werden. D.h., dass an diesem Tag eine Seeforelle durchschnittlich 15-18 Mal das Sonarsichtfeld gekreuzt hat. Ein ähnliches Verhalten konnte auch im letzten Untersuchungsblock vor dem Rechen am Maschinenhaus beobachtet werden, als die Seeforellen mehrmals unterhalb der Wasseroberfläche hin und her geschwommen sind, ohne abzutauchen und einen direkten Weg durch den Rechen zu den Turbinen zu suchen.

Dieses Verhaltensmuster kann für die weitere Planung einer Fischabstiegsanlage insofern verwendet werden, dass wohl ein Grossteil der abwandernden Seeforellen in Rechenhöhe dieselben Bereiche durchschwimmt. Können in diesen Bereichen gute Abwanderkorridore (z.B. Bypässe), allenfalls in Kombination mit einer zusätzlichen mechanischen Leitstruktur geschaffen werden, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Seeforellen selber den Abstieg finden und schadlos in das Unterwasser gelangen.

Um die genauen Standorte der Seeforellen beim Anschwimmen der Rechen am KWR herausfinden, sowie Mehrfachsuchbewegungen von einzelnen Seeforellen zu identifizieren, könnte im Anschluss an die vorliegende Studie eine weitere Studie mittels akustischer Telemetrie durchgeführt werden. Dabei könnte der ideale Standort eruiert werden, an welchem ein Bypass angeordnet werden muss. Akustische Sender mit einer eigenen Codierung erreichen Reichweiten von bis zu 800 m und können für die Ortung eines Fisches im Gewässer eingesetzt werden. Als Empfänger für die Schallsignale werden Hydrophone eingesetzt. Durch die Anordnung von mindestens drei im Gewässer platzierten Hydrophonen mit Empfängern ist es möglich, sogenannte Kreuzpeilungen durchzuführen und damit eine dreidimensionale Positionsbestimmung im Wasserpaket zu erreichen. Mit dieser Signaldokumentation und Auswertung können Einblicke in die räumlichen und zeitlichen Bewegungsmuster von Fischen ermöglicht werden. Zudem hat diese Methode im Gegensatz zur Methode mit dem Sonar den Vorteil, dass jeder markierte Fisch aufgrund des codierten Senders individuell erkannt werden kann. Für die Markierung der Seeforellen könnten beim KWR die Seeforellen auf einfache Art und Weise in der Reuse der Fischaufstiegshilfe gefangen und anschliessend markiert werden.

In den USA wird akustische Telemetrie insbesondere für die Ortung von Fischen in der Planungsphase von Fischabstiegsanlagen verwendet, wie auch für Erfolgskontrollen. Durch die Verfolgung von Fischen in der Wassersäule vor Wasserkraftwerken können wichtige Informationen zu den Wanderwegen gewonnen werden. Bei vielen Kraftwerken wurde sogar festgestellt, dass kleine Lachse den Turbinenbereich meiden und sich zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus ansammeln, oder bei geöffnetem Wehr diesen Wanderkorridor benützen. Durch diese gewonnenen Informationen konnten für die Hauptwanderzeit der Lachse geeignete Bypässe entwickelt und gebaut oder durch Wehrregulierung bei Überlauf der Fischabstieg verbessert werden.

Solche Zusatzinformationen zum Wanderverhalten der absteigenden Seeforelle am KWR würde die Planung einer Fischabstiegsanlage wesentlich erleichtern. Zudem wird das Risiko reduziert, dass Fehlinvestitionen in nicht funktionierende Fischabstiegsanlagen getätigt werden. .

7.4 Gibt es Umweltfaktoren als Zeitgeber für die Abwanderung?

Wie in Kapitel 5.1 bereits erläutert wurde, sind in der Verhaltensbiologie der Fische viele Zeitgeber für verschiedenste Verhaltensweisen bekannt. Auch bei der Abwanderung der adulten Seeforellen konnten solche Zeitgeber identifiziert werden, welche nachfolgend separat erläutert und interpretiert werden.

7.4.1 Tageszeitliche Rhythmik

Über die ganze Untersuchungszeit von November 2015 bis Anfang März 2016 wurden ganztägig Fische beobachtet. Es zeigte sich aber, dass während den Tagstunden, wenn es hell ist, vergleichsweise weniger Sichtungen registriert wurden als während den Abend- und Nachtstunden. Dieses Verhalten war meist unabhängig von anderen Zeitgebern, wobei nach künstlichen Abfluss-erhöhungen aufgrund von Schwall/Sunk oft deutlich mehr Fische am Rechen im Oberwasser gesichtet wurden (vgl. Kap. Kapitel 7.4.2). Es ist somit nicht auszuschliessen, dass Seeforellen während der Tageszeit eine Schwallwelle im Vorder- oder Hinterrhein genutzt haben, um mit möglichst geringem Energieaufwand abzustiegen und anschliessend am Abend an den Rechen gelangt sind.

Die Beobachtung, dass die adulten Seeforellen im System des Alpenrheins eher nachts abwandern oder zumindest nachts aktiv sind, deckt sich mit verschiedenen Verhaltensstudien mit Lachsmolts. Wie in [12] beschrieben, erfolgt die Abwanderung Fischen im Generellen, sowie auch von Lachssmolts hauptsächlich während der Nacht.

7.4.2 Abfluss (Spezialfall Alpenrhein mit Schwall/Sunk) und Zeitpunkt

Im Alpenrhein herrscht Schwall/Sunk aufgrund der grossen Speicherkraftwerke am Hinter- und Vorderrhein.

Generell wurde festgestellt, dass die Fische sichten vor dem Rechen im Oberwasserkanal mit zunehmendem Abfluss (Tagesmittelwert) zunimmt. Auch bei einer Detailanalyse der 20-Minuten Werte hat gezeigt, dass die adulten Seeforellen mit oder kurz nach Eintreffen einer Schwallwelle am Rechen auftauchen (vgl. Abb. 7.1 mit Beispiel vom 8. Dezember bis 12. Dezember 2015). Der Abfluss alleine kann aber nicht der einzige Zeitgeber sein, da am 11. Dezember 2016 auch ein Schwall im Vorderrhein vorhanden war. Möglich ist, dass die abwanderungswilligen Seeforellen alle die Schwallwellen am 9. und 10. Dezember 2015 für den Abstieg genutzt haben und dann am 11. Dezember 2015 – trotz Neumond mit erwarteter erhöhter Abwanderungsaktivität – nicht abgewandert sind.

In der Zeit zwischen Weihnachten bis ein paar Tage nach Neujahr war auffällig, dass kaum Seeforellensichtungen am Rechen festgestellt wurden. In dieser Zeit stehen oft die Speicherkraftwerke aufgrund der reduzierten Energienachfrage. D.h., dass in dieser Zeit mehrheitlich konstante Sunk-Verhältnisse herrschten.

Diese Feststellungen zeigen, dass die adulten Seeforellen voraussichtlich gezielt Abflusserhöhungen für die Abwanderung nutzen. Bei geringen und konstanten Abflussverhältnissen wandern sie nicht ab. Spannend ist ein Vergleich mit einer Studie zum Aufstiegsverhalten der Seeforellen im Alpenrhein [7]. In dieser wurde festgestellt, dass die Seeforellen an den Wochenenden bei Niedrigwasser (Sunk) signifikant längere Wanderdistanzen zurücklegten. Die Störung durch den Schwallbetrieb während der Woche schien ein ökologischer Stressfaktor zu sein, der die Motivation zum

Bericht

Aufwärtswanderung senkt. D.h., dass der Schwallbetrieb den Aufstieg und den Abstieg diametral beeinflusst.

