

Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein



Reto Caviezel

Student UWIS, ETH Zürich

2006

eawag
aquatic research **ooo**

Diplomarbeit an der Eawag

Betreuung: Dr. Armin Peter

Vorwort

Mit dem Bau der Fischtreppe (Vertical-Slot-Pass) beim Kraftwerk Reichenau im Jahr 2000 wurde eine der bedeutendsten Sanierungsmassnahmen zur Beseitigung der Aufstiegshindernisse der Seeforelle aus dem Bodensee umgesetzt. Rund 90 km Aufstiegsgewässer und Laichgebiete sind seitdem für die Seeforelle wieder erreichbar (Ruhlé et al., 2005). Die bedeutendsten ursprünglichen Laichgebiete der Seeforelle befanden sich im Vorderrhein bis in der Gegend von Disentis oberhalb des Zusammenflusses von Vorderrhein und Medelser Rhein (Klunziker, 1881, zitiert in Schulz, 1994). Seit dem Bau der Kraftwerke und dem Einbruch der Seeforellenpopulation unterlagen die morphologischen Eigenschaften des Vorderrheins Veränderungen, die vor allem auf die anthropogene Beeinflussung der Abflussdynamik zurückzuführen sind (vgl. Rupf, 1998). Die Markierungsversuche von Peter (2004) aus den Jahren 2001 und 2002 lieferten erste Hinweise darauf, wie die Migration der Seeforelle im Vorder- und Hinterrhein heute abläuft. Aus seinen Untersuchungen leiten sich die Fragen ab, wie die neu zugänglichen Laichhabitats im Vorderrhein (inkl. Seitengewässer) von der Seeforelle genutzt bzw. angenommen, wo Laichplätze besucht werden, welche Habitatspräferenzen die Seeforelle beim Ablachen aufweist und wie erfolgreich die Reproduktion in den gewählten Habitats ist.

Eine integrale Planung der Massnahmen zur Erhaltung der Seeforelle bedarf eines Monitorings mit dem der Erfolg der natürlichen Reproduktion auf den wieder zugänglich gemachten Laichgebieten, v.a. im Vorder- und im Hinterrhein überprüft wird. Mit der Diplomarbeit möchte ich in diesem Zusammenhang Grundlagen und Erkenntnisse zum heutigen Reproduktionsverhalten der Seeforellen im Vorder- und Hinterrhein erarbeiten. Dies beinhaltet das Aufzeigen der Wanderungsmuster, die Identifikation der Laichplätze sowie erste Analysen des Reproduktionserfolgs.

Kastanienbaum, 12. Mai 2006

Zusammenfassung

Die neuen Kenntnisse über die Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein wurden aus Telemetrieversuchen, Laichgrubenkartierungen, Analysen von Fischschuppen, Boxeninkubationen und Datenaufnahmen auf den Laichplätzen (Fließgeschwindigkeiten, Substrat und Wassertiefe) gewonnen.

Rund 500 Seeforellen aus dem Bodensee überwinden jedes Jahr ab Ende August bis anfangs Dezember das Kraftwerk in Reichenau, um zu den Laichgebieten des Vorder- und Hinterrheins zu gelangen. Wir markierten 19 Seeforellen, die Ende Oktober 2005 über die Fischtreppe aufstiegen. Etwa ein Viertel der Seeforellen wanderte in den Hinterrhein, 3/4 in den Vorderrhein. Nach dem Aufstieg über die Fischtreppe verteilten sich die Seeforellen innerhalb einer Woche gleichmässig zwischen Trin Station und Tavanasa. Durchschnittlich stiegen sie den Vorderrhein mit einer Geschwindigkeit von über 5 km/Tag hoch. 10 Tage nach dem Aufstieg über die Fischtreppe hatten fast alle der Seeforellen ihre Laichplätze erreicht. Die mittlere Aufstiegsdistanz betrug 20.2 km (min = 8.7 km, max = 35.8 km). Das entspricht der Distanz vom Kraftwerk in Domat / Ems bis nach Sagogn oder Castrisch. Im Hinterrhein verteilten sich drei Seeforellen in den Auen bei Bonaduz und Rhäzüns. Ein einzelnes Weibchen schwamm bis zum Zusammenfluss vom Hinterrhein und der Albula. Bei vielen Seeforellen konnte ein Bewegungsmuster mit einem Aufstieg, einer Suchphase mit kleinen Bewegungen flussaufwärts und -abwärts, einer Ruhephase und einem Abstieg erkannt werden. Bei manchen fehlte die Suchphase (18 %), andere blieben nach dem Laichen in der Nähe des Laichplatzes (26 %) oder stiegen in Ausnahmefällen den Rhein weiter hoch (12 %). Es hatte unter den aufsteigenden Seeforellen einen sog. "Strayer", der eine herumschweifende Laichwanderung zeigte. Es konnte gezeigt werden, dass die Suchphase bei den Männchen (M = 6.8 d) länger dauert als bei den Weibchen (W = 2 d). Die Weibchen laichten durchschnittlich bereits 16 Tage nach dem Aufstieg über die Fischtreppe, die Männchen laichten durchschnittlich 27 Tage nach der Markierung. Nach 34 Tagen hatten alle gelaicht. Eines der sechs Männchen hat bei seinen Laichwanderungen mehrere Laichgruben kurz aufeinander folgend besucht. Eine Seeforelle ist in den Flem geschwommen, eine in den Glenner. 11 der 19 Seeforellen schwammen, nachdem sie gelaicht hatten, wieder in den See bei Domat / Ems zurück, 5 (26 %) überwinterten im Vorderrhein. Die Seeforelle, die in den Glenner geschwommen ist, starb zwei Wochen nach der Markierung. Zwei weitere starben im Januar und Februar.

6 der markierten Seeforellen haben in der Ruinaulta gelaicht, eine davon im Flem kurz vor der Mündung in den Rhein. 6 Seeforellen haben oberhalb von Ilanz gelaicht, 3 in den Auen bei Rhäzüns und Bonaduz, einer bei Sils i.D. und einer bei Castrisch. Der Ablaihort vom Strayer konnte nicht ermittelt werden. 4.3 % von 38 untersuchten Seeforellen hatten auch im Vorjahr gelaicht.

Zusammenfassend stelle ich fest, dass die Laichgebiete der Seeforelle heute im Vorderrhein zwischen Trin und Tavanasa etwa gleichmässig verteilt liegen. In diesem Abschnitt gibt es keine grösseren Sektoren ohne Seeforellenlaichplätze. Weiter flussaufwärts als das Kraftwerk Tavanasa sind keine der 19 markierten Seeforellen gewandert.

Die bevorzugten Fliessgeschwindigkeiten beim Ablaihen betragen 0.55 m/s (min = 0.28 m/s, max = 0.85 m/s). bei einer Wassertiefe von 32.17 cm (min = 18 cm ,max = 50 cm) und einer Substratzusammensetzung mit einem grossen Anteil an Kies mit der Korngrösse 1.6 - 6.4 cm.

Auf den meisten Laichplätzen befinden sich in der Regel mehrere Laichgruben. Zwischen Ilanz und Tavanasa wurden 55 Laichgruben von Seeforellen auf 19 Laichplätzen kartiert. Maximal sind 5 bis 6 Laichgruben auf dem gleichen Laichplatz vorhanden, jedoch ohne Überlaihung der einzelnen Laichgruben. Wichtige Laichgebiete, u.a. auch für Bachforellen, sind der Laichplatz etwa 400 m unterhalb der Station Waltensburg / Vuorz, der Laichplatz bei der "Ogna da Pardiala" etwa 200 m nach der Eisenbahnbrücke in Rueun und der Laichplatz bei der Deponie "Plaun Grond". Auch in der Nähe des Helikopterlandeplatzes nach Tavanasa, und auf Dorfhöhe bis zur Fischtreppe in Tavanasa wurden Laichgruben von Seeforellen kartiert. Infolge des Schwalls ist es unterhalb von Ilanz sehr schwierig, Laichgruben zu erkennen.

Auf dem Laichplatz bei der Ogna da Pardiala wurden Seeforelleneier in Vibert-Boxen inkubiert. Von den 200 Eiern haben 174 (=87%) überlebt. Die hohe Überlebensrate der Eier ist ein Indiz dafür, dass die Naturverlaihung auf dem ausgewählten Laichplatz im Vorderrhein funktioniert.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	4
1.1. Einführung in die Migration der Seeforelle	4
1.1.1 verschiedene Formen der Forelle (<i>Salmo trutta</i>)	4
1.1.2 Lebenszyklus	5
1.1.3 Anfälligkeit auf anthropogene Veränderungen	7
1.2. Einführung in die Untersuchungen	8
1.2.1 Kontext der Diplomarbeit	8
1.2.2 Hauptfragestellung	9
1.2.3 Fokus der Diplomarbeit	9
1.3. Untersuchungsgebiet	10
2. Migration	13
2.1. Fragestellung und Hypothesen	13
2.1.1 Fragestellung	13
2.1.2 Hypothesen	13
2.2. Methode	14
2.2.1 Fang, Markierung und Zurückversetzung in den See	14
2.2.2 Beschreibung der verwendeten Fische	16
2.2.3 Lokalisierung der Seeforellen mittels Radiotelemetrie	18
2.2.4 Einteilung der Laichwanderungen in Phasen	20
2.2.5 Altersbestimmung und Analyse von Mehrfachlaichern	22
2.3. Resultate	22
2.3.1 Beobachtete Bewegungsmuster	22
2.3.2 Aufstieg	31
2.3.3 Suchphase	32
2.3.4 Haltephase	34
2.3.5 Abstieg und Überwinterung	35

2.3.6	Verteilung der besuchten Laichplätze	37
2.3.7	Ablaichzeitpunkte	39
2.3.8	Migration in den Zuflüssen	39
2.3.9	Korrelationen	40
2.3.10	Analyse der Mehrfachlaicher	40
2.4.	Diskussion	41
2.4.1	Migration	41
2.4.2	Bewegungsmuster	42
2.4.3	Laichverhalten	43
2.4.4	Bedeutung des Vorderrheins, Hinterrheins und der Zuflüsse	43
2.4.5	Warum hat es fast keine Mehrfachlaicher?	45
3.	Habitatspräferenz während der Reproduktion	47
3.1.	Fragestellung und Hypothesen	47
3.1.1	Fragestellung	47
3.1.2	Hypothese	48
3.2.	Methode	48
3.2.1	Auswahl der Laichplätze für die Untersuchung	48
3.2.2	Analyse des Habitatangebotes	48
3.2.3	Kartierung der Laichgruben	50
3.2.4	Analyse der Habitatbenutzung und der Habitatspräferenz	51
3.3.	Resultate	51
3.3.1	Ausmessungen der Laichgruben	51
3.3.2	Fliessgeschwindigkeit	52
3.3.3	Wassertiefe	53
3.3.4	Substrat	55
3.3.5	Laichgrubenkartierungen	56
3.4.	Diskussion	57
3.4.1	Habitatspräferenz beim Ablaichen	57
4.	Entwicklung der Eier auf den Laichplätzen	60
4.1.	Fragestellung und Hypothesen	60
4.1.1	Fragestellung	60
4.1.2	Hypothese	60
4.2.	Boxeninkubation	60
4.2.1	Standorte für die Boxeninkubation	60
4.2.2	Inkubation der Eier	61

4.2.3	Ausgraben der Eier	62
4.3.	Resultate	63
4.3.1	Überleben der Eier	63
4.3.2	Noch nicht ausgegrabene Boxen	63
4.4.	Diskussion	64
5.	Synthese und Schlussfolgerungen	66
5.1.	Bedeutung des Vorder- und Hinterrheins für die Reproduktion der Seeforelle	66
5.2.	Kein Aufstieg oberhalb von Tavanasa	67
5.3.	Naturverlaichung der Seeforelle im Vorderrhein	67
6.	Dank	69
7.	Glossar und Abkürzungen	70
7.1.	Glossar	70
7.2.	Abkürzungen	71
7.3.	Statistische Abkürzungen	71
8.	Literaturverzeichnis	73

1. Einleitung

1.1. Einführung in die Migration der Seeforelle

1.1.1 verschiedene Formen der Forelle (*Salmo trutta*)

Die Forelle ist in Europa weit verbreitet. Sie hat im Verlaufe ihrer Evolution unterschiedliche Lebensräume besiedelt und verschiedene Lebenszyklusstrategien entwickelt. Dabei entstanden stationäre, anadrome und potamodrome Formen. Die Übergänge zwischen den Formen sind fließend (Ruhlé et al., 2005). Heute unterscheidet man drei Standortsformen der Forellen: Die Meerforelle, die Seeforelle und die Bachforelle.

Tabelle 1: Bezeichnungen für die verschiedenen Formen der Forelle (abgeleitet nach Bouille, 2003; Ladiges & Vogt, 1979; Muus & Dahlström, 1976)

Migration	wissenschaftlicher Name	deutscher Name	englischer Name
stationär	<i>Salmo trutta fario</i>	Bachforelle	Brown trout
anadrom	<i>Salmo trutta trutta</i>	Meerforelle	Sea trout
potamodrom	<i>Salmo trutta lacustris</i>	Seeforelle	Lake trout ¹

Die Migration vom Meer in Flüsse oder von Seen in ihre Zuflüsse ist in der Regel eng mit der Reproduktion verknüpft, mit dem Erreichen guter Nahrungsgründe, mit saisonalen Veränderungen des Wasserpegels oder mit der Wanderung zu den Überwinterungshabitaten (Wootton, 1992). Die Forelle ist in Europa weit verbreitet. Sie hat sich als eingeführte Art auch ausserhalb von Europa gut etablieren können (Baglinière & Gerard, 1991). Forellen, die zu guten Nahrungsgründen wandern und sich als Raubfische ernähren, können bis zu 140

¹ Neben der Seeforelle wird auch der nordamerikanische Saibling, *Salvelinus namaycush* im Englischen Lake Trout genannt

cm gross und 50 kg schwer werden (Muus & Dahlström, 1976, S. 59). Individuen, die grösser sind als 80 - 100 cm und 10-15 kg wiegen, sind sehr selten anzutreffen. Von den aufsteigenden Fischen, die im Jahr 2004 in der Reuse in Domat / Ems gefangen wurden, erreichten 15 Seeforellen eine Grösse von 80 cm und mehr (3,4 %, N=439). Der grösste in der Reuse gefangene Fisch (23.9.2003) hatte eine Länge von 93 cm. Grössere Forellen können mehr Eier bzw. grössere Eier produzieren, was die Fruchtbarkeit der Fische erhöht (Jonsson & Jonsson, 1999). L'Abée-Lund & Hindar (1990) haben die Fekundität bei 9 Populationen von Meerforellen untersucht. Bei allen Populationen korrelierte sie positiv mit der Grösse der Fische. Die Vorteile der Ernährung im See und der Reproduktion in den Zuflüssen stehen bei der Seeforelle den Kosten der Migration gegenüber.

Die Oberläufe von Flüssen zeichnen sich in der Regel durch sauerstoffgesättigtes Wasser und durch eine genug grosse Fliessgeschwindigkeit aus, die für eine gute Durchströmung des Substrates sorgt. Ausserdem dürfte auch der Fressdruck durch Prädatoren auf die Eier oder Larven in den Flüssen kleiner sein (Wootton, 1992)

1.1.2 *Lebenszyklus*

Lebenszyklusstrategien haben eine erfolgreiche Reproduktion und das Überleben von genug Nachkommen zum Ziel, um sicherzustellen, dass der Lebenszyklus fortgesetzt werden kann. Die Ausprägung der passenden Lebenszyklusstrategie wird im einzelnen Fall durch phylogenetische Anlagen sowie durch Umweltfaktoren bestimmt. Schulz (1994) beispielsweise konnte zeigen, dass aus Seeforelleneiern stationäre Formen entstehen können. Die Seeforellen, die im Bodensee heranwachsen, unternehmen in der Regel im Alter von 4+ bis 5+ die ersten Laichwanderungen. Dabei wandern die Seeforellen aus dem Bodensee in verschiedene Zuflüsse. Der Lebenszyklus der Seeforelle kann in fünf Phasen eingeteilt werden:

- Entwicklung der Eier, Emergenz der Larven und erstes Heranwachsen der Jungfische auf den Laichplätzen in den Zuflüssen des Bodensees
- Abwanderung in den See im Alter von 0.5 bis 2.5 Jahre (Ruhlé et al., 2005)
- Starke Wachstumsphase im See, Ernährung als Raubfisch
- Laichwanderung und Reproduktion in den Geburtsgewässern (Homing)
- Rückkehr in den Bodensee

Dedual (1999) hat Regenbogenforellen bei der Laichwanderung untersucht und musste feststellen, dass das Aufstiegsverhalten der markierten Fische sehr individuell war und sich nicht anhand von Umweltfaktoren (Luftdruck, Temperatur, Abflussmenge) oder physiologischen Eigenschaften der Fische (z.B. Länge, Reifegrad, Geschlecht, vgl. Tabelle 2) voraussagen liess. Er konnte zeigen, dass Mehrfachlaicher schneller wanderten als Erstlaicher. Im Genfersee wurde das "Homing"-Verhalten der Seeforellen mit Markier-Wiederfang Versuchen untersucht (Buttiker & Matthey, 1986). Nur 3.2% der Wiederfänge (N=156) ereigneten sich in einem anderen Zufluss des Genfersees als im Zufluss, in dem der Fisch markiert wurde. Zwischen zwei Fängen lagen mindestens 200 Tage. Dieses Ergebnis wird von den Autoren als relativ stark ausgeprägtes "Homing"-Verhalten der Seeforelle im Genfersee interpretiert. Das Migrationsverhalten der Fische ist anfällig auf klimatische Veränderungen (Jonsson & Jonsson, 2002). Wenn die Wassertemperaturen im Winter unter 2 Grad Celsius sinken, bewegen sich die Fische kaum. Da die Körpertemperatur der Fische fast derjenigen ihrer Umgebung entspricht, ist eine hohe Aktivität bei niedrigen Temperaturen nicht möglich.

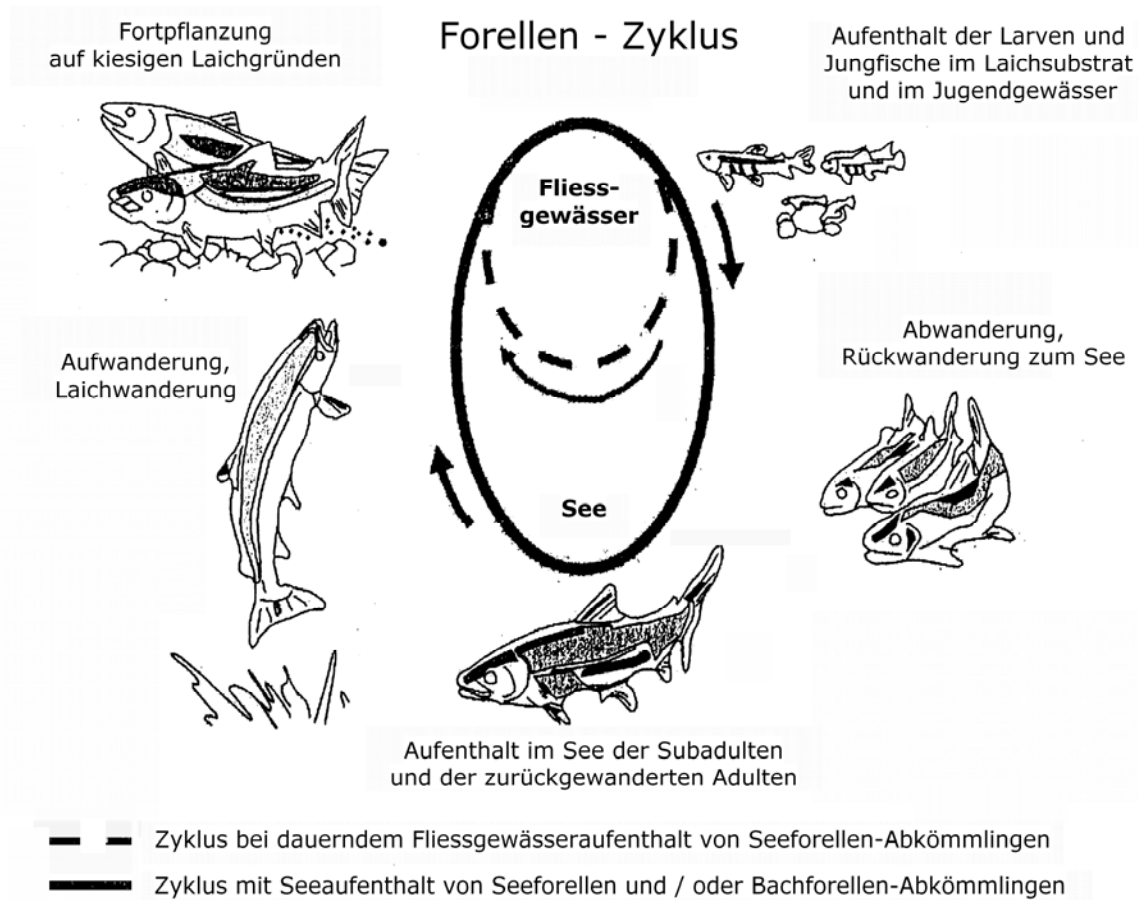


Abbildung 1: Forellen-Zyklus (nach Ruhlé et al., 2005).

1.1.3 Anfälligkeit auf anthropogene Veränderungen

Die Ansprüche der Seeforelle an den Lebensraum ändern sich mit den Phasen, die ihr Lebenszyklus durchläuft. Die verschiedenen Entwicklungsstadien stellen hohe Ansprüche an den jeweiligen Lebensraum. Die Abhängigkeit von unterschiedlichen Habitaten und die damit verbundene Migration zwischen den Habitaten machen die Seeforelle besonders anfällig auf anthropogene Veränderungen (vgl. Schulz, 1994).

Die Kombination verschiedener Schadenfaktoren bzw. Beeinträchtigungen kann zu verstärkten Schädigungen führen, da mit jeder zusätzlichen Beeinträchtigung in der Regel auch die Reaktionsfähigkeit auf weitere Schadensfaktoren abnimmt (Eberstaller et al., 2001). Schulz (1994; 1999) und Ruhlé (1990) erklären den Einbruch der Seeforellenpopulation vom Bodensee durch die Kombination der starken Überfischung mit anderen schädlichen anthropogenen Einflüssen, wie z.B. die Verschmutzung der Zuflüsse, die den Reproduktionserfolg verminderte, die Zerstörung von Laichhabitaten, Veränderungen in der Struktur der Gewässersohle z.B. durch Kolmatierung, Veränderungen im Abflussregime, Flussverbauungen und interspezifische Konkurrenz mit der Regenbogenforelle *Oncorhynchus mykiss*

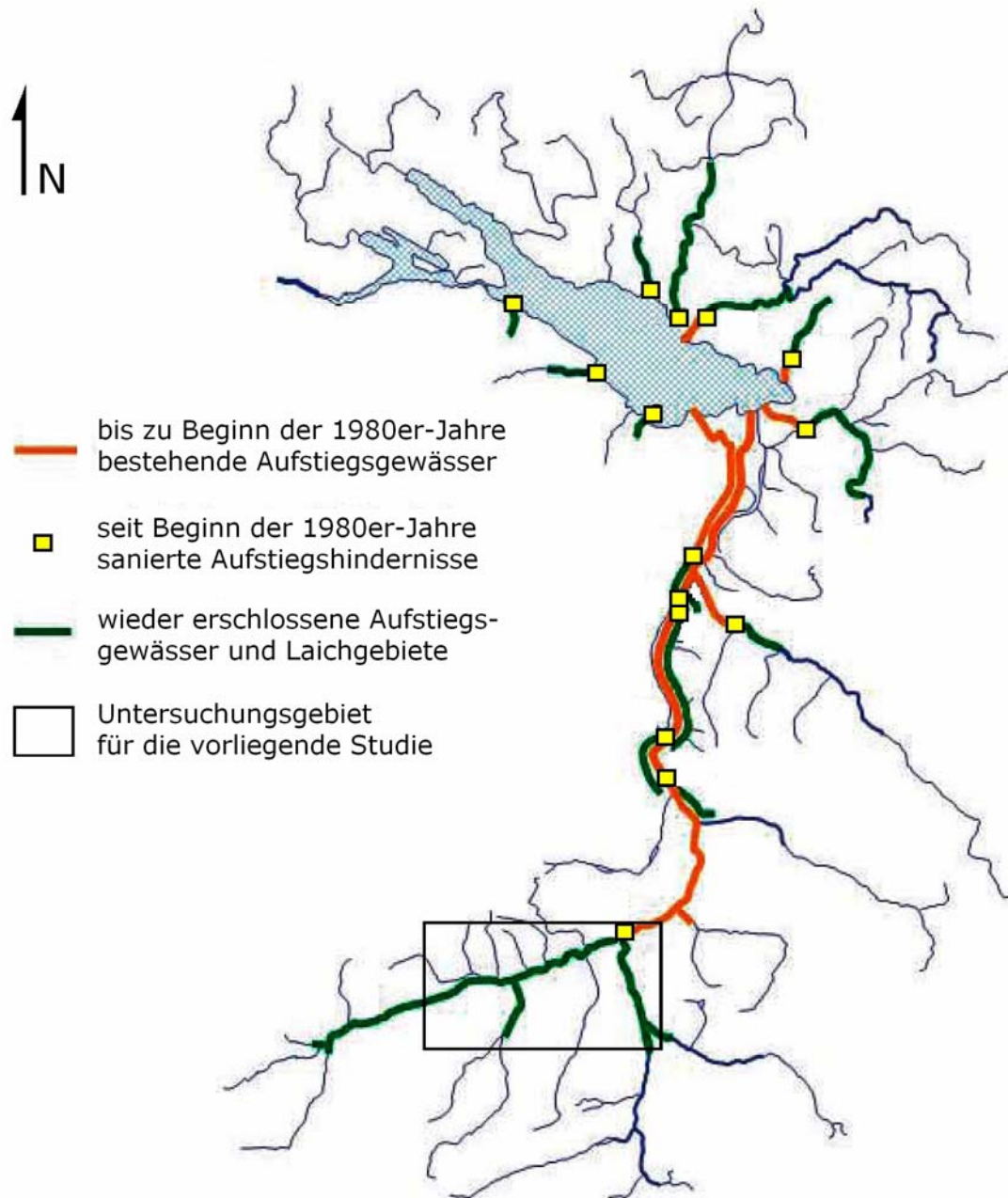


Abbildung 2: Seit Beginn der 1980er Jahre beseitigte Aufstiegshindernisse (nach Ruhlé et al., 2005, geändert) und Einordnung des Untersuchungsgebietes im Kontext der Sanierungen und Wiedererschliessungen der Aufstiegs-gewässer und Laichgebiete.

1.2. Einführung in die Untersuchungen

1.2.1 Kontext der Diplomarbeit

Die Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei (IBKF) setzte in den vergangenen Jahren umfassende Massnahmen zur Erhaltung der Seeforelle um. Die Aufstiegshindernisse in den Zuflüssen wurden abgebaut und die Schonbestimmungen im See verschärft. Ruhlé et al. (2005) betonen die Bedeutung eines umfassenden Sanierungsprogramms, das viele Schwachstellen im See und in den Zuflüssen behoben hat. In vielen Bodensee-Zuflüssen kommen Seeforellen wieder zur Fortpflanzung, zum Teil in beachtlichen Zahlen. Auch den Vorder- und Hinterrhein wandern die Seeforellen wieder hoch, nachdem im Jahr 2000 eine Aufstiegshilfe beim Kraftwerk Reichenau gebaut wurde.

1.2.2 Hauptfragestellung

Wie werden die neu zugänglichen Laichhabitats im Vorderrhein (inkl. Seitengewässer) von der Seeforelle genutzt bzw. angenommen?

Welche Habitatspräferenzen weist die Seeforelle beim Abbläuen im Vorderrhein auf?

Wie gut entwickeln sich die Eier in den gewählten Habitats?

1.2.3 Fokus der Diplomarbeit

- Bewegungsmuster während den Laichwanderungen
- Aufenthalt in den Laichgebieten und an den Laichhabitats, geschlechterspezifische Analysen
- Laichplatzkartierung: Ort (Mikrostandorte) und Zeitpunkt des Abbläuens von telemetrierten und nicht markierten Seeforellen
- Habitatsangebot, Benutzung der Habitats und Habitatspräferenzen der laichenden Fische
- Analyse bezüglich Mehrfachlaicher (Altersbestimmung, Methode der Scalimetrie)
- Entwicklung der Eier auf den Laichplätzen: Vibertboxeninkubationen

Fragestellungen und Hypothesen werden jeweils in den betreffenden Kapiteln zu den oben aufgeführten Schwerpunkten formuliert und beantwortet.

1.3. Untersuchungsgebiet

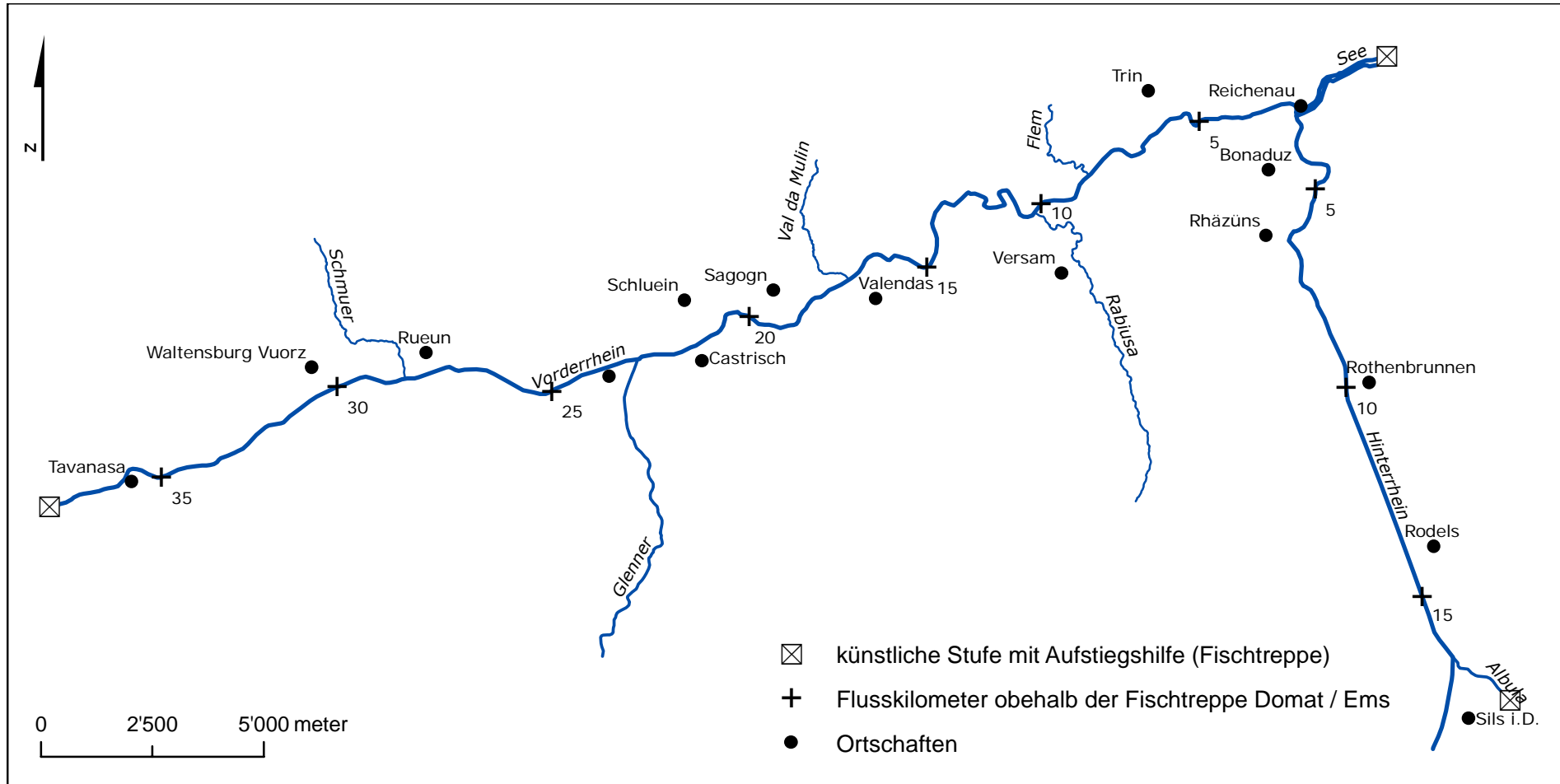


Abbildung 3: Das Untersuchungsgebiet zwischen Reichenau und Tavanasa, bzw. Sils i.D.

Die Begrenzung und Definition des Untersuchungsgebietes stützte sich auf die von Peter (2004) in den Jahren 2001 und 2002 gewonnenen Erkenntnisse über die Laichwanderungen der Seeforellen nach dem Überwinden der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau. Peter konnte zeigen, dass die meisten Seeforellen in den Vorderrhein gewandert sind (84%, N=38) und dass die maximale Aufstiegsdistanz etwa bei Tavanasa erreicht wurde. Der zeitliche Rahmen für die Telemetrieversuche wurde bis zur Abwanderung der Seeforellen in den Stausee bei Domat / Ems festgelegt. Die Überwindung der Kraftwerksanlage bei der Rückkehr der Fische in den Bodensee wurde nicht als weiterer Schwerpunkt in die Diplomarbeit integriert. Um diese Frage anzugehen, müssten die Bewegungen der markierten Fische bis in den Sommer hinein registriert werden, da die Abwanderung über die Staustufe mit der Wasserführung des Rheins zusammenhängt (vgl. Peter, 2004).

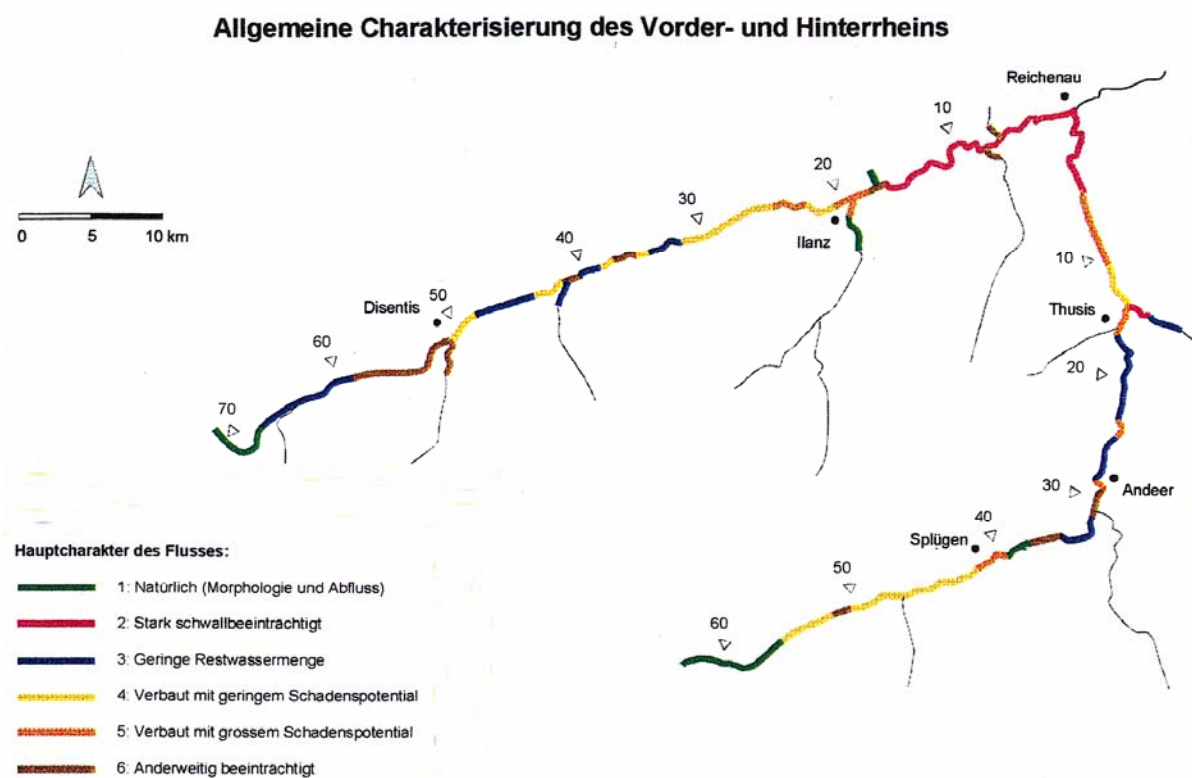


Abbildung 4: Allgemeine Charakterisierung des Vorder- und Hinterrheins (Rupf, 1998).

Weite Abschnitte des Vorder- und Hinterrheins im Untersuchungsgebiet sind verbaut oder vom Schwall beeinträchtigt (vgl. Abbildung 4). Die durch den Bau der Fischtreppe in Reichenau wieder für die Seeforelle zugänglich gewordenen

Flussabschnitte des Vorder- und Hinterrheins weisen im Vergleich mit Oberläufen anderer Zuflüsse des Bodensees eine sehr hohe biologische Gewässergüte auf (Mürle, Ortlepp, & Rey, 2004).

Während den Untersuchungen war es sehr trocken und hat kaum geregnet. Der Abfluss blieb weitgehend konstant, abgesehen von der Dynamik des Schwallbetriebs der Kraftwerke. Im Anhang 1 sind die Wassertemperaturen der automatischen Messanlage in Ilanz für das Jahr 2005 angefügt.

2. Migration

2.1. Fragestellung und Hypothesen

2.1.1 *Fragestellung*

Wohin wandern die laichreifen Seeforellen, welche die Fischtreppe in Domat / Ems passieren?

Welchem Bewegungsmuster folgt das Wanderungsverhalten?

Welcher Anteil der markierten Seeforellen wandert den Vorderrhein bzw. den Hinterrhein hoch?

Benutzen die Seeforellen auch Laichplätze in den grösseren Zuflüssen des Vorder- und Hinterrheins?

Hat es unter den aufsteigenden Seeforellen auch solche mit einer herumschweifenden Laichwanderung, sogenannte "Strayers"?

Hat es Mehrfachlaicher unter den aufsteigenden Seeforellen?

Wann und wo laichen die telemetrierten Fische?

Konzentriert sich das Ablachen der markierten Seeforellen auf wenige Laichplätze?

Wann verlassen die Laichtiere die Laichgewässer?

Wo überwintern die Seeforellen bzw. wann treffen die absteigenden Seeforellen im See bei Domat / Ems ein?

Wie lange bleiben die Seeforellen in ihrem Laichhabitat?

2.1.2 *Hypothesen*

H1: Unter den laichenden Seeforellen hat es eine grössere Anzahl von Mehrfachlaichern.

H2: Milchner und Rogner zeigen unterschiedliches Verhalten auf den Laichplätzen.

2.2. Methode

2.2.1 *Fang, Markierung und Zurückversetzung in den See*

Die für den Versuch benötigten Seeforellen wurden während ihres Aufstiegs durch die Fischtreppe in Domat / Ems mit der Reuse gefangen. Die Fänge verteilten sich gleichmässig auf die drei Tage vom 17. bis 19. Oktober 2005. Die gefangenen Seeforellen wurden zur Fischzucht in Domat / Ems gebracht, wo sie am 19. Oktober von A. Peter mit Radiotelemetrie-Sendern ausgerüstet wurden. Zwischen 12 und 17 Uhr desselben Tages wurden die Seeforellen beim Ausgang der Fischtreppe oberhalb des Kraftwerks zurückversetzt. Das Gewicht der Sender betrug 16 g. Dies entspricht 0.4% bis 1.3% des Körpergewichts der Tiere. Die Fische wurden vor dem chirurgischen Eingriff für etwa 4-5 Minuten in ein Narkosebad MS 222 (Konz. 1:15'000) gelegt. Wir massen die Länge der narkotisierten Fische und wogen sie. Um den Sender etwa in Bauchmitte unter die Haut zu legen, war ein Schnitt von etwa 2-3 cm nötig, der mit 3-5 Stichen zugenäht wurde (siehe Abbildung 5). Die Betäubung wirkte etwa 5 bis 10 Minuten nach. Anschliessend an die Operation erholten sich alle Fische innerhalb von höchstens einer halben Stunde insoweit, dass der Eingriff bis auf die Narbe und Antenne für den Beobachter nicht mehr bemerkbar war.



Abbildung 5: Seeforelle kurz nach der Markierung

Heggberget et al. (1988a) gingen in ihrer Studie davon aus, dass die Bewegungen von Atlantischen Lachsen nach fünf Tagen nicht mehr durch die Markierung beeinträchtigt werden. Bei gewissenhafter Markierung der Fische wird die Schwimmleistung und Physiologie des Blutes von ausgewachsenen Atlantischen Lachsen durch die Radiotelemetrie-Sender nicht beeinträchtigt (Thorstad, Okland, & Finstad, 2000). Die Auswirkungen der Sender auf die Seeforellen dürften ähnlich sein wie bei anderen Salmoniden. Doch spielen viele Faktoren eine Rolle, wie gut ein Fisch auf die Markierung mit Sendern reagiert. Jepsen et al. (2002) haben mit Telemetrie-Sendern markierte Fische verschiedener Arten, u.a. auch Seeforellen, nach den Versuchen wieder eingefangen und auf die Auswirkungen der Sender untersucht. Sie betonten, dass das Gewichtsverhältnis Sender / Fisch eine wichtige Rolle spielt und halten sich an die Limite von 2%, die sich bei ihren Versuchen bewährt hat. Auch Umweltbedingungen spielen eine entscheidende Rolle. Jepsen et al (2002) beobachteten, dass die mit einem Sender markierten Fische bei widrigen Umweltbedingungen (z.B. hohe Temperaturen, niedrige Ph-Werte, niedrige Sauerstoffgehalte, hohe Trübung) den zusätzlichen Stress durch die Markierung schlechter verkrafteten und geändertes Verhalten zeigten oder sogar starben.

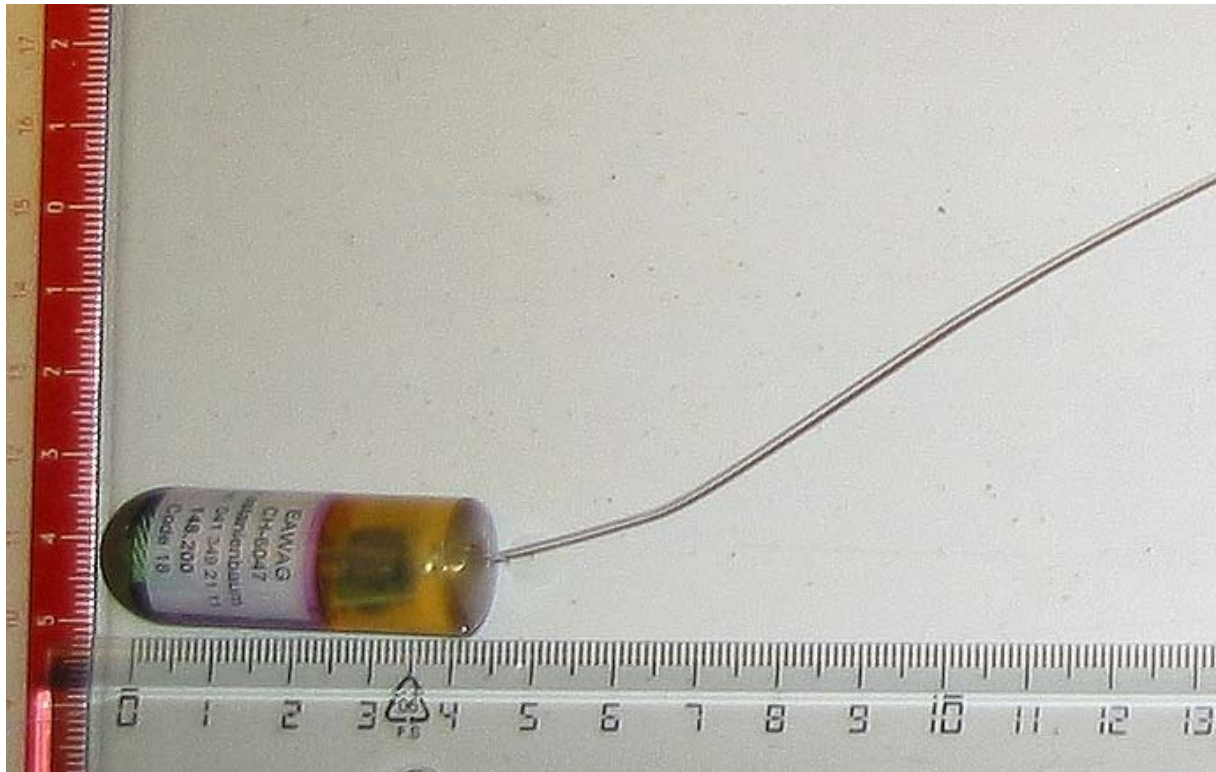


Abbildung 6: Verwendete Radiotelemetrie-Sender mit einem Gewicht von 16 - 20 g und einer Lebensdauer von 580 - 675 Tagen.

2.2.2 Beschreibung der verwendeten Fische

Tabelle 2: Bei der Markierung erfasste Eigenschaften der Fische

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterungen
sex	Geschlecht	Gruppierungsfaktor, m: Milchner, w: Rogner
a	Alter	physische Eigenschaft
L_T	Länge (L_T)	physische Eigenschaft
M	Masse	physische Eigenschaft
KI	Konditionsindex	aus M und L_T berechnet
RG	Reifegrad	physische Eigenschaft

Tabelle 3: Während der Untersuchung gemessene Variablen

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterung
Fkm	Aufenthaltort	Flusskilometer oberhalb der Fischtreppe
t _{Auf}	Aufstiegszeit	Benötigte Zeit für den Aufstieg zu den Laichplätzen
t _{Ab}	Abstiegszeit	Benötigte Zeit für die Rückwanderung zum See bei Domat / Ems
t _{La}	Aufenthaltszeit auf den Laichplätzen	Beinhaltet das Suchen und Ablaichen
D _{Auf}	Aufstiegsdistanz	Zurückgelegte Distanz beim Aufstieg
D _{La}		Zurückgelegte Distanz auf den Laichplätzen

Tabelle 4: Beschreibung der markierten Seeforellen

Nr.	Sex	RG	Alter (a)	LT (mm)	M (g)	KI
1	m	6	5+	550	1668	1.00
2	m	6	7+	702	3875	1.12
3	m	6	5+	645	2668	0.99
4	w	5	5+	642	2905	1.10
5	m	6	ka	705	3656	1.04
6	m	6	5+	677	3305	1.07
7	w	5	6+	684	3302	1.03
8	w	5	6+	690	3807	1.16
9	w	5.5	7+	755	5107	1.19
10	w	5	ka	577	2042	1.06
11	w	5	5+	684	3748	1.17
12	w	5	4+	645	2978	1.11
13	m	6	ka	733	3790	0.96
14	w	5	6+	732	4718	1.20
15	w	5	4+	626	2557	1.04
16	w	5	5+	580	1983	1.02
17	w	5	5+	608	2192	0.98
18	w	5	5+	530	1392	0.94
19	w	5	4+	602	2289	1.05

2.2.3 Lokalisierung der Seeforellen mittels Radiotelemetrie

Die für unsere Untersuchungen eingesetzten Radiotelemetrie-Sender hatten eine Lebensdauer von 570 bis 685 Tagen. Die Sender gaben jede fünfte Sekunde ein Signal und einen elektronisch lesbaren Code ab. Da nicht gleichzeitig mehrere Frequenzen abgehört werden können, wurden mehrere Sender auf der gleichen Frequenz eingestellt. Dank der Codierung der Signale liessen sich die angepeilten Fische von einander unterscheiden. Insgesamt mussten fünf verschiedene Frequenzen zwischen 148.200 und 148.700 Mhz durchgescannt werden. Die Reichweite der Sender betrug bei optimalen Peilbedingungen bis zu 1000 m, allerdings konnte bei grosser Entfernung zum Sender der Code nicht abgelesen werden. In der Regel musste man sich bis auf 300 bis 100 m dem Fisch annähern, um ein codiertes Signal zu empfangen. Eine grobe Ortung erfolgte vom Auto aus. Eine genaue Positionsbestimmung wurde zu Fuss mit der Richtungsantenne

vorgenommen. Von einem erhöhten Standort konnten die Signale deutlich besser empfangen werden als am Flussufer. Um die Positionen der Fische auf 10 bis 50 m genau zu bestimmen, musste die Peilung am Flussufer mit der Unterwasserantenne erfolgen. Schlechte Peilbedingungen herrschten dann vor, wenn sich der Fisch im tiefen Wasser aufhielt, oder wenn Hochspannungsleitungen oder Störsignale sich in der Umgebung befanden. Einige Fische, die sich im tiefen Wasser im See bei Domat / Ems aufhielten, konnten über längere Zeiträume nicht angepeilt werden. Die Positionen der georteten Seeforellen konnten per GPS bestimmt und in einem geographischen Informationssystem Arc Gis 9.0 (ESRI & Leica Geosystems) aufgenommen werden. In der Nacht fanden keine Positionsbestimmungen statt. Die Seeforellen, die in den Vorderrhein geschwommen waren, wurden möglichst täglich geortet. Die Seeforellen, die in den Hinterrhein geschwommen waren, wurden wöchentlich angepeilt. Ungefähr 700 m unterhalb der Zentrale Reichenau wurde eine automatische Empfangsstation montiert, um Signale von Seeforellen zu empfangen, die evtl. bei ihrem Abstieg die Staumauer in Domat / Ems überwinden konnten (mit dem Überlauf oder über die Fischtreppe). Während dem Aufstieg wurden die Positionen der Seeforellen mit einer Genauigkeit von 100 bis 200 m bestimmt. Auf den Laichplätzen betrug die Peilgenauigkeit 50 m oder weniger, mit Ausnahme einiger Positionsbestimmungen in der Rheinschlucht in schwer zugänglichen Abschnitten. Zwei Milchner, die sehr aktiv ihre Positionen über weite Distanzen wechselten, konnten teilweise nicht regelmässig genug angepeilt werden, um sie in der statistischen Analyse zu berücksichtigen. Der Zeitpunkt und der Ort des Ablaichens konnte meistens anhand von Ortungen unmittelbar in der Nähe von frischen Laichgruben ausgemacht werden. In vier Fällen wurde die Laichgrube erst gefunden, als der Fisch nicht mehr in ihrer Umgebung verweilte. Die Sichtung der Laichgruben war oberhalb der Zentrale Ilanz II wesentlich einfacher als im Abschnitt zwischen Reichenau und Ilanz. Oberhalb der Zentrale Ilanz II war wegen der geringen Abflusssdynamik das Substrat auf den Laichplätzen mit einem braunen Biofilm überzogen, sodass der aufgewühlte Kies der Laichgruben mit der Polbrille leicht gefunden werden konnte. Die geringe Abflussrate von 2.5-5 m³/s erlaubte mit den Hüftstiefeln den Fluss an vielen Stellen zu überqueren, was die Beobachtung auf den Laichplätzen erheblich erleichterte. Unterhalb der Zentrale Ilanz II konnten die Laichgruben nicht gut erkannt werden, vor allem, wenn sie sich am gegenüberliegenden Ufer befanden. In der Schlucht blieb oft wegen der schlechten Zugänglichkeit nicht genug Zeit, um das Ufer zu wechseln. Auf dem Teil der Sohle, der auch bei niedrigem Wasserstand in der Nacht nicht trocken lag, fehlte weitgehend ein Biofilm. Dadurch unterschieden sich die Laichgruben fast nicht farblich vom

benachbarten Substrat. In einigen Fällen musste die Beobachtung der Laichplätze mit dem Fernrohr geschehen. Es gestaltete sich dementsprechend schwierig zu beurteilen, ob es sich bei der gefundenen aufgewühlten Stelle um eine Laichgrube handelte oder nicht. In fünf Fällen konnten keine Laichgruben ausgemacht werden. So mussten die verschiedenen Aufenthaltsorte der betreffenden Fische als Laichhabitat beurteilt werden, um den Ort des Abblaus einzugrenzen. Das Substrat erlaubte oft, besuchte Orte als Laichhabitate auszuschliessen. Fische, deren Abblausort oder Abblauszeitpunkt nicht zuverlässig bestimmt werden konnten (Fische Nr. 2, 3, 6, 7, 10 und 18), wurden von den betreffenden statistischen Analysen ausgeschlossen.

2.2.4 Einteilung der Laichwanderungen in Phasen

Finstad et al. (2005) haben die Migration flussaufwärts von Atlantischen Lachsen *Salmo Salar* mit derjenigen der Meerforelle *Salmo trutta trutta* verglichen. Dabei wurde die Periode vom Eintritt in den Fluss bis zum Abblaus in Anlehnung an Okland et al. (2001), der das Migrationsverhalten von Atlantischen Lachsen untersucht hat, in drei Phasen eingeteilt: In eine Migrationsphase, in eine Suchphase mit wiederholten Bewegungen flussaufwärts und flussabwärts, und in eine Haltephase ohne Bewegungen bis zum Abblaus. Svendsen et al. (2004) haben die Laichwanderungen weiblicher Meerforellen im Zusammenhang mit Umweltfaktoren untersucht und die Migration in zwei Phasen eingeteilt, in eine Phase vor dem Abblaus "pre-spawning" und in eine Phase nach dem Abblaus "post-spawning". Rustadbakken et al. (2004) haben in ihrem Telemetrierversuch die individuellen Laichwanderungen von Seeforellen in drei Phasen eingeteilt: Aufstieg "ascending", Laichen "spawning", und Abstieg "descending".

Die Zeitspanne zwischen dem Markieren der Seeforellen und dem Abblaus wurde in Anlehnung an Finstad et al. (2005) in drei Phasen eingeteilt: In eine Aufstiegsphase, in eine Suchphase und in eine Haltephase. Für diejenigen Fische, die nach dem Abblaus die Laichplätze wieder verliessen und nicht auf den Laichplätzen überwinterten, wurde eine Abstiegsphase definiert. Für die statistische Auswertung wurde in Anlehnung an Rustadbakken et al. (2004) zusätzlich noch die Laichphase definiert, die sich aus der Such- und Haltephase zusammen ergibt. Die statistische Analyse wurde mit SPSS erstellt (2001).

- Aufstiegsphase** Da die Fische erst bei Domat / Ems markiert wurden und nicht schon im Bodensee, konnte im Rahmen der Diplomarbeit nur der letzte Teil des Aufstieges untersucht werden. Die individuellen Aufstiegsphasen mit Aufstiegszeit und Aufstiegsdistanz bestanden aus einer direkten oder schrittweisen Migration flussaufwärts und wurden als der Abschnitt zwischen dem Zurückversetzen der Fische in den See bei Domat / Ems und dem Eintreffen der Fische auf den individuellen Laichplätzen definiert.
- Suchphase** Das Eintreffen auf den individuellen Laichplätzen war mit einem Abbruch der Aufstiegsphase verbunden, der sich aus den Bewegungsmustern der Tiere und anhand der Standorteigenschaften leicht erkennen liess. Die Phase ab dem Eintreffen auf den individuellen Laichplätzen bis zum Einstellen der Bewegungen kurz vor dem Ablaichen wurde als Suchphase definiert.
- Haltephase** Bei einigen Seeforellen konnte unmittelbar vor dem Ablaichen ein "holding", ein Verweilen im Laichhabitat ohne Standortwechsel beobachtet werden. Ein Standortwechsel wurde als eine festgestellte Bewegung von mindestens 50 m definiert.
- Abstiegsphase** Einige Seeforellen überwinterten in den Laichgebieten. Für die anderen, die vor dem 1. Januar die Migration flussabwärts aufnahmen und in den See bei Domat / Ems zurückschwammen, wurde eine Abstiegsphase definiert, als Zeitraum zwischen dem Ablaichen und dem Eintreffen im See.

Da die Fische beim Aufstieg durch die Fischtreppe gefangen und markiert wurden, haben wir die Staumauer in Domat / Ems als Referenzpunkt für den Aufenthaltsort der Fische gewählt. Alle Angaben in Flusskilometer (Fkm) bezeichnen die Distanz zur Staumauer. Bei Fkm 2.61 befindet sich der Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein. Fkm 3 im Hinterrhein befindet sich nicht 3 km oberhalb des Zusammenflusses von Hinter- und Vorderrhein, sondern 3 km oberhalb der Staumauer, respektive 0.39 km oberhalb des Zusammenflusses.

2.2.5 *Altersbestimmung und Analyse von Mehrfachlaichern*

Das Alter von 16 der 19 markierten Seeforellen konnte anhand der Schuppen bestimmt werden. Die dafür benötigten Schuppen wurden mit einer Pincette zwischen After- und Fettflosse oberhalb der Seitenlinie auf der Flanke entnommen. Weiteres Probematerial (n=30 Fische) stammte von Schuppen von aufsteigenden Fischen, die im November 2005 in der Reuse gefangen wurden. Die Schuppen wurden im Ultraschallbad in Seifenlösung mehrmals gereinigt, mit Wasser nachgespült und anschliessend auf einen Objektträger geklebt. In einigen Fällen mussten verbliebene Hautreste mechanisch von den Schuppen entfernt werden. Nach dem Trocknen der Schuppen untersuchte A. Peter die Schuppen mit einem Projektionsmikroskop. Er mass die Schuppenradien der Jahresringe aus und untersuchte die Schuppen nach Laichmarkierungen, um festzustellen, ob es sich um Mehrfachlaicher handelte. Die Methode der Scalimetrie ist in Rippmann (1987) näher umschrieben.

2.3. Resultate

2.3.1 *Beobachtete Bewegungsmuster*

Jede einzelne Seeforelle zeigte bei ihrer Laichwanderung ein individuelles Bewegungsmuster. Grosse Unterschiede fanden sich nicht nur in der Wanderungsdistanz, in der Geschwindigkeit der Wanderungen und in der Aufenthaltszeit auf den Laichgebieten, sondern auch in den Ortsverschiebungen vor und nach dem Ablaichen. Das Schema mit Aufstiegsphase, Suchphase, Haltephase und Abstiegsphase konnte nicht auf alle Seeforellen angewendet werden. Nachfolgend werden verschiedene Bewegungsmuster, die beobachtet werden konnten, anhand von Beispielen beschrieben (siehe Abbildung 7 bis 17).

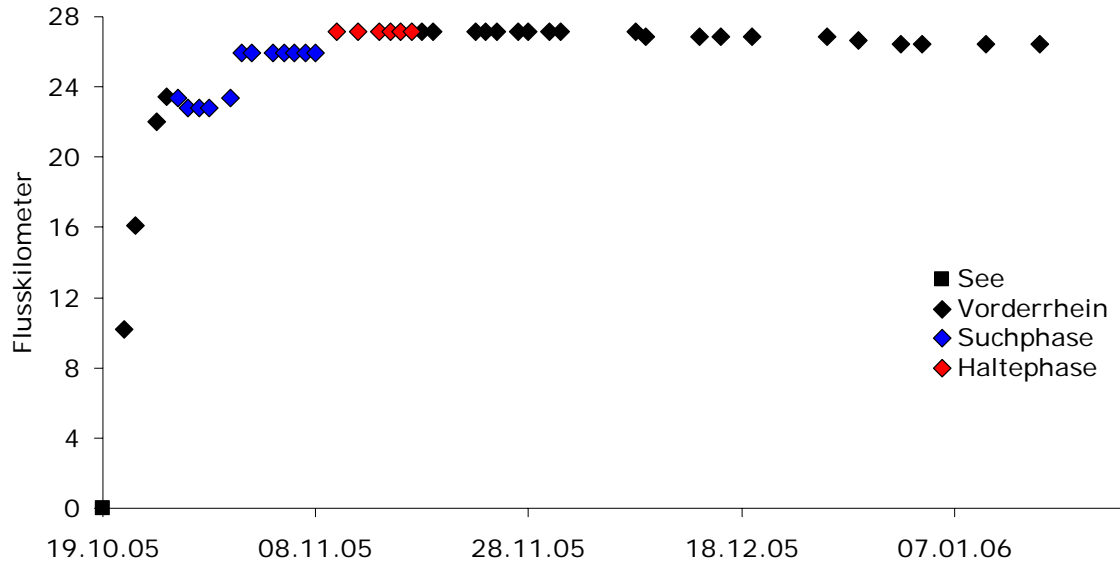


Abbildung 7: Milchner Nr. 13: Besuch von drei Laichplätzen während der Suchphase. Die y-Achse zeigt die Distanz zur Staumauer in Domat / Ems in Flusskilometer an. Sie ist in den folgenden Diagrammen nicht gleich skaliert. Der Abblanchzeitpunkt befindet sich immer am Ende der Haltephase, die auch in den nachfolgenden Abbildungen mit roten Punkten dargestellt ist.

In Abbildung 7 ist ein typisches Bewegungsmuster bis zum Abblanchen für einen Milchner dargestellt. Speziell für Nr. 13 ist, dass er nach dem Laichen noch während 20 Tagen auf dem Laichplatz blieb, und danach etwa 900 m flussabwärts schwamm, wo er dann auch überwinterte. Der zweite Teil der Suchphase von Nr. 13 bei Fkm 25.93 (1.11.2005 - 8.11.2005) war ruhiger, und im Gegensatz zum ersten Teil der Suchphase (25.10.2005 - 31.10.2005) in einem Gebiet ohne Laichgruben. Bei Fkm 27.4, wo Nr. 13 abblanchte, konnten Mitte November 3 grosse Laichgruben innerhalb eines Flussabschnitts von etwa 70 m beobachtet werden.

In Abbildung 7 lässt sich die Häufigkeitsverteilung der Peilungen gut erkennen. Bis zum Abblanchen und in den darauf folgenden Tagen wurde die Position der Fische möglichst täglich erfasst. Danach lokalisierte ich jeden Fisch nur noch 2-3 Mal pro Woche.



Abbildung 8: Laichgrube, die von Milchner Nr. 13 beim Laichplatz neben der Deponie Plaun Grond in Schnaus besucht wurde, fotografiert am 17.11.2005

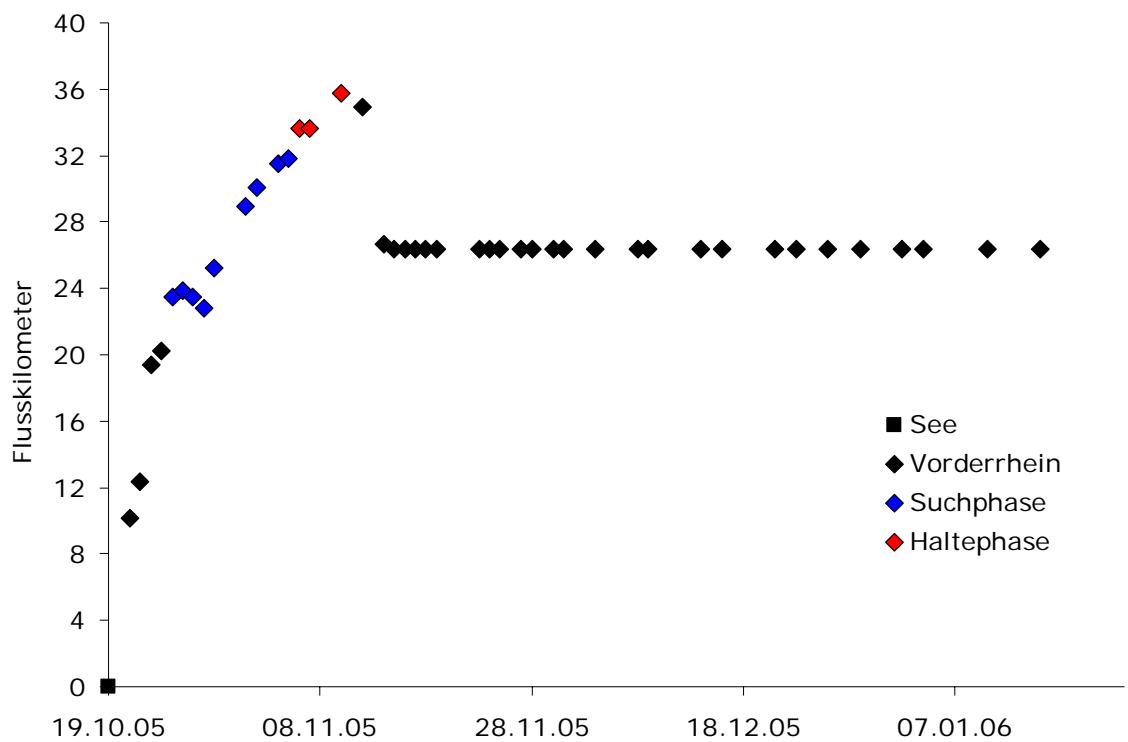


Abbildung 9: Milchner Nr. 5: sehr lange Suchphase, Besuch mehrerer Laichgruben

Milchner Nr. 5 hat die grössten Distanzen beim Suchen zurückgelegt und ist auch am weitesten den Vorderrhein hoch geschwommen (bis Tavanasa). Zwischen Ilanz (Fkm 24) und Tavanasa wurde er mehrmals auf Laichplätzen geortet und gesichtet. Erst in der Nähe des Helikopterlandeplatzes vor Tavanasa bei Fkm 33.6 hielt er sich wenige Tage auf dem gleichen Laichplatz auf. Danach stieg er noch bis Tavanasa auf, wo sich auch Laichgruben befanden. Der Abstieg erfolgte rasch bis zu seinem Überwinterungshabitat beim Kieswerk Schnaus (Fkm 26.4). Da Milchner Nr. 5 wahrscheinlich auf beiden Laichplätzen gelaicht hat, wurde hier die Haltephase (rote Punkte, siehe Abbildung 9) an beiden Orten eingezeichnet.

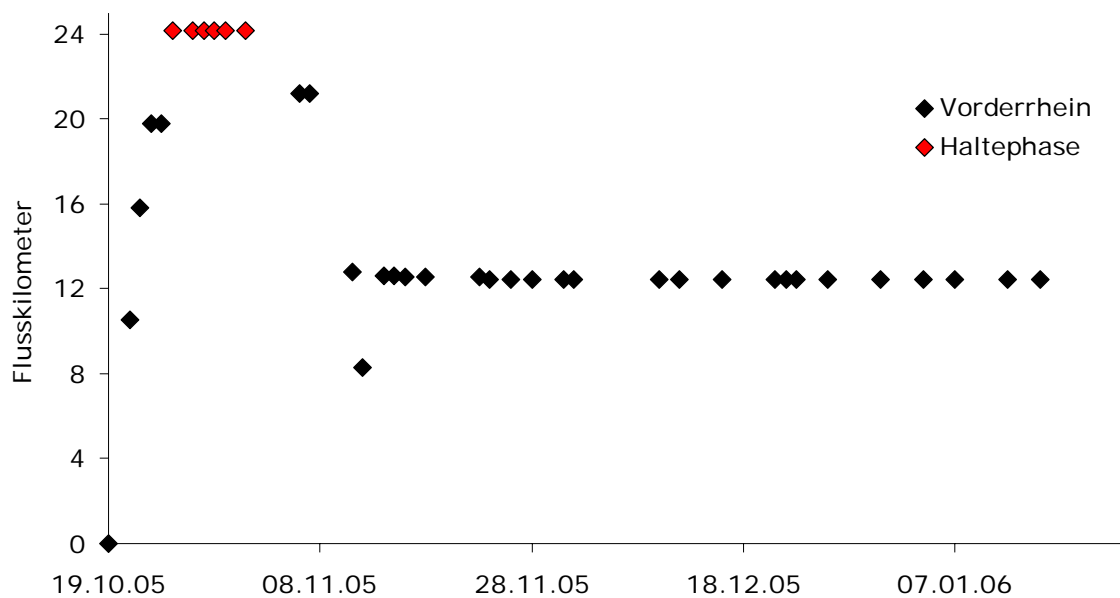


Abbildung 10: Rogner Nr. 11: keine Suchphase, Überwinterung im Vorderrhein

Ein Migrationsverhalten mit einer extrem kurzen Suchphase, wie Rogner Nr. 11 (siehe Abbildung 10) oder auch Rogner Nr. 17 zeigten, fand sich nur bei Rognern, nicht aber bei den Milchnern. Der Auf- und Abstieg von Rogner Nr. 11 erfolgte stufenweise, mit je einer Pause beim Auf- und beim Abstieg.

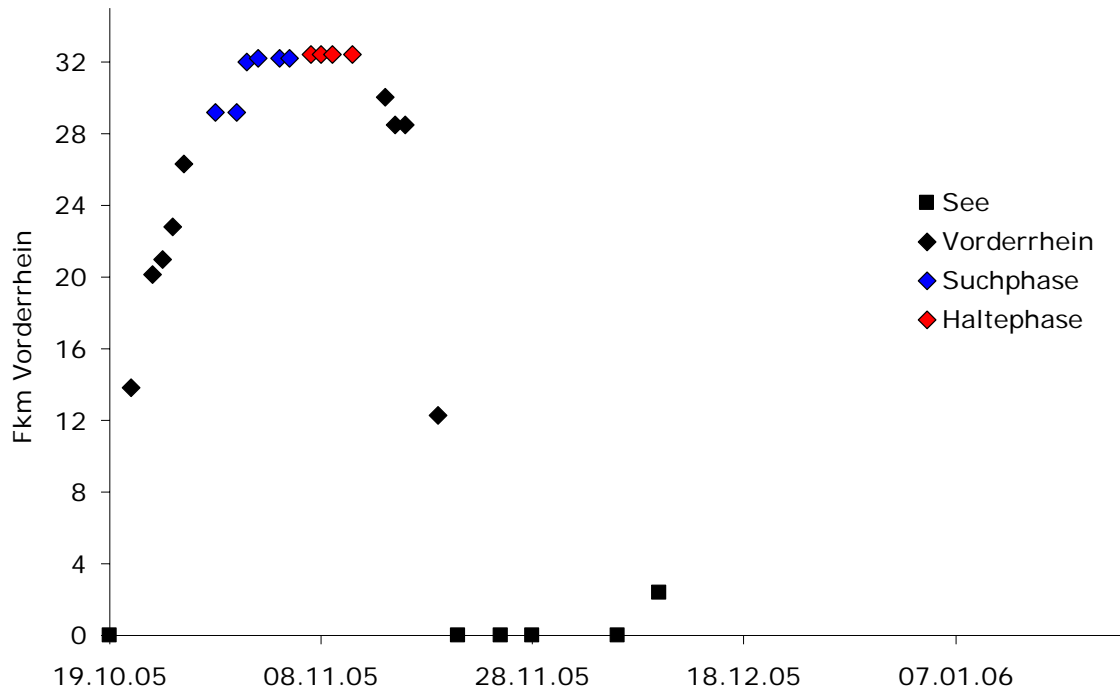


Abbildung 11: Rogner Nr. 8 mit Such- und Ruhephase und schnellem Abstieg zum See nach dem Abbläichen

Rogner Nr. 8 (siehe Abbildung 11) zeigt ein für Rogner typisches Migrationsverhalten mit einem Bewegungsmuster, wie man es bei den meisten Rognern in ähnlicher Form beobachten konnte: Schneller Aufstieg, kurze Suchphase, gut ausgeprägte Haltephase und ein schneller Abstieg nach dem Abbläichen. Rogner Nr. 8 ist direkt bis zur Staumauer in Domat / Ems geschwommen. Für die letzten 28 km benötigte er 3-5 Tage, was einer Geschwindigkeit von 5-9 km/d entspricht. Nr. 8 wurde am 21.11.2005 bei der Staumauer geortet. Es ist jedoch unklar, ob er nicht schon vorher im See eingetroffen ist, da die Ortungen im See wegen der Wassertiefe oft nicht möglich waren.

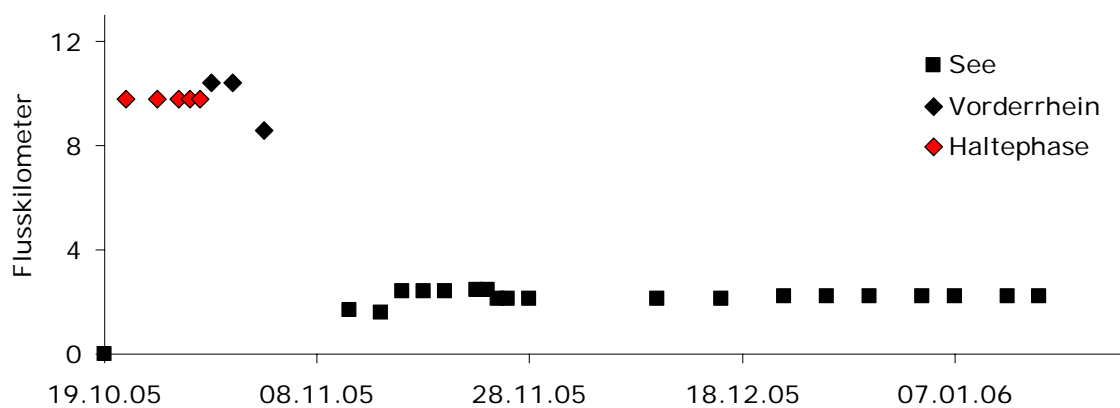


Abbildung 12: Rogner Nr. 9: kurzer Aufstieg nach dem Abbläichen

Rogner Nr. 9 ist sehr schnell zum Laichgebiet aufgestiegen und hat im Vergleich mit den anderen telemetrierten Seeforellen recht früh zu laichen begonnen. Für Rogner Nr. 9 konnte keine Suchphase festgestellt werden. Nach dem Laichen ist sie etwa 730 m weiter flussaufwärts geschwommen, wo sie für eine kurze Zeit von drei Tagen geblieben ist. Ein fast identisches Bewegungsmuster mit einem kurzen Anstieg nach dem Laichen zeigte auch Rogner Nr. 12. Vom 4.11.2005 bis zum 11.11.2005 konnte Rogner Nr. 9 nicht geortet werden. Wahrscheinlich ist er innerhalb dieses Zeitraumes im See eingetroffen, wo die Signale schwierig zu empfangen sind.

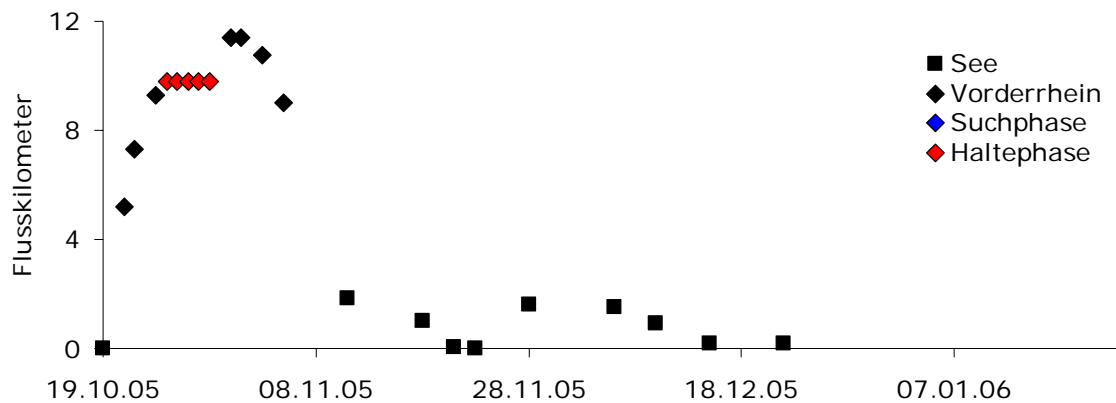


Abbildung 13: Lokalisierungen von Rogner Nr. 12

Die Bewegungsmuster von Rogner Nr. 9 und Rogner Nr. 12 sind verblüffend ähnlich, auch was die Aufenthaltszeit und Wanderungsdistanz betrifft. Wie Rogner Nr. 9 hat auch Rogner Nr. 12 früh gelaicht, ohne dass eine Suchphase beobachtet werden konnte. Auch Rogner Nr. 5 ist nach dem Ablaihen noch weiter aufgestiegen, bevor er mit dem Abstieg begonnen hat. Rogner Nr. 9 und Rogner Nr. 12 haben den gleichen Laichplatz bei Fkm 9.75 benutzt.



Abbildung 14: Flussabschnitt bei Isla Davos in der Ruinaulta, Ende Oktober 2005. Auf diesem Flussabschnitt bei Fkm 9.9 wurden Rogner Nr. 4 und Rogner Nr. 10 bei ihrem Aufstieg geortet. Rogner Nr. 10 hat hier eine kurze Pause beim Aufstieg eingelegt. Etwas weiter flussabwärts in der Rechtskurve auf der Abbildung befindet sich der Laichplatz von Rogner Nr 9. und von Rogner Nr. 12.

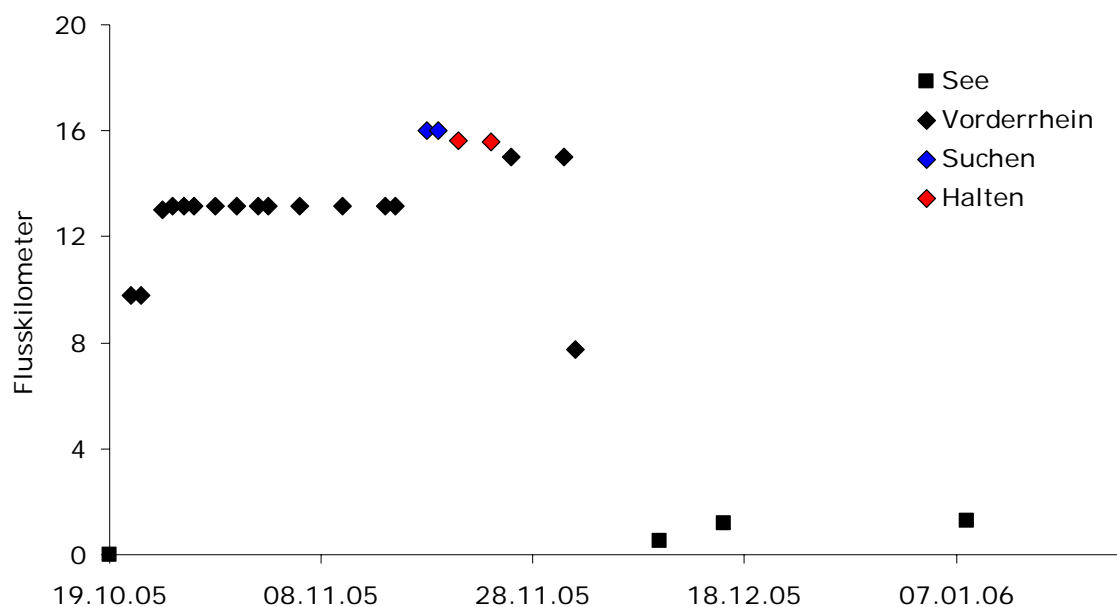


Abbildung 15: Rogner Nr. 10: lange Ruhephase vor dem Suchen

Seeforelle Nr. 10 und Seeforelle Nr. 18, beide Rogner, legten zwischen Aufstiegsphase und Suchphase eine sehr lange Ruhephase von je 21 Tage ein (25.10.2005 - 15.11.2005 resp. 28.10.2005 - 18.11.2005). Während dieser Phase wurden die beiden Rogner jeweils genau am gleichen Ort lokalisiert. Nr. 10 im Vorderrhein ca. 500 m vor Versam Station (Fkm 13.17) und Nr. 18 im Hinterrhein bei Fürstenaubruck (Fkm 15.0), beide nicht auf einem der Laichplätze. Nr. 10 hielt sich bei einer tiefen Stelle mit grossen Blöcken am Ufer auf, Nr. 18 wurde immer in der Nähe eines grossen Steines geortet, in einem Flussabschnitt, der aufgrund des fehlenden Kies sich nicht als Laichhabitat eignen konnte. Ein rascher Auf- und Abstieg wie in Abbildung 15 wurde oft beobachtet. Hier erfolgte der Aufstieg nicht kontinuierlich, sondern mit einer kurzen Pause bei Fkm 9.8, etwa 500 m unterhalb der Mündung der Rabiusa in den Vorderrhein (vgl. Abbildung 24).

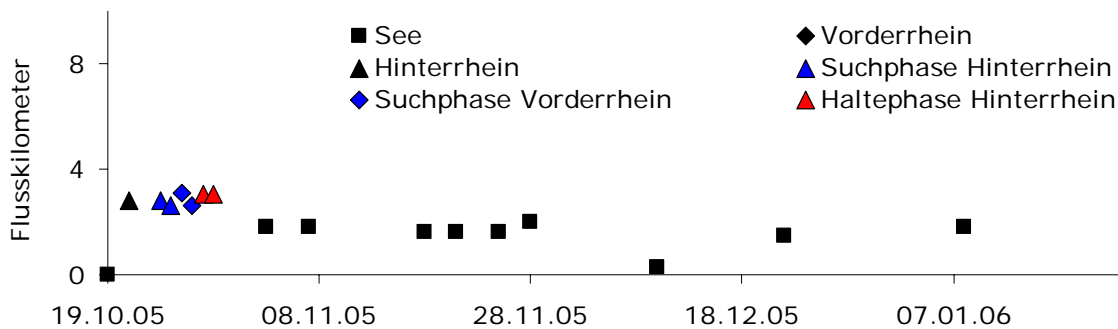


Abbildung 16: Bewegungsmuster von Rogner Nr. 14: fast kein Aufstieg und Suchen beim Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein

Rogner Nr. 14 wurde bis zum Ablachen im Vorder- und im Hinterrhein in der Nähe des Zusammenflusses geortet. Er hat im Hinterrhein bei Fkm 3.07 gelaicht, also etwa 500 m vor dem Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein.

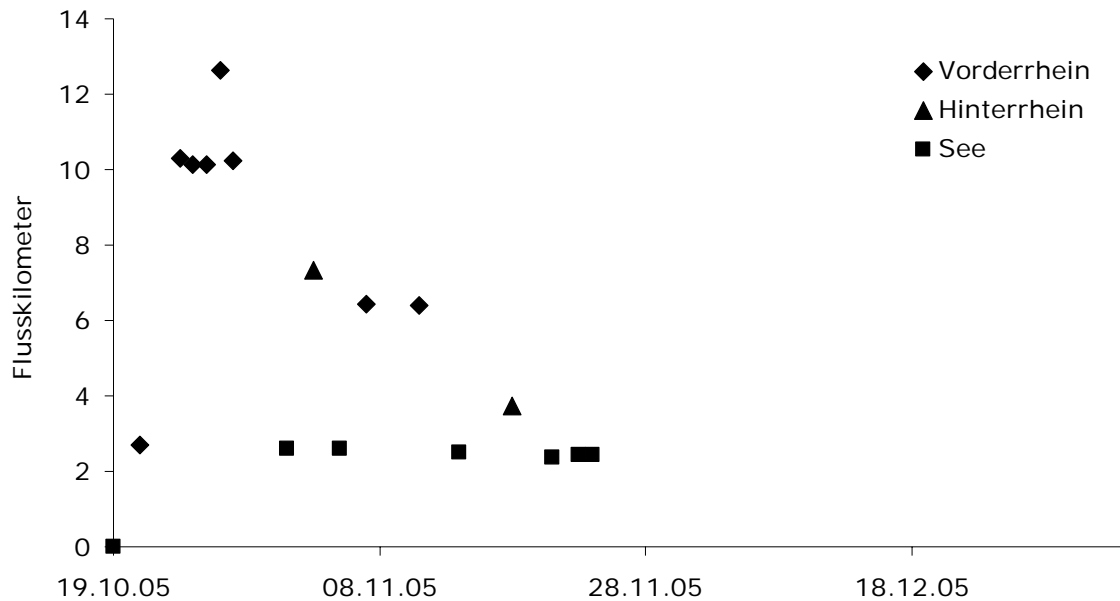


Abbildung 17: Milchner Nr. 6: Herumschweifende Laichwanderung. Da die Such- und Haltephase für Milchner Nr. 6 nicht identifiziert werden konnte, sind alle Punkte schwarz abgebildet.

Unter den telemetrierten Fischen befand sich ein "Strayer". Wegen seiner herumschweifenden Laichwanderung war es schwieriger, ihn zu lokalisieren. Es konnte nicht beobachtet werden, wo Milchner Nr. 6, der Strayer, gelaicht hat. Die ersten beiden Lokalisierungen im See (siehe Abbildung 16) wurden nachträglich angefügt, um die Ortswechsel besser zu veranschaulichen, denn um die Flüsse zu wechseln, musste der "Strayer" kurz in den See beim Zusammenfluss von Hinter- und Vorderrhein. Milchner Nr. 6 blieb insgesamt lediglich 20 Tage im Vorder- und Hinterrhein, und war damit der vierte Fisch, der für die Überwinterung wieder in den See bei Domat / Ems zurückkehrte.

Die Bewegungsmuster der übrigen Seeforellen lassen sich weitgehend in den oben beschriebenen Schemen einordnen und sind im Anhang 2 aufgeführt.

2.3.2 Aufstieg

Tabelle 5: Aufstieg bis zum Beginn der Suchphase

	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	σ_x	<i>Schiefe</i>	<i>Kurtosis</i>
Aufstiegszeit (d)							
Milchner und Rogner	16	2	9	5.25	2.08	-0.76	-0.26
Milchner	5	2	9	5.61	2.51	-0.20	0.91
Rogner	11	2	8	5.09	1.97	-0.15	-0.19
Aufstiegsdistanz bis zur Suchphase (Fkm)							
Milchner und Rogner	17	2.79	29.16	17.23	8.12	0.44	-0.97
Milchner	5	3.12	25.30	17.12	9.86	0.87	-1.63
Rogner	12	2.79	29.16	17.27	7.78	-0.29	-0.61
Geschwindigkeit beim Aufstieg (Fkm/d)							
Milchner und Rogner	16	1.40	4.86	3.29	1.28	-0.26	-1.54
Milchner	5	1.56	4.69	2.94	1.36	0.83	-1.26
Rogner	11	1.40	4.86	3.45	1.28	-0.53	-1.22

Tabelle 6: Maximaler Aufstieg, inklusive Suchphase

	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	σ_x	<i>Schiefe</i>	<i>Kurtosis</i>
Maximaler Aufstieg (Fkm), Vorder- und Hinterrhein							
Milchner und Rogner	19	3.11	35.79	17.72	9.31	0.31	-0.81
Milchner	6	4.87	35.79	16.47	12.27	0.99	-0.74
Rogner	13	3.11	32.40	18.29	8.14	-0.09	-0.39
Maximaler Aufstieg (Fkm), Vorderrhein							
Milchner und Rogner	15	8.70	35.79	20.17	8.54	0.29	-1.06
Milchner	4	8.70	35.79	21.12	12.67	0.28	-3.54
Rogner	11	10.42	32.40	19.83	7.32	0.16	-1.05
Maximaler Aufstieg (Fkm), Hinterrhein							
Milchner und Rogner	4	3.07	16.60	8.49	6.03	0.99	0
Milchner	2	3.07	16.60	7.15	3.22	kA	kA
Rogner	2	4.87	9.43	9.83	9.56	kA	kA

Zwei Seeforellen stiegen sowohl den Vorderrhein als auch den Hinterrhein hoch. Ihr maximaler Aufstieg wurde für den Fluss berücksichtigt, in dem sie gelaicht haben.

2.3.3 Suchphase

Für die Analyse der Suchphase konnten die beiden Rogner Nr. 18 und Nr. 10 und die drei Milchner Nr. 2, Nr. 3 und Nr. 6 nicht berücksichtigt werden. Milchner Nr. 2 ist in den Hinterrhein geschwommen und konnte nicht oft genug lokalisiert werden, weil ich mich wegen der weiten Verteilung der Fische auf den Vorderrhein fokussieren musste. Bei Milchner Nr. 6 konnte wegen seiner herumschweifenden Laichwanderung der Zeitpunkt und Ort des Abblaus und der Beginn der Haltephase, bzw. das Ende der Suchphase nicht ermittelt werden. Aufgrund seines Bewegungsmusters ist anzunehmen, dass er den Mittelwert der Suchdistanzen der Milchner eher anheben als herabsetzen würde.

Tabelle 7: Suchphase

	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	σ_x	<i>Schiefe</i>	<i>Kurtosis</i>
Bewegungen beim Suchen (total Fkm)							
Milchner und Rogner	14	0	12.25	3.01	3.36	1.76	1.15
Milchner	3	3.19	12.25	6.82	4.79	1.46	kA
Rogner	11	0	6.11	1.97	2.13	1.29	0.66
Dauer der Suchphase (d)							
Milchner und Rogner	14	0	15	5.57	4.59	0.46	-0.40
Milchner	3	10	15	11.67	2.89	1.73	kA
Rogner	11	0	10	3.91	3.89	0.32	-0.76

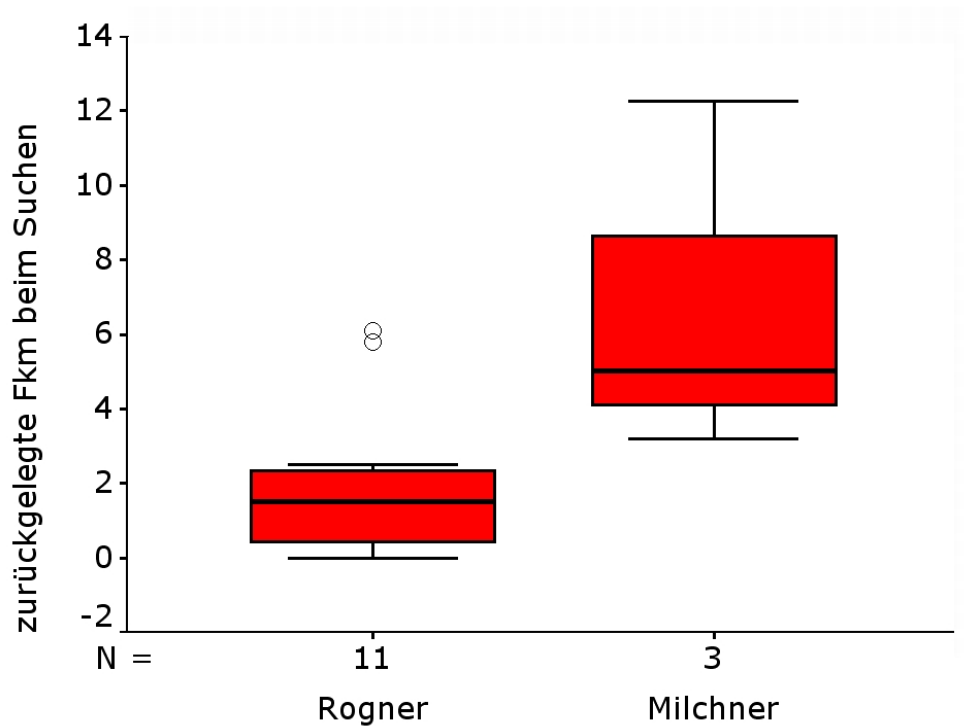


Abbildung 18: Boxplots mit der Summe zurückgelegter Flusskilometer während der Suchphasen für Rogner und Milchner. Der Unterschied zwischen Milchner und Rogner ist nicht signifikant (Mann-Whitney Test, $P=0.051$). Die hohe Streuung der zurückgelegten Fkm der drei Milchner verleiht dem Test eine geringe Mächtigkeit, bzw. spricht gegen die Zuverlässigkeit (Repräsentativität der Grundgesamtheit) der Ergebnisse für die Milchner.

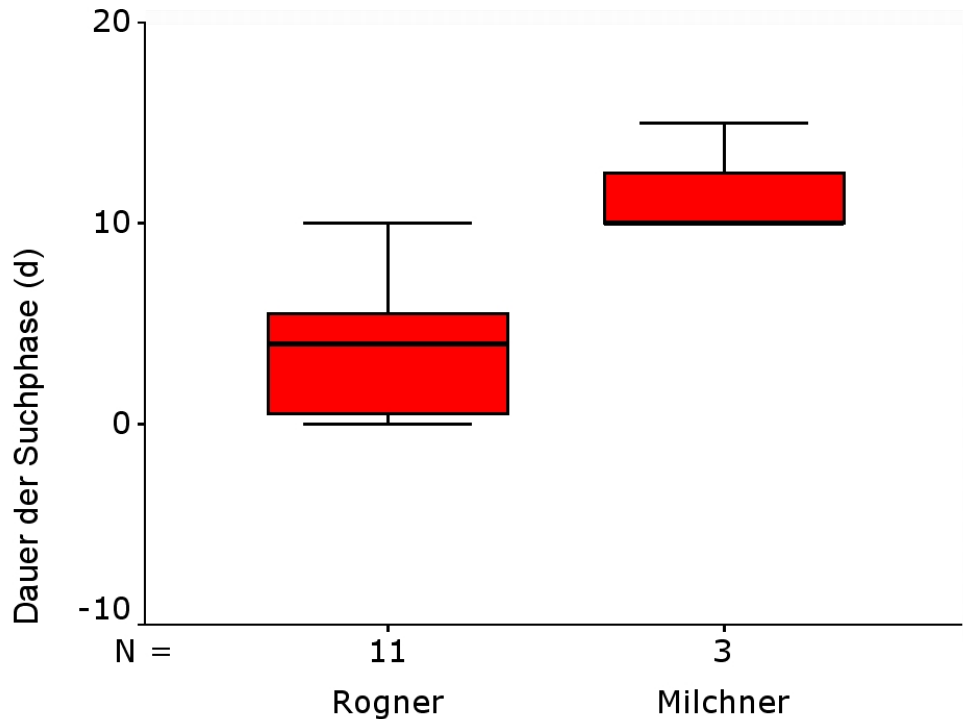


Abbildung 19: Boxplots mit der Dauer der Suchphasen für Rogner und Milchner. Der Unterschied zwischen Rogner und Milchner ist signifikant (Mann-Whitney Test, $P=0.015$). Die geringe Streuung der Dauer der Suchphasen kompensiert teilweise die geringe Grösse der Stichprobe bei den Milchnern hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

2.3.4 Haltephase

Tabelle 8. Haltephase

	N	Min	Max	M	σ_x	Schiefe	Kurtosis
Dauer der Haltephase (d)							
Milchner und Rogner	13	1	12	5.77	2.74	0.51	1.37
Milchner	3	1	8	5.33	3.79	0	kA
Rogner	10	3	12	5.90	2.60	1.42	2.97

2.3.5 *Abstieg und Überwinterung*

Im Januar und im Februar wurden fast keine Ortswechsel der markierten Fische registriert. Mit dem Sinken der Wassertemperatur gegen den Gefrierpunkt gingen die Aktivitäten der Seeforellen auf ein Minimum zurück. Von den 19 markierten Seeforellen haben 5 im Vorderrhein, keine im Hinterrhein und 11 im See bei Domat / Ems überwintert. Nur Rogner Nr. 15 überwinterte auf den Laichplätzen. Die Rogner Nr. 17 und Nr. 19 sowie die Milchner Nr. 5 und Nr. 13 schwammen ein Stück weit flussabwärts, bevor sie im Rhein überwinterten. Interessanterweise überwinterten die drei Seeforellen Nr. 5, 13, und 19 an derselben Stelle im Vorderrhein beim Kieswerk in Schnaus.

Die Seeforellen Nr. 4, Nr. 7, Nr. 11 und Nr. 12 sind im Laufe des Winters gestorben (siehe Tabelle 1). Von Rogner Nr. 4 konnte ein starkes Signal am Ende des Kanals, der zum Kraftwerk in Domat / Ems führt, empfangen werden. Die ungewöhnlich starke Signale von Rogner Nr. 11 und Rogner Nr. 12 können als Hinweis darauf gedeutet werden, dass die betreffenden Sender in der Luft und nicht mehr im Wasser liegen müssen. Die Position eines Senders, der in der Luft liegt, kann mit dem verwendeten Empfangsgerät nicht genau bestimmt werden, da bereits in grösserer Entfernung zum Sender das Empfangsgerät die maximale Signalstärke anzeigt. Rogner Nr. 7 ist am 1.11.2005 im Glenner gestorben. Die Seeforellen, die lange Zeit nicht mehr geortet werden konnten (siehe Tabelle 1), sind nicht in Domat / Ems über die Fischtreppe abgestiegen, denn die eingerichtete automatische Messstation unterhalb der Kraftwerksanlagen hat ihre Signale nicht registrieren können.

Tabelle 9: Aufenthaltsorte der besenderten Seeforellen am 25.3.2006

Seeforelle	Aufenthaltort	Fkm	Bemerkungen
5, 13, 19	Kieswerk Schnaus	26.4 /26.42 / 26.32	Überwinterungsgebiet
15	Valendas Station	16.5	Richtung Mündung Carreratobel
17	Trin Station	7.34	Überwinterungsgebiet
1, 2, 3, 6, 10, 14, 16	See Domat/ Ems	0 bis 2.6	schwierig zu orten
18	verschwunden, 10.12.2005	-	See Domat/ Ems
8	verschwunden, 16.12.2005	-	See Domat/ Ems
6	verschwunden, 23.11.2005	-	See Domat/ Ems
11	vermutlich gestorben in der 1. Februarwoche 2006	12.4	Versam Station Sender nicht gefunden
4	vermutlich gestorben in der 1. Januarwoche 2006	-	Kraftwerk Domat/ Ems Sender nicht gefunden
12	vermutlich gestorben am 22.12.2005	-	See Domat/ Ems Sender nicht gefunden
7	gestorben am 1.11.2005	24.71	Glenner, Kadaver gefunden

2.3.6 Verteilung der besuchten Laichplätze

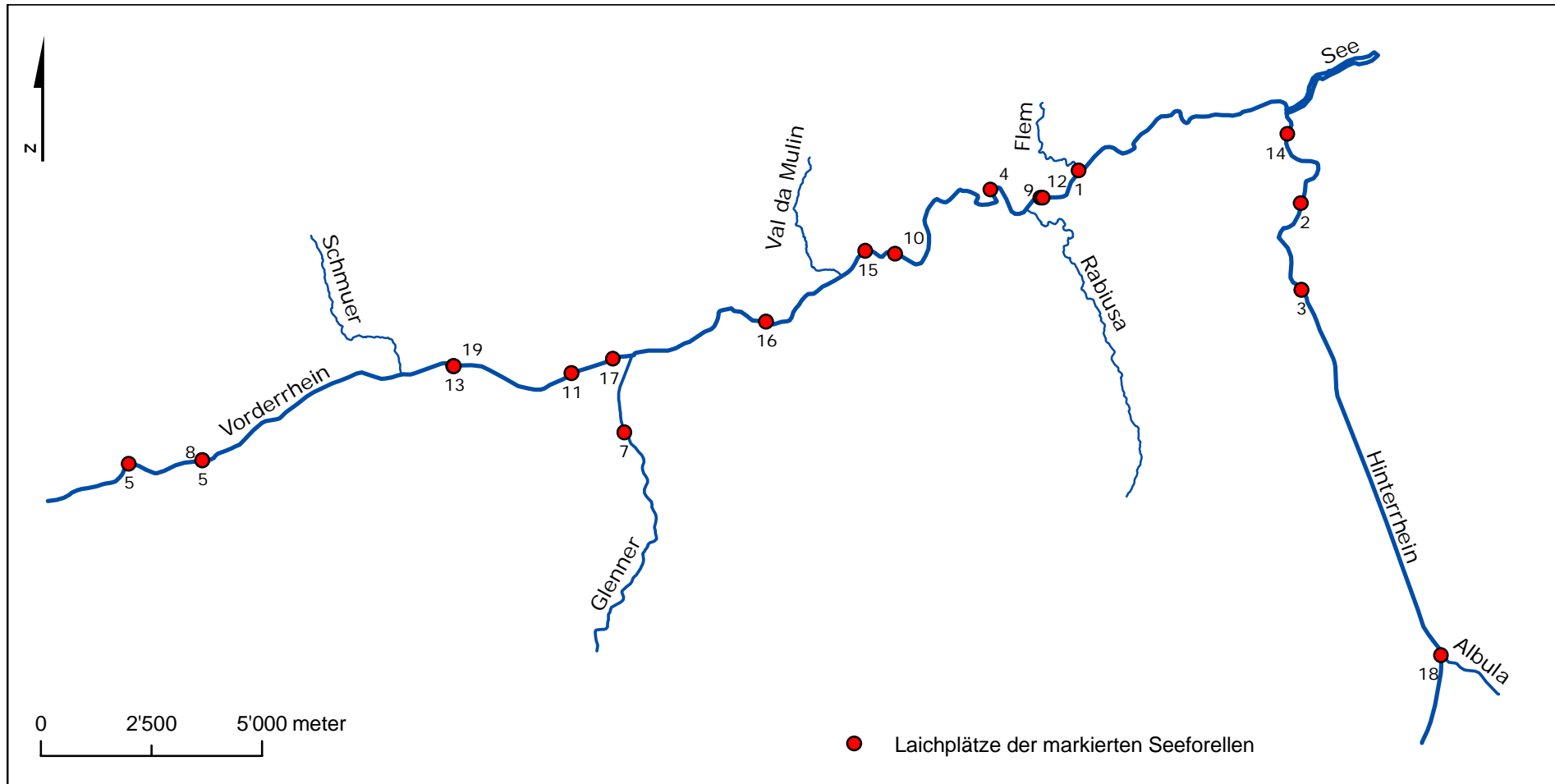


Abbildung 20: Laichplätze der markierten Seeforellen. Milchner, die mehrmals auf verschiedenen Laichplätzen erschienen, sind in der Abbildung mehrfach aufgeführt.

Die von den markierten Seeforellen besuchten Laichplätze liegen im Vorderrhein ziemlich gleichmässig verteilt zwischen der Mündung des Fleim und Tavanasa. Die Rogner Nr. 9 und 12 haben den gleichen Laichplatz in der Rheinschlucht bei Isla Davos (Versam, Fkm 9.8) besucht. Der Rogner Nr. 19 und der Milchner Nr. 13 haben den gleichen Laichplatz kurz vor der Deponie Plaun Grond (Schnaus, Fkm 27.16) benutzt. Milchner Nr. 5 ist mehrmals auf zwei Laichplätzen vor Tavanasa erschienen (Fkm 33.61 und 35.794).



Abbildung 21: Laichplatz von Milchner Nr. 19 und Rogner Nr. 13 bei Fkm 27.16 kurz vor der Deponie Plaun Grond bei Schnaus. Die Laichgruben befinden sich auf der Innenseite der Linkskurve (in Fliessrichtung). Das Bild wurde Ende November 2005 gegen die Fliessrichtung aufgenommen.

2.3.7 Abweichzeitpunkte

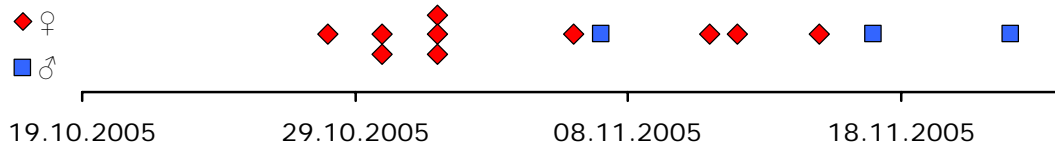


Abbildung 22: Abweichzeitpunkte der markierten Seeforellen. Für die in der Zeitachse fehlenden Seeforellen konnte der Zeitpunkt des Abweichens nicht genau genug (ungenauer als auf 3 Tage) bestimmt werden. Die Milchner sind blau dargestellt, die Rogner rot. Die Rogner Nr. 17 und Nr. 12 haben um den 30.10.2005 gelaicht, die Rogner 4, 11 und 14 alle um den 1.11.2005. Die Milchner der Studie laichten später als die Rogner. Das Ergebnis ist signifikant auf einem Niveau von $\alpha=5\%$ (Mann-Whitney Test, $P=0.045$).

Aus Abbildung 22 kann herausgelesen werden, dass die Zeitspanne zwischen dem Aufstieg über die Fischtreppe in Domat / Ems und dem Abweich bei den Milchnern länger dauert als bei den Rognern. Am 30.10.2005 und am 1.11.2005 haben insgesamt 5 Seeforellen gelaicht, d.h. bereits 11 bzw. 13 Tage nach der Markierung. Rogner Nr. 9 hat als erster gelaicht, bereits am 28.10.2005. Das entspricht rund 10 Tage nach dem Passieren der Fischtreppe in Domat / Ems. Als letzter hat Milchner Nr. 1 gelaicht, am 21.11.2005. Das ist rund ein Monat nach der Markierung vom 19.10.2005.

Tabelle 10: Abweichzeitpunkte, die Angabe "Tage bis zum Abweich" bezieht sich auf die Zeitspanne zwischen der Markierung der Fische und dem Abweich

	N	Min	Max	M	σ_x	Schiefe	Kurtosis
Tage bis zum Abweich (d)							
Milchner und Rogner	13	9	34	18.77	7.99	0.57	-0.87
Milchner	3	19	34	27.33	7.64	-0.93	kA
Rogner	10	9	27	16.2	6.36	0.74	0.68

2.3.8 Migration in den Zuflüssen

Zwei Seeforellen wanderten zu den Seitenbächen des Vorderrheins. Milchner Nr. 1 hat im Flem kurz vor der Mündung in den Vorderrhein (Fkm 8.59) abgelaicht. Rogner Nr. 7 ist etwa 1.84 km weit in den Glenner gewandert, um

abzulaichen. Er wurde am 1.11.2006 tot unterhalb einer grossen Laichgrube gefunden.



Abbildung 23: Laichgrube von Milchner Nr. 1 im Flem kurz vor der Mündung in den Vorderrhein, 21.11.2005. Die Laichgrube ist 2.15 m lang und 1.05 m breit. Die Fliessrichtung ist auf der Abbildung von links nach rechts. Das Wasser war hier etwa 25 cm tief.

2.3.9 Korrelationen

Die maximale Aufstiegsdistanz scheint nicht von den physischen Eigenschaften der Fische abzuhängen und korreliert nicht mit den unabhängigen Variablen k , M und L_T (ANOVA, $df=4$, $F=0.43$, $p=0.78$). Auch die zurückgelegten Flusskilometer während der Suchphase hängen nicht mit den physikalischen Eigenschaften der Fische zusammen (ANOVA, $df=4$, $F=0.55$, $p=0.71$).

2.3.10 Analyse der Mehrfachlaicher

Nur Rogner Nr. 19 wies eine Laichmarke aus dem Vorjahr auf. Von den zusätzlich zu den markierten Seeforellen untersuchten Weibchen waren 2 von 30 Mehrfachlaicher, was 7 % entspricht. 93 % waren Erstlaicher.

2.4. Diskussion

2.4.1 Migration

Wir nehmen an, dass das Verhalten der markierten Seeforellen auch repräsentativ für das Verhalten nicht markierter Seeforellen ist, bzw. dass die Markierung das Verhalten der Fische nicht wesentlich beeinträchtigt. Diese Annahme scheint sinnvoll, in Anbetracht des Ergebnisses, dass innerhalb des ersten Monats nach der Markierung nur eine Seeforelle gestorben ist. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zur Aufstiegsphase muss berücksichtigt werden, dass die Markierung erst bei der Fischtreppe in Domat / Ems vorgenommen wurde, und nicht bei der Mündung des Rheins in den Bodensee. Aus der weitläufigen Verteilung der besuchten Laichplätze im Untersuchungsgebiet kann der Schluss gezogen werden, dass die Fischtreppe und der Stausee in Domat / Ems kurz vor dem Erreichen erster potenzieller Laichgebiete überwindet wird. Die Verteilung lässt vermuten, dass evtl. auch unterhalb der Fischtreppe im Alpenrhein gelaicht wird, vorausgesetzt die Standortfaktoren sind unterhalb der Fischtreppe mit denjenigen oberhalb der Fischtreppe vergleichbar. Die Resultate zeigen, dass bereits unmittelbar nach dem Passieren des Sees einige der Seeforellen ihr Laichhabitat beziehen. Die weitläufige Verteilung der besuchten Laichplätze unterstreicht die Bedeutung des gesamten Untersuchungsgebiets für die Reproduktion der Seeforelle. Die Reproduktion findet nicht "nur" in einem bestimmten Flussabschnitt statt.

Die schnellen Abwanderungen unmittelbar nach dem Ablachen, wie sie bei Rogner Nr. 8, 9, 11 und 12 beobachtet werden konnten, wurden auch bei Meerforellen festgestellt (Rubin, Glimsater, & Jarvi, 2005; Rustadbakken et al., 2004) und bei den früheren Telemetrieversuchen im Vorderrhein (Peter, 2004). Dieses Bewegungsmuster wird durch die drei verschiedenen Studien gefestigt. Hingegen konnte der schnelle Aufstieg nicht bei den anderen Studien gefunden werden. Rustadbakken (2004) beispielsweise mass beim Aufstieg eine Geschwindigkeit von 1 ± 0.9 km/d (N=30).

Die Resultate zeigen, dass die Seeforellen, