

# Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein



Diplomarbeit an der Eawag, 2007

Ricardo Mendez

Student D-UWIS, ETH Zürich

Betreut durch Dr. Armin Peter und Eva Schager

## Zusammenfassung

Der Alpenrhein und seine Zuflüsse bilden für die Bodensee-Seeforelle eines der wichtigsten Reproduktionsgebiete. Seit dem Bau der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau im Jahre 2000 können die Seeforellen wieder wichtige Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein aufsuchen. Peter (2004) und Caviezel (2006) konnten mit Telemetrieversuchen zeigen, wie die wieder erreichbaren Reproduktionsgebiete von der Seeforelle genutzt werden. Über die Laichwanderung zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau (ca. 90 km Fließstrecke) war bis anhin wenig bekannt. Mit der vorliegenden Arbeit konnten anhand von Telemetrieversuchen neue Kenntnisse gewonnen werden, wie die Seeforellen den Alpenrhein als "Migrationsroute" zu den möglichen Laichgebieten oberhalb des Kraftwerks Reichenau und in die Zuflüsse des Alpenrheins nutzen. Es stellte sich heraus, dass auch der Alpenrhein selbst als Laichgebiet eine wichtige Rolle spielt.

Zur Untersuchung des Wanderverhaltens wurden 24 Seeforellen (446 – 741 mm) mit Radiosendern markiert. Die Fische wurden zwischen dem 17.08.2006 und dem 06.09.2006 mittels elektrischer Befischungen im Alpenrhein - ca. 10 – 20 km oberhalb der Rheinmündung in den Bodensee - gefangen. Bis zum 16.11.2006 wurden die Seeforellen nach Möglichkeit täglich geortet. Drei Seeforellen durchwanderten das ganze Untersuchungsgebiet bis zum Kraftwerk Reichenau, wo sie im Oktober die Fischtreppe passierten, um Laichplätze im Vorder- und Hinterrhein aufzusuchen. Zwei Seeforellen nutzten Seitenbäche für die Reproduktion, wobei ein Fisch in den Ehbach einstieg und der andere zuerst in der Landquart und später im Saarkanal gefunden wurde. Neun Seeforellen blieben im Alpenrhein selbst, wo sie mit grosser Wahrscheinlichkeit laichten. Weitere zehn Seeforellen schwammen nach kurzen Aufwärtswanderungen vermutlich wieder in den Bodensee zurück oder zeigten kein Wanderverhalten.

Während der Aufstiegsphase konnte beobachtet werden, wie die Seeforellen auf Veränderungen von abiotischen Umweltfaktoren reagierten. Das Abflussregime des Alpenrheins ist Wochentags (Montag – Freitag) durch Schwallbetrieb geprägt. Es stellte sich heraus, dass die Seeforellen bevorzugt an den Wochenenden längere Wanderdistanzen zurücklegten, wenn im Alpenrhein aufgrund einer geringeren Stromnachfrage grosse Schwallamplituden ausblieben. Zudem wurde der Alpenrhein am 17.09.2006 und am 03./04.10.2006 von Hochwassern heimgesucht. Dabei wurden die Seeforellen während den Hochwasserereignissen bis mehrere Kilometer flussabwärts verdriftet. Es wird vermutet, dass dieses Verhalten auf einen Zusammenhang mit der monotonen Gewässermorphologie

und auf fehlende Refugien zurückzuführen ist. Die Wassertemperaturen schwankten während der Aufstiegsphase bis Ende Oktober zwischen 8-14°C und spielten eine untergeordnete Rolle.

Um tageszeitlich bedingtes Wanderverhalten aufzuzeigen, wurden sieben Nachtuntersuchungen durchgeführt. Aus diesen Stichproben ging hervor, dass die markierten Seeforellen bevorzugt während der Nacht wandern. Während den täglichen Untersuchungen wurden jedoch auch Seeforellen beobachtet, welche bei Tag lange Wanderdistanzen zurücklegten.

Überraschend war die Erkenntnis, dass der grösste Teil der markierten Seeforellen nicht wie erwartet bis in den Vorder- oder Hinterrhein gewandert ist. Daraus ergibt sich eine hohe Überlebensrate für die adulten Seeforellen, welche nach dem Laichen ohne ein Kraftwerk zu überwinden in den Bodensee zurückwandern können. Diese Fische können in den Folgejahren erneut eine Laichwanderung antreten.

Um abschliessende Aussagen zum Wanderverhalten der Seeforelle zu machen, zeigte sich die Stichprobe von 24 Fischen als knapp bemessen. Es empfiehlt sich, in einer weiteren Studie mit einer wesentlich grösseren Stichprobe zu arbeiten. Damit könnten unter Umständen weitere wichtige Laichgebiete im Alpenrhein und seinen Zuflüssen eruiert werden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Problemstellung .....	6
1.2	Ziele der Diplomarbeit .....	7
1.2.1	Vorgeschichte und Fragestellung .....	7
1.2.2	Hypothesen.....	7
1.3	Charakteristik der Seeforelle ( <i>Salmo trutta lacustris.</i> ) .....	8
1.3.1	Ökotypen der Forelle ( <i>Salmo trutta</i> L.) .....	8
1.3.2	Der Lebenszyklus der Seeforelle.....	8
1.4	Der Alpenrhein - Einführung in das Untersuchungsgebiet.....	11
1.4.1	Nebengewässer des Alpenrheins .....	12
1.4.2	Schwallbetrieb.....	13
<b>2</b>	<b>Methoden.....</b>	<b>16</b>
2.1	Datenerhebung .....	16
2.1.1	Elektrofischfang .....	16
2.1.2	Markierung .....	17
2.1.3	Reifegrad .....	18
2.1.4	Altersbestimmung und Untersuchung auf Laichmarken.....	19
2.1.5	Radiotelemetrie.....	20
2.1.6	Markierte Seeforellen in der Kontrollreuse des KWs Reichenau .....	21
2.1.7	Abiotische Umweltfaktoren (Wassertemperatur /Abfluss) .....	22
2.2	Datenanalyse .....	22
2.2.1	Einteilung der Laichwanderung in Phasen .....	22
2.2.2	Statistische Analyse.....	23
2.2.3	Abkürzungen.....	23
<b>3</b>	<b>Resultate.....</b>	<b>25</b>
3.1	Charakteristik der markierten Fische .....	25
3.2	Beobachtete Wandermuster in der Aufstiegsphase .....	26
3.2.1	Wanderung bis zum Kraftwerk Reichenau (3 Individuen) .....	27
3.2.2	Unterhalb des Kraftwerks Reichenau im Alpenrhein gelaicht (9 Individuen) .....	29
3.2.3	In Seitengewässer eingestiegen (2 Individuen).....	32
3.2.4	Im Verlauf der Aufwärtswanderung nicht mehr auffindbar (5 Individuen) .....	35
3.2.5	Keine Aufwärtswanderung (5 Individuen).....	35
3.3	Wanderverhalten in der Aufstiegsphase.....	36
3.3.1	Mittlere Wanderbewegungen.....	36
3.3.2	Maximale Wandergeschwindigkeiten .....	37
3.4	Tag- /Nachtbewegungen.....	39
3.5	Einfluss von abiotischen Umweltfaktoren auf das Wanderverhalten.....	40
3.5.1	Abfluss - Schwallbetrieb .....	40
3.5.2	Hochwasser .....	41
3.5.3	Wassertemperatur .....	43
3.6	Rückwanderung in den Bodensee nach dem Ablachen .....	44
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>45</b>
4.1	Methode .....	45
4.2	Wo haben die Seeforellen gelaicht? .....	45
4.2.1	Gruppe Vorder- /Hinterrhein (3 Individuen) .....	45
4.2.2	Gruppe Alpenrhein (9 Individuen).....	47
4.2.3	Gruppe Seitengewässer (2 Individuen) .....	47
4.2.4	Gruppe "nicht mehr auffindbar" (5 Individuen).....	48
4.2.5	Gruppe "keine Aufwärtswanderung" (5 Individuen).....	49
4.3	Wanderverhalten in der Aufstiegsphase.....	49

4.4	Tag- /Nachtwanderungen.....	50
4.5	Einfluss von Umweltfaktoren auf das Wanderverhalten .....	51
4.5.1	Abfluss - Schwallbetrieb .....	51
4.5.2	Hochwasser .....	51
4.5.3	Wassertemperatur .....	52
4.6	Rückwanderung in den Bodensee .....	52
<b>5</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>54</b>
5.1	Schlussfolgerungen.....	54
5.2	Weiterführende Untersuchungen .....	55
<b>6</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>Literaturnachweis.....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>61</b>
8.1	Fotos der markierten Seeforellen.....	61
8.2	Diagramme zu den täglich zurückgelegte Wanderdistanzen.....	63
8.3	Rheinkilometrierung - Eckpunkte im Längsverlauf des Alpenrheins.....	67
8.4	Abfluss und Temperaturdaten.....	68

## 1 Einführung

### 1.1 Problemstellung

Der in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beobachtete Einbruch der Seeforellenpopulation des Bodensees wird durch die Kombination von Überfischung mit anderen schädlichen anthropogenen Einflüssen erklärt. Zu diesen zählt z.B. der Verlust von Laichhabitaten durch Fragmentierung der Gewässer, die Veränderungen des Abflussregimes und damit einhergehender Kolmation der Gewässersohle. Weitere Faktoren sind die Verschmutzung der Zuflüsse und die interspezifische Konkurrenz durch die Regenbogenforelle (Schulz, 1995; Ruhlé, 1996; Eberstaller & Pinka, 2001; Ruhlé et al., 2005).

Als Hauptgrund für den Unterbruch der natürlichen Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein ab den 1960er-Jahren werden hauptsächlich anthropogene Wanderbarrieren in Form von Stauwehren und anderen Querbauwerken genannt, sowie die weitgehende Abtrennung der Zubringer des Alpenrheins durch Sohleneintiefung des Hauptflusses (Ruhlé & Kindle, 1993; Gebler & Michel, 2004; Rey, 2004; Mürle et al., 2004; Peter, 2004; Ruhlé et al., 2005). Der grösste Einschnitt in die Migrationsbewegungen der Seeforelle im Alpenrhein erfolgte durch den Bau des Kraftwerks Reichenau im Jahre 1962. Nach Ruhlé (2005) lagen die Hauptlaichgebiete der Seeforelle ursprünglich im Vorder- und Hinterrhein. Diese Laichgebiete standen nach dem Bau des Kraftwerks nicht mehr zur Verfügung. Ende der 1970er Jahre wurde im Rahmen der Tätigkeitsbereiche der Internationalen Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei die "Arbeitsgruppe Seeforelle" gegründet, welche sich bis heute gezielt mit dem Rückgang der Seeforelle im Alpenrhein befasst. 1981 wurden erste Schritte eingeleitet (Revitalisierungen, Bau von Fischpässen), um die Laichwanderung der Seeforelle in die Zuflüsse des Alpenrheins zu verbessern. Für eine Bestandeserholung wurde ab 1988 autochtones Besatzmaterial in die Zuflüsse des Alpenrheins sowie im Einzugsgebiet des vereinigten Rheins ausgesetzt.

Mit dem Bau der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau wurde im Jahre 2000 die bis anhin umfangreichste Massnahme umgesetzt. Mit dem Vorder- und Hinterrhein wurde dadurch ein grosses Laichgebiet wieder erschlossen, welches unmittelbar nach Inbetriebnahme der Fischtreppe von durchschnittlich 400 Seeforellen aufgesucht wurde (Datengrundlage: Amt für Jagd und Fischerei, Graubünden). Zudem belegen Laichfischfänge aus der Landquart und Beobachtungen von laichenden Seeforellen in anderen Zuflüssen, dass für die Reproduktion auch die Seitenbäche des Alpenrheins aufgesucht werden: In der Landquart handelt es sich dabei um 37, 74 bzw. 25 Seeforellen in den Jahren 2004 – 2006 (mündl.

Mitteilung von Florian Bebi, Hauptfischereiaufseher des Kantons Graubünden). Im Saarkanal wurden während der Laichperiode im Jahre 2006 mehrere laichende Seeforellen beobachtet (mündl. Mitteilung von Fredy Fehr, Kantonaler Fischereiaufseher des Kantons St.Gallen). Auch im Liechtensteiner Binnenkanal konnte Walter Kind (Verantwortlicher der Fischzucht im Fürstentum Liechtenstein) bei Balzers 10 – 15 laichende Seeforellenpaare beobachten. Wie viele Seeforellen vom Bodensee in den Alpenrhein einsteigen und zu welchem Anteil sie im Alpenrhein selbst oder in seinen Zuflüssen laichen, ist nicht bekannt.

## **1.2 Ziele der Diplomarbeit**

### **1.2.1 Vorgeschichte und Fragestellung**

Peter (2004) und Caviezel (2006) haben mittels Telemetrie-Untersuchungen gezeigt, wie die wieder zugänglichen Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein von den Seeforellen genutzt werden. Dazu wurden die Aufstiegsphasen der wandernden Seeforellen ab dem Kraftwerk Reichenau untersucht. Die Studien gaben Aufschluss über das Wanderverhalten und über den Standort der bevorzugten Laichhabitate.

Über das Wanderverhalten der Seeforellen im Alpenrhein - zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau - war bis anhin wenig bekannt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, wie die Bodensee-Seeforellen den Alpenrhein als "Migrationsroute" benutzen, um ihre Laichgebiete zu erreichen. Zu den Laichgebieten zählen Zuflüsse des Alpenrheins (inklusive Vorder- und Hinterrhein) und der Alpenrhein selbst.

Des Weiteren wurde darauf geachtet, wie das Wanderverhalten von abiotischen Einflussgrössen (Abfluss, Wassertemperatur) beeinflusst wird.

### **1.2.2 Hypothesen**

Folgende Hypothesen wurden im Vorfeld der Untersuchungen formuliert:

- H1: Der grösste Teil der markierten Seeforellen überwindet die Fischtreppe in Reichenau, um die Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein aufzusuchen.
- H2: Ein Teil der markierten Seeforellen benutzt den Alpenrhein als Laichgebiet.
- H3: Einige Seeforellen wählen die Seitengewässer des Alpenrheins als Laichgebiet.
- H4: Wanderungen finden sowohl bei Tag als auch bei Nacht statt.
- H5: Abflussschwankungen aufgrund von Schwallbetrieb, Niederwasser und Hochwasser haben einen Einfluss auf das Wanderverhalten der Seeforellen.

### **1.3 Charakteristik der Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*.)**

#### **1.3.1 Ökotypen der Forelle (*Salmo trutta* L.)**

Nach Laikre et al. (1999) gehören die Ökotypen der Bachforelle (*Salmo trutta fario*), der Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) und der Meerforelle (*Salmo trutta trutta*) zur selben Art der Europäischen Forelle (*Salmo trutta* L.). Bis heute wurden noch keine genetischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Ökotypen gefunden. Trotzdem werden in vielen Ländern Europas die verschiedenen Ökotypen durch physische Merkmale, Verhaltensweisen und ihre Lebensräume unterschieden. Bei der Bachforelle handelt es sich um eine residente Form, welche den ganzen Lebenszyklus im Bach oder Fluss verbringt. Im Gegensatz zur Bachforelle weisen Meerforellen und Seeforellen ein ausgeprägtes Migrationsverhalten auf. Nach ihren ersten Lebensjahren im Fließgewässer wandern die Jungfische der anadromen Meerforelle (Migration zwischen Salz- und Süßwasser) ins Meer ab und verbringen die Wachstumsphase in küstennahen Gewässern. Für die Reproduktion kehren sie in die Herkunftsgewässer zurück. Der Lebenszyklus der potamodromen Seeforelle (Migration innerhalb des Süßwassers) verläuft nach einem ähnlichen Muster, mit dem Unterschied, dass sie die Wachstumsphase in grossen Seen verbringt.

An der Art *Salmo trutta* L. sind aufgrund von neueren molekulargenetischen Untersuchungen fünf Stämme beteiligt: Der Atlantikstamm, Donaustamm, Adriastamm, Marmoratastamm und der Mittelmeerstamm (Bernatchez, 2001). Die westliche Grenze ihres natürlichen Verbreitungsgebiets bildet die europäische Küstenlinie. Im Norden kommt sie bis Island, Nordskandinavien und Russland vor, wobei das Uralgebirge vermutlich die östliche Grenze bildet. Das südliche Verbreitungsgebiet reicht bis zur nördlichen Küstenlinie Marokkos (Laikre et al., 1999; Klemetsen et al., 2003).

#### **1.3.2 Der Lebenszyklus der Seeforelle**

Alle Organismen haben eigene Lebenszyklusstrategien entwickelt, um den Weiterbestand der eigenen Art sicherzustellen. Der Reproduktion kommt dabei eine wichtige Bedeutung zu (Wootton, 1992). Die Seeforelle beansprucht im Verlauf des Lebenszyklus verschiedene Habitate. Bewegungen zwischen den verschiedenen Habitaten sind auf die unterschiedlichen Ansprüche der Entwicklungsstadien zurückzuführen. In Abbildung 1 ist der Lebenszyklus der Seeforelle dargestellt.



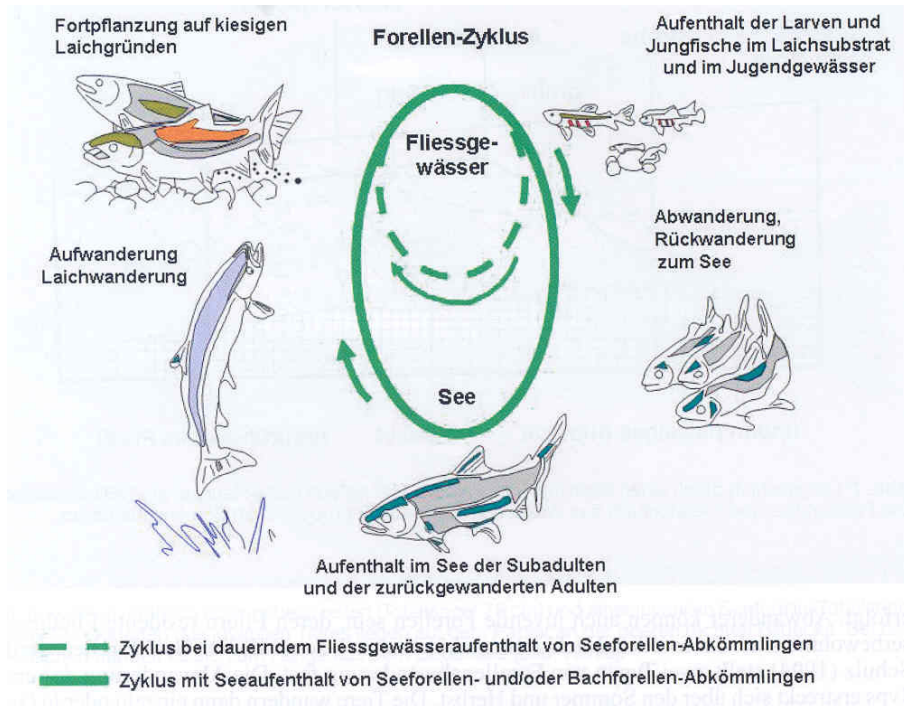


Abbildung 1: Der Lebenszyklus der Seeforelle (nach Ruhlé et al., 2005)

### Vom Ei zum Jungfisch

Am Ende der embryonalen Entwicklung wandert die Larve durch mehrere Zentimeter dickes Kiessubstrat, bis sie das offene Flussbett erreicht hat (Thorpe, 1989). Nach Heggenes & Traaen (1988) bleiben die frisch geschlüpften Jungfische im Geburtsgewässer und wachsen dort heran. In dieser ersten Lebensphase gilt es, den Gefahren durch Predatoren und Hochwasser zu trotzen. Die Jungfische der Seeforelle können bis zu ihrer Abwanderung in den See nicht von der residenten Form der Bachforelle unterschieden werden (Champigneulle et al., 1999; Bouille, 2003).

### Abwanderung in den See

Der Zeitpunkt der Abwanderung von Jungforellen kann sich zwischen verschiedenen Gewässersystemen stark unterscheiden. Nach Ruhlé et al. (2005) wandern die Bodensee-Seeforellen als halb- bis zweieinhalbjährige Fische in den See ab. In den Zuflüssen des Neuenburgersees konnte Bouille (2003) zeigen, dass zum selben Zeitpunkt einjährige Abwanderer grösser waren als solche Fische, welche erst im darauffolgenden Jahr als Zweijährige in den See abgewandert waren. Generell wandern die Seeforellen von März bis Juni in den See ab (Klemetsen et al., 2003).

### Aufenthalt im See

Im See findet bei den Seeforellen ein beschleunigtes Wachstum statt. Hauptgrund dieses Wachstums ist der Nahrungsreichtum der Seen und die Umstellung auf Fischnahrung. Weitere Faktoren, welche im See das Wachstum begünstigen, sind das Fehlen von Strömung und – verglichen mit den Lebensräumen der residenten Bachforelle - tiefere Forellendichten (Champigneulle et al., 1999).

### Laichwanderung

Vor Eintritt der Laichreife wandern Seeforellen in die Zuflüsse der Seen zurück. Je nach Distanz zwischen See und Laichgebiet, treten sie zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt die Laichwanderung an (Ruhlé et al., 2005). Nach Rustadbakken et al. (2004) kann die Laichwanderung von Seeforellen in drei verschiedene Phasen unterteilt werden: Aufstiegsphase, Laichphase und Abstiegsphase. Die erste Phase umfasst die Wanderung zu den Laichgebieten in den Fließgewässern. Nach erfolgtem Ablichten kehrt die Seeforelle wieder in den See zurück.

In der Regel wandern Seeforellen in die Gewässer zurück, in denen sie geboren und aufgewachsen sind. Dabei orientieren sie sich am Gewässergeruch (Aminosäuren, Salze, Hormone u.a.), den sie sich als Jungfische kurz vor dem Abwandern einprägten. Dieses Verhalten wird "**Homing**" genannt (Lucas & Baras, 2001). Der Vorteil dieser Verhaltensweise liegt darin, dass die Jungfische in einer Umwelt aufwachsen, die schon den Eltern das Überleben gesichert hat (Wooton, 1992). Büttiker & Matthey (1986) haben im Genfersee das "Homing"-Verhalten von Seeforellen mittels Markier-Wiederfang Versuchen untersucht. Insgesamt wurden in den Laichgewässern 156 Wiederfänge registriert. 96.8% der Wiederfänge ereigneten sich im Zufluss, in dem die Jungfische markiert wurden. Champigneulle et al. (1999) konnten ähnliche Beobachtungen im französischen Fluss Redon, einem Zufluss des Genfersees, nachweisen. In Markierungsexperimenten im Alpenrhein konnte während dem Laichfischfang beim Kraftwerk Reichenau durch den Wiederfang von markierten Mehrfachlaichern "Homing"-Verhalten nachgewiesen werden (Ruhlé, 1996). Seit der Inbetriebnahme der Fischaufstiegshilfe beim Kraftwerk Reichenau im Jahre 2000 wurden in der Fischtreppe weitere markierte Mehrfachlaicher beobachtet (mündl. Mitteilung, Florian Bebi).

Fische, die nicht in ihrem Heimatfluss, sondern in einem anderen laichen, werden als "**Strayer**" bezeichnet. Diese umherschweifenden Individuen erneuern den Genpool von anderen Populationen. Durch "Strayer" können auch neu entstandene Habitate besiedelt werden und Populationen nach Katastrophenereignissen neu aufgebaut werden (Wooton, 1992; Lucas & Baras, 2001).

### Fortpflanzung auf kiesigen Laichgründen

Nach Jungwirth et al. (2003) wird als wichtige Voraussetzung an das Laichhabitat im Fließgewässer eine optimale Substratstruktur genannt (Korngrösse: 10-70mm, Anteil Feinsedimente <1 mm: 6-10 %). Rubin et al. (2004) betonen, dass die Substratstruktur eine gewisse Resistenz gegenüber Verfrachtungen mit dem darüber fließenden Wasser aufweisen muss. Die Korngrösse darf aber nicht zu klein sein und nicht zu viel Feinsedimente enthalten, da sonst die Durchströmung des Substrates gering ist. Daraus kann eine geringe Versorgung der Eier mit Sauerstoff resultieren.

## **1.4 Der Alpenrhein - Einführung in das Untersuchungsgebiet**

Der Alpenrhein entsteht beim Zusammenfluss des Vorder- und Hinterrheins und entwässert mit 6119 km<sup>2</sup> über die Hälfte des Bodenseeeinzugsgebiets. Aufgrund des Hochwasserschutzes und der Intensivierung der Landwirtschaft wurden in den letzten 100 Jahren massive Eingriffe in die Gewässermorphologie des Alpenrheins vorgenommen (Mürle et al., 2004). Heute ist der Alpenrhein beinahe durchgehend mit Hochwasserschutzdämmen reguliert und die Ufer mit Blockwurf gesichert. Die regulierten Strecken im Alpenrhein können in drei charakteristische Abschnitte unterteilt werden:

- Oberlauf bis zur Landquartmündung
- Landquartmündung bis Illmündung
- Illmündung bis Bodensee („Internationale Strecke“)

Der Oberlauf ist bis zur Landquartmündung als Trapezprofil in den Talraum eingesenkt. Von der Landquart- bis zur Illmündung trennen hohe Dämme den Alpenrhein von seinem Umland ab. Die „Internationale Strecke“ von der Illmündung bis zum Bodensee ist durch ein Doppeltrapezprofil geprägt, um extreme Hochwasser auffangen zu können. Das Flussbett weist hier eine monotone Breite und eine gerade Uferlinie auf (Abbildung 2). Bei Nieder- und Mittelwasser findet man von der Landquart- bis zur Illmündung - auf einer Fließstrecke von ca. 40 km - alternierende Schotterbänke vor (Abbildung 3). Dadurch entstehen bei Nieder- und Mittelwasser unterschiedliche Strömungsverhältnisse. Eine natürliche Morphologie mit grossen Anteilen an Schotterflächen weist nur noch die Mastrilser Aue auf (Eberstaller et al., 1997; Eberstaller & Pinka, 2001).



Abbildung 2: „Internationale Strecke“



Abbildung 3: Alternierende Kiesbänke bei Buchs

#### 1.4.1 Nebengewässer des Alpenrheins

Mitte des 19. Jahrhunderts mündeten zwischen der Tardisbrücke in Landquart/Mastrils und dem Bodensee noch 53 Gewässer niveaugleich in den Alpenrhein. Heute übernehmen künstlich angelegte Binnenkanäle die Entwässerung ausserhalb der Hochwasserdämme. In diesem Gebiet münden heute nur noch 10 Gewässer direkt in den Alpenrhein (Eberstaller et al., 1997; Ruhlé et al., 2005). Durch die Eintiefung der Rheinsohle, aufgrund von Erosionsvorgängen und kommerzieller Kiesbaggerung in den 1950er- und 1960er Jahren, sind an den Mündungen grosse Höhenunterschiede von bis zu mehreren Metern entstanden, welche mit Sohlswellen und Rampen überbrückt werden (Abbildung 4). Teilweise bestehen auch Fischaufstiegshilfen, welche ausschliesslich von schwimm- und sprungstarken Fischarten, wie es z.B. die Seeforelle ist, überwunden werden können. Einzig der Liechtensteiner Binnenkanal mündet seit der Revitalisierung im Winter 1999/2000 niveaugleich in den Alpenrhein (Abbildung 5) und sollte als Referenzobjekt für weitere niveaugleiche Anbindungen von Seitengewässern dienen (Ruhlé et al., 2005).

Im Kanton Graubünden münden in der Mastrilser Aue drei kleine Zubringer niveaugleich in den Alpenrhein. Die Landquart und die Plessur sind durch Sohlswellen vom Alpenrhein getrennt. Für Seeforellen ist der Einstieg in beide Gewässer über einen Beckenpass möglich (Eberstaller et al., 1997; Rey, 2004; Ruhlé et al., 2005).



*Abbildung 4: Mündung Saarkanal mit Absturz von ca. 3 m (Beckenpass auf dem Bild nicht sichtbar).*



*Abbildung 5: Liechtensteiner Binnenkanal, niveaugleiche Mündung in den Alpenrhein. .*

### **1.4.2 Schwallbetrieb**

Der Alpenrhein ist aufgrund von Speicherkraftwerken im Vorderrhein- und Hinterrheingebiet durch täglich wiederkehrende Wasserspiegelschwankungen geprägt. Schwallbetrieb führt im Alpenrhein zur Kolmation von Kies- und Schotterflächen und damit zu einer Entwertung des Gewässers als Reproduktionsraum für kieslaichende Fische (Rey, 2004). Abbildung 6 zeigt die aufgrund der Herstellung von Spitzenenergie resultierenden Wasserspiegelschwankungen bei der hydrologischen Messstation in Domat /Ems auf. Bei der Produktion von Spitzenenergie wird das gespeicherte Wasser während der Woche bei Strombedarf turbinert. An den Wochenenden fallen die Abflussschwankungen aufgrund einer geringeren Stromnachfrage erheblich geringer aus. Während der Hauptuntersuchungszeit vom 17.08.2006 bis 16.11.2006 lag die mittlere Schwallamplitude (Differenz Schwall/Sunk) bei der hydrologischen Messstation in Domat/Ems bei  $106 \text{ m}^3/\text{s}$  (Datenquelle: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie). Auch die Trübstoffführung wird mit dem schwallbedingten Anstieg des Abflusses grösser und hat einen Anstieg von ca.  $15 \text{ mg/l}$  auf bis zu  $150 \text{ mg/l}$  zur Folge. Verglichen mit den natürlichen Hochwassertrübungen von über  $1000 \text{ mg/l}$  liegt die schwallbedingte Trübung deutlich tiefer (Eberstaller & Pinka, 2001).

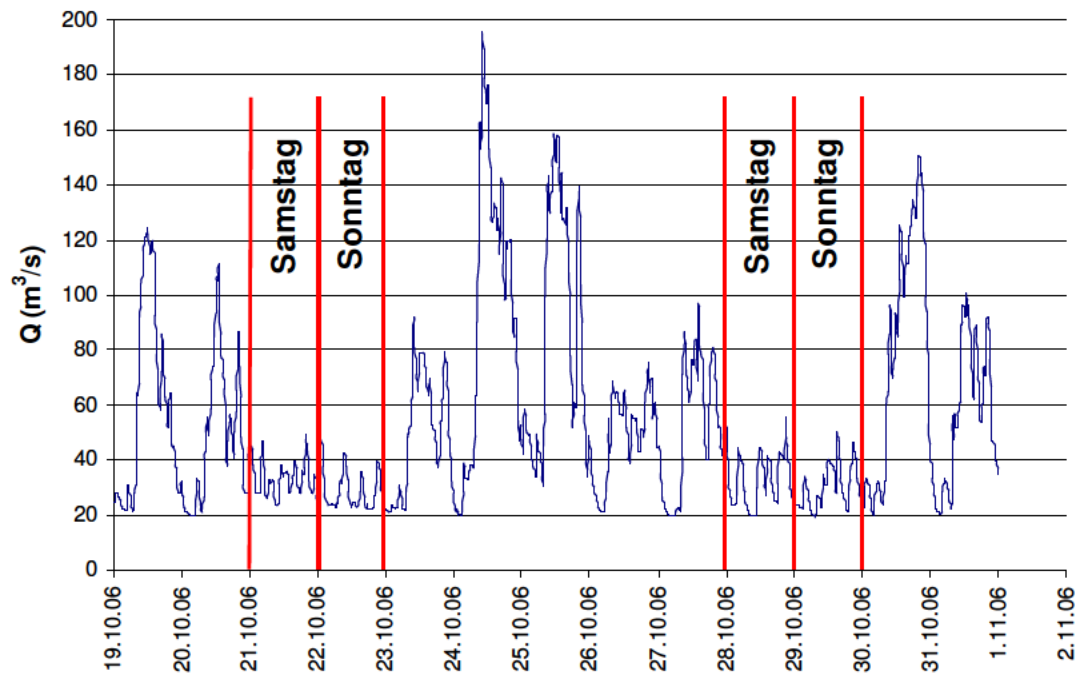


Abbildung 6: Abflussregime bei der hydrologischen Messstation in Domat/Ems vom 19.10.2006 bis 01.11.2006 (Datenquelle: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie).

Nach Eberstaller & Pinka (2001) hat Schwall/Sunk folgende Beeinträchtigungen auf die Reproduktion der Forellen im Alpenrhein:

- Periodische Unterbrüche des Laichvorgangs bei Schwall
- Trockenfallen der bei Schwall abgelaichten Eier
- Erosion der bei Sunk abgelaichten Eier
- Ungenügende Ei- bzw. Larvalentwicklung durch Kolmation des Schotterlückenraumes aufgrund erhöhter Trübefracht

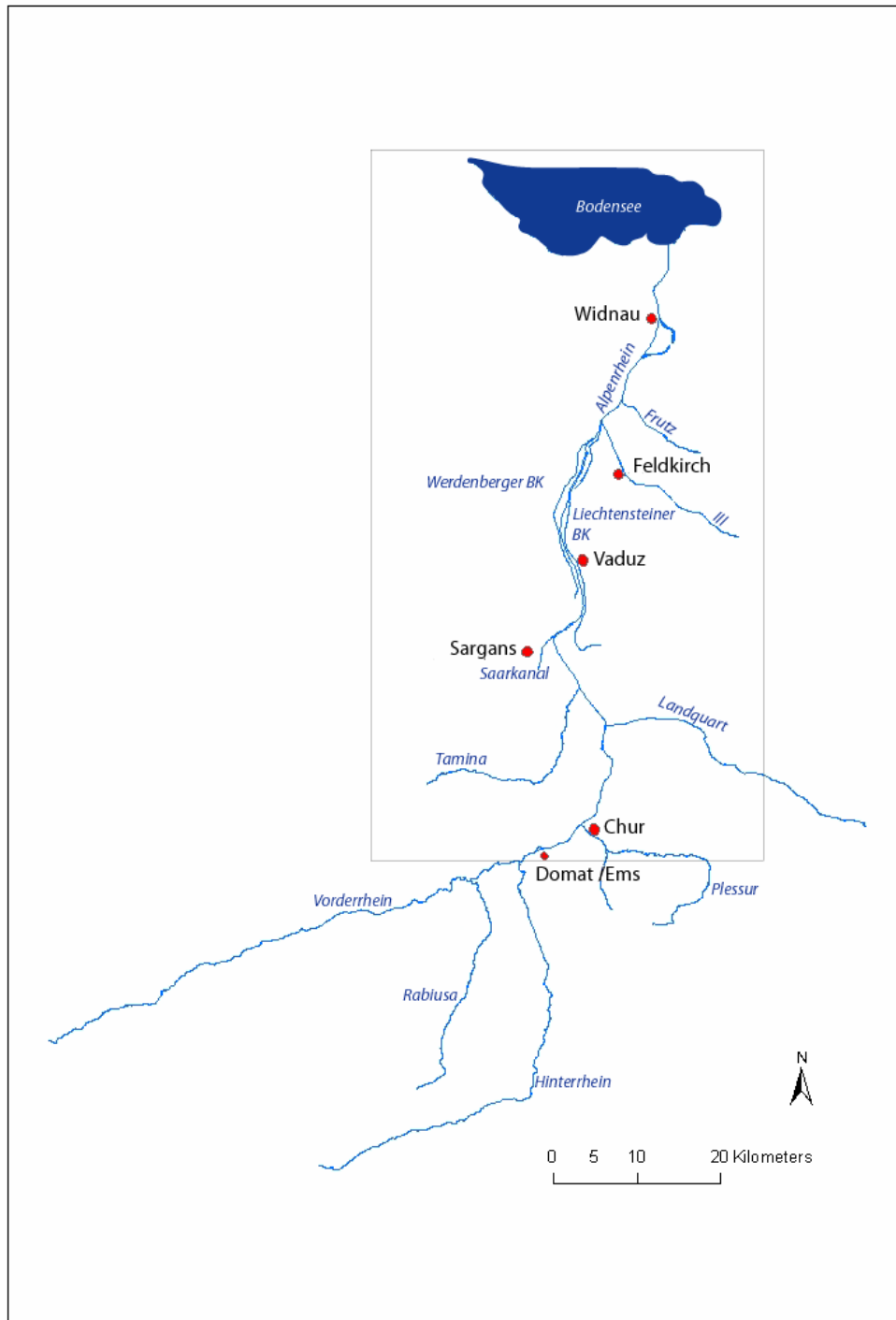


Abbildung 7: Untersuchungsgebiet zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau (Domat /Ems). Der Ehbach ist auf der Karte nicht eingezeichnet und mündet ca. 1 km flussabwärts der Frutz in den Alpenrhein. (Vektor25@2003swisstopo).

## 2 Methoden

### 2.1 Datenerhebung

#### 2.1.1 Elektrofischfang

Bei der Methode der Elektrofischerei wird die Reaktion der Fische auf Gleichstrom ausgenutzt. Dazu wird im Wasser mittels einer Kathode (negative Elektrode) und einer Anode (positive Elektrode) ein Spannungsfeld erzeugt. Beim Eintritt in das Spannungsfeld zeigen Fische eine anodische Reaktion (Galvanotaxis), indem sie durch aktive Schwimmbewegungen der Anode zustreben. Befindet sich ein Fisch nahe bei der Anode, kann er durch die grosse Stromdichte das Bewusstsein verlieren (Galvanonarkose) (Meng, 1978).

Die für die Studie benötigten Seeforellen wurden im Alpenrhein zwischen der Brücke Montlingen und der Brücke Au auf einer Strecke von ca. 12 km gefangen. Gefischt wurde vom flussabwärts treibenden Boot aus (Abbildung 8). Für die Befischung kam ein stationäres Elektrofangerät vom Typ EFKO (13 kWh) mit zwei Anoden zum Einsatz. Zwei Personen führten die Anoden, eine weitere war für die Steuerung des Bootes zuständig. Auf dem Boot wurden die gefangenen Seeforellen in grossen Kunststoffbecken kurzzeitig zwischengehältert, bevor sie mit dem Auto zur Feldstation gebracht wurden. Bis zur Markierung erfolgte die Hälterung in grossen Kunststoffwannen. Neben einer Anreicherung mit Sauerstoff wurde das Wasser in den Becken regelmässig durch Frischwasser erneuert. Insgesamt wurden 24 Seeforellen gefangen und markiert. Dafür mussten drei Fangtage investiert werden. Die Befischungen wurden am 17.08., 22.08. und 06.09.2006 durchgeführt.



*Abbildung 8: Befischung vom Boot aus (in Ufernähe).*



*Abbildung 9: Das Elektrofangboot der Eawag musste beim Ein- und Auswassern mit einem Lastkran der Rheinbauleitung über den Rheindamm gehoben werden.*



### 2.1.2 Markierung

Vor der Markierung wurden die Seeforellen für ca. 5 Minuten in ein Narkosebad MS 222 (Konzentration 1:15'000) gelegt. Nach Eintritt der Narkose wurde mit einer Messlatte die Totallänge in mm gemessen und das Lebendgewicht mit einer elektronischen Waage bestimmt. Anschliessend wurden die Fische mittels eines chirurgischen Eingriffs mit Radiotelemetrie-Sendern ausgerüstet. Durch einen Schnitt von 2-3 cm auf der ventralen Seite wurde der Sender in der Bauchhöhle platziert. Die Antenne wurde durch ein kleines, mit einer Nadel gestochenes Loch gezogen und der Schnitt anschliessend mit 2-3 Stichen zugenäht. Nach einer Erholungszeit von ca. 30 - 60 Minuten setzten wir die Seeforellen ca. auf Höhe des jeweiligen Fangortes zurück.



Abbildung 10: Seeforelle nach der Markierung

Je nach Körpergrösse bzw. Gewicht der Fische kamen zwei verschiedene Sender mit einem Gewicht von 8.9 g oder 16 g zum Einsatz (Abbildung 11). Dies entspricht 0.3% bis 1.2% des Körpergewichts der Fische. Nach Jepsen et al. (2002) hat sich in langjährigen Telemetriestudien ein Sender-Körper Gewichtsverhältnis von maximal 2% bewährt.

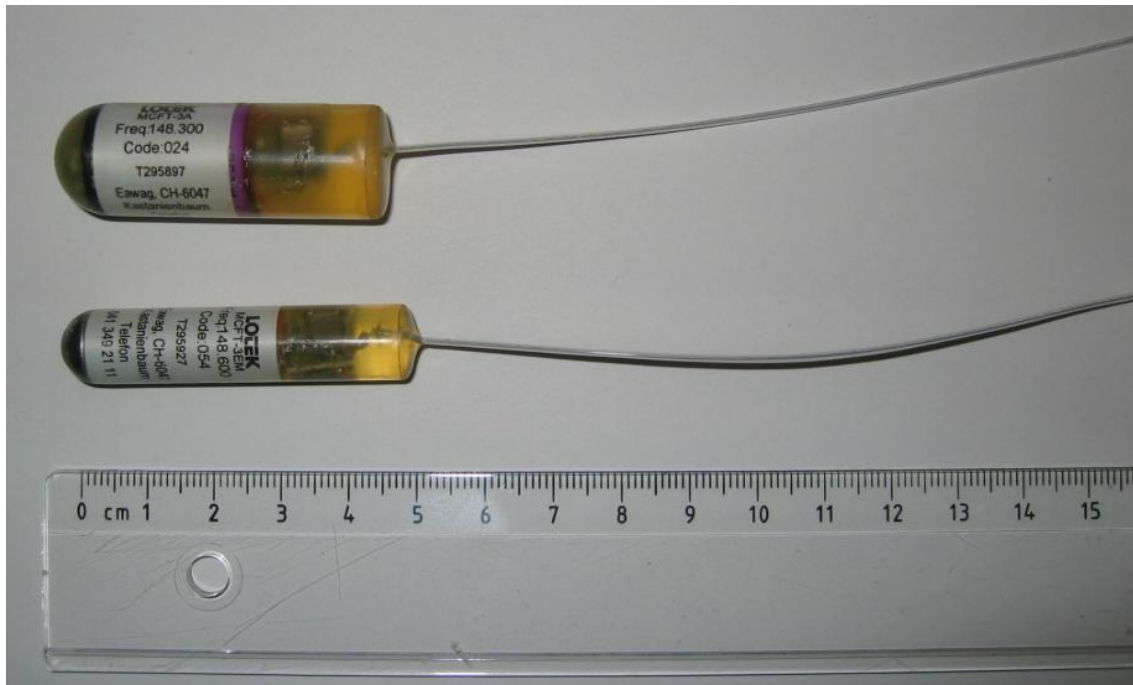


Abbildung 11: Verwendete Sender (Hersteller: Lotek Engineering Inc., Kanada): 16 g mit einer Lebensdauer von 641 Tagen (oben); 8.9 g mit einer Lebensdauer von 488 Tagen (unten).

### 2.1.3 Reifegrad

Am Fangtag wurde bei den markierten Seeforellen der Reifegrad bestimmt (in Anlehnung an die Heincke-Maier'sche Reifegradtabelle in Smolina 1920). Der Reifungsprozess der Gonaden wird in verschiedene Reifegrade eingeteilt (Tabelle 1). Die Laichreife ist erreicht, wenn die Geschlechtsprodukte bei leichtem Druck gegen den Fischbauch austreten.

*Tabelle 1: Heincke-Maier'sche Reifegradtabelle.*

Grad	Zustandsbenennung	Aussehen der Geschlechtspartien
1	Jugendlich	<b>Eierstock</b> glashell, einzelne Eier nicht zu erkennen. <b>Hoden</b> klein, glashell, farblos bis grau.
2	Ruhe	<b>Eierstock</b> trübe durchscheinend, Eier mit der Lupe als abgerundete Körnchen erkennbar. <b>Hoden</b> trübe, graurötlich durchscheinend.
3	Vorbereitung	<b>Eierstock</b> meist undurchsichtig, immer noch klein, ohne Lupe orangefarbene Eier erkennbar. <b>Hoden</b> trübe, graurötlich durchscheinend.
4	Zusammendrängung	<b>Eierstock</b> halbe Länge, Eier mit Dotter, dicht stehend, eckig abgeplattet. <b>Hoden</b> rötlichweiss, noch klein, bei Druck auf die Bauchhöhle kein Sperma.
5	Streckung	<b>Eierstock</b> hat die endgültige Länge erreicht, Eier rund, undurchsichtig. <b>Hoden</b> weiss, endgültige Länge erreicht. Bei Druck auf die Bauchhöhle undurchsichtig, weiss, bei Druck auf die Bauchhöhle zäher Tropfen von Sperma.
6	Laichreife	<b>Eierstock</b> durchscheinend, graurötlich, Eier in der Mehrzahl durchsichtig, leicht abfließend. <b>Hoden</b> undurchsichtig, weiss, bei Druck auf die Bauchhöhle fliesst Sperma als Milch ab.
7	Halb ausgelaiht	<b>Eierstock</b> durchscheinend, etwas verkürzt, keine undurchsichtigen Eier mehr vorhanden, die Mehrzahl ausgestossen. <b>Hoden</b> weiss mit schwacher Rötung, etwas verkürzt.
8	Ausgelaiht	<b>Eierstock</b> durchscheinend, verkürzt, blutreich, nur noch Spuren von Laich. <b>Hoden</b> stark verkürzt, dunkelrot bis graurötlich. Kein Sperma mehr. Wände sehr schlaff und reich an Blutgefässen. Allmählich zum Stadium 2 übergehend.

#### 2.1.4 Altersbestimmung und Untersuchung auf Laichmarken

Die Altersbestimmung der markierten Seeforellen erfolgte anhand von Schuppenanalysen. Am Fangtag wurden den Seeforellen jeweils an der seitlichen Flanke oberhalb der Seitenlinie mittels Pinzette einige Schuppen entnommen. Bis zur Durchführung der Analysen wurden die Schuppen tiefgekühlt aufbewahrt. Zur Bearbeitung der Proben wurden die Schuppen im Ultraschallbad (Hersteller: Bandeln Electronic, Deutschland) mehrmals gereinigt und auf Objektträger geklebt. Anschliessend erfolgte unter dem Projektionsmikroskop (Hersteller: Reichert, Österreich) die Analyse der am besten lesbaren Schuppe durch Interpretation der Circulimuster und Festlegung der Annuli (Jahresringe). Ein Annulus (Jahrring) wird derart ausgebildet, dass auf eine Zone mit weit angelegten Circuli (Sommer) eine Zone mit eng angelegten Circuli folgt (Winter). Die Schuppen wurden auch auf Laichmarken untersucht, um festzustellen, ob es sich bei den markierten Seeforellen um Mehrfachlaicher handelte. Die Bestimmung ist zeitaufwändig und musste durch eine erfahrene Person (Dr. Armin Peter) durchgeführt werden.

### **2.1.5 Radiotelemetrie**

Um das Wanderverhalten von Fischen zu untersuchen, wird weltweit die Methode der Radiotelemetrie eingesetzt. Dadurch kann über längere Zeit die Position einzelner Individuen bestimmt werden.

Für die vorliegende Studie wurden Sendertypen mit einer Lebensdauer von 488 und 641 Tagen eingesetzt. Insgesamt wurden vier verschiedene Frequenzen verwendet (148.100, 148.300, 148.500 und 148.600 MHz). Auf jeder Frequenz konnten aufgrund einer elektronischen Codierung mehrere Sender eingesetzt werden, welche in einem 5-Sekunden Intervall ein Signal abgeben. Anhand der Codierung der Signale konnte mit dem portablen Empfangsgerät (Hersteller: Lotek Engineering Inc., Kanada) die Position der verschiedenen Fische individuell erkannt werden.

Die Feldarbeit wurde mittels "Handtracking" auf dem Rheindamm verrichtet. Hauptsächliches Verkehrsmittel war das Fahrrad. Bei Nachtuntersuchungen oder schlechten Witterungsverhältnissen kam das Auto zum Einsatz. Mit einer nichtgerichteten Rundantenne konnte die Position der Fische in einem ersten Schritt grob geortet werden. Anschliessend wurde mit einer Yagi-Richtantenne die Position im Längsverlauf bis auf +/- 20 Meter Genauigkeit bestimmt. Anhand der Rheinkilometrierung (alle 200 m eine Markierung) und GPS konnten die genauen Positionen der Seeforellen leicht eruiert werden. Die Wanderdistanzen zwischen zwei Messpunkten bezogen sich auf die Uferlinie. Allfällige Positionsveränderungen im Flussbett aufgrund von unterschiedlichen Strömungsverhältnissen konnten nicht berücksichtigt werden.

Während der Hauptuntersuchungsphase (17.08. - 16.11.2006) wurden die markierten Seeforellen je nach Kapazität täglich geortet. Da sich das Untersuchungsgebiet über ca. 90 km erstreckte, mussten zwischenzeitlich Prioritäten gesetzt werden. Teilweise lagen zwischen den Positionen von verschiedenen Individuen bis zu 80 km Fließstrecke. Deswegen wurde der Fokus auf diejenigen Fische gerichtet, welche sich in einer fortgeschrittenen Aufwärtswanderung befanden. D.h., dass ab Oktober in der "Internationalen Strecke" nur noch wöchentlich telemetriert wurde. Zeitgleich mit der Hauptuntersuchung erfolgten Ortungen in Domat /Ems mittels einer automatischen Registrierstation.

Um tageszeitlich bedingtes Wanderverhalten aufzuzeigen, wurden zusätzlich sieben Nachtuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde der Standort von ausgewählten Individuen über einen Zeitraum von ca. 24 Stunden mehrmals erfasst. Die Positionen der Seeforellen wurden jeweils tagsüber sowie gleichentags nach Einbruch der Dunkelheit eruiert.

Abschliessend fand am Folgetag vor Tageseinbruch eine weitere Ortung statt. Dieser Untersuchungsablauf ergab Aufschluss über das nächtliche Wanderverhalten der Seeforellen.

Im Anschluss an die Hauptuntersuchungsphase wurden bis 15.12.2006 wöchentliche Kontrollgänge durchgeführt. Zudem wurde am 29.11.2006 bei der Rheinmündung eine automatische Registrierstation installiert, um den Zeitpunkt der in den Bodensee zurückwandernden Seeforellen festzuhalten.

*Tabelle 2: Zeitlicher Ablauf der Datenerhebung.*

Aktivität	Datum	Bemerkungen
Elektrische Befischungen	17.08.2006 22.08.2006 06.09.2006	
Manuelle Ortungen mittels "Handtracking"	17.08.2006 – 16.11.2006	Am 19.09. und 28.09.2006 keine Ortungen
Nachtuntersuchungen	10./11.09.2006 16./17.09.2006 30.09./01.10.2006 10./11.10.2006 16./17.10.2006 21./22.10.2006 25./26.10.2006	
Kontrollgänge nach Hauptuntersuchung	24.11.2006 29.11.2006 06.12.2006 15.12.2006	Ganzes Untersuchungsgebiet Rheinmündung-Sargans Trübbach-Domat /Ems Trübbach-Domat /Ems
Automatische Registrierstation in Domat /Ems	durchgehend	Es liegen Auswertungen bis 15.12.2006 vor
Automatische Registrierstation in der Rheinmündung	29.11.2006 bis auf Weiteres	Es liegen Auswertungen bis 10.01.2007 vor

### 2.1.6 Markierte Seeforellen in der Kontrollreuse des KWs Reichenau

Seit sieben Jahren ist die Fischtrappe beim Kraftwerk Reichenau in Betrieb. Mit einer Reuse können die aufwandernden Fische in der Fischtrappe registriert werden. Zur Erfolgskontrolle werden dabei jedes Jahr die Totallänge und das Geschlecht der aufwandernden Seeforellen protokolliert. Florian Bebi (Hauptfischereiaufseher des Kantons Graubünden) war vom 30.08. - 30.11.2006 für die Kontrolle der Reuse verantwortlich. Die Reuse wurde während dieser Zeit jeweils am Morgen und am Abend kontrolliert. Gleichzeitig konnten die markierten Seeforellen aus der laufenden Untersuchung behändigt werden. Um die während der

Wanderung erfolgten Gewichtsveränderungen zu messen, wurden die Fische in der kantonalen Fischzuchtanlage beim Stausee Domat /Ems betäubt und gewogen. Anschliessend wurden sie in den Stausee zurückgesetzt, damit sie ihre Laichwanderung fortsetzen konnten.

### **2.1.7 Abiotische Umweltfaktoren (Wassertemperatur /Abfluss)**

Die hydrologischen Daten des Alpenrheins stammen von den hydrologischen Messstationen in Diepoldsau und Domat /Ems. Diese Messstationen werden vom Bundesamt für Umwelt (Abteilung Hydrologie) betrieben. Die Messstation in Diepoldsau liefert alle 10 Minuten Temperatur- und Abflussdaten. In Domat /Ems werden nur die Abflussdaten registriert. Deswegen installierten wir bei der Messstation in Domat /Ems vom 06.10. – 23.11.2006 einen eigenen Datenlogger (Hersteller: Vemco, Kanada). Dieser zeichnete die Wassertemperatur in stündlichen Abständen auf.

## **2.2 Datenanalyse**

### **2.2.1 Einteilung der Laichwanderung in Phasen**

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung im Alpenrhein wurde das Schwergewicht auf die Aufwärtswanderung zu den möglichen Laichgebieten gesetzt. Dedual & Jowett (1999) untersuchten im „Tongariro River“ in Neuseeland auf einer Fliesstrecke von 28 km die Aufwärtswanderung der Regebogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*). Sie unterteilten die Aufstiegsphase in flussaufwärts-, respektive flussabwärts gerichtete Wanderungen und in stationäre Phasen. Dabei wurden Wanderbewegungen nur als solche interpretiert, wenn sie mehr als 50 m umfassten. In Anlehnung an Dedual & Jowett (1999) wird in der Datenanalyse die Aufstiegsphase in Aufwärts-, bzw. Abwärtswanderung und in stationäre Phasen unterteilt, wobei angesichts der längeren Untersuchungstrecke Positionsveränderungen erst ab 300 m als Wanderbewegungen interpretiert wurden:

Aufwärtswanderung: Mittlere flussaufwärtsgerichtete Tagesbewegungen > 300m.

Abwärtswanderung: Abflussabhängige sowie auch abflussunabhängige Positionsveränderungen > -300 m.

Stationäre Phasen: Positionsveränderungen < 300 m.

Bei einigen der markierten Individuen konnte nach erfolgtem Ablachen eine Rückwanderung in den Bodensee festgestellt werden.

### 2.2.2 Statistische Analyse

Die statistischen Analysen wurden mit SPSS für Windows (11.0.1, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt. Die gesammelten Daten zu den Wanderdistanzen waren nicht normalverteilt. Deswegen wurden bei Wanderdistanzvergleichen nichtparametrische Tests (Mann-Whitney, Wilcoxon) und Korrelationsanalysen nach Spearman ( $R_{sp}$ ) durchgeführt.

Es wurden folgende Daten statistisch ausgewertet:

- Die physischen Eigenschaften wurden mittels t-Tests auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht. Zudem wurde eine Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt, um zu untersuchen, ob zwischen dem Alter und der Totallänge, respektive dem Gewicht ein Zusammenhang besteht.
- Die mittleren Wanderbewegungen (in m/Tag) wurden in Bezug zum Geschlecht des Individuums gesetzt (Mann-Whitney-Test).
- Die maximal beobachteten Wanderdistanzen der einzelnen Individuen (während 24 Stunden) wurden in Bezug zum Geschlecht gesetzt (Mann-Whitney-Test).
- Die Resultate der Tag- und Nachtwanderungen der einzelnen Individuen wurden mittels Wilcoxon-Test verglichen.
- Die Mittelwerte der wochentags (Schwallbetrieb) und an den Wochenenden (Niederwasser) zurückgelegten Wanderdistanzen wurden miteinander verglichen (Wilcoxon-Test).
- Um zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen den bei Hochwasser beobachteten Verdriftungen und der Totallänge der einzelnen Individuen vorliegt, wurde eine Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt.

### 2.2.3 Abkürzungen

*Tabelle 3: Abkürzungen zu den erfassten Eigenschaften der Fische.*

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterungen
sex	Geschlecht	M: Männchen, W: Weibchen
a	Alter	anhand von Schuppenanalysen bestimmt
$L_T$	Länge (mm)	physische Eigenschaft
$M_T$	Masse (g)	physische Eigenschaft
K	Konditionsindex	physische Eigenschaft, aus M und $L_T$ berechnet. Mass über Ernährungszustand und Fitness von Fischen: $K = (100 * M_T) / L_T^3$ .
RG	Reifegrad	Beurteilung des Reifegrads

*Tabelle 4: Mathematische und andere Abkürzungen.*

	Bezeichnung	Erläuterungen
Mw	Mittelwert	Arithmetisches Mittel einer Stichprobe (N)
$\sigma_x$	Standardabweichung	Schätzt die Standardabweichung ausgehend von einer Stichprobe (N)
N	Anzahl	
Max	Maximalwert	
Min	Minimalwert	
p	Signifikanz	p-Wert für die Signifikanzprüfung des Koeffizienten. Signifikanzniveau: 5%
R <sub>sp</sub>	Korrelationskoeffizient	Korrelationskoeffizient nach Spearman für ordinal verteilte Daten: 1= positive Korrelation, -1= negative Korrelation, 0= keine Korrelation
Rkm	Rheinkilometrierung	Vermessung des Alpenrheins zwischen dem Zusammenfluss Hinter-/Vorderrhein und der Rheinmündung in den Bodensee (Eckpunkte siehe Anhang).



### 3 Resultate

#### 3.1 Charakteristik der markierten Fische

Insgesamt wurden während drei Befischungstagen 24 Seeforellen gefangen und mit Sendern ausgerüstet. Aufgrund von äusseren Erscheinungsaspekten (z.B. Laichhaken bei Männchen) und des wenig fortgeschrittenen Reifegrades konnte am Fangtag das Geschlecht nicht bei allen Fischen mit Gewissheit bestimmt werden. Im Nachhinein wurden die Geschlechter anhand von Fotos verifiziert. Aufgrund des äusseren Erscheinungsbildes wird bei 5 Fischen vermutet, dass sie Männchen, bzw. Weibchen sind.

Mittels Schuppenanalysen wurden die beiden weiblichen Seeforellen Code 45 und 23 als mehrfache Laicher identifiziert.

*Tabelle 5: Beschreibung der markierten Seeforellen (W: Weibchen; M: Männchen). Seeforellen mit vermutetem Geschlecht sind mit vM/vW bezeichnet.*

Frequenz/ Code	Fangdatum	Reifegrad	sex	Alter (a)	L <sub>T</sub> (mm)	M <sub>T</sub> (g)	K
148.100/02	17.08.2006	4	W	4+	522	1690	1.19
148.100/03	17.08.2006	-	W	5+	656	3424	1.21
148.500/42	17.08.2006	-	vW	5+	661	3198	1.11
148.500/43	17.08.2006	-	W	5+	627	3629	1.47
148.600/52	17.08.2006	-	vW	6+	656	2655	0.94
148.600/53	17.08.2006	-	W	4+	498	1437	1.16
148.100/05	22.08.2006	-	W	5+	603	2538	1.16
148.500/46	22.08.2006	-	M	6+	657	4039	1.42
148.500/48	22.08.2006	-	M	5+	672	3038	1.00
148.500/45	22.08.2006	4	W	6+	606	2265	1.02
148.500/47	22.08.2006	-	vM	3+	467	1078	1.06
148.300/17	22.08.2006	-	M	5+	603	3618	1.65
148.500/51	22.08.2006	-	M	5+	526	1320	0.91
148.300/20	22.08.2006	-	vW	6+	586	2366	1.18
148.100/07	22.08.2006	-	M	6+	713	4680	1.29
148.100/06	22.08.2006	-	M	6+	681	3580	1.13
148.300/18	06.09.2006	5	M	6+	741	4833	1.19
148.300/19	06.09.2006	5	M	?	706	4402	1.25
148.300/21	06.09.2006	6	M	8+	726	4659	1.22
148.600/61	06.09.2006	-	W	3+	482	1200	1.07
148.600/55	06.09.2006	-	M	4+	478	1165	1.07
148.300/23	06.09.2006	4	W	5+	736	5287	1.33
148.600/60	06.09.2006	-	vW	3+	446	995	1.12
148.300/22	06.09.2006	5	W	4+	507	1321	1.01

*Tabelle 6: Vergleich der markierten Seeforellen zwischen den Geschlechtern bezüglich Totallänge ( $L_T$ ) in mm und Gewicht ( $M_T$ ) in g.*

	N	Min	Max	Mw	$\sigma_x$
<b>Totallänge <math>L_T</math> (mm)</b>					
Alle Seeforellen	24	446	741	605	94
Weibchen	13	446	736	583	86
Männchen	11	467	741	633	100
<b>Gewicht <math>M_T</math> (g)</b>					
Alle Seeforellen	24	995	5287	2850	1373
Weibchen	13	995	5287	2461	1210
Männchen	11	1078	4833	3310	1467

Bezüglich Totallänge (t-Test,  $p=0.201$ ), Gewicht (t-Test,  $p=0.135$ .) und Konditionsindex (t-Test,  $p=0.509$ ) bestehen zwischen Weibchen und Männchen keine signifikanten Unterschiede.

Bei einer Seeforelle konnte das Alter mittels Schuppenanalyse nicht bestimmt werden. Dieser Fisch wurde in der Korrelationsanalyse nicht berücksichtigt. Die Totallänge der Seeforellen korreliert positiv mit dem Alter ( $R_{sp}=0.813$ ,  $p<0.01$ ) und dem Gewicht ( $R_{sp}=0.725$ ,  $p<0.01$ ).

### 3.2 Beobachtete Wandermuster in der Aufstiegsphase

Es fanden sich grosse Unterschiede in der maximal aufgewanderten Fließstrecke und in der Wahl des Laichortes (Abbildung 12). Drei Seeforellen passierten die ganze Untersuchungsstrecke bis zum Kraftwerk Reichenau (ca. 90 km Fließstrecke) und überwand die Fischtreppe, um ihre Laichplätze im Vorder- und Hinterrhein zu erreichen. Zwei Männchen stiegen in Seitenbäche ein und weitere 9 Seeforellen haben vermutlich im Alpenrhein selbst gelaicht. Die übrigen 10 Fische zeigten wiederum ein anderes Verhalten. Aus diesem Grund werden nachfolgend jene Seeforellen mit ähnlichem Wanderverhalten gruppiert und auf deren Besonderheiten hingewiesen.

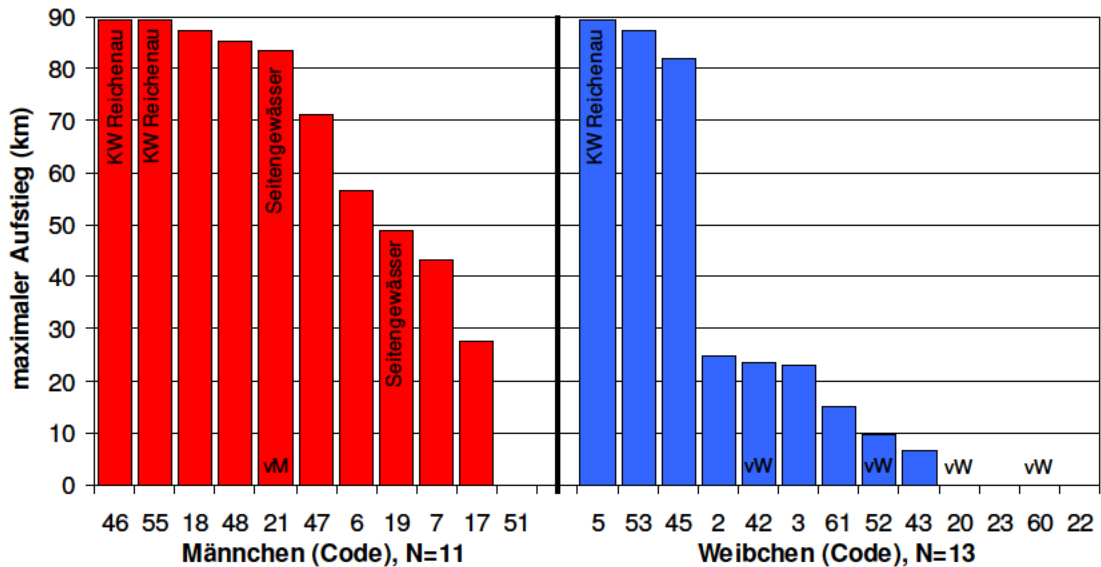


Abbildung 12: Maximaler Aufstieg im Alpenrhein. Die y-Achse bezieht sich auf den Alpenrhein zwischen dem Bodensee (0 km) und dem Kraftwerk Reichenau (ca. 90 km Fließstrecke). 5 Seeforellen zeigten keine Aufwärtsbewegungen.

### 3.2.1 Wanderung bis zum Kraftwerk Reichenau (3 Individuen)

Drei Seeforellen haben das Untersuchungsgebiet zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau durchschwommen und benutzten die Fischtreppe, um ihre Laichplätze im Vorder- oder Hinterrhein zu erreichen (Abbildung 13).

Die letzte Phase der Wanderung, in welcher die Forellen beim Turbinenhaus des Kraftwerks Reichenau die Restwasserstrecke und somit das eigentliche Rheinbett finden mussten, fiel unterschiedlich aus. Der Zeitpunkt des Einstiegs in die Restwasserstrecke und in die Fischtreppe konnte bei keiner dieser Seeforelle genau ermittelt werden.

Bei Weibchen Code 05 wurde beobachtet, wie sie während mindestens 4 Stunden vor dem Turbinenhaus des Kraftwerks Reichenau verweilte. Zu diesem Zeitpunkt führte die Restwasserstrecke nur den Dotierabfluss von  $Q = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bei der nächsten Ortung nach 18 Stunden war sie schon in der Fischtreppe. Männchen Code 46 hielt sich während drei Tagen ca. 150 m unterhalb des Eingangs der Fischtreppe in der Restwasserstrecke auf, bis er schlussendlich über Nacht den Weg in die Fischtreppe fand. Männchen Code 55 wanderte zwischen zwei Ortungen in einer Zeitspanne von maximal 18 Stunden ca. 2 km den Alpenrhein hinauf und wurde am Ende der Fischtreppe in der Reuse gefunden.

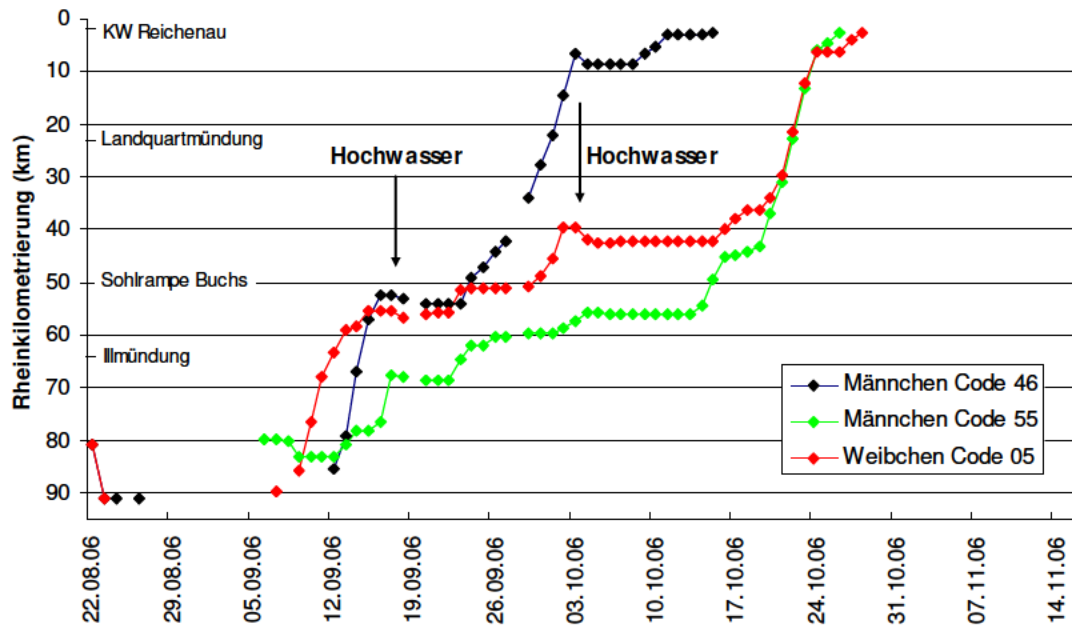


Abbildung 13: Wandermuster der Seeforellen Code 46, 55 und 05. Die y-Achse zeigt die Rheinkilometrierung (Rkm) an. Bei Rkm 92 befindet sich die Mündung des Alpenrheins in den Bodensee.

In der Zeitdauer zwischen der Markierung und dem Eintreffen in der Fischtreppe wurde bei allen Forellen ein Gewichtsverlust von 7.9 – 12% festgestellt. Dies entspricht einem Verlust von 2.8 – 5.8 g pro Tag.

Tabelle 7: Gewichtsverlust während der Zeitspanne zwischen dem Fangtag und dem Reusenfang.

	Männchen Code 46	Männchen Code 55	Weibchen Code 05
Fang/Rückversetzung	22.08.2006	06.09.2006	22.08.2006
Ankunft Reuse	16.10.2006	26.10.2006	28.10.2006
M <sub>T</sub> Fang/Rückversetzung	4039 g	1165 g	2538 g
M <sub>T</sub> Reuse	3720 g	1025 g	2236 g
Gewichtsverlust (g)	319 g	140 g	302 g
Gewichtsverlust (%)	7.9%	12%	12%
Gewichtsverlust pro Tag	5.8 g	2.8 g	4.5

### 3.2.2 Unterhalb des Kraftwerks Reichenau im Alpenrhein gelaicht (9 Individuen)

Insgesamt wird bei neun Seeforellen davon ausgegangen, dass sie im Alpenrhein gelaicht haben. Sie können in vier Gruppen zu je zwei, bzw. drei Fischen aufgliedert werden. Drei Gruppen werden aufgrund der Distanz des Laichgebietes zum Bodensee aufgeteilt. Eine weitere Gruppe von drei Seeforellen hatte bis zum Ende der Hauptuntersuchung am 16.11.2006 die Aufwärtswanderung noch nicht abgeschlossen.

Zwei Seeforellen erreichten ihr mögliches Laichgebiet oberhalb der Landquartmündung zwischen dem 22.10. und dem 29.10.2006 (Abbildung 14). Nachdem sie die Aufwärtswanderung einstellten, konnten bei beiden Fischen kurze aufwärts und abwärts gerichtete Bewegungen beobachtet werden. Männchen Code 48 laichte vermutlich im Gebiet zwischen dem Militärgelände in Chur und Felsberg. Männchen Code 47 laichte in der Mastrilser Aue. Ab dem 13.11.2006 war er bis zum letzten Kontrollgang am 15.12.2006 immer an gleicher Stelle in der Mastrilser Aue vorzufinden.

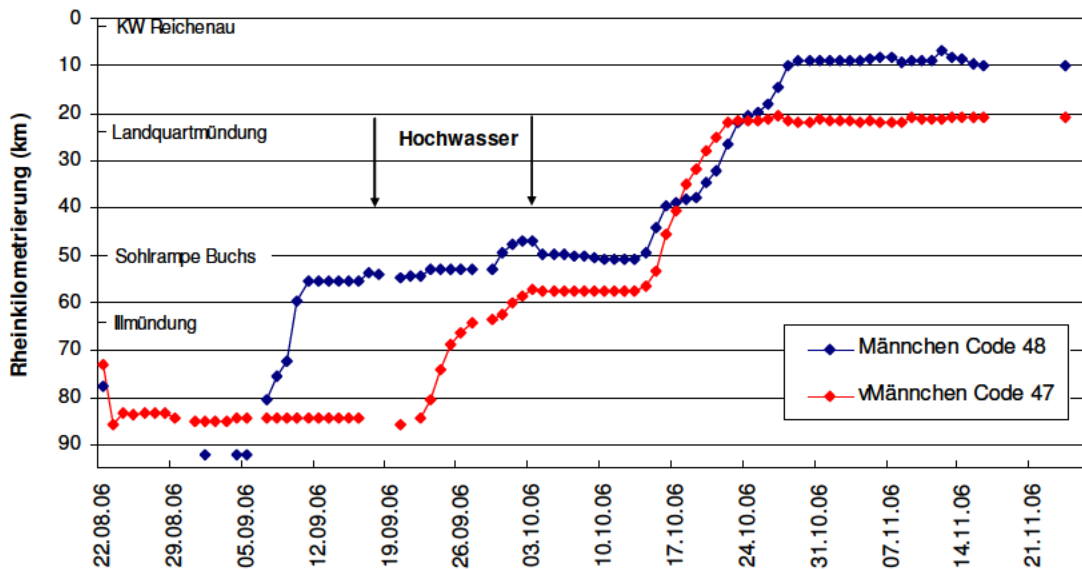


Abbildung 14: Wandermuster der Seeforellen Code 48 und Code 47

Weitere zwei Seeforellen laichten im Gebiet zwischen der Illmündung und der Landquartmündung, wo der Alpenrhein von alternierenden Kiesbänken geprägt ist (Abbildung 15). Männchen Code 07 erreichte seinen Laichplatz sehr früh. Ab dem 06.09.2006 wurde er stets im Gebiet rund um die Sohlrampe in Buchs geortet. Am 08.10.2006 begann er die Rückwanderung in den Bodensee und traf dort nach 4 Tagen ein. Männchen Code 06 erreichte sein mögliches Laichgebiet am 29.09.2006. Er laichte vermutlich zwischen der Brücke Trübbach (Rkm 31.1) und der Sohlrampe "Ellhorn" (Rkm 34.0). Nach dem Oktoberhochwasser konnten bis zur letzten Ortung im Dezember keine Positionsveränderungen festgestellt werden.

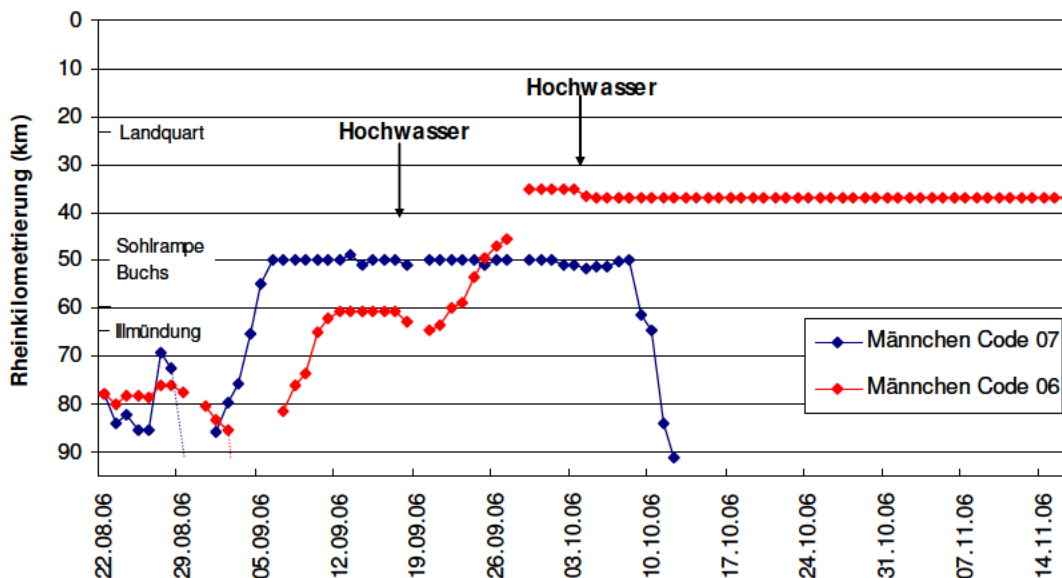


Abbildung 15: Wandermuster der Seeforellen Code 07 und Code 06.

Eine Gruppe von 2 Individuen hat vermutlich unterhalb der Illmündung in der "Internationalen Strecke" gelaicht (Abbildung 16). Verglichen mit den anderen Gruppen befinden sich diese gewählten Laichplätze sehr nahe bei der Mündung des Alpenrheins in den Bodensee. Seeforelle Code 42 bezog ihren Laichplatz schon am 26.08.2006. Bis zur letzten Ortung am 29.11.2006 hielt sie sich ständig im Gebiet zwischen der Ehbachmündung (Rkm 69.7) und der Frutzmündung (Rkm 68.6) auf. Weil diese Forelle ab Mitte Oktober nur noch wöchentlich geortet wurde, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sie kurzfristig in den Ebach eingestiegen ist. Aufgrund einer unüberwindbaren Betonschwelle bei der Mündung in den Alpenrhein kann die Frutz als mögliches Laichgewässer ausgeschlossen werden.

Forelle Code 52 befand sich ab dem 25.09.2006 ständig zwischen Rkm 82.3 und Rkm 84.3 und hat vermutlich in diesem Gebiet gelaicht.

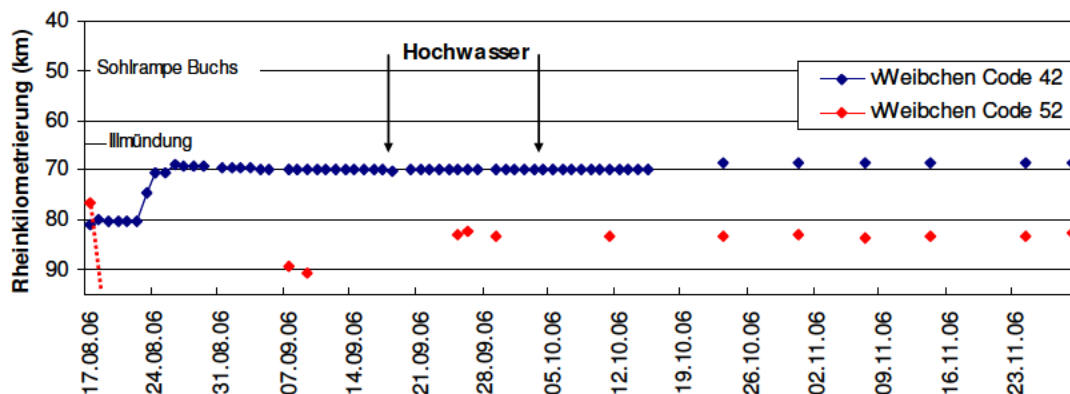


Abbildung 16: Wandermuster der Seeforellen Code 42 und Code 52. Ab Ende September wurde Forelle Code 52 aus Zeitgründen nicht mehr regelmässig geortet.

Die letzte Gruppe von drei Fischen, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie im Alpenrhein laichten, befand sich bis zum Ende der Hauptuntersuchung am 16.11.2006 immer noch in der Aufstiegsphase (Abbildung 17). Aufgrund von Kontrollgängen im Dezember und Ortungen mit der automatischen Messstation in Domat /Ems wird vermutet, dass sie im Gebiet zwischen der Plessurmündung (Rkm 9.63) und dem Kraftwerk Reichenau gelaicht haben.

Die im Dezember durchgeführten Kontrollgänge zeigten, dass sich die beiden Weibchen Code 53 und 45 ab dem 06.12.2006 bis ca. 300 m unterhalb der Plessurmündung aufhielten. Männchen Code 18 wurde am 24.11.2006 mittels "Handtracking" zum letzten Mal vor der Landquartmündung geortet. Diese Fische traten bis Ende Dezember die Rückwanderung in den Bodensee an (mehr in Kapitel 3.6).

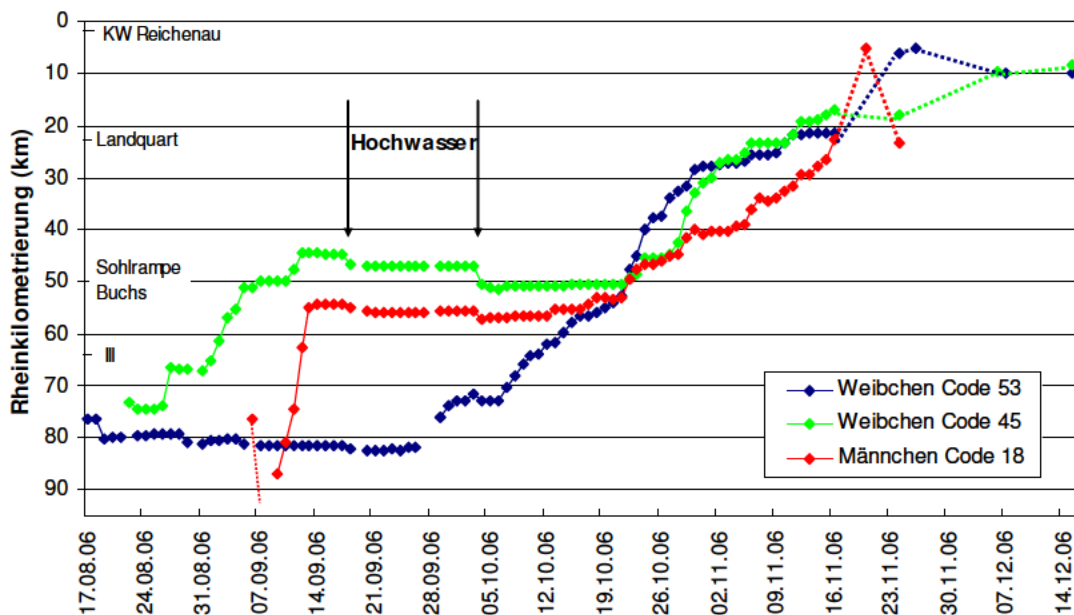


Abbildung 17: Wandermuster der Seeforellen Code 53, 45 und 18.

### 3.2.3 In Seitengewässer eingestiegen (2 Individuen)

Zwei Männchen sind zum Laichen in Seitengewässer des Alpenrheins eingestiegen. In Abbildung 18 ist ersichtlich, wie Männchen Code 19 bis am 02.10.2006 bis ca. 2 km flussaufwärts der Brücke Sevelen gewandert war. Vermutlich in der Nacht auf den 03.10.2006 schwamm er im Alpenrhein ca. 27 km flussabwärts und stieg am Morgen des 03.10.2006 in den Ehbach ein. Am Folgetag konnte dieser Fisch nicht mehr im Ehbach gefunden werden. Beim nächsten Kontrollgang bis zum Bodensee wurde er am 11.10.2006 in der Rheinmündung geortet.



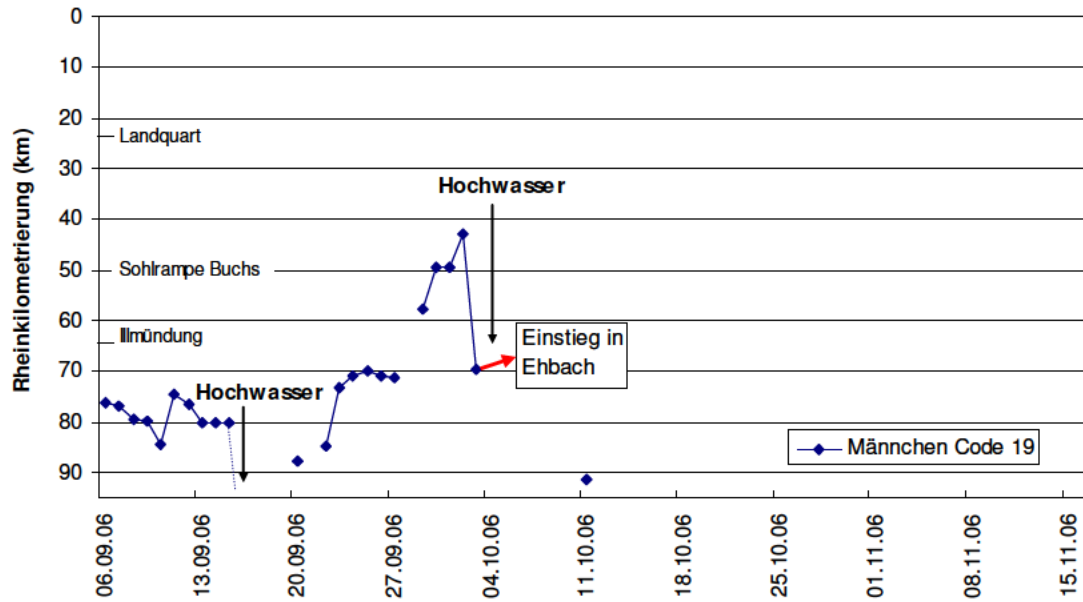


Abbildung 18: Wandermuster des Männchens Code 19 (die Abwärtswanderungen fanden jeweils vor den Hochwasserereignissen statt).



Abbildung 19: Ehbach – gleichförmiges Gerinne mit trapezförmigem Profil.



Abbildung 20: Männchen Code 19 im Ehbach, 03.10.2006.

Bis am 08.11.2006 war Männchen Code 21 bis nach Chur gewandert, schwamm dann über Nacht 15 km flussabwärts und stieg am 09.11.2006 in die Landquart ein (Abbildung 21). Für den Laichfischfang wurde die Landquart am Morgen des 10.11.2006 im Auftrag des Kantons Graubünden von einem Fischereiverein elektrisch abgefischt. Dabei wurde auch der markierte Fisch elektrisch gefangen und sofort wieder in die Landquart rückversetzt. Aufgrund des durch die elektrische Befischung erfahrenen Stress ist er anschliessend in den Rhein verdriftet worden, bis er ca. 800 m flussabwärts der Landquartmündung bis am Abend

eine stationäre Phase einlegte. Dies war die letzte Ortung dieser Seeforelle bis zum Ende der Hauptuntersuchung (16.11.2006).

Am 29.11.2006 wurde dieser Fisch während eines Kontrollgangs im Saarkanal, ca. 3 km oberhalb der Mündung in den Alpenrhein, gefunden. Die Mündung des Saarkanals liegt ca. 15.5 km flussabwärts der Landquartmündung. Bis am 15.12.2006 wurde er dreimal geortet und befand sich stets im selben Abschnitt +/-300 m.

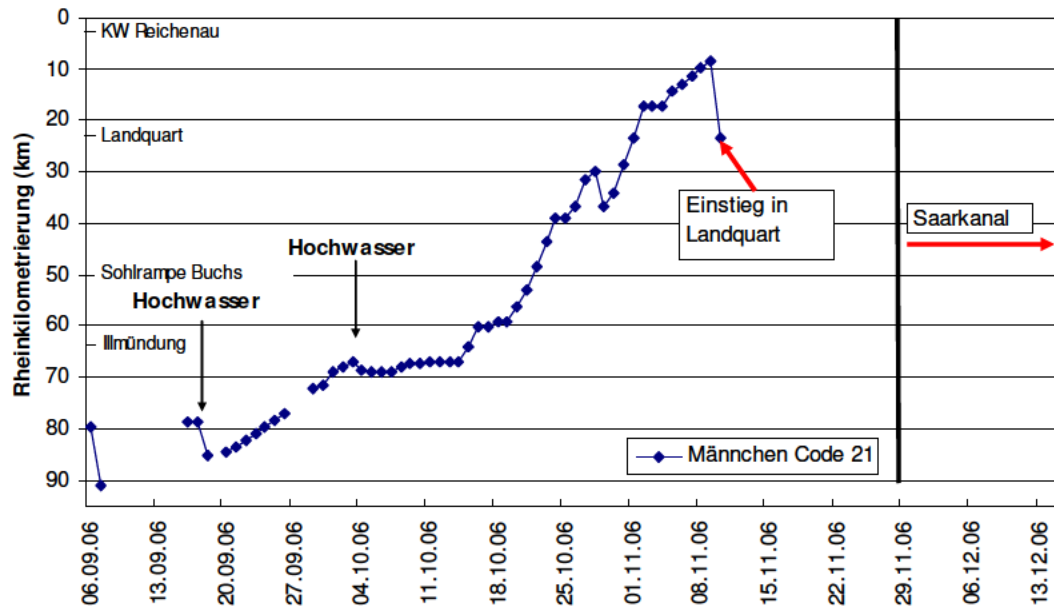


Abbildung 21: Wandermuster des Männchens Code 21.

### 3.2.4 Im Verlauf der Aufwärtswanderung nicht mehr auffindbar (5 Individuen)

Fünf Seeforellen konnten im Verlauf der Aufwärtswanderung nicht mehr aufgefunden werden. Keiner dieser Fische hatte die "Internationale Strecke" passiert (Abbildung 22). Ob diese Fische zurück in den Bodensee oder in ein Seitengewässer gewandert sind, bleibt unklar.

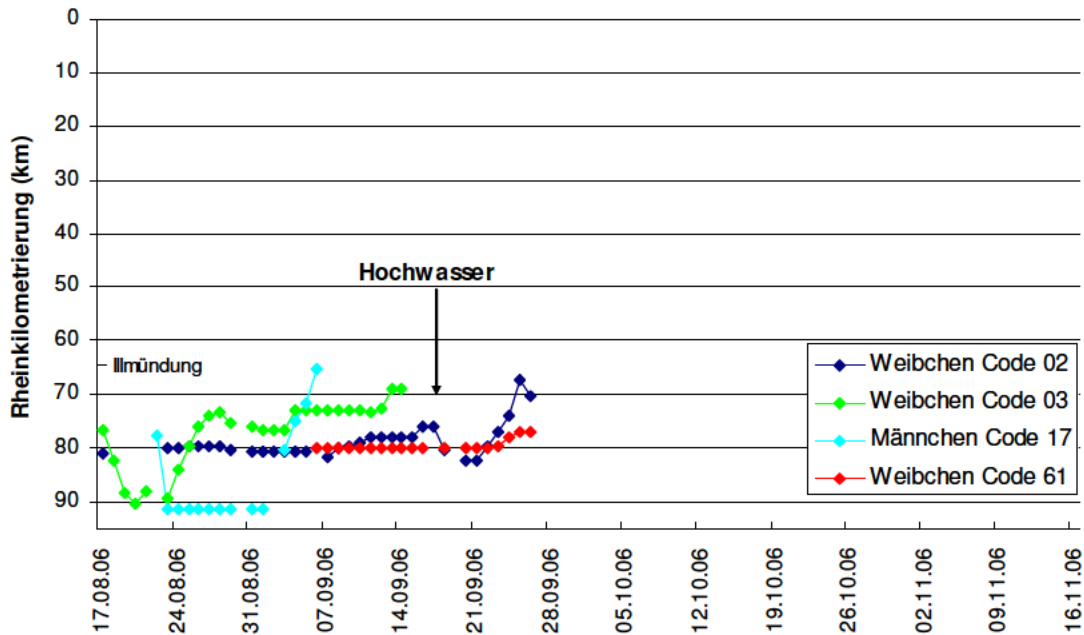


Abbildung 22: Wanderverlauf der Gruppe „unauffindbar“. Weibchen Code 43 zeigte nach einer Rückwanderung in den See nur 3 flussaufwärtsgerichtete Bewegungen im Alpenrhein und ist nicht abgebildet.

### 3.2.5 Keine Aufwärtswanderung (5 Individuen)

Bei fünf markierten Seeforellen wurden keine Aufwärtswanderungen festgestellt. Beim weiblichen Fisch Code 22 konnten nur sechs kurze, flussabwärtsgerichtete Bewegungen mit stationären Phasen beobachtet werden. Er hielt sich ständig 6-10 km flussaufwärts der Rheinmündung auf und war 20 Tage nach der Markierung nicht mehr im Alpenrhein auffindbar. Weibchen Code 23 schwamm nach der Markierung in den Bodensee zurück, zeigte nach 2 Tagen eine kurze Aufwärtswanderung im Alpenrhein und blieb für den Rest der Untersuchungszeit verschwunden. Drei Seeforellen (Code 20, 51, 60) konnten nie im Alpenrhein geortet werden.

### 3.3 Wanderverhalten in der Aufstiegsphase

#### 3.3.1 Mittlere Wanderbewegungen

Nach der Markierung und Rückversetzung in den Alpenrhein schwammen alle Forellen flussabwärts und legten anschliessend stationäre Phasen von unterschiedlicher Dauer ein. Beim Betrachten der Forellen, welche die "Internationale Strecke" passiert hatten (N=12), wurden nach der Wiederaufnahme der Aufwärtswanderung mittlere Tagesgeschwindigkeiten von 1751 – 7007 m/Tag beobachtet (Tabelle 8). Sie legten individuelle stationäre Phasen von unterschiedlicher Dauer ein (0-48 Tage). Oft waren die stationären Phasen und die flussabwärts gerichteten Positionsveränderungen an die Hochwasserereignisse gekoppelt (mehr Kapitel 3.5.2). Zwischen Männchen und Weibchen fanden sich weder bei den mittleren Tagesgeschwindigkeiten in der Aufstiegsphase (Mann-Whitney,  $p=0.166$ ) noch bei den stationären Phasen (Mann-Whitney,  $p=0.095$ ) signifikante Unterschiede. Abflussunabhängige Abwärtswanderungen zeigten ausschliesslich solche Seeforellen, welche in ein Seitengewässer eingestiegen waren. Männchen Code 21 schwamm beispielsweise während einer aktiven Aufwärtswanderung am 28./29.10.2006 über 6 km flussabwärts und nahm am selben Tag die Wanderung wieder auf.

Tabelle 8: Aufstiegsphasen ab der Wiederaufnahme der Aufwärtswanderung nach der Markierung. ( $\uparrow$ : Aufwärtswanderung,  $-$ : stationäre Phase,  $\downarrow$ : Abwärtswanderung). In dieser Tabelle sind diejenigen Seeforellen berücksichtigt, welche die Illmündung passiert hatten.

Forelle (Code/Sex)	Fang (Datum)	Aufstiegsphase						$\uparrow$ (m/Tag)	
		Dauer	Tage	km	$\uparrow$ (Tage)	$-$ (Tage)	$\downarrow$ (Tage)	Mw	$\sigma_x$
<i>Aufstieg bis KW Reichenau</i>									
46 (M)	22.08	12.09 - 11.10	30	90	18	9	3	5149	2950
55 (M)	06.09	12.09 - 26.10	45	80.5	24	18	3	3398	2852
05 (R)	22.08	08.09 - 28.10	50	90	21	26	3	4260	2577
<i>Im Alpenrhein gelaicht (vor 16.11.06)</i>									
48 (M)	22.08	05.09 - 25.10	51	83	28	20	3	3151	2718
47 (vM)	22.08	21.09 - 22.10	32	62.5	20	11	1	3211	1954
07 (M)	22.08	31.08 - 06.09	6	42	6	0	0	7007	2820
06 (M)	22.08	06.09 - 29.09	25	57	16	7	2	3743	2155
<i>Im Alpenrhein gelaicht (nach 16.11.2006)</i>									
18 (M)	06.09	08.09 - 16.11	70	69.5	30	33	7	2466	2646
53 (R)	17.08	26.09 - 16.11	52	50	34	17	1	1791	1174
45 (R)	22.08	25.08 - 16.11	84	57.5	28	48	8	2311	1706
<i>Abwärtswanderung mit Einstieg in Seitengewässer</i>									
19 (M)	06.09	18.09 - 02.10	15	51	12	0	2	4468	3494
21 (M)	06.09	16.09 - 09.11	54	70	33	17	4	2431	1618

In der „Internationalen Strecke“ (ca. 26 km) zeigten fünf Seeforellen schnelle mittlere Initialwanderungen von 6434 - 8363 m/Tag (andere < 4000 m/Tag). Im Vergleich zur Strecke zwischen Illmündung und Kraftwerk Reichenau fanden sich trotzdem keine signifikanten Unterschiede in den mittleren Wanderbewegungen (Mann-Whitney,  $p=0.133$ ).

### **3.3.2 Maximale Wandergeschwindigkeiten**

Während der Feldarbeit wurden selten Seeforellen geortet, welche gerade aktiv am Wandern waren. In wenigen Fällen konnte beobachtet werden, dass auf Wanderphasen von 10 - 60 Minuten eine Ruhephase folgte. Diese Ruhephasen dauerten wenige Minuten bis zu mehrere Stunden, bis die Seeforellen weiter wanderten. Zwischen der Illmündung und dem Kraftwerk Reichenau wurden bei Nachtuntersuchungen maximale Geschwindigkeiten von 0.5-1 km/h beobachtet. In der „Internationalen Strecke“ wanderten sie zu Beginn der Untersuchung auch tagsüber mit Geschwindigkeiten von 0.6-1.3 km/h.

Zur Auswertung der maximal zurückgelegten Wanderdistanz innerhalb von ca. 24 Stunden (Tagesgeschwindigkeit) wurden aus den markierten Individuen diejenigen ausgewählt, welche an mehreren Untersuchungstagen messbare Positionsveränderungen zeigten. In der „Internationalen Strecke“ zeigten 15 Seeforellen eine ausgeprägte Aufwärtswanderung, zwischen Illmündung und Reichenau deren 12 (Abbildungen 23 und 24, Tabelle 9).

In der „Internationalen Strecke“ zeigten Männchen schnellere maximale Tagesgeschwindigkeiten. Es konnte aber kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden (Mann-Whitney,  $P=0.086$ ). In der Strecke zwischen der Illmündung und dem Kraftwerk Reichenau erreichten beide Geschlechter ähnliche maximale Geschwindigkeiten (Mann-Whitney,  $p=0.356$ ). Die maximalen Tagesgeschwindigkeiten korrelieren in beiden Strecken nicht mit der Totallänge der Fische ( $R_{sp}: 0.184$ ,  $p=0.346$ ).

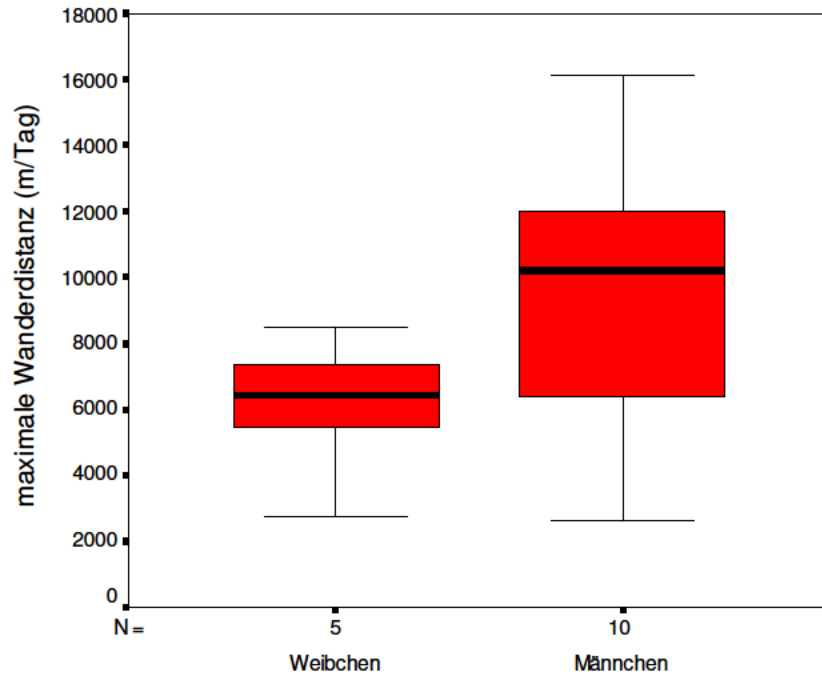


Abbildung 23: "Internationale Strecke" vom Bodensee bis zur Illmündung: Boxplots mit den maximal beobachteten Wanderdistanzen während einem 24-Stunden Zyklus für Weibchen und Männchen.

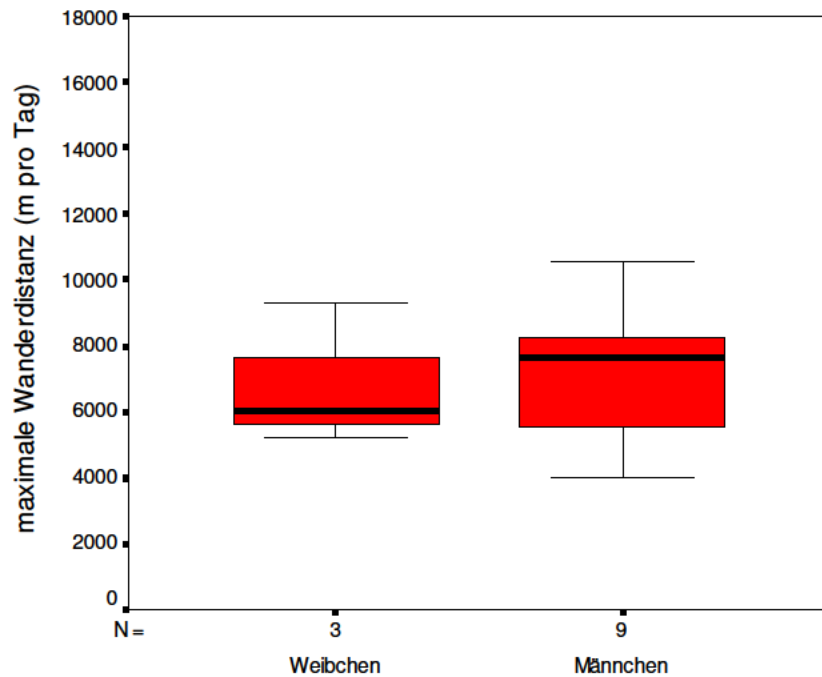


Abbildung 24: Strecke Illmündung bis Kraftwerk Reichenau: Boxplots mit den maximal beobachteten Wanderdistanzen während einem 24-Stunden Zyklus für Weibchen und Männchen.

Tabelle 9: Maximal beobachtete Wanderdistanzen während einem 24-Stunden Zyklus.

	N	Min	Max	Mw	$\sigma_x$
Maximaler Aufstieg (m/Tag) "Internationale Strecke"					
Weibchen und Männchen	15	2'630	16'120	8'508	3'790
Weibchen	5	2'720	8'460	6'086	2'182
Männchen	10	2'630	16'120	9'719	3'917
Maximaler Aufstieg (m/Tag) Illmündung – KW Reichenau					
Weibchen und Männchen	12	4'010	10'520	7'169	2'045
Weibchen	3	5'260	9'280	6'860	2'131
Männchen	9	4'010	10'520	7'272	2'137

### 3.4 Tag- /Nachtbewegungen

Insgesamt wurden 7 Nachtuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden 17 nächtliche Wanderbewegungen registriert (Tabelle 10). Bei Forelle Code 55 handelt es sich am 16./17.09.2006 um die einzige Wanderbewegung in der "Internationalen Strecke". Die restlichen Resultate stammen aus Untersuchungen in der Strecke zwischen der Illmündung und dem Kraftwerk Reichenau.

Die beobachteten Seeforellen legten während der Nacht signifikant längere Wanderdistanzen zurück (Wilcoxon,  $p=0.001$ ) als bei Tag.

Tabelle 10: Vergleich Tag- /Nachtwanderungen

Datum	Forelle (Code)	Tagwanderungen (m)	Nachtwanderungen (m)
10./11.09.2006	48	190	3340
	06	1130	0
16./17.09.2006	55	1540	5920
	48	0	750
30.09./01.10.2006	05	270	3070
	48	0	1560
	47	0	2230
10./11.10.2006	46	0	1340
	55	220	540
16./17.10.2006	05	410	1520
	48	260	430
	47	0	4730
	55	910	9070
21./22.10.2006	05	1060	9050
	48	0	5780
	47	0	3160
25./26.10.2006	21	1110	4110

### 3.5 Einfluss von abiotischen Umweltfaktoren auf das Wanderverhalten

#### 3.5.1 Abfluss - Schwallbetrieb

Wie bereits in Kapitel 1.4.2 erwähnt, ist das Abflussregime des Alpenrheins durch den Schwallbetrieb im Vorder- und Hinterrhein sowie einiger Zubringer geprägt. Dies führt dazu, dass Wochentags zumeist hohe Schwallamplituden, an den Wochenenden in der Regel geringe Schwallamplituden vorhanden sind.

Zu Beginn der Untersuchung führte der grosse Zubringer Ill bis Ende September auch an den Wochenenden Schwallspitzen. Daraus resultierten in der "Internationalen Strecke" unregelmässige Abflussrhythmen. Deswegen wurde für die Untersuchung des Schwalleinflusses auf das Wanderverhalten nur die Strecke ab Illmündung bis zum Kraftwerk Reichenau als Systemgrenze definiert (62.5 km Fließstrecke). In diesem Gewässerabschnitt ist der Abfluss im Alpenrhein hauptsächlich von den Wassermassen ab dem Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein geprägt.

Die Seeforellen Code 07 und 06 hatten ihre Laichplätze ca. bei Rkm 50.0 und 36.8 bezogen. Weil diese Fische die Laichplätze nach wenigen Wandertagen erreichten, können keine Vergleiche bezüglich Schwall/Sunk durchgeführt werden. Dasselbe gilt für Männchen Code 19, welcher oberhalb der Illmündung nach vier Aufwärtswanderungen zurückgewandert und in den Ehbach eingestiegen ist.

Zur Analyse, ob die durch Schwall/Sunk bedingten Abflussschwankungen einen Einfluss auf die täglich zurückgelegten Distanzen haben, wurden somit Daten von insgesamt 9 Seeforellen herangezogen (Tabelle 11). Mit einer Ausnahme legten die Seeforellen an den Wochenenden bei Niederwasser signifikant längere mittlere Wanderdistanzen zurück (Wilcoxon,  $p=0.007$ ) als Wochentags.

*Tabelle 11: Mittlere Wanderdistanzen in der Strecke zwischen der Illmündung und dem Kraftwerk Reichenau – Wochentags mit Schwalleinfluss und am Wochenende bei Niederwasser. Diagramme zu den täglich zurückgelegten Wanderdistanzen befinden sich im Anhang.*

Forelle Code	Wanderungen Wochentags in Meter					Wanderungen Wochenende in Meter				
	N	Min	Max	Mw	$\sigma_x$	N	Min	Max	Mw	$\sigma_x$
46	10	1340	9870	<b>4525</b>	2690	5	2010	7580	<b>4458</b>	2407
55	14	450	7310	<b>2516</b>	2309	6	880	9760	<b>5142</b>	3338
5	13	400	5960	<b>2992</b>	1662	5	2290	9280	<b>5832</b>	3035
47	11	810	5700	<b>2681</b>	1607	5	1380	8010	<b>3548</b>	2591
48	14	450	4570	<b>1872</b>	1358	10	860	12670	<b>4253</b>	3483
45	17	390	4270	<b>1855</b>	1251	10	730	6040	<b>2550</b>	1683
18	21	420	7710	<b>1379</b>	1666	7	610	3360	<b>2270</b>	980
21	13	1150	6430	<b>3194</b>	1792	7	1020	4780	<b>3264</b>	1307
53	19	430	5180	<b>1437</b>	1229	9	860	5260	<b>2303</b>	1351



### 3.5.2 Hochwasser

Während der Untersuchungsphase wurden zwei Hochwasserereignisse beobachtet (Abbildungen 25, 26). Die Hochwasserspitzen betragen am 17.09.2006 bei der hydrologischen Messstation in Domat /Ems 344 m<sup>3</sup>/s, respektive 753 m<sup>3</sup>/s um Mitternacht vom 03.10. auf den 04.10.2006. In beiden Fällen handelt es sich bei den registrierten Hochwasserspitzen um jährlich wiederkehrende Hochwasser und sind somit als kleine Hochwasser einzustufen (Datenquelle: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie).

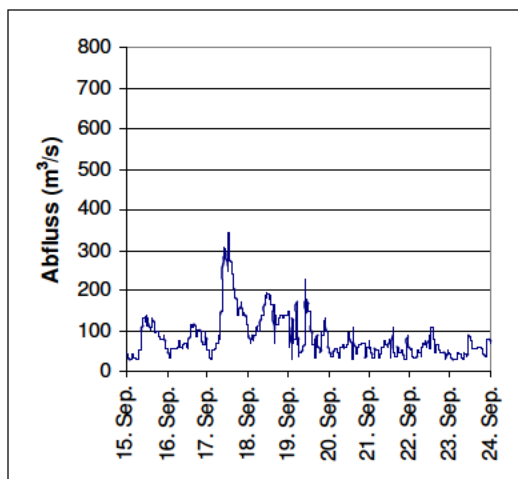


Abbildung 25: September - Hochwasser.  
Hydrologische Messstation in Domat /Ems.

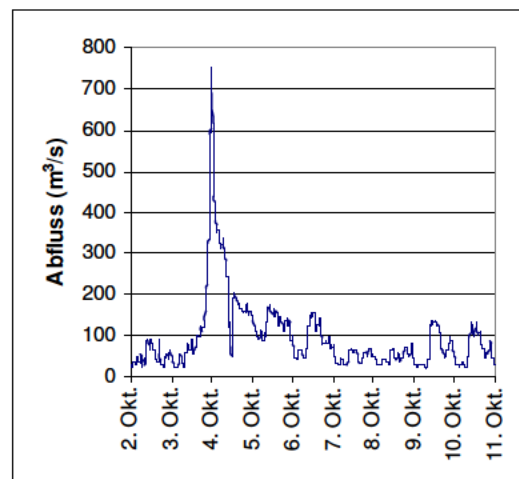


Abbildung 26: Oktober - Hochwasser.  
Hydrologische Messstation in Domat /Ems.

In Tabellen 12 und 13 ist ersichtlich, dass mit den Hochwasserereignissen, bis auf eine Ausnahme (Code 61, 17.09.2006), alle Forellen flussabwärts verdriftet wurden. In beiden Fällen besteht keine Korrelation zwischen der Totallänge der Fische und der maximalen Verdriftung (HW-Sept:  $R_{sp}=-0.350$ ,  $p=0.265$ ; HW-Okt:  $R_{sp}=-0.280$ ,  $p=0.379$ ).

*Tabelle 12: Hochwasser vom 17.09.2006.*

Seeforelle (Code)	Verdriftung		stationäre Phase (Tage)	Fortsetzung der Wanderung nach (Tagen)
	(m)	(Tage)		
2	-6390	3	1	4
5	-1290	1	1	2
6	-3720	3	0	3
7	-850	1	0	1
18	-1600	4	7	11
21	-6510	1	0	1
42	-490	1	1	2
45 *	-2330	2	13	keine*
46	-1670	3	3	6
48	-1200	2	1	3
53	-800	2	2	4
61	0	0	5	5

\* Code 45: Nach der Verdriftung durch das Hochwasser wurden bis zum folgenden Hochwasser vom 03./04.10.2006 keine Wanderbewegungen beobachtet.

*Tabelle 13: Hochwasser vom 03./04.10.2006.*

Seeforelle (Code)	Verdriftung		stationäre Phase (Tage)	Fortsetzung der Wanderung nach (Tagen)
	(m)	(Tage)		
5	-2850	2	10	12
6 *	-1500	2	?	keine*
7	-850	1	0	1
18	-1590	1	0	1
21	-2030	2	2	4
42	-240	1	1	2
45 *	-4380	3	15	18*
46	-2010	1	4	5
48	-3870	7	3	10
53	-1490	1	2	3
47	-250	1	9	10
55	-190	2	8	10

\* Code 06: Nach der Verdriftung durch das Hochwasser wurden bis zum Ende der Untersuchung keine weiteren Bewegungen registriert.

\* Code 45: Nach der Verdriftung durch das Hochwasser wurden bei diesem Fisch während 18 Tagen nur kurze, positive und negative, Positionsveränderungen (<300 m) beobachtet, bis er vom 21.10. auf den 22.10.2006 die Aufwärtswanderung fortsetzte.

### 3.5.3 Wassertemperatur

Während der Untersuchungszeit schwankte die mittlere Wassertemperatur in Diepoldsau bis Ende Oktober zwischen 8 – 14 °C. Es wird angenommen, dass in dieser Zeit die kleinen Tagesschwankungen keinen Einfluss auf das Wanderverhalten hatten. Vom 01. - 04.11.2006 führte ein starker Rückgang der Wassertemperatur von ca. 9.5 °C auf 3.5 °C zu einer fast gänzlichen Einstellung der Wanderaktivitäten (Abbildung 27). Zu diesem Zeitpunkt befanden sich noch vier Seeforellen in der Aufstiegsphase, welche dann allerdings am Wochenende bei Niederwasser und ähnlich tiefen Wassertemperaturen weiter wanderten.

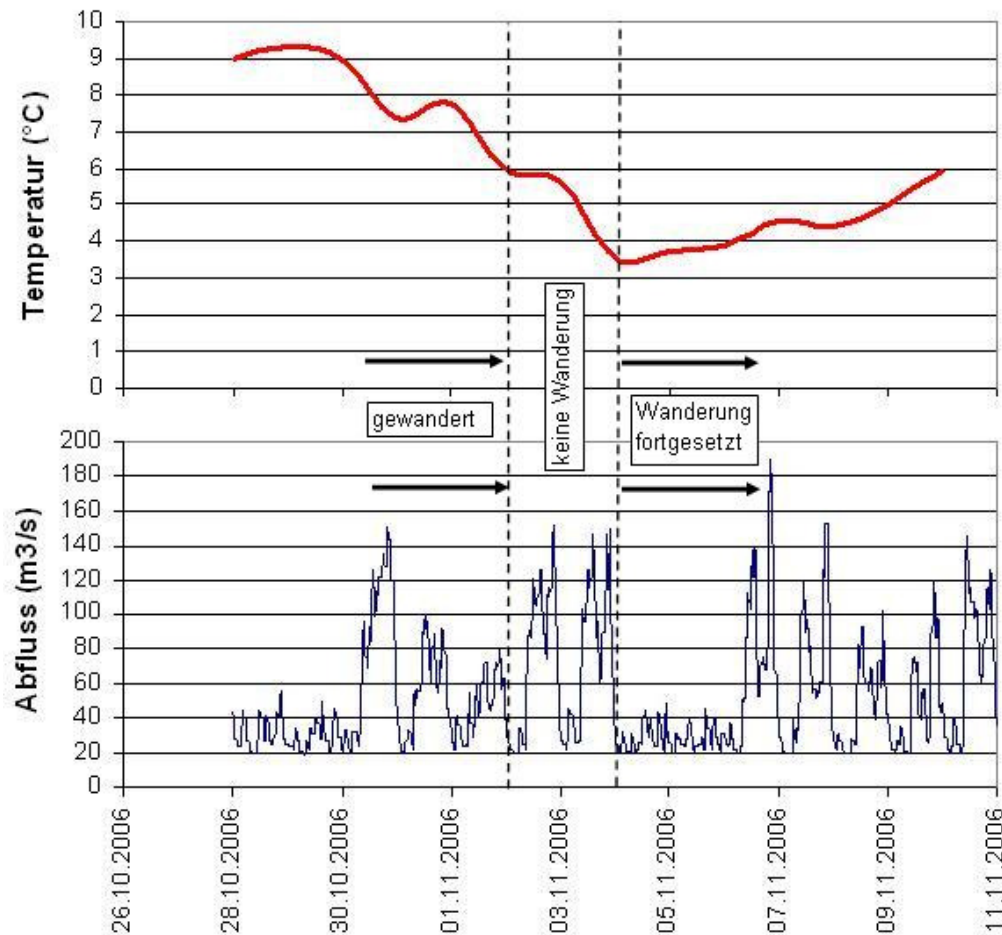


Abbildung 27: Temperaturrückgang ab Ende Oktober (Datenquelle Abfluss in Domat/Ems: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie. Datenquelle Temperatur in Domat/Ems: Automatischer Temperaturlogger (Hersteller: Vemco, Kanada)).

### 3.6 Rückwanderung in den Bodensee nach dem Ablachen

Während der Hauptuntersuchung bis am 16.11.2006 wurden bei zwei Seeforellen Rückwanderungen in den Bodensee beobachtet. Männchen Code 07 laichte in der Nähe der Sohlrampe in Buchs. Nach einer viertägigen Abwärtswanderung (ca. 40 km) erreichte er am 12.10.2006 den Bodensee. Beim männlichen Fisch Code 19 konnte der genaue Zeitpunkt der Rückwanderung nicht beobachtet werden. Nachdem er am 03.10.2006 in den Ehbach eingestiegen war, wurde er am 12.10.2006 in der Rheinmündung geortet.

Mit der am 29.11.2006 installierten Registrierstation bei der Rheinmündung wurden weitere Rückwanderer registriert. Bis am 10.01.2007 passierten insgesamt sechs markierte Fische die Registrierstation (Tabelle 14). Dabei handelte es sich bei fünf Seeforellen um Fische, welche im Alpenrhein gelaicht hatten. Die Abwanderungsgeschwindigkeiten konnten bei diesen Seeforellen nicht berechnet werden, weil der genaue Zeitpunkt des Beginns der Rückwanderung nicht bekannt ist. Ein weiterer Fisch (Code 55), der Ende Oktober die Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau passiert hatte, wurde am 30.11.2006 unterhalb des Kraftwerks Reichenau von der Registrierstation in Domat /Ems erfasst. Anschliessend passierte er nach 35 Stunden die Registrierstation bei der Rheinmündung und gelangte in den Bodensee. Dies entspricht einer Abwanderungsgeschwindigkeit von 2.5 km/h.

Tabelle 14: In der Rheinmündung erfasste Rückwanderer mittels automatischer Registrierstation (ARS).

Gruppe /Code	Letzte Ortung im Alpenrhein /Methode	Rkm	Ortung in der Rheinmündung /Methode	Rkm
<i>Aufstieg bis zum KW Reichenau (Total 3 Individuen)</i>				
55	30.11.2006 (ARS-Domat /Ems)	4.6	02.12.2006 (ARS-Rheinmündung)	92.0
<i>Im Alpenrhein gelaicht ( Total 9 Individuen)</i>				
18	24.11.2006 ("Handtracking")	23.2	29.11.2006 (ARS-Rheinmündung)	92.0
48	24.11.2006 ("Handtracking")	9.8	03.12.2006 (ARS-Rheinmündung)	92.0
45	15.12.2006 ("Handtracking")	8.3	19.12.2006 (ARS-Rheinmündung)	92.0
53	15.12.2006 ("Handtracking")	9.9	20.12.2006 (ARS-Rheinmündung)	92.0
47	15.12.2006 ("Handtracking")	20.9	01.01.2007 (ARS-Rheinmündung)	92.0

## **4 Diskussion**

### **4.1 Methode**

Die Seeforellen zeigten unmittelbar nach dem Einpflanzen des Senders und nach der Rückversetzung in den Alpenrhein Abwärtsbewegungen bis zu maximal 19 km, d.h. zum Teil bis zurück in den Bodensee. Bei den meisten Seeforellen konnten 1-10 Tage nach der Markierung deutliche Aufwärtsbewegungen beobachtet werden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Schwimmleistung aufgrund der eingesetzten Sender erfolgte. Einzig bei drei Seeforellen, welche nach der Markierung nie geortet werden konnten, sind die Auswirkungen der elektrischen Befischung und der Operation unklar. Ähnliche Beobachtungen liegen auch aus anderen Studien vor. Monet & Soares (2001) beobachteten unmittelbar nach der Markierung von Seeforellen eine postoperative Rückwanderung von mehreren hundert Metern. Heggberger et al. (1988) gingen davon aus, dass fünf Tage nach der Rückversetzung von markierten Atlantischen Lachsen die Wanderbewegungen als normales Wanderverhalten zu betrachten waren. Nach Jepsen et al. (2002) hat sich in mehreren Langzeituntersuchungen die Methode der internen Markierung in der Bauchhöhle bewährt.

### **4.2 Wo haben die Seeforellen gelaicht?**

#### **4.2.1 Gruppe Vorder- /Hinterrhein (3 Individuen)**

Die Resultate der vorliegenden Untersuchung zeigen auf, dass aus der Stichprobe von 24 Individuen "nur" drei Fische (12.5%) das gesamte Untersuchungsgebiet von 90 km Fließstrecke durchwanderten. Im Oktober benutzten sie beim Kraftwerk Reichenau die Fischtreppe, um ihre Laichplätze im Vorder- und Hinterrhein aufzusuchen. Demgegenüber stehen die Reusenkontrollen in der Fischtreppe, die belegen, dass in der Reproduktionsperiode 2006/07 448 adulte Seeforellen das Kraftwerk Reichenau passierten (Tabelle 15). Der Literatur kann man entnehmen, dass der Vorder- und Hinterrhein aus geschichtlicher Hinsicht und auch heute noch als wichtigstes Fortpflanzungsgebiet der Bodensee-Seeforelle gilt (Gebler & Michel, 2004; Mürle et al., 2004; Ruhlé et al., 2005). Unsere Resultate sollen nicht den Schluss nahelegen, dass diesem Laichgebiet eine geringe Bedeutung zukommt. Es gilt zu berücksichtigen, dass die geringe Stichprobe von 24 Fischen ein breites Spektrum von Seeforellen mit unterschiedlichem "Homing"-Verhalten repräsentiert.

Tabelle 15: In der Kontrollreuse des Kraftwerks Reichenau erfasste Seeforellen (2001 – 2006; Zahlengrundlage: Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden).

<b>Seeforellen</b>	2006	2005	2004	2003	2002	2001
Weibchen	274	240	247	216	327	524
Männchen	169	196	177	169	176	381
Unbekannt	5	3		4	3	5
<b>Total</b>	<b>448</b>	<b>439</b>	<b>424</b>	<b>389</b>	<b>506</b>	<b>910</b>

Bei dieser Gruppe war speziell, dass sie bei der Zentrale des Kraftwerks Reichenau die Restwasserstrecke schnell gefunden hatten. Nach Arnekleiv & Kraabol (1996) finden Meerforellen im Norwegischen Fluss "Gudbrandsdalslagen" aufgrund der im Turbinenhaus erzeugten Hauptströmung die Restwasserstrecke erst dann, wenn sie aufgrund von erhöhten Wasserständen mehr Wasser führt. Sie beobachteten Wartezeiten von bis zu 10 Tagen, bis die Meerforellen in die Restwasserstrecke stiegen. Beim Kraftwerk Reichenau scheint der Dotierabfluss von 3 m<sup>3</sup>/s auszureichen, um die Seeforellen in die Restwasserstrecke zu leiten.

Die Kontrollreuse in der Fischtreppe ermöglichte die Feststellung von Gewichtsveränderungen zwischen dem Fangtag und dem Eintreffen beim Kraftwerk Reichenau. Es stellte sich heraus, dass die markierten Seeforellen an Körpermasse verloren (7.9 – 12%) hatten. Nach Bernatchez & Dodson (1987) nehmen Arten der Spezies *Salmo spp.*, also auch Seeforellen, während der Laichwanderung keine Nahrung auf und versorgen sich mit in den Muskeln akkumulierten Fettreserven. Trotz dem gemessenen Gewichtsverlust kann aus der kleinen Stichprobe von drei Fischen nicht mit Sicherheit darauf geschlossen werden, dass Seeforellen im Alpenrhein auf ihrer Laichwanderung keine Nahrung zu sich nehmen.

**FAZIT zum Vorder- und Hinterrhein als Laichgebiet:**

Entgegen unserer Vermutungen, wurde der Vorder- oder Hinterrhein "nur" von 12.5% der markierten Seeforellen besucht. Die wichtige Bedeutung dieses Reproduktionsgebietes bleibt bestehen.

Hypothese 1: "Der grösste Teil der markierten Seeforellen überwindet die Fischtreppe in Reichenau, um die Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein aufzusuchen" → wurde verworfen.

#### 4.2.2 Gruppe Alpenrhein (9 Individuen)

Caviezel (2006) stellte mittels Telemetrieversuchen fest, dass Seeforellen unmittelbar nach dem Passieren des Stausees in Domat/Ems im Vorderrhein laichten. Daher vermutete er, dass auch unterhalb der Fischtreppe im Flussbett des Alpenrheins gelaicht wird. Diese Vermutung wird mit den Resultaten aus unserer Untersuchung bestätigt. Neun Seeforellen (37.5%) haben im Alpenrhein gelaicht, wobei die benutzten Laichgebiete im ganzen Längsverlauf des Alpenrheins weitläufig verteilt waren. Untersuchungen von Eberstaller & Pinka (2001) lassen vermuten, dass im Alpenrhein aufgrund der starken inneren Kolmation eine erfolgreiche Reproduktion nahezu ausgeschlossen werden kann.

Bis zum Ende der Hauptuntersuchung (16.11.2006) befanden sich drei Seeforellen immer noch in der Aufwärtswanderung. Während den anschliessenden Kontrollgängen wurden sie in der Nähe der Plessur-, respektive der Landquartmündung geortet. Trotz Beckenpässen bei den entsprechenden Mündungen ist der Einstieg bei Niederwasser erschwert. Deswegen kann für diese Fische nicht ausgeschlossen werden, dass der Alpenrhein erst sekundär als Laichgewässer gewählt wurde. In ähnlichen Untersuchungen wird darüber berichtet, dass Salmoniden im Hauptgewässer laichen oder weiterwandern, wenn unüberwindbare Hindernisse den Einstieg in die Zuflüsse verunmöglichen (Svendsen et al., 2004; Gosset et al., 2006).

Die weiteren sechs Seeforellen schwammen zielgerichtet den Alpenrhein hinauf und stellten dann ohne Einfluss von Wanderbarrieren die Aufwärtswanderung ein. Bei diesen Fischen ist davon auszugehen, dass der Alpenrhein unmittelbar als Laichgebiet gewählt wurde, ohne alternative Laichplätze in Betracht gezogen zu haben.

#### **FAZIT zum Alpenrhein als Laichgebiet:**

Trotz einer defizitären Gewässermorphologie und der Beeinträchtigung durch Schwallbetrieb spielt der Alpenrhein eine wichtige Rolle als Laichhabitat für Seeforellen.

Hypothese 2: "Ein Teil der markierten Seeforellen benutzt den Alpenrhein als Laichgebiet"

→ wurde bestätigt.

#### 4.2.3 Gruppe Seitengewässer (2 Individuen)

Bei zwei Seeforellen konnte nach einer kontinuierlichen, flussaufwärts gerichteten Wanderung im Alpenrhein eine plötzliche Abwärtswanderung mit anschliessendem Einstieg in ein Seitengewässer beobachtet werden (Code 19: Ehbach; Code 21: Landquart, Saarkanal). Dieses Verhalten ist speziell und wird als "Overshooting" bezeichnet (Aarestrup

& Jepsen, 1998). Es kann damit erklärt werden, dass Fische mit „Homing“-Verhalten die Abzweigung in ein Seitengewässer verpassen und im Hauptfluss weiterwandern. Sobald sie die für das Seitengewässer typische Duftspur verloren haben, schwimmen sie zurück. Dieses Phänomen wurde auch in Dänemark bei der Laichwanderung von Meerforellen beobachtet (Aarestrup & Jepsen, 1998).

Männchen Code 21 stieg zuerst in die Landquart ein. Nachdem er dort im Rahmen einer elektrischen Befischung für den Laichfischfang gefangen wurde und anschliessend in den Alpenrhein zurück schwamm, tauchte er anfangs Dezember flussabwärts der Landquartmündung im Saarkanal auf. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass es sich bei diesem Männchen um einen herumschweifenden „Strayer“ handelt. Inwieweit der erfahrene Stress durch die elektrische Befischung das Wanderverhalten beeinflusste, kann hier nicht geklärt werden.

In der Landquart durchgeführte Laichfischfänge belegen, dass Seeforellen im Zuge ihrer Laichwanderung in dieses Seitengewässer einsteigen. Im November 2006 fiel der Fang mit 25 adulten Seeforellen verhältnismässig klein aus. Im Jahre 2004 wurden 37 und 2005 74 laichreife Seeforellen gefangen (mündl. Mitteilung, Florian Bebi).

**FAZIT zu den Seitengewässern als Laichgebiet:**

Zwei markierte Seeforellen nutzten Seitengewässer für die Reproduktion.

Hypothese 3: „Einige Seeforellen wählen die Seitengewässer des Alpenrheins als Laichgebiet“ → wurde bestätigt.

**4.2.4 Gruppe „nicht mehr auffindbar“ (5 Individuen)**

Nach ausgeprägten Aufwärtswanderungen in der „Internationalen Strecke“ waren fünf Seeforellen ab dem 27.08.2006 bis spätestens Ende September nicht mehr auffindbar. Trotz wiederholten Kontrollgängen kann bei dieser Gruppe nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Forellen unbemerkt in Seitengewässer eingestiegen oder in den Bodensee zurückgewandert sind. Bei diesen Fischen ist auffällig, dass am Fangtag bei vier von fünf Seeforellen der Reifegrad nicht bestimmt werden konnte. Dabei handelte es sich um Seeforellen mit Totallängen von 48.2 – 65.6 cm. Untersuchungen von Schulz (1995) zeigten, dass in den südlichen Zuflüssen des Alpenrheins nur 50% der Seeforellen mit Längen < 61 cm laichreif waren. Deswegen vermuten wir, dass sie die Geschlechts- und Laichreife noch nicht erreicht hatten und in den Bodensee zurückgewandert sind.



#### **4.2.5 Gruppe “keine Aufwärtswanderung“ (5 Individuen)**

Für das Verhalten dieser Gruppe gibt es keine plausible Erklärung. Drei Seeforellen konnten nach der Markierung nie im Alpenrhein geortet werden. Eine weitere Seeforelle schwamm nach der Markierung in den Bodensee zurück und tauchte nach zwei Tagen in der Nähe der Rheinmündung wieder auf. Anschliessend konnte sie nicht mehr im Alpenrhein geortet werden. Der Verbleib dieser Fische ist unklar. Vermutlich sind sie in den Bodensee zurückgewandert.

Der weibliche Fisch Code 22 hielt sich nach der Markierung (06.09.2006) ständig 6-10 km oberhalb der Rheinmündung in den Bodensee auf und zeigte bis zur letzten Ortung am 26.09.2006 nur kurze Abwärtswanderungen. Bei diesem Fisch wurde am Fangtag ein fortgeschrittener Reifegrad (5) diagnostiziert. Deswegen ist die Annahme nicht auszuschliessen, dass er im Alpenrhein zwischen der Brücke Au und der Brücke Lustenau laichte.

### **4.3 Wanderverhalten in der Aufstiegsphase**

Bis zum Erreichen der möglichen Laichgründe war die Strategie in der Aufstiegsphase bei allen markierten Seeforellen sehr verschieden. Es fand sich eine grosse Variation in der Anzahl der Wandertage und der damit einhergehenden mittleren Wandergeschwindigkeit, sowie auch in der Anzahl der Tage mit stationären Phasen. Inwieweit der Abfluss die Dauer der stationären Phasen beeinflusste, konnte nicht eruiert werden. Kurze Abwärtswanderungen waren bis auf wenige Ausnahmen auf Hochwasser zurückzuführen.

Diese stark variierenden Aufstiegsstrategien sind möglicherweise auf die unterschiedlichen “Homing“-Destinationen zurückzuführen. Dedual & Jowett (1999) machten bei der Laichwanderung von Regenbogenforellen im Neuseeländischen “Tongariro River“ ähnliche Beobachtungen. Aufgrund der Verteilung von potentiellen Laichplätzen auf der ganzen Fliessstrecke vermuteten sie, dass die individuellen Wandergeschwindigkeiten und die Dauer der Ruhephasen von der Entfernung der Laichplätze zum See abhingen.

Bei der Interpretation der zurückgelegten Wanderdistanzen ist Vorsicht geboten. Es ist schwierig, die exakten Wandergeschwindigkeiten zu bestimmen, weil zwischen zwei Messpunkten allfällige stationäre Phasen oder kurze Abwärtswanderungen nicht miteinbezogen werden können.

Aus unseren Resultaten geht hervor, dass die mittleren Tagesgeschwindigkeiten über den bei Seeforellen in Norwegen beobachteten Geschwindigkeiten von 0.08-4.15 km/Tag liegen (Rustadbakken et al., 2004). Marmulla & Ingendal (1996) berichten bei Meerforellen über

Tagesraten von 3.30-4.00 km/Tag während drei bis vier aufeinanderfolgenden Tagen. Im Alpenrhein liegen die mittleren Wandergeschwindigkeiten während einer Zeitdauer von 6-34 Tagen bei 1.79-7.07 km/Tag.

Beim Betrachten der maximal zurückgelegten Wanderdistanzen während einem 24-Stunden Zyklus legten die Seeforellen in der "Internationalen Strecke" bis zu 16 km Fließstrecke zurück und oberhalb der Illmündung bis zu 10.5 km. Wenn Seeforellen während einer aktiven Aufwärtswanderung beobachtet wurden, erreichten sie Wandergeschwindigkeiten von 0.50-1.30 km/h. Dieses Resultat liegt im Bereich der Beobachtungen von Gerlier & Roche (1998), welche im Hochrhein bei Meerforellen Schwimmggeschwindigkeiten von 0.80-1.30 km/Tag beobachteten.

#### **4.4 Tag- /Nachtwanderungen**

Die Stichproben der Nachtuntersuchungen zwischen Mitte September und Ende Oktober zeigten, dass die markierten Seeforellen bevorzugt während der Nacht wanderten. Dieses Resultat wird damit gefestigt, dass ab Mitte September, bis auf wenige Ausnahmen, keine bedeutenden Tagwanderungen beobachtet wurden. Zu Beginn der Untersuchung wurden allerdings in der "Internationalen-Strecke" auch tagsüber aufwärtsgerichtete Initialwanderungen beobachtet. In der Literatur wird die Umstellung von Tag- auf Nachtwanderungen auf Änderungen der Wassertemperatur und des Abflusses in Zusammenhang gebracht. Ovidio et al. (1998) und Young (1994) beobachten während der Laichwanderung von adulten Forellen ausschliesslich während der Nacht Wanderaktivitäten. Rustadbakken et al. (2004) hingegen berichten bei Seeforellen über Nachtaktivitäten bei niedrigen Abflussverhältnissen. Da die Wassertemperaturen im Alpenrhein von Mitte September bis Ende Oktober zwischen 8°C und 12°C pendelten, sind die Nachtwanderungen nicht auf Änderungen in der Wassertemperatur zurückzuführen. Die Nachtwanderungen standen auch in keinem Zusammenhang mit dem Abfluss. Sie fanden sowohl Wochentags mit Schwallbetrieb, wie auch an den Wochenenden bei konstantem Niederwasser statt.

#### **FAZIT zu Tag- /Nachtwanderungen**

Wanderungen fanden bei Tag und bei Nacht statt. In der Strecke zwischen der Illmündung und dem Kraftwerk Reichenau jedoch bevorzugt während der Nacht.

Hypothese 4: "Wanderungen finden sowohl bei Tag als auch bei Nacht statt" → wurde bestätigt.

## **4.5 Einfluss von Umweltfaktoren auf das Wanderverhalten**

### **4.5.1 Abfluss - Schwallbetrieb**

Die Untersuchungen im Alpenrhein zeigten, dass die Seeforellen an den Wochenenden bei Niederwasser signifikant längere Wanderdistanzen zurücklegen. Die Störung durch den Schwallbetrieb scheint ein ökologischer Stressfaktor zu sein, der die Motivation zum Aufwärtswandern senkt. Dies soll aber nicht heissen, dass der Schwallbetrieb die Aufwärtswanderung verhindert, zumal auch während der Woche bei Schwallbetrieb zum Teil grosse Wanderbewegungen beobachtet wurden. Diese Feststellung, dass konstante Niederwasserverhältnisse die Aufwärtswanderung fördern, ist mit keinen ähnlichen Studien belegt. Meistens scheinen steigende Wasserstände die Aufwärtswanderung von Salmoniden zu begünstigen (Dedual & Jovett 1999; Jonsson & Jonsson; 2002; Svendsen et al., 2004).

### **4.5.2 Hochwasser**

So wie Dedual & Jovett (1999) bei Regenbogenforellen im Neuseeländischen "Tongariro River" feststellen konnten, wurden die Seeforellen im Alpenrhein bei Hochwasserereignissen im September und Oktober bis zu mehrere Kilometer flussabwärts verdriftet. Aus einer weiteren Studie ging hervor, dass Meerforellen im Norwegischen Fluss "Imsa" bei starken Hochwassern die Wanderung einstellten, weil die starke Strömung ein Weiterwandern verhinderte (Jonsson & Jonsson, 2002). In der Literatur konnten keine Erklärungsansätze für Verdriftungen bei Hochwassern gefunden werden. Möglicherweise können die beobachteten Verdriftungen auf die gewässermorphologische Strukturarmut des Alpenrheins zurückgeführt werden. Nach Eberstaller et al. (1997) sind bei Hochwasser die Schotterbänke zwischen der Tardisbrücke und der Illmündung überflossen. Der Blockwurf bildet dann, wie im Oberlauf und in der "Internationalen Strecke", die Wasseranschlagslinie. Zudem fehlen Strukturelemente wie Totholz oder Buchten. Aufgrund dieser defizitären Flussbett- und Uferstrukturen sind die Seeforellen vermutlich soweit verdriftet worden, bis sie einen geeigneten Rückzugsraum mit geringen Strömungsverhältnissen gefunden hatten.

Die Hochwasserereignisse hatten auch zur Folge, dass einige Seeforellen anschliessend stationäre Phasen von bis zu 18 Tagen einlegten, obwohl die Wasserstände nach jeweils drei Tagen wieder der üblichen Schwall/Sunk - Rhythmik entsprachen. Aufgrund der grossen Variabilität in der Dauer bis zur Wiederaufnahme der Aufwärtswanderung, sind die stationären Phasen vermutlich auf individuelle Migrationsstrategien zurückzuführen oder auf den Einfluss von anderen, nicht gemessenen Umweltfaktoren wie z.B. der Trübung.

**FAZIT zum Einfluss von Abflussschwankungen auf das Wanderverhalten:**

Die Bodensee-Seeforellen wandern bevorzugt bei niedrigen Abflussverhältnissen. Bei Hochwasser werden sie flussabwärts verdriftet.

Hypothese 5: "Abflussschwankungen aufgrund von Schwallbetrieb, Niederwasser und Hochwasser haben einen Einfluss auf das Wanderverhalten der Seeforellen" → wurde bestätigt.

#### **4.5.3 Wassertemperatur**

Die Temperaturschwankungen, wie wir sie während der Untersuchungszeit vorfanden, riefen bei den markierten Seeforellen keine markanten Reaktionen hervor. Dieses Resultat geht mit Untersuchungen von anderen Autoren einher, welche feststellten, dass bei der Aufwärtswanderung von Salmoniden der Abfluss die entscheidende Rolle spielt (Banks, 1969; Jonnson, 1991; Svendsen et al., 2004). Nur bei sehr hohen oder sehr tiefen Wassertemperaturen scheint die Wassertemperatur einen Einfluss auf das Wanderverhalten von Salmoniden zu haben (Trépanier et al., 1996).

#### **4.6 Rückwanderung in den Bodensee**

Nach erfolgtem Laichen kehrten bis zum 10.01.2007 einige der unterhalb des Kraftwerks Reichenau laichenden Seeforellen in den Bodensee zurück. Zu diesen gehörten sechs von neun Individuen, welche im Alpenrhein sowie eine der beiden Seeforellen, welche in Seitengewässern laichten. Für diese Fische kann von einer hohen Überlebensrate ausgegangen werden. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, in ihrem Lebenszyklus mehrmals zu laichen. Bei der weiblichen Seeforelle Code 45, welche in den Bodensee zurückwanderte, handelte es sich bereits um einen mehrfachen Laicher.

Ein markierter Fisch, welcher oberhalb des Kraftwerks Reichenau gelaicht hat, wanderte ebenfalls in den Bodensee zurück. Im Gegensatz zu den Seeforellen, welche unterhalb des Kraftwerks gelaicht hatten und somit ungehindert in den Bodensee zurückwandern konnten, musste dieser Fisch auf seiner Rückwanderung das Kraftwerk überwinden. Wann und wie er dieses Hindernis überwand, konnte nicht festgehalten werden. Es wird vermutet, dass er entweder die Schleuse bei Überlauf überwunden hat oder in den Oberwasserkanal gewandert ist, der das ausgeleitete Wasser zu den Turbinen führt. Die Problematik der Rückwanderung in den Bodensee wird von Peter (2004) und Caviezel (2006) 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. Peter (2004) beobachtete im Jahre 2002, dass bei geöffneten Schleusen aufgrund von erhöhten Wasserständen sechs markierte Seeforellen das Kraftwerk überwinden konnten und in den Bodensee zurückwanderten.

Mit der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau konnte durch eine technische Massnahme das Problem der Aufwärtswanderung gelöst werden. Das Problem der flussabwärts gerichteten Migration bleibt jedoch bestehen. Es sollten international vorhandene Kenntnisse genutzt werden, um beim Kraftwerk Reichenau für die rückwandernden Seeforellen eine technische Lösung zu realisieren. Eine umfassende Übersicht von technischen Massnahmen findet sich in Holzner (2000).

## 5 Fazit

### 5.1 Schlussfolgerungen

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wanderbewegungen der Seeforelle zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau aufzuzeigen, da bisher nur Untersuchungen oberhalb des Kraftwerks Reichenau durchgeführt wurden.

Die Radiotelemetrie–Untersuchung hat gezeigt, dass die Bodensee-Seeforellen aus unserer Stichprobe viele verschiedene Laichgebiete aufgesucht haben. Obwohl “nur“ drei von 24 markierten Seeforellen die Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau passiert haben, bleibt die positive Bedeutung dieser Sanierungsmassnahme aus dem Jahr 2000 unbestritten, zumal in der Kontrollreuse jährlich über 400 adulte Seeforellen registriert werden.

Zwei markierte Seeforellen sind zum Laichen in Seitenbäche eingestiegen. Dazu haben sie bei den Mündungen die entsprechenden Beckenpässe (Landquart, Saarkanal) und Blocksteinrampen (Ehbach) überwunden. Trotzdem bleibt bei den meisten Zubringermündungen ein Sanierungsbedarf bestehen, damit bei Nieder- und Mittelwasser der Einstieg immer gewährleistet ist. Bei verbesserten Einstiegsmöglichkeiten könnten die Seitenbäche als Laichgebiete eine wichtigere Rolle spielen. Bei der aktuellen Situation sind die Seitengewässer von untergeordneter Bedeutung. Überraschend war die Erkenntnis, dass neun Seeforellen unterhalb Domat /Ems im Alpenrhein gelaicht haben. Im Alpenrhein selbst befanden sich historische Laichplätze bei Fläsch, Untervaz (Mastrilser Aue), Zizers, Felsberg und Domat /Ems (Marrer, 1975). Zum Teil wurden diese Laichgebiete besucht: Männchen Code 47 hat in der Mastrilser Aue gelaicht und Männchen Code 48 im Gebiet zwischen dem Militärgelände in Chur und Felsberg. Es ist davon auszugehen, dass weitere Seeforellen in der “Internationalen Strecke“ oder bei Buchs gelaicht haben. Ob das Aufsuchen der Laichplätze im Alpenrhein durch “Homing“-Verhalten oder durch den Einfluss von Umweltfaktoren bedingt ist, bleibt offen. Die in Seitenbächen und im Alpenrhein (unterhalb Domat /Ems) laichenden Seeforellen können ungehindert in den Bodensee zurückwandern. Daraus ergibt sich eine hohe Überlebensrate für die adulten Fische, welche in den Folgejahren erneut Laichwanderungen auf sich nehmen können. Für die im Alpenrhein abgelegten Eier ist jedoch von einer geringen Überlebensrate auszugehen, wie Untersuchungen von Eberstaller & Pinka (2001) gezeigt haben.

Die Dringlichkeit einer Sanierung des Alpenrheins und seiner Zuflüsse ergibt sich aus der Tatsache, dass sich ein bedeutender Teil der markierten Seeforellen für Laichplätze unterhalb des Kraftwerks Reichenau entschieden hat. Aus fischökologischer Sicht kommt der Vernetzung und Revitalisierung der Seitengewässer höchste Priorität zu. Im Alpenrhein

selbst könnte eine Verbesserung der Gewässermorphologie durch weiträumige Gerinneaufweitungen und Geschiebemobilisierung erreicht werden. Dadurch würde sich zudem auch bei Hochwasser die Situation für alle Fischarten des Alpenrheins verbessern. Nicht zuletzt hätte im Alpenrhein eine Reduktion der Schwallamplitude eine Verbesserung der Reproduktionsbedingungen zur Folge. Nach Eberstaller & Pinka (2001) und einem Bericht der IRKA (2004) werden antizyklischer Betrieb des Kraftwerks Reichenau, zeitversetzte Abgabe der Schwälle durch abgestimmte Betriebsweise der Kraftwerke und der Bau von Rückregulierungsbecken als Möglichkeiten für die Reduktion der Schwallamplituden genannt.

Mit der Durchsetzung der voranstehenden Sanierungsmassnahmen könnte die natürliche Reproduktion der Seeforellen im Alpenrhein und seinen Zuflüssen massgeblich verbessert und somit deren Fortbestand gesichert werden.

## **5.2 Weiterführende Untersuchungen**

In der vorliegenden Arbeit zeigte sich die Stichprobe von 24 Seeforellen als knapp bemessen, um abschliessende Aussagen zum Wanderverhalten der Seeforelle zu machen. Aufgrund des grossen Untersuchungsgebiets zwischen dem Bodensee und dem Kraftwerk Reichenau, sowie der zahlreichen potentiellen Laichmöglichkeiten in den verschiedenen Seitengewässern des Alpenrheins, müsste eine grössere Stichprobe verwendet werden. Um ein Gesamtbild aller möglichen Laichhabitate im Einzugsgebiet des Alpenrheins zu erhalten, müssten von Juli bis Oktober im Gebiet der Rheinmündung in den Bodensee Befischungen und Markierungen mit Radiosendern durchgeführt werden. Damit könnte das ganze Spektrum von Frühlaicher bis Spätlaicher und den entsprechend aufgesuchten Laichgebieten abgedeckt werden. Eine derartige Untersuchung wird jedoch sehr umfassend und kostspielig.

Weiterführende Arbeiten sollten neben Temperatur- und Abflussdaten auch die Wassertrübung berücksichtigen.

## 6 Danksagung

Für die Kostenbeteiligung an diesem Projekt bedanke ich mich herzlich bei den Fischereifachstellen der Kantone St.Gallen und Graubünden, des Bundeslandes Vorarlberg und des Fürstentums Liechtenstein.

Dieses Projekt war nur mit umfangreichen elektrischen Befischungen im Alpenrhein realisierbar. Ich bedanke mich bei der ganzen Abfisch-Crew rund um Dr. Armin Peter, Eva Schager, Brigitte Germann, Alois Zwysig und Niklaus Trottmann. Nicht zuletzt gilt auch der Rheinunternehmung ein spezieller Dank für die Hilfe beim Ein- und Auswassern des Elektrofangbootes.

Während der Diplomarbeit erhielt ich von verschiedener Seite persönliche Unterstützung. Ich möchte mich dafür bei folgenden Personen ganz herzlich bedanken:

- Florian Bebi für die Entnahme und Wägung der in der Kontrollreue ankommenden Seeforellen sowie für die wertvollen Auskünfte, die er mir erteilt hat.
- Dr. Armin Peter für die Betreuung und für die wertvollen Tipps. Zudem bedanke ich mich für die Altersbestimmung der Seeforellen.
- Eva Schager für die Mithilfe bei der Betreuung dieser Arbeit, sowie für die Unterstützung bei EDV-Fragen und viele andere Hilfestellungen. Sie nahm sich jedes Mal Zeit.
- Brigitte Germann für die Einführung in die Methode der Radiotelemetrie und für den technischen Support.
- Sara Schubert, Mehdi el Bettah, Lorenzo Ravelli und Thomas Ammann für diverse Hilfestellungen.
- Bei meinen Eltern dafür, dass sie mir für die ganze Untersuchungszeit ein Fahrzeug zur Verfügung gestellt haben.



## 7 Literaturnachweis

- Aarestrup, K. & Jepsen, N. (1998). Spawning migration of sea trout (*Salmo trutta* L.) in a Danish river. *Hydrobiologia* **372**: 275-281.
- Arnekleiv, J. V. & Kraabol, M. (1996). Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river. *Regulated Rivers-Research & Management* **12**(1): 39-49.
- Banks, J. W. (1969). A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *Journal of Fish Biology* **1**: 85-136.
- Bernatchez, L. & Dodson, J. J. (1987). Relationship between bioenergetics and behaviors in anadromous fish migrations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**: 399-407.
- Bernatchez, L. (2001). The evolutionary history of brown trout (*Salmo trutta* L.) inferred from phylogeographic, nested clade, and mismatched analyses of mitochondrial DNA variation. *Evolution* **55**(2): 351-379.
- Bouille, R. I. (2003). La truite commune (*Salmo trutta* L.) dans la région du lac de Neuchâtel; biologie et perspectives de gestion. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel.
- Büttiker, B. & Matthey, G. (1986). Migration de la truite lacustre (*Salmo trutta lacustris* L.) dans le Léman et ses affluents. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* **48**(2): 153-170.
- Caviezel, R. (2006). Reproduktion der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit ETHZ/Eawag. URL: [http://www.rhone-thur.eawag.ch/DplA\\_Seeforelle\\_rc.pdf](http://www.rhone-thur.eawag.ch/DplA_Seeforelle_rc.pdf) (Januar 2007).
- Champigneulle, A., Buttiker, B., Durand, P., Melhaoui, M. (1999). Main characteristics of the biology of the trout (*Salmo trutta* L.) in Lake Léman (Lake Geneva) and some of its tributaries. In: Baglinière, J. L. & Maisse, G. (eds.): *Biology and Ecology of the Brown Trout and Sea Trout*. Berlin, Springer-Praxis Series in Aquaculture and Fisheries: 147-174.
- Dedual, M., & Jovett, I. G. (1999). Movement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during the spawning migration in the Tongariro River, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **333**: 107-117.
- Eberstaller, J., Haidvogel, G., Jungwirth, M., (1997). Gewässer- und Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- Eberstaller, J. & Pinka, P. (2001). Trübung und Schwall Alpenrhein – Einfluss auf Substrat, Benthos, Fische – Teilbericht Fischökologie, im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.

- Gosset, C., Rives, J., Labonne, J. (2006). Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 247-254.
- Gebler, R. J. & Michel, M. (2004). Fischweg KW Reichenau am Alpenrhein – Schlüsselfunktionen für die Bodensee-Seeforelle. *Wasser Energie Luft*, Heft **5/6**: 139-143.
- Gerlier, M. & Roche, P. (1998). A radio telemetry study of the migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia* **372**: 283-293.
- Heggberget, T. G., Hansen, L. P., Naesje, T. F. (1988). Temporal and spatial segregation of spawning in sympatric populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.). *Journal of Fish Biology* **33**(3): 347-356.
- Heggenes, J. & Traaen, T. (1988). Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species. *Journal of Fish Biology* **32**: 717-727.
- Holzner, M. (2000). Untersuchungen über die Schädigung von Fischen bei der Passage des Mainkraftwerks Dettelbach. Doktorarbeit an der technischen Universität in München. URL: <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/lg/2000/holzner.pdf> (Januar 2007).
- IRKA (2004). Schwallreduktion bzw. Hochwasserspitzenminderung im Alpenrhein – Mögliche Massnahmen und deren Auswirkungen. Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Energie.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E. B., Baras, E. (2002). Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia* **483**(1-3): 239-248.
- Jonsson, N. (1991). Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic Journal of Freshwater Research* **66**: 20-35.
- Jonsson, N. & Jonsson, B. (2002). Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater biology* **47**: 1391-1401.
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S. (2003). Angewandte Fischökologie an Fliessgewässern. Wien, Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F. Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), brown trout (*Salmo trutta* L.) and Arctic charr (*salvelinus alpinus* L.). A review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish* **12**: 1-59.
- Laikre, L., Antunes, A., Apostolidis, A., Berrebi, P., Duguid, A., Ferguson, A., Garcia-Marin, J. L., Guyomard, R., Hansen, M. M., Hindar, K., Koljonen, M. L., Largiadèr, C. R., Martinez, P., Nielsen, E. E., Palm, S., Ruzzante, D. E., Ryman, N., Triantaphyllidis, T. S. (1999). Conservation Genetic Management of Brown Trout (*Salmo trutta*) in Europe. Report by the Concerted action on identification, management and exploitation of genetic

- resources in the brown trout (*Salmo trutta*). Bogtryk, Silkeborg (DK). "Trout Concert"; EU Fair CT97-3882.
- Lucas, M. & Baras, E. (2001). Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Sciences. Oxford.
- Marrer, H. (1975). Aufstieg der Seeforelle in die Zuflüsse des Bodensees. Bericht über die Ergebnisse einer Umfrage, Amt für Umweltschutz, Bern.
- Marmulla, G. & Ingendahl, D. (1996). Preliminary results of a radio telemetry study of returning Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in River Sieg, tributary of River Rhine in Germany. In: Baras, E. & Philippart, J. C. (eds.). Underwater Biotelemetry, Proceedings of the First Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe. University of Liège, Belgium: 109-117.
- Meng, H. J. (1978). Leitfaden für die Elektrofischerei. Veröffentlichung des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereinspektion 35.
- Monet, G. & Soares, I. (2001). Tracking 48 and 150 MHz Radio-tagged male Lake-Trout during their spawning migration in a mountain regulated river. *J. Mt. Ecol* **6**: 7-19.
- Mürle, U., Ortlepp, J., Rey, P. (2004). Der Bodensee: Zustand – Fakten – Perspektiven: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB).
- Ovidio, M., Baras, E., Goffaux, D., Birtles, C., Philippart, J. C. (1998). Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* **371/372**: 263-274.
- Peter, A. (2004). Die Seeforelle im Alpenrhein – ist ihre Rückwanderung in den Bodensee wieder möglich? *Bündner Fischer* **7**: 48-51.
- Rey, P., (2004). Ökologische Aspekte der Gewässerentwicklung. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- Rubin, J.-F., Glimsater, C., Jarvi, T. (2004). Characteristics and rehabilitation of the spawning habitats of the Seatrout, *Salmo trutta*, in Gotland (Sweden). *Fisheries Management and Ecology* **11**(1): 15-22.
- Ruhlé, Ch. & Kindle, T. (1993). Wissenswertes über die Seeforelle. In: Wagner, B., Löffler, H., Kindle, T., Klein, M., Staub, E. (eds). Wissenswertes über die Bodenseefischerei. Jan Thorbecke, Sigmaringen: 92-101.
- Ruhlé, Ch. (1996). Decline and conservation of migrating brown trout (*Salmo trutta lacustris* L.) of Lake Constance. In: Kirchhofer, A. & Hefti, D. (edt.). Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe. Birkhäuser Verlag Basel, Switzerland: 203-211.
- Ruhlé, Ch., Ackermann, G., Berg, R., Kindle, T., Kistler, R., Klein, M., Konrad, M., Löffler, H., Michel, M., Wagner, B. (2005). Die Seeforelle im Bodensee und seinen Zuflüssen: Biologie und Management. *Österreichs Fischerei* **58**: 230-262.

- Rustadbakken, A., L'Abée-Lund, J. H., Arnekleiv, J. V., Kraabol, M. (2004). Reproductive migration of brown trout in a small Norwegian river studied by telemetry. *Journal of Fish Biology* **64**(1): 2-15.
- Smolina, K. (1920). Merkbuch der Binnenfischerei. Fischereiförderung GmbH, Berlin.
- Schulz, U. (1995). Untersuchungen zur Ökologie der Seeforelle (*Salmo trutta f. lacustris*) im Bodensee. Konstanzer Dissertationen Bd. 456. Hartung-Gorre Verlag, Konstanz.
- Svendsen, J. C., Koed, A., Aarestrup, K. (2004). Factors influencing the spawning migration of female anadromous brown trout. *Journal of Fish Biology* **64**(2): 528-540.
- Thorpe, J. E. (1989). Developmental variation in salmonid populations. *Journal of Fish Biology* **35**: 295-303.
- Trépanier, S., Rodriguez, M. A., Magnan, P. (1996). Spawning migrations in landlocked Atlantic salmon: time series modeling of river discharge and water temperature effects. *Journal of Fish Biology* **48**: 925-936.
- Wootton, R. J. (1992). Fish Ecology. Glasgow: Blackie and Son.
- Young, M. K. (1994). Mobility of brown trout in south-central Wyoming streams. *Canadian Journal of Zoology* **72**: 2078-2083.

## 8 Anhang

### 8.1 Fotos der markierten Seeforellen

Fotos: Armin Peter, Eawag



Weibchen Code 02: 52.2 cm, 1690 g.



Weibchen Code 03: 65.6 cm, 3424 g.



vWeibchen Code 42: 66.1 cm, 3198 g.



Weibchen Code 43: 62.7 cm, 3629 g.



vWeibchen Code 52: 65.6 cm, 2655 g.



Weibchen Code 53: 49.8 cm, 1437 g.



Weibchen Code 05: 60.3 cm, 2538 g.



Männchen Code 46: 65.7 cm, 4039 g.



Männchen Code 48: 67.2 cm, 3038 g.



Weibchen Code 45: 60.6 cm, 2265 g.



v Männchen Code 47: 46.7 cm, 1078 g.



Männchen Code 17: 60.3 cm, 3618 g.



Männchen Code 51: 52.6 cm, 1320 g.



vWeibchen Code 20: 58.6 cm, 2366 g.



Männchen Code 07: 71.3 cm, 4680 g.



Männchen Code 06: 68.1 cm, 3580 g.



Männchen Code 18: 74.1 cm, 4833 g.



Männchen Code 19: 70.6 cm, 4402 g.



Männchen Code 21: 72.6 cm, 4659 g.



Weibchen Code 61: 48.2 cm, 1200 g.



Männchen Code 55: 47.8 cm, 1165 g.



Weibchen Code 23: 73.6 cm, 5287 g.

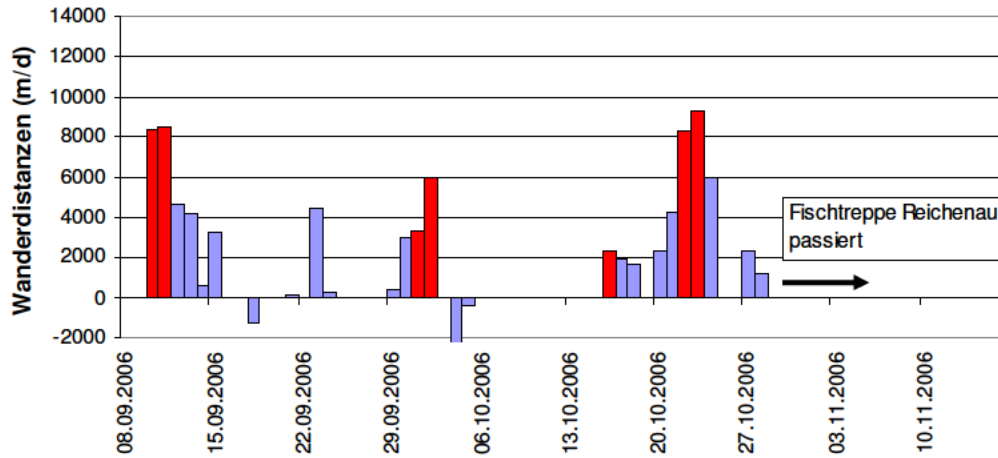


vWeibchen Code 60: 44.6 cm, 995 g.

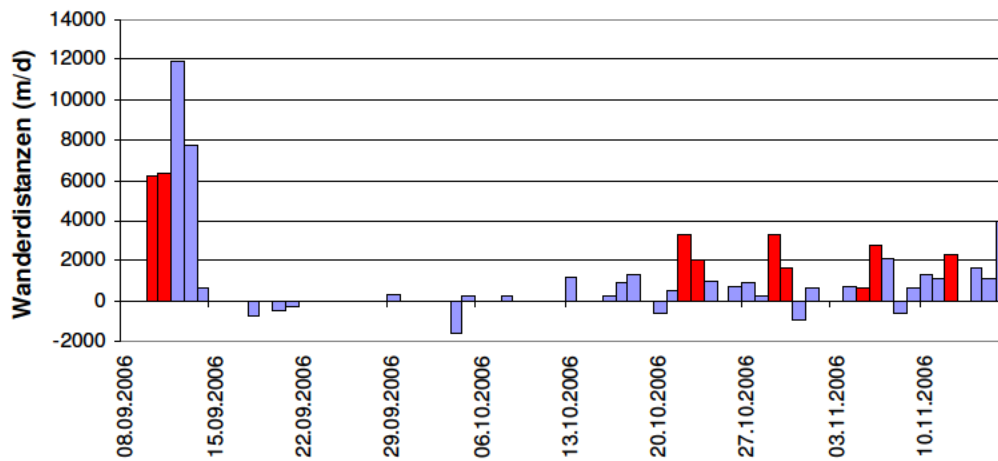


Weibchen Code 22: 50.7 cm, 1321 g.

## 8.2 Diagramme zu den täglich zurückgelegten Wanderdistanzen

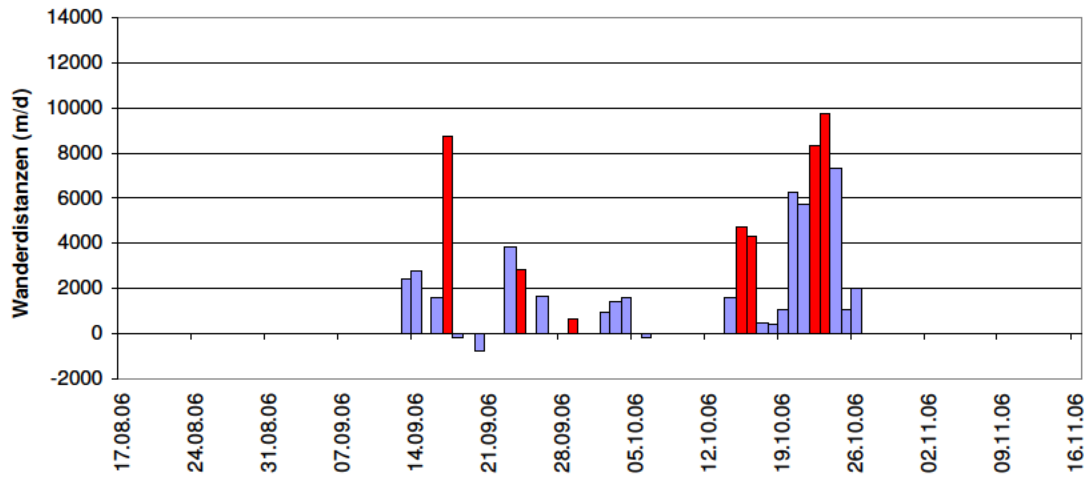


Täglich zurückgelegte Distanzen von Weibchen Code 05. Die roten Säulen zeigen die zurückgelegten Wanderdistanzen an den Wochenenden.

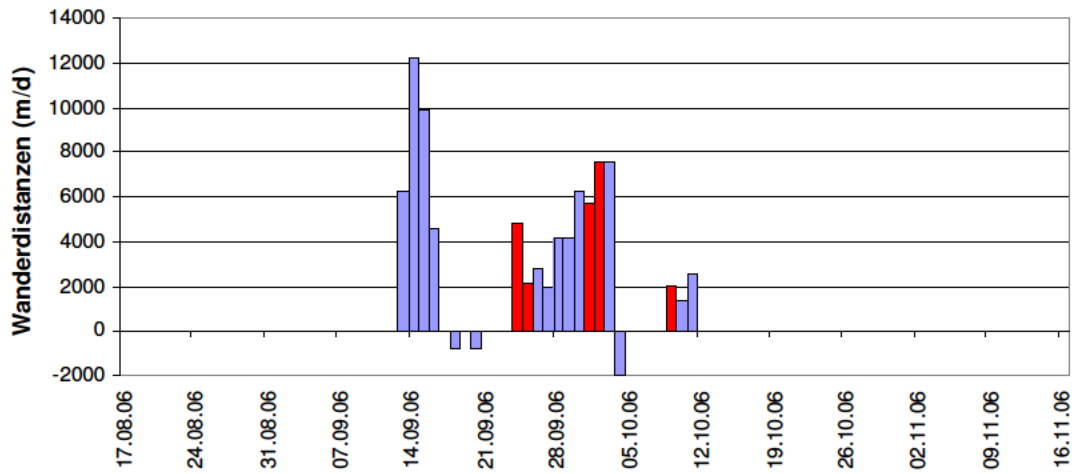


Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 18.

## Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein

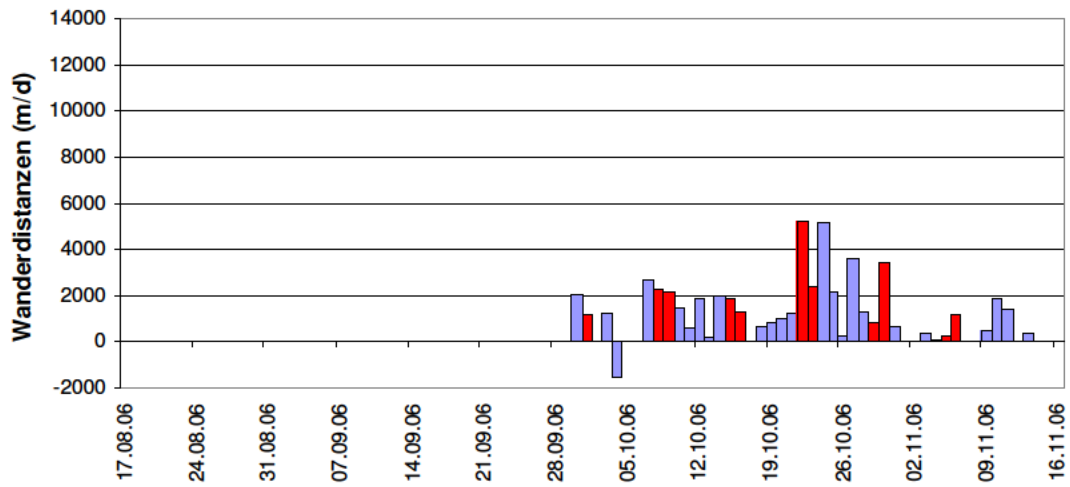


Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 55.

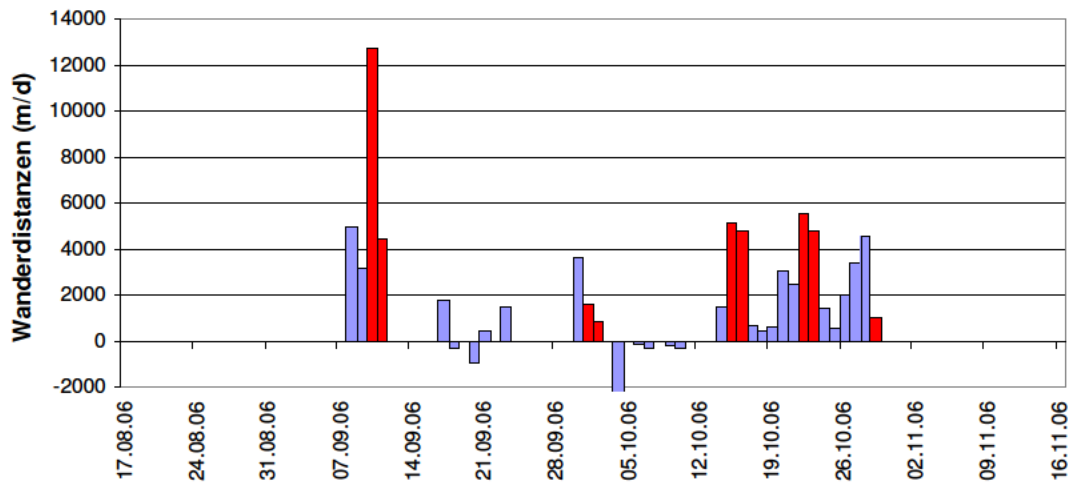


Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 46.

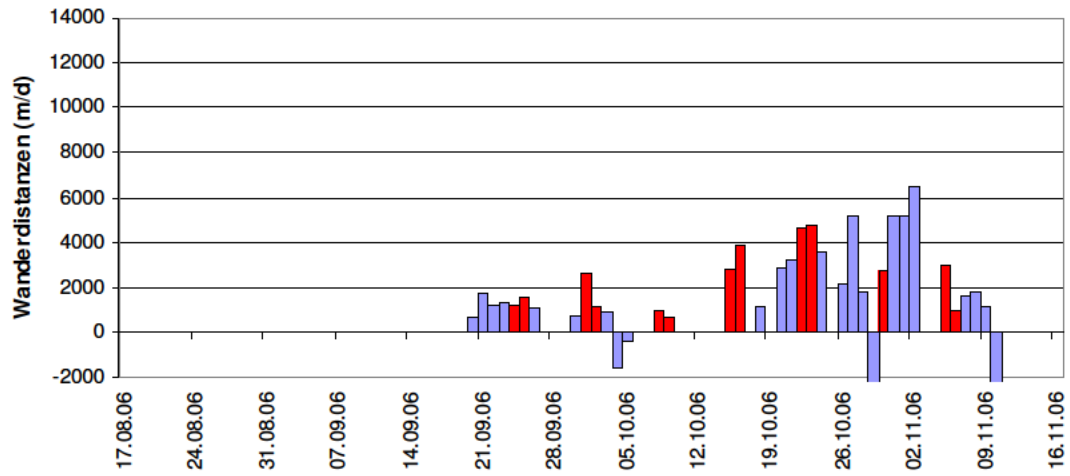




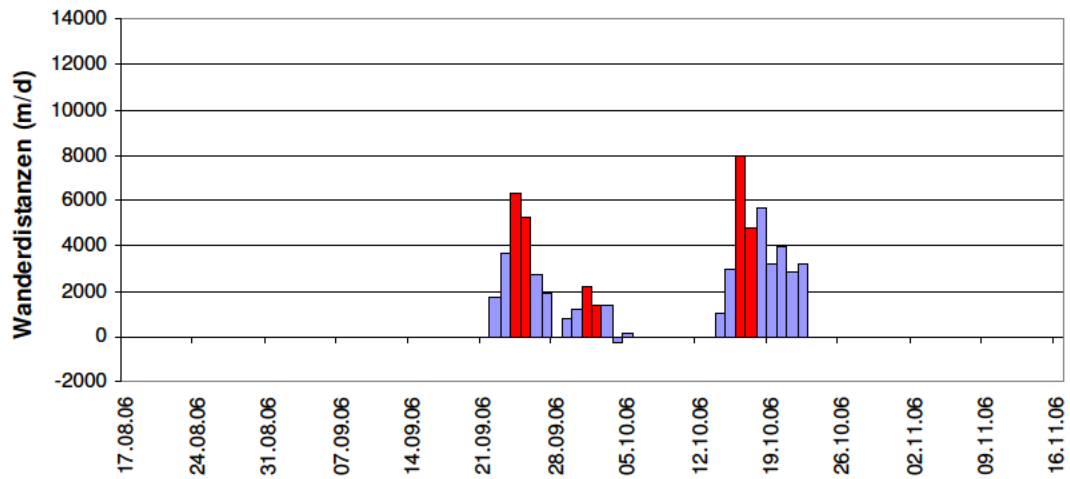
Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 53.



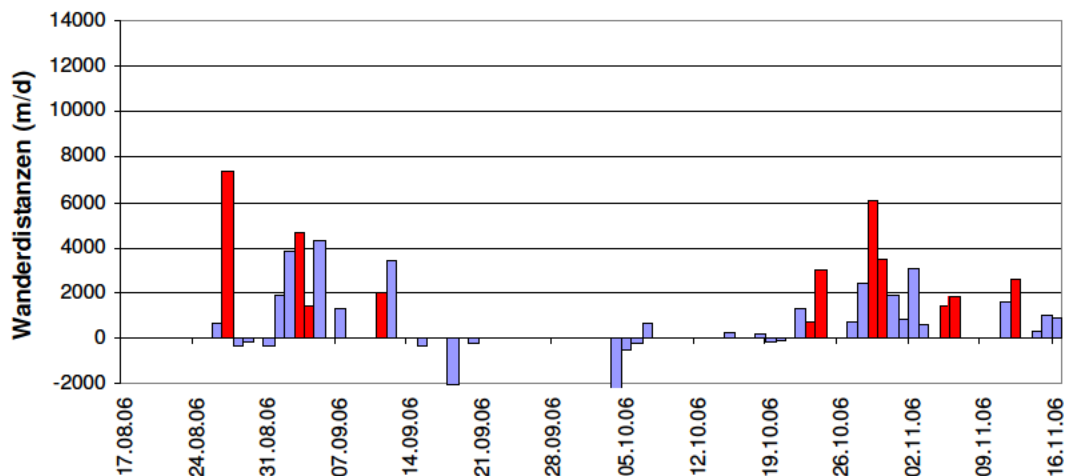
Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 48.



Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Männchen Code 21.



Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von vMännchen Code 47.



Täglich zurückgelegte Wanderdistanzen von Weibchen Code 45.

### 8.3 Rheinkilometrierung - Eckpunkte im Längsverlauf des Alpenrheins

Rheinkilometrierung	Beschreibung
92.0	Rheinmündung, Übergang fließendes – stehendes Wasser
82.6	Brücke Au
80.0	Brücke Wydnau
70.4	Brücke Montlingen
65.2	Mündung Ill
60.8	Mündung Liechtensteiner Binnenkanal
54.2	Brücke Haag
49.6	Sohlrampe /Brücke Buchs
34.0	Sohlrampe Ellhorn
27.6	Brücke Bad Ragaz/Maienfeld
23.3	Mündung Landquart
17.3	Brücke Zizers
12.1	Brücke Chur – Haldenstein
9.6	Mündung Plessur
6.5	Brücke Felsberg
3.9	Turbinenhaus Kraftwerk Reichenau
2.7	Schleuse/Fischtreppe Kraftwerk Reichenau

Rheinkilometrierung: Eckpunkte im Längsverlauf des Alpenrheins. Beim betrachten der individuellen Wandermuster im Resultatteil dient diese Tabelle als Orientierungshilfe. Das Gebiet zwischen der Rheinmündung (Rkm 92.0) und der Schleuse beim Kraftwerk Reichenau (Rkm 2.7) stellt die Systemgrenze für diese Arbeit dar.

## 8.4 Abfluss und Temperaturdaten

Abfluss	Rhein - Diepoldsau, Rietbrücke												LH 2473
Débit	Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		Vergletscherung		Extension glacier		1.4 %
Portata	Coordonnées		Altitude		Surface		Altitude moyenne		Ghiacciaio		Glaciers		
	766280 / 250380	766280 / 250380	410 m ü.M.		6119 km <sup>2</sup>		1800 m ü.M.						
	Coordinate	Coordinate	Altitudine		Superficie		Altitudine media		Ghiacciaio		Glaciers		
<b>2006</b>	Jan./Janv.	Febr./Févr.	März/Mars	April/Avril	Mai/Mai	Juni/Juin	Juli/Juillet	Aug./Août	Sept./Sept.	Okt./Oct.	Nov./Nov.	Dez./Déc.	
	Genn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Agosto	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.	
1	52.5	101	113	192	185	405	253	172	275	104	102	110	1
2	57.8	113	113	162	208	372	212	153	231	130	121	88.7	2
3	63.8	131	90.2	196	234	299	269	201	199	145	137	72.0	3
4	69.6	80.8	79.5	176	282	286	285	274	201	435	106	99.7	4
5	73.9	46.0	51.0	159	310	292	285	217	199	263	74.0	111	5
<b>Tagesmittel</b>													
6	66.1	66.5	66.6	163	272	326	271	203	201	204	105	102	6
7	54.3	73.4	82.2	135	249	298	284	310	199	159	123	107	7
8	44.9	78.2	83.6	118	289	290	251	274	218	119	128	85.2	8
9	73.6	78.1	116	104	304	304	194	241	199	149	95.5	105	9
10	129	87.9	108	164	273	275	244	222	125	165	127	85.9	10
<b>Moyenne journalière</b>													
11	122	88.1	83.1	178	259	248	269	205	181	141	107	87.9	11
12	110	40.6	60.4	153	262	327	281	181	181	138	93.8	108	12
13	100	72.1	86.9	143	242	406	251	180	175	163	107	95.2	13
14	69.5	95.2	119	146	294	434	207	187	163	133	139	90.7	14
15	47.9	77.6	100.0	153	325	417	169	158	136	94.2	140	117	15
16	73.7	103	93.3	160	300	424	137	173	147	121	131	90.5	16
17	88.2	91.5	108	165	412	416	214	201	385	132	114	88.7	17
18	78.4	64.9	70.8	203	448	361	237	332	363	123	92.2	115	18
19	86.3	51.7	56.4	167	579	423	226	269	313	138	74.4	139	19
20	61.5	60.5	68.4	162	490	442	223	186	216	108	82.0	119	20
21	60.0	90.6	97.2	217	378	442	241	240	181	102	108	119	21
22	43.9	113	106	212	383	424	185	218	181	84.6	131	104	22
23	72.7	142	123	210	425	368	142	185	152	105	104	72.0	23
24	111	107	97.0	268	401	315	193	193	126	137	108	74.2	24
25	127	70.1	90.7	280	288	336	218	207	175	148	81.3	68.1	25
<b>+Maximum Massimo</b>													
26	121	50.2	103	278	303	373	217	180	209	114	74.1	59.0	26
27	150	66.6	178	291	318	369	210	182	183	109	89.4	88.2	27
28	92.0	83.6	247	369	369	360	229	255	134	93.9	115	81.9	28
<b>- Minimum Minimo</b>													
29	61.5	193	305	664	345	198	379	157	78.5	114	77.9	29	
30	70.3	188	216	622	304	138	356	115	121	123	88.1	30	
31	91.4	165		496		162	299		130		81.7	31	
<b>Monatsmittel</b>													
Moyenne mensuelle	82.4	82.5	108	196	350	355	222	225	195	141	109	93.1	m <sup>3</sup> /s
Media mensile													
<b>Maximum/Massimo</b>													
Spitze/Pointe/Punta	240	225	311	480	760	545	382	544	510	784	218	213	m <sup>3</sup> /s
Datum/Date/Data	27.	3.	28.	28.	29.	21.	7.	18.	17.	4.	2.	18.	
<b>Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua</b>						180	m <sup>3</sup> /s						m <sup>3</sup> /s

Abflussdaten bei der hydrologischen Messstation in Diepoldsau. Quelle: Bundesamt für Umwelt (Bafu), download am 26.01.2007. URL: <http://www.hydrodaten.admin.ch/d/2473.htm>

Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein

Wassertemperatur <b>Rhein - Diepoldsau, Rietbrücke</b> <span style="float: right;">LH 2473</span>												
Température de l'eau	Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		Vergletscherung		1.4 %	
Temperatura dell'acqua	Coordonnées		Altitude		Surface		Altitude moyenne		Extension glacier		1.4 %	
	Coordinate		Altitudine		Superficie		Altitudine media		Ghiacciaio			
	766280	/ 250380	410 m ü.M.		6119 km <sup>2</sup>		1800 m ü.M.					
<b>2006</b>	Jan./Janv.	Febr./Févr.	März/Mars	April/Avril	Mai/Mai	Juni/Juin	Juli/Juillet	Aug./Août	Sept./Sept.	Okt./Oct.	Nov./Nov.	Dez./Déc.
	Genn.	Febr.	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.
Tagesmittel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	3.4	2.8	3.4	7.6	8.4	7.2	13.7	14.7	11.1	12.2	8.8	1
	3.5	2.6	2.9	9.1	9.3	7.5	14.4	15.1	11.5	12.7	7.6	2
	3.6	2.6	3.6	7.5	9.5	8.1	14.4	13.9	11.9	12.6	6.3	3
	4	2.4	3.7	7.5	10.1	8.3	14.5	12.1	13.1	11.6	9.4	4
	5	2.2	2.8	6.7	9.4	8.7	14.4	12.1	14.0	10.3	5.8	5
Moyenne journalière	6	1.3	3.3	6.0	9.3	8.9	14.2	12.1	13.7	9.6	5.7	6
	7	1.5	3.3	6.3	9.8	9.4	12.4	11.9	13.9	9.6	5.7	7
Media giornaliera	8	1.8	4.0	7.2	9.7	10.1	12.5	12.1	14.0	10.1	6.3	8
	9	1.5	3.8	3.6	7.5	8.3	10.6	14.0	12.3	13.3	9.8	9
	10	0.7	3.6	5.1	7.0	8.8	11.1	14.4	11.9	13.6	9.7	7.0
	11	1.1	3.7	5.0	5.0	9.9	12.2	14.4	11.2	13.6	9.7	8.3
	12	1.1	3.4	4.2	5.1	10.1	12.2	14.7	11.4	13.3	9.7	7.0
	13	1.5	2.6	3.6	6.2	10.3	11.9	14.5	10.9	12.9	9.9	7.1
	14	1.4	2.5	3.2	7.4	10.2	11.8	14.8	11.1	12.7	10.1	7.2
	15	1.0	3.2	3.8	7.7	9.6	11.8	15.9	12.0	12.8	10.5	7.5
	16	0.9	4.2	4.0	8.0	9.8	11.7	16.8	12.1	12.8	10.1	7.8
	17	1.8	4.5	4.6	8.9	10.2	11.5	15.6	12.6	13.3	9.4	8.1
	18	2.9	4.6	4.7	8.8	9.8	12.3	14.9	12.6	12.2	8.9	18
	19	3.2	4.6	5.5	9.9	9.5	12.4	14.6	12.9	11.9	9.2	19
	20	3.0	5.3	6.4	9.0	9.0	12.2	14.7	12.7	12.0	9.8	20
	21	3.5	5.3	6.5	9.1	9.1	12.5	14.9	12.7	12.1	9.6	21
	22	4.5	4.5	6.0	9.1	9.5	12.3	14.8	12.4	12.2	10.2	22
	23	3.8	4.2	6.0	9.2	8.5	12.4	16.1	13.2	12.3	10.6	23
	24	1.8	4.2	5.3	9.2	7.9	13.5	16.1	12.9	13.1	10.6	24
	25	1.5	4.1	6.4	8.4	8.5	14.2	15.2	12.7	12.3	9.6	25
+Maximum Massimo	26	2.3	4.3	7.4	9.3	9.3	13.7	15.1	12.7	11.6	9.9	26
	27	2.2	4.3	7.4	8.4	10.3	13.4	14.8	12.4	11.9	10.4	27
-Minimum Minimo	28	2.7	3.2	6.4	8.0	10.1	13.0	15.2	11.8	12.2	10.4	28
	29	3.4		5.8	7.3	9.1	12.6	14.1	10.9	12.1	10.7	29
	30	3.4		5.8	7.3	8.0	12.7	15.1	10.2	12.1	10.4	30
	31	2.8		7.4	7.3	7.2	15.7	10.9		9.0		31
Monatsmittel Moyenne mensuelle Media mensile	2.3	-	3.7	4.9	7.7	9.3	11.3	14.7	12.7	10.2		°C
Maximum/Massimo Spitze/Pointe/Punta Datum/Date/Data	5.2	-	6.4	9.8	10.5	11.6	15.1	18.0	15.9	15.8	13.7	°C
Minimum/Minimo Momentan/momentan. Datum/Date/Data	0.1	-	1.1	1.9	4.5	6.7	6.9	11.6	9.7	10.2	6.1	°C
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua												8.4 °C

Abflussdaten bei der hydrologischen Messstation in Diepoldsau. Quelle: Bundesamt für Umwelt (Bafu), download am 26.01.2007. URL: <http://www.hydrodaten.admin.ch/d/2473.htm>

Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein

Abfluss	Rhein - Domat/Ems												LH 2602
Débit	Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		2020 m ü. M.		Vergletscherung		2.3 %
Portata	Coordonnées		Altitude		Surface		Altitude moyenne				Estension glacier		
	Coordinate	753890 / 189370	675 m ü.M.		3229 km²		2020 m ü. M.				Ghiacciaio		2.3 %
	Jan./Janv.	Febr./Févr.	März/Mars	April/Avril	Mai/Mai	Juni/Juin	Juli/Juillet	Aug./Août	Sept./Sept.	Okt./Okt.	Nov./Nov.	Dez./Déc.	
	Genn.	Febr.	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.	
<b>2006</b>													
Tagesmittel	1 19.7	88.5	80.3 +	36.5	56.8 -	141	122	69.9	80.9	36.0	48.5	52.0	1
	2 22.5	75.6	62.5	36.2	71.3	128	104	70.1	71.4	49.1	73.5	34.3	2
	3 32.8	83.2	49.5	47.4	79.8	121	148	108	81.9	112	77.5	27.2	3
	4 37.3	20.1	21.0	50.3	89.9	75.1 -	141	128	82.0	248 +	28.9	58.8	4
	5 37.8	16.8	17.0 -	55.7	121	89.4	134	77.3	83.4	127	28.1	50.2	5
Moyenne journalière	6 24.9	52.8	59.1	56.4	86.7	108	133	74.3	94.4	90.9	72.5	69.5	6
	7 19.6	39.4	37.4	53.8	77.3	87.8	147	92.7	78.8	47.1	59.2	40.9	7
Media giornaliera	8 17.3 -	49.2	53.2	34.5	112	88.7	105	90.9	80.3	48.4	48.3	37.1	8
	9 66.0	49.0	27.8	36.9	105	110	84.8	87.4	57.3	67.0	48.8	41.7	9
	10 86.5 +	61.1	28.0	67.4	106	89.0	138	77.5	49.4	64.3	70.3	26.4	10
	11 70.1	18.0	18.9	66.7	92.1	108	138	79.3	80.2	59.8	27.1	48.0	11
	12 64.6	16.6 -	17.4	46.5	94.4	164	130	69.9	67.6	61.3	25.7	54.4	12
m³/s	13 39.3	62.0	56.4	51.3	80.4	199	116	61.9	57.2	69.8	46.0	49.7	13
	14 19.3	57.3	64.7	31.7 -	104	212	92.0	57.3	58.3	38.0	46.6	51.8	14
	15 17.5	51.6	51.0	37.1	138	191	79.1	51.2 -	76.2	39.7	42.0	59.5	15
	16 48.5	41.1	52.1	34.7	121	207	71.4	65.6	73.2	55.0	37.7	29.0	16
	17 39.9	37.1	51.0	43.9	193	184	118	135	156 +	59.0	34.5	26.8	17
	18 36.9	18.6	24.5	56.1	212	174	128	272 +	131	58.0	27.3	91.4 +	18
	19 52.3	17.4	17.9	48.8	283	207	123	171	92.9	59.7	21.2	81.0	19
	20 43.2	44.6	38.8	46.7	236	210	115	110	55.2	48.4	44.2 -	72.0	20
	21 19.7	61.8	38.6	77.8	169	223 +	122	121	52.9	33.5	73.4	71.8	21
	22 17.4	86.7	42.9	57.9	194	198	72.0	86.5	54.5	28.8 -	25.5	46.6	22
	23 61.4	94.9	53.8	60.8	230	171	58.2	92.1	40.8	49.3	44.8	27.7	23
	24 74.9	50.3	29.9	104	193	149	117	92.9	47.8	91.7	44.1	24.4	24
	25 68.8	19.0	19.8	89.4	126	180	104	84.8	73.7	85.5	31.7	21.6 -	25
+Maximum Massimo	26 72.5	18.2	21.5	110 +	149	188	120	85.8	89.2	48.9	27.3	28.5	26
	27 74.9	44.9	35.4	106	147	188	110	57.7	82.8	51.6	81.9	37.4	27
-Minimum Minimo	28 25.2	66.2	64.6	110 +	186	172	117	94.7	51.7	32.4	52.7	37.6	28
	29 19.7		48.3	73.2	240	170	73.8	106	58.0	30.0	62.2	29.6	29
	30 51.3		52.1	54.4	219	156	56.3 -	97.5	41.3 -	79.1	81.5 +	23.8	30
	31 46.6		48.1		177		86.0	85.0		56.1		22.2	31
Monatsmittel Moyenne mensuelle	42.6	47.2	41.3 -	59.5	146	155 +	110	94.6	70.8	65.3	48.0	44.6	m³/s
Media mensile													
Maximum/Massimo	205	193	163 -	215	329	285	244	457	344	754 +	189	165	m³/s
Spitze/Pointe/Punta	27.	23.	23.	28.	19.	21.	7.	18.	17.	4.	6.	22.	
Datum/Date/Data													
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua						77.2	m³/s						m³/s

Abflussdaten bei der hydrologischen Messstation in Domat /Ems. Quelle: Bundesamt für Umwelt (Bafu), download am 26.01.2007. URL: <http://www.hydrodaten.admin.ch/d/2602.htm>