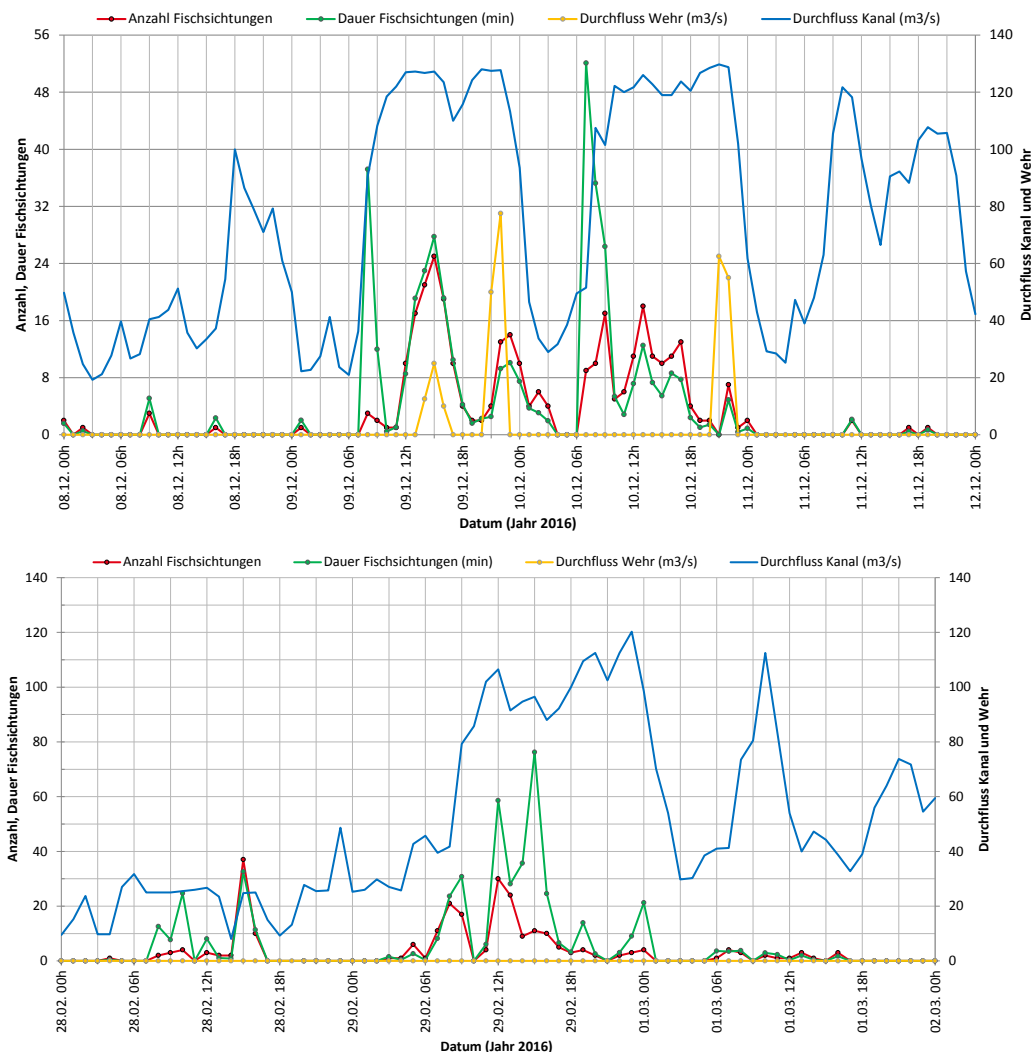


Abb. 7.1 Beispiele von Fischechtungen in Abhängigkeit von stündlichen Abflussdaten (Schwall/Sunk).

Hinsichtlich Abfluss als Zeitgeber kann ein weiterer Vergleich zu verschiedenen Studien in den Bodenseezuflüssen gemacht werden [15] und [16]. In der Goldach z.B. konnten alle der 25 markierten Laichfische der Bodensee-Seeforelle 4-6 Wochen nach deren Markierung auf den Laichgründen nicht mehr im Laichgewässer nachgewiesen werden. Dabei wurde festgestellt, dass die Seeforellen zwar kurz nach dem Ablachen abwanderten, jedoch aber dazu erhöhte Abflüsse nutzten. Auch in der Steinach wurde festgestellt, dass die Seeforellen nach dem Laichgeschäft kleinere Hochwasser nutzten, um in den Bodensee zurückzukehren. In anderen Zuflüssen des Bodensees, insbesondere in kleineren Gewässern, wurde jedoch auch nachgewiesen, dass die Seeforellen

kurze Zeit nach dem Laichgeschäft bei extrem kleinen Abflüssen und Abflusstiefen das Laichgewässer verlassen (4-8 Wochen nach dem Laichgeschäft). Dasselbe wurde in der Argen und Brenzener-Ach festgestellt, jedoch erst 12-18 Wochen nach dem Laichgeschäft. Mit den Sonaruntersuchungen wurden von November bis März absteigende adulte Seeforellen beobachtet werden, welche teilweise geklumpt vor dem Rechen auftauchten. Anfang Dezember 2015 und Anfang Februar 2017 wurden die meisten Fische am Rechen gemacht. Einerseits kann angenommen werden, dass es sich dabei einerseits um früher oder später laichende Seeforellen in Abhängigkeit des Zeitpunktes des Laichvorganges im grossen Einzugsgebiet des Hinter- und Vorderrheins handelte. Andererseits ist nicht auszuschliessen, dass Seeforellen während des Abstiegs im Stausee des KWR verweilen und immer wieder am Rechen nach einer Abstiegsmöglichkeit suchen. Da die Fische mit dem Sonar nicht individuell erkannt werden können, kann diese Frage nicht abschliessend beantwortet werden. Jedenfalls ist aber klar, dass die adulten Seeforellen kurz nach dem Laichen ihre Laichplätze verlassen und zumindest zurück in den Stausee des KWR zurückwandern. Dies deckt sich mit den Resultaten der Telemetriestudie in [6], in welcher 11 von 19 Seeforellen sich bald nach der Laichzeit im Stau des KWR wiederfanden und widerspricht der Aussage in [14], wonach die adulten Seeforellen im Frühling bei Einsetzen der Schneeschmelze in den Bodensee zurückwandern.

7.4.3 Wassertemperatur

Zu Beginn der Untersuchungen, als am Rechen der Zentrale Reichenau wenige Fische gesichtet wurden, schwankte die Wassertemperatur zwischen dem 3. und dem 20. November 2015 zwischen 7.5 und 12.5 °C. Anschliessend schwankte die Wassertemperatur zwischen knapp über 0 °C und 7.5 °C, wobei der Abstieg mit sinkender Temperatur per Ende November 2015 zunahm. Es konnten jedoch keine speziellen Korrelationen zwischen Fischeinsichtungen und Wassertemperatur gefunden werden. Dies wird damit begründet, dass in Fällen mit Wassertemperaturänderungen die erhöhten Fischaktivitäten am Rechen im Oberwasser mit absteigender Temperatur korrelierten, in anderen Fällen mit aufsteigender Temperatur.

Hier ist noch zu erwähnen, dass kurzzeitige tageszeitliche Temperaturschwankungen auf den Schwall/Sunk zurückzuführen sind, da im Winter eine Schwallwelle ab Zentrale mit Speichersee (Wassertemperatur rund 4 °C) die Wassertemperatur im Alpenrhein erhöhen kann. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass nicht die Erhöhung der Wassertemperatur als primärer Auslöser für eine verstärkte Wanderaktivität zu interpretieren ist, sondern die Abflussänderung.

7.4.4 Lunare Rhythmik

Gemäss vielfältiger Literatur wird versucht, die Abwanderung von Fischen mit den Mondphasen zu korrelieren ([12], [13]). Entsprechend werden oft Programme für die Durchführung von Erfolgskontrollen bei Fischabstiegsanlagen auf die Neumondphase gelegt, weil davon ausgegangen wird, dass die Fische die Dunkelheit für den Abstieg bevorzugen. Solche Erfolgskontrollen zeigen, dass der Abstieg durch eine Neumondphase verstärkt werden kann, jedoch nicht der primäre Auslöser ist und von anderen Zeitgebern überlagert wird.

Beim Rechen am Oberwasserkanal war auffällig, dass am 8. Februar 2016 bei Neumond mit Abstand am meisten Fische gesichtet wurden. Diese Feststellung überlagerte sich aber auch mit einer Abflusserhöhung. Am 11. November 2015, am 11. Dezember 2015 und am 10. Januar 2016 hingegen konnte keine verstärkte Abwanderung bei Neumond festgestellt werden. In dieser Zeit herrschte im Alpenrhein ein kleiner Abfluss, respektive der Tagesmittelwert lag deutlich unter der Ausbauwassermenge von $120 \text{ m}^3/\text{s}$. Zusätzlich wurden am 9./10. Dezember 2015, also unmittelbar vor dem Neumond, sehr viele Seeforellen gesichtet.

Bei Vollmond hingegen wurden keine spezielle Abwanderungsaktivität festgestellt. Im November, Dezember und Januar fiel der Vollmond mit einer extremen Niederwasserperiode zusammen und es fand sozusagen kein Abstieg statt. Im Februar 2016 hingegen fiel der Vollmond mit einer Abflusserhöhung zusammen und es wurden insgesamt 120 Fische gesichtet.

Die Sichtungen gehen jeweils immer mit einem deutlichen Abflussanstieg einher, womit der Abfluss als Zeitgeber deutlich höher zu gewichten ist als die lunare Rhythmik. Nichtsdestotrotz kann davon ausgegangen werden, dass bei passendem Abfluss und einer Neumondphase ein verstärkter Fischabstieg stattfinden kann.

8 Empfehlungen

Die wichtigste Erkenntnis der Sonar-Untersuchungen ist die Positionierung der adulten Seeforelle in der Wassersäule bei der Abwanderung. Es konnte festgestellt werden, dass die meisten Seeforellen in einer kleineren Wassertiefe als rund 3 m wandern. Auch von den kleinen abwandernden Smolts liegt bereits auf Basis von Literaturrecherchen das Wissen vor, dass auch diese eher oberflächennah abwandern. Da im Alpenrhein als Zielfischart nur die Forelle in Frage kommt, können in den kommenden Projektierungen für den Fischabstieg am KWR auch Fischleitsysteme geprüft werden, welche nicht die ganze Wassersäule abdecken. Mit solchen Systemen kann zwar nicht ein vollständiger Fischschutz erreicht werden, würden aber bereits einen grossen Beitrag zum Erhalt der Seeforellen-Population im Einzugsgebiet des Bodensees leisten. Zudem wären solche Fischleitsysteme aus betrieblicher Sicht eher händelbar, da die Verlegungsproblematik voraussichtlich deutlich reduziert werden kann und die Betriebs-, wie auch die Produktionseinschränkungen reduziert werden können.

Die Erkenntnis der Wassertiefe während der Abwanderung lässt auch weiterführende Gedanken zum Fischabstieg zu. Es wurde zum Beispiel festgestellt, dass viele der gesichteten Seeforellen mehrmals zwischen dem Rechen am Wehr und dem ersten Wehröffnung hin und her wanderten (Mehrfachsuchbewegungen) und vermutlich nach einer alternativen Abstiegsmöglichkeit suchten, bevor sie den Weg durch den Rechen wählten. In einer kommenden Phase für die Erarbeitung von Abstiegsvarianten am KWR kann deshalb durchaus auch geprüft werden, ob im genannten Bereich des ersten Wehrfelds mit oberflächennah liegenden Hamenreusen bereits ein Grossteil der Seeforellen abgefangen und sicher in das Unterwasser transportiert werden können.

Bericht

Um zusätzliches Wissen zum Wanderverhalten der adulten Seeforelle sowie zu den Suchbewegungen vor dem Rechen zu generieren, würde noch die Methode der akustischen Telemetrie zur Verfügung stehen. Damit kann insbesondere das Risiko von Fehlplanungen und schlussendlich von nicht funktionierenden Fischabstiegsanlagen deutlich reduziert werden (vgl. Kapitel 7.3). Diese Methode wird demnächst voraussichtlich an einem Aarekraftwerk der Axpo im Rahmen eines Pilotprojektes angewendet, um detaillierte Informationen der Suchbewegungen anderer Zielarten zu erhalten. In Anbetracht dessen, dass die Investitionskosten für Fischabstiegsanlagen mehrere Millionen im zweistelligen betragen können, wird der Einsatz von akustischer Telemetrie am Kraftwerk Reichenau als grundsätzlich unabdingbar für die Planungsphase, respektive vor der Planungsphase beurteilt. Von daher wird empfohlen zu prüfen, inwieweit ein solches Projekt als Pilotprojekt über Swissgrid entschädigt werden könnte.

Das Verhalten der absteigenden Smolts ist bis anhin aus vorhandener Literatur abschätzbar. Gemäss persönlicher Mitteilung von Marcel Michel (AJF) ist deshalb das Abwanderverhalten von Smolts nicht weiter zu verifizieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Hurtós, N. V. (2014), Forward-Looking Sonar Mosaicing for Underwater Environments, Doctoral Thesis Gi.-108-2015, University of Girona, Spain
- [2] ARIS 3000 Sonar Gebrauchsanweisung von Sound-Metrics (www.sound-metrics.com)
- [3] Axpo AG (ehemals NOK, 2009). Fischabstieg beim Kraftwerk Reichenau, Projektstudie, H 13534.
- [4] Axpo Power AG 2011. Fischabstieg am Kraftwerk Reichenau, Folgestudie zur Projektstudie H13534 vom 8. Juli 2009, H 14334.
- [5] Peter, A. (2004). Die Seeforelle im Alpenrhein - ist ihre Rückwanderung in den Bodensee wieder möglich? Bündner Fischer 7: 48 - 51.
- [6] Caviezel, R. (2006). Reproduktion der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETHZ/Eawag.
- [7] Mendez, R. (2007). Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETHZ/Eawag.
- [8] Adams, N.S., Smith, C.D., Plumb, J.M., Hansen, G.S., and Beeman, J.W. (2015). An evaluation of fish behavior upstream of the water temperature control tower at Cougar Dam, Oregon, using acoustic cameras, 2013: U.S. Geological Survey Open-File Report 202015-1124, 62 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20151124>
- [9] Miller, J. D., D. L. Burwen, B. H. Key, and S. J. Fleischman (2016). Chinook salmon passage in the Kenai River at River Mile 13.7 using adaptive resolution imaging sonar, 2013. Alaska Department of Fish and Game, Fishery Data Series No. 16-15, Anchorage
- [10] Burwen, D. L., S. J. Fleischman, and J. D. Miller (2007). Evaluation of a dual-frequency imaging sonar for estimating fish size in the Kenai River. Alaska Department of Fish and Game, Fishery Data Series No. 07-44, Anchorage.
- [11] Ebel, G. (2013). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen, Handbuch Rechen- und Bypasssysteme, Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Mitteilung aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel (Band 4).
- [12] DWA-Themen 2005. Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. 2. Korrigierte Auflage, Juli 2005

Bericht

- [13] Schmalz, M. (2012). Optimierung von Fischpässen für den Fischabstieg.- Bauhaus-Universität Weimar - Institut für Wasserwesen.
- [14] Schulz, U. (1995). Untersuchungen zur Ökologie der Seeforelle (*Salmo trutta f.lacustris*) im Bodensee. Konstanzer Dissertationen Bd. 456. Hartung-Gorre Verlag, Konstanz.
- [15] IBKF (2014). Seeforelle – Arterhaltung in den Bodenseezuflüssen. Konstanz, 13. Juni 2014
- [16] HYDRA (Entwurf 2016). Die Seeforelle in der Steinach. Im Auftrag des Amtes für Natur, Jagd und Fischerei des Kantons St. Gallen. Stand April 2016.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Übersichtsplan der Kraftwerke Reichenau AG.....	8
Abb. 2.2	Entwicklung der jährlichen Bodensee-Seeforellen-Fänge bei der Fischtreppe des KW Reichenau, Domat/Ems seit 2008 (AJF).	9
Abb. 3.1	Schematische Darstellung der Funktionsweise des Sonars (Abbildung aus [2]).....	12
Abb. 3.2	Aufbau des Sonarsystems ARIS	13
Abb. 3.3	Definitionen der Dimension und Orientierung des Sichtkegels des Sonars im Bezug zum Koordinatensystem.....	14
Abb. 3.4	Veranschaulichung der Projektion der Signale innerhalb dem Akustik-Kegel auf eine Ebene (rot), welche dem Sonarbild entspricht (Abbildungen aus [1]; Seite 14 und 17).....	14
Abb. 3.5	Darstellung von Fischen im Sichtkegel des Sonars und resultierende schematische Sonarbilder (rechts). Bilder modifiziert aus [1].	15
Abb. 3.6	Hervorheben von Fischen durch eine Filterung (Subtraktion) des akustischen Hintergrundbilds.....	16
Abb. 3.7	Tiefenbestimmung eines Fisches via (a) <i>Beam</i> (Winkel φ) und Distanz vom Sonar oder (b) nur via Distanz vom Sonar	18
Abb. 4.1	Situation der KWR mit den beiden Untersuchungsstandorten am Oberwasserkanal/Zentrale und am Stauwehr und der Position des Sonars	19
Abb. 4.2	Positionierung des Sonars am Standort 1 mit Orientierung 1.1 in Richtung Recheneinläufe.....	20
Abb. 4.3	Positionierung des Sonars am Standort 1 mit Orientierung 1.2 in Richtung Wasserkörper	21
Abb. 4.4	Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.1 in Richtung Recheneinlauf.....	21
Abb. 4.5	Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.2 ($\sim 70^\circ$ geneigt gegenüber Orientierung 2.1)	22
Abb. 4.6	Positionierung des Sonars am Standort 2 mit Orientierung 2.3	23
Abb. 4.7	Orientierungen 2.1 bis 2.3 im Bereich der Wehröffnung Grundablass.....	23
Abb. 5.1	Tagesmittelwerte vom Durchfluss am KWR in der Untersuchungsperiode	26
Abb. 5.2	Standorte der drei Wetterstationen (●) mit Angaben zu Lufttemperatur, Niederschlag und Luftdruck und Standorte der BAFU-Messstationen (▲) mit Abflussmessungen	27
Abb. 5.3	Tagesmittelwerte von Temperatur und Niederschlag gemessen an den Wetterstationen Chur, Ilanz und Andeer, und Mondkalender	27
Abb. 5.4	Tagesmittelwerte von Luftfeuchte und Luftdruck gemessen an den Wetterstationen Chur, Ilanz und Andeer (Ilanz: Luftdruck nicht verfügbar)	28
Abb. 5.5	Daten der hydrologische Messstationen Domat/Ems (Alpenrhein), Ilanz (Vorderrhein) und Fürstenu (Hinterrhein) des BAFU: Tagesmittelwerte der Abflüsse und Wassertemperatur (nur Ilanz).....	28
Abb. 6.1	Tatsächliche Fischechtungen im Vergleich zur Anzahl der automatisch identifizierten Markierungen während der gesamten Untersuchungsperiode. Die	

	grauen Balken entlang der Zeitachse entsprechen den Zeitintervallen der verschiedenen Aufnahmeblöcke gemäss Tab. 4.1	30
Abb. 6.2	Tageszeitabhängige Verteilung der Fische während der gesamten Untersuchungsperiode vom 3.11.2015 bis 11.3.2016.....	31
Abb. 6.3	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 1 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	32
Abb. 6.4	Zwei Fische während der Aufnahmeperiode 1	32
Abb. 6.5	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 2 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	33
Abb. 6.6	Sichtung von drei mittleren Seeforellen (ca. 50-60 cm Grösse) während Aufnahmeblock 2.....	34
Abb. 6.7	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 3 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	35
Abb. 6.8	Links: Gruppe von 6 Seeforellen / Rechts: kleine Schule von 8 Seeforellen	35
Abb. 6.9	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 4 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	36
Abb. 6.10	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 5 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	37
Abb. 6.11	Tageszeitabhängige stündliche Verteilung der Fische vom 8.2. bis 9.2.2016.....	38
Abb. 6.12	Anzahl und Dauer von Fische während Aufnahmeblock 6 im Vergleich zu den Zeitreihen der Durchflüsse am Kanal und Wehr, Witterungsdaten und Mondphase.....	39
Abb. 6.13	Gestapelte Anzahl und Häufigkeit der Grösse der gesichteten Fische während zwei ausgewerteten Zeitperioden (siehe Text in Kapitel 6.2).....	40
Abb. 6.14	Zuordnung des Sonarbilds mit der Ansicht der Wehröffnung Grundablass (in Flussrichtung) zur Geometrie des Einlaufrechen (A-C: horizontale Abstützungen, D: Kote der Kiesschwelle).	41
Abb. 6.15	Gemessene Tiefenpositionen von Seeforellen während des Aufnahmeblocks 4 (23.12.15-18.1.16)	42
Abb. 6.16	Automatisch ermittelte Tiefenpositionen (Tiefenbereiche, nach Methode Kapitel 3.4.2) von Seeforellen für die Aufnahmeblöcke 2, 3, 5 und 6	42
Abb. 6.17	Häufigkeit der in Abb. 6.16 ermittelten Tiefenbereiche für die Aufnahmeblöcke 2, 3, 4, und 6. Die mittlere Tiefe entspricht der XY-Ebene des Sonar-Sichtkegels, die maximale Tiefe der Unterkante des Sichtkegels (siehe Abb. 3.7b)	43
Abb. 6.18	Gewichtungsfunktion als Detektionswahrscheinlichkeit P_D in Funktion der Wassertiefe H . Der rote Kreis zeigt die Position des Sonargeräts.....	44
Abb. 6.19	Quadratisch gewichtete und nicht-gewichtete Wahrscheinlichkeit P der Anzahl Fische oberhalb einer bestimmten Wassertiefe (Aufnahmeblock 4).	45

Bericht

Abb. 6.20	Skizze des Untersuchungsbereichs für die Orientierung des Sonarkegels gemäss Abb. 6.21 zur Gruppierung der Bewegungstrajektorien der Seeforellen, welche das Sonarfeld von „Links“ bzw. „Rechts“ oder umgekehrt durchqueren.....	46
Abb. 6.21	Bewegungspfade von 250 gesichteten Seeforellen (im Zeitraum vom 18.1. bis 2.2.2016), gruppiert nach den fünf Bewegungsmustern von Tab. 6.1	47
Abb. 6.22	Bewegungspfade von 250 gesichteten Seeforellen (im Zeitraum vom 18.1. bis 2.2.2016), gruppiert nach unterschiedlich zusammengefassten Gruppen (Tab. 6.1)	48
Abb. 7.1	Beispiele von Fischechtungen in Abhängigkeit von stündlichen Abflussdaten (Schwall/Sunk).....	53

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1	Technische Daten zum Sonar ARIS 3000.....	11
Tab. 4.1	Aufnahmeblöcke und Zeitdauer der Beobachtungsperioden an den Sonarstandorten in Tagen	24
Tab. 5.1	Standorte der Meteostationen relativ zum KWR	26
Tab. 6.1	Gruppenbezeichnungen für Bewegungspfade der gesichteten Seeforellen	47

Anhangsverzeichnis

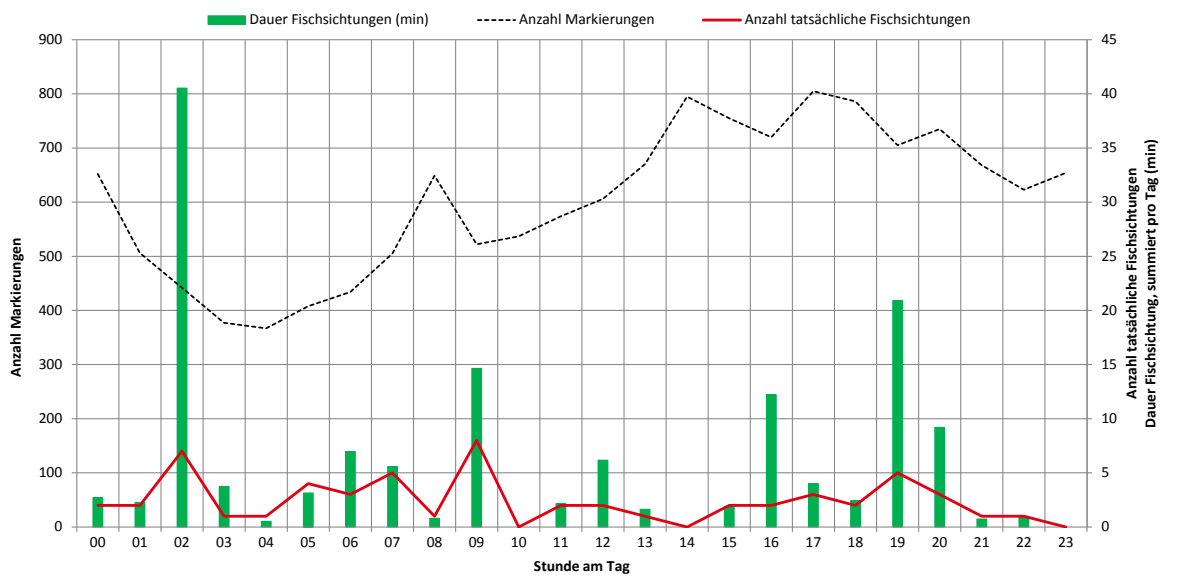
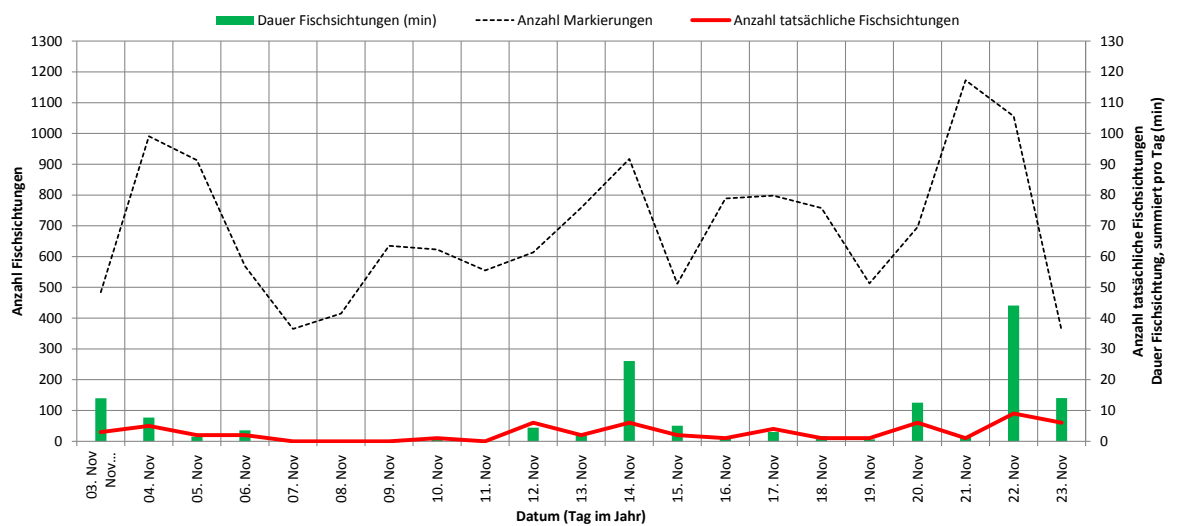
Anhang 1	Anzahl und Dauer von Fischechtungen während der Aufnahmeblöcke 1 bis 6
Anhang 2	Ausgewählte Fischechtungen

Anhang 1 Anzahl und Dauer von Fischeinsichtungen während der Aufnahmeblöcke 1 bis 6

Hinweis: Die Skalierung der vertikalen Achsen in den nachfolgenden Darstellungen ist nicht überall gleich

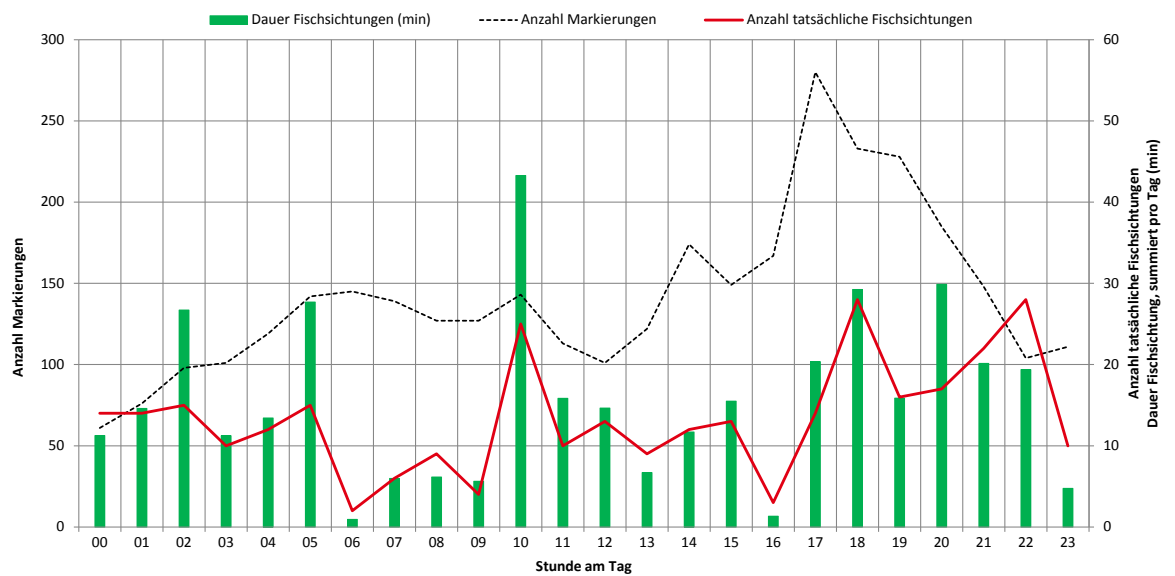
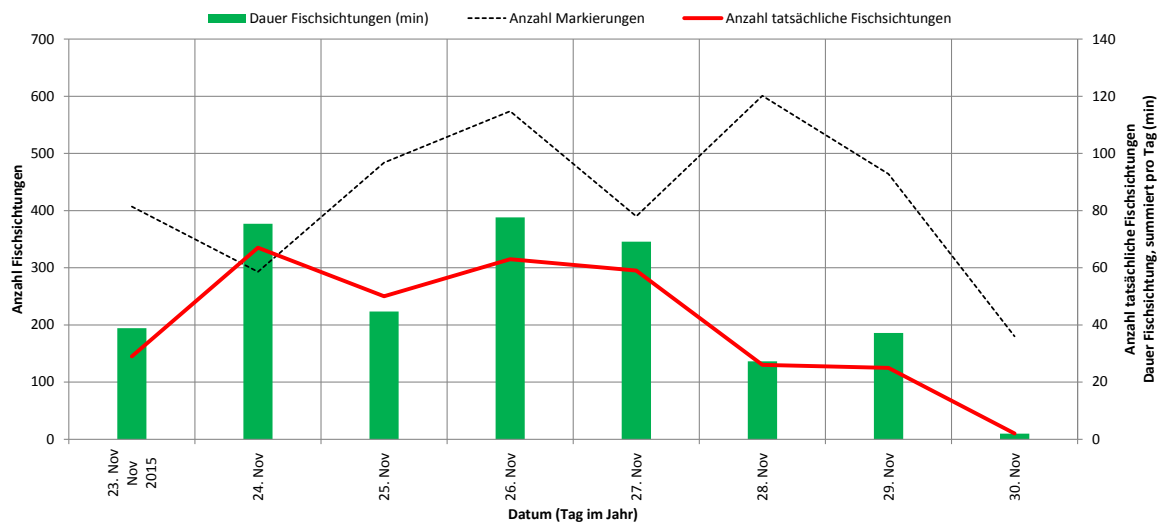
Bericht

Aufnahmeblock 1: 3.11.2015 11:15 h bis 23.11.2015 09:30 h (~20 Tage)



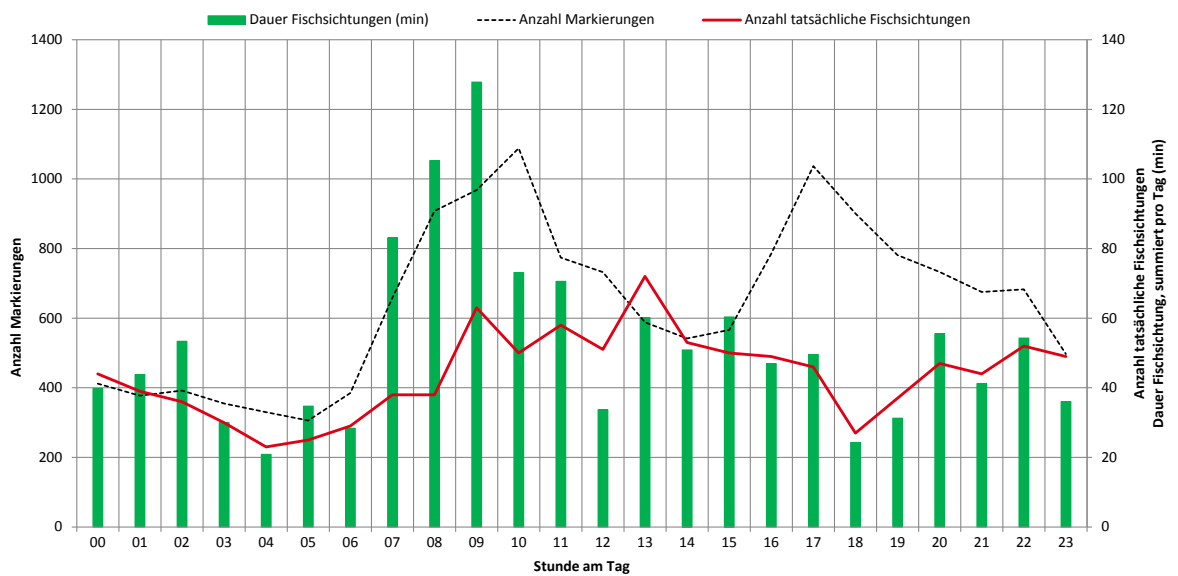
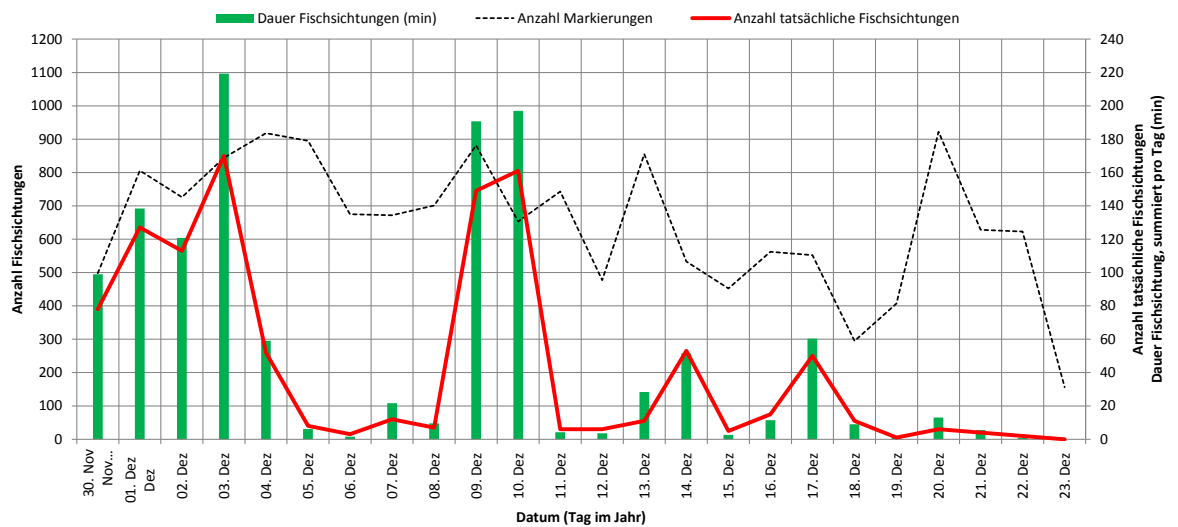
Bericht

Aufnahmeblock 2: 23.11.2015 10:30 h bis 30.11.2015 08:00 h (~7 Tage)



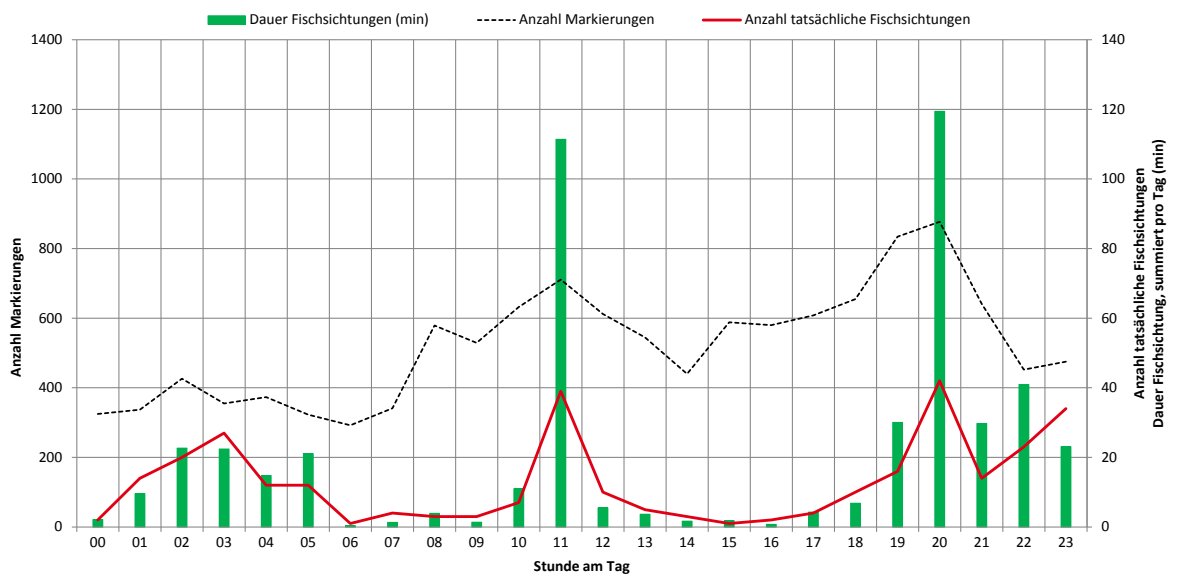
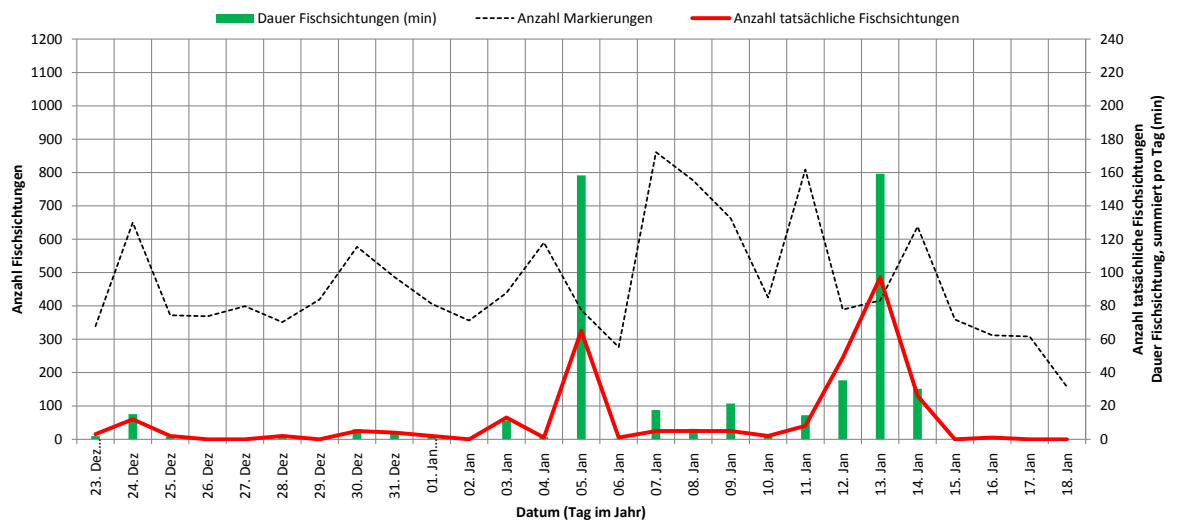
Bericht

Aufnahmeblock 3: 30.11.2015 14:00 h bis 23.12.2015 09:30 h (~23 Tage)



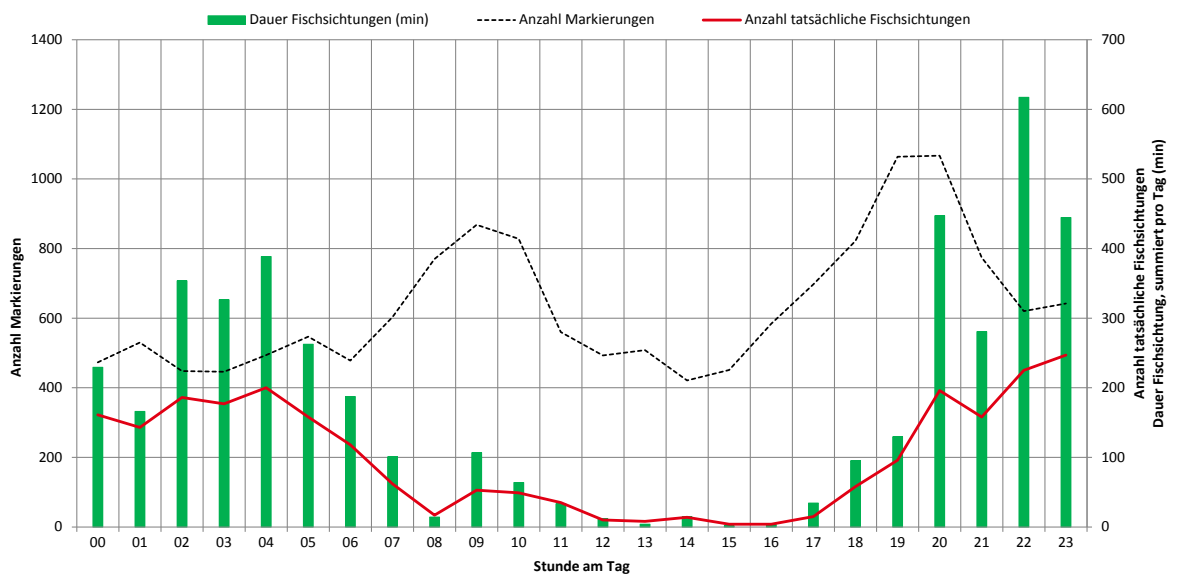
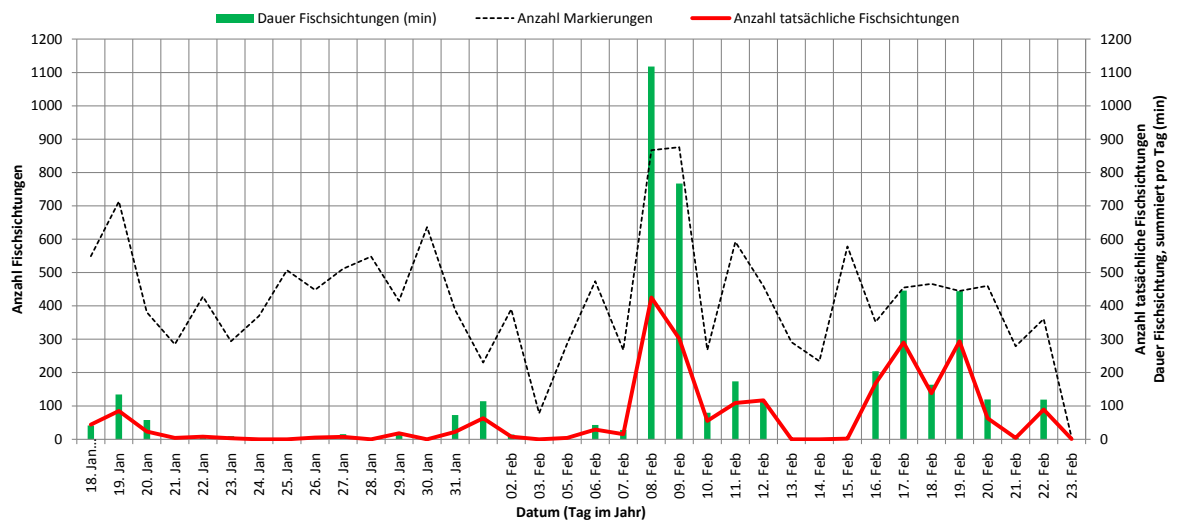
Bericht

Aufnahmeblock 4: 23.12.2015 11:30 h bis 18.01.2016 09:30 h (~23 Tage)



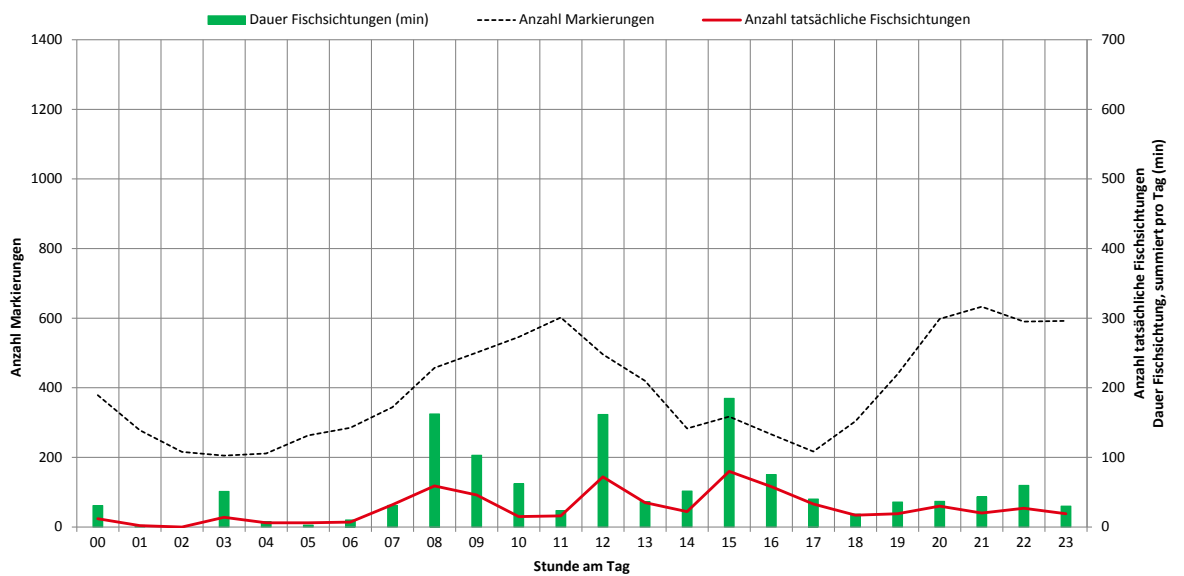
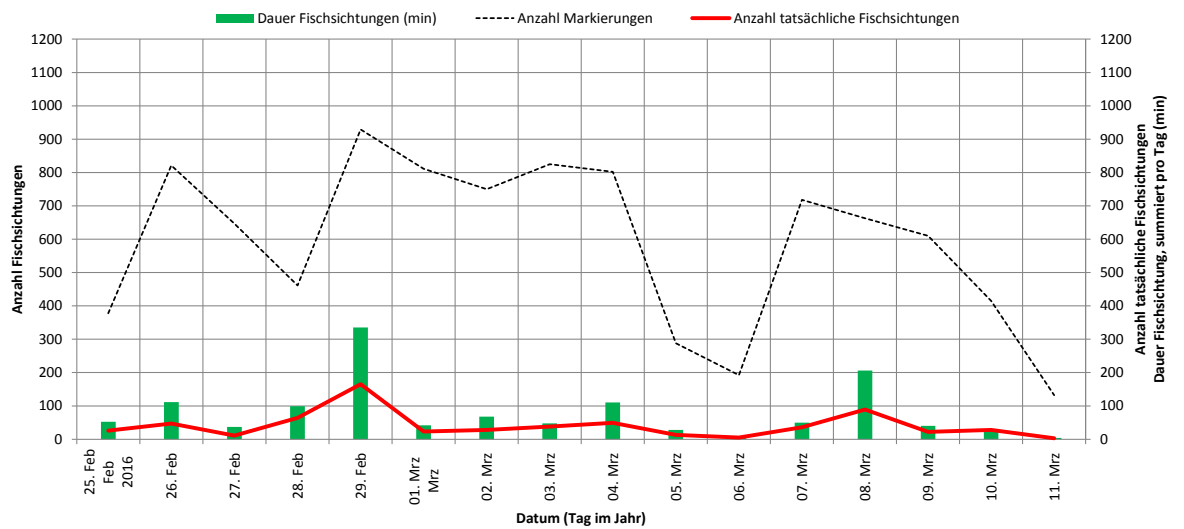
Bericht

Aufnahmeblock 5: 18.01.2016 10:00 h bis 23.02.2016 00:15 h (~36 Tage)



Bericht

Aufnahmeblock 6: 25.02.2016 11:15 h bis 11.03.2016 08:00 h (~36 Tage)



Anhang 2 Ausgewählte Fischechtungen

Dateiname	Von	Bis	Aufnahmeblock	Dauer (min)	Kommentar
2015-11-14_023000_window#001.aris	14.11.2015 02:37	14.11.2015 02:41	1	1.0	Eine grosse Forelle schwimmt in Richtung Sonar. Im Hintergrund ab Distanz 7m ist der Rechen am Maschineneinlauf sichtbar
2015-11-22_124500_window#003.aris	22.11.2015 12:49	22.11.2015 12:54	1	0.8	Zwei Forellen (je ca. 50cm) tauchen bei Distanz 6m rechts im Bild zwischen Sonar und Rechen am Maschinenhaus auf.
2015-11-26_110000_window#004.aris	26.11.2015 11:08	26.11.2015 11:11	2	3.2	Drei grossere Seeforellen schwimmen in der Gruppe in einem Bogen vor dem Sonar vorbei. Starke Strömungsturbulenzen erkennbar an den hellen Schwaden im Bild
2015-11-30_154500_window#002.aris	30.11.2015 15:49	30.11.2015 15:53	3	3.7	Grosse Seeforelle, ca. 75 cm, sucht zwischen Rechen und Pfeiler. Oben links ist der Rechen sichtbar.
2015-12-02_204500_window#006.aris	02.12.2015 20:45	02.12.2015 20:49	3	3.6	Zwei Seeforellen, zwischen Sonar und Rechen.
2015-12-03_011500_window#003.aris	03.12.2015 01:22	03.12.2015 01:26	3	3.9	Grosse Seeforelle, längere Zeit vor dem Sonarkegel.
2015-12-03_020000_window#001.aris	03.12.2015 02:06	03.12.2015 02:14	3	8.3	Zwei Seeforellen, zwischen Sonar und Rechen.
2015-12-03_030000_window#005.aris	03.12.2015 03:00	03.12.2015 03:06	3	6.5	Grosse Seeforelle, ca. 75 cm, zwischen Rechen und Pfeiler suchend. Oben links ist der Rechen sichtbar.
2015-12-03_090000_window#004.aris	03.12.2015 09:03	03.12.2015 09:08	3	4.4	Bis zu vier grosse Seeforellen, suchend, zeitweise als Gruppe schwimmend.
2015-12-03_093000_window#005.aris	03.12.2015 09:31	03.12.2015 09:36	3	4.9	5 Seeforellen suchend, schwimmen mehrmals in Richtung Wehrschütz und wieder zurück.
2015-12-09_083000_window#001.aris	09.12.2015 08:30	09.12.2015 08:44	3	14.5	2 Sequenzen 1x 2 Seeforellen 1x3 Seeforellen suchend zwischen Sonar und Rechen
2015-12-09_140000_window#001.aris	09.12.2015 14:10	09.12.2015 14:14	3	4.6	Gruppe von Seeforellen, zwischen Sonar und Rechen am suchen.
2015-12-09_154500_window#006.aris	09.12.2015 15:45	09.12.2015 15:48	3	3.1	Gruppe von Seeforellen, zwischen Sonar und Rechen suchend, teilweise in Richtung Wehrschütz
2015-12-10_080000_window#001.aris	10.12.2015 08:10	10.12.2015 08:14	3	3.9	9 Seeforellen, zwischen Sonar und Rechen (oben links) suchend.
2015-12-10_081500_window#002.aris	10.12.2015 08:15	10.12.2015 08:29	3	14.7	6-10 Seeforellen zwischen Sonar und Rechen. Zu Beginn vor dem Rechen stehend.
2016-01-31_214500_window#003.aris	31.01.2016 21:52	31.01.2016 21:55	5	3.3	Grosse Seeforelle, zuerst zum Rechen und dann entlang des Rechens aus dem Sichtfenster.
2016-01-31_231500_window#001.aris	31.01.2016 23:17	31.01.2016 23:29	5	12.2	Grosse Seeforelle (ca. 77cm) dreht zwischen Sonar und Rechen Runden.
2016-02-01_091500_window#001.aris	01.02.2016 09:21	01.02.2016 09:27	5	6.7	Grosse Seeforelle (ca. 85 cm), mehrmals vom Rechenbereich in Richtung Wehrschütze schwimmend und wieder zurück.
2016-02-01_233000_window#001.aris	01.02.2016 23:40	01.02.2016 23:44	5	4.2	Eine grosse Seeforelle schwimmt vor dem Sonar und macht einer anderen Seeforelle den Platz streitig.
2016-02-08_073000_window#002.aris	08.02.2016 07:38	08.02.2016 07:42	5	3.8	Zwei Seeforellen zwischen Sonar und Rechen suchend. In Richtung Wehrschütz und wieder zurück.
2016-02-08_201500_window#004.aris	08.02.2016 20:17	08.02.2016 20:23	5	5.9	Zwei Seeforellen im Kehrwasser vor dem Wehrschütz schwimmend.
2016-02-09_043000_window#003.aris	09.02.2016 04:30	09.02.2016 04:36	5	5.8	Bis 4 Fische zwischen 50 und 65cm. Wenig Strömung (Sunk), ruhige Bewegungen der Fische.
2016-02-17_034500_window#001.aris	17.02.2016 03:56	17.02.2016 03:59	5	3.9	Grosse Seeforelle im Kehrwasser zwischen Sonar und Rechen schwimmend. Lässt sich in Richtung Rechen treiben und zeigt rheotaktische Bewegung.
2016-02-19_200000_window#003.aris	19.02.2016 20:01	19.02.2016 20:07	5	6.1	Kehrströmung vor dem Wehrschütz. Zwei Seeforellen stehen zwischen Sonar und Rechen.
2016-02-19_224500_window#002.aris	19.02.2016 22:46	19.02.2016 22:55	5	9.4	Seeforelle (64cm), ohne typischem Wanderverhalten. Sieht eher danach aus, als würde sie oberflächennah am Fressen sein.
2016-02-29_150000_window#001.aris	29.02.2016 15:07	29.02.2016 15:15	6	7.5	Zwei Seeforelle, oberflächennah unmittelbar vor der Zentrale in Strömungsrichtung ausgerichtet.
2016-03-04_123000_window#003.aris	04.03.2016 12:36	04.03.2016 12:40	6	4.4	Zwei Seeforellen, oberflächennah am Suchen vor der Zentrale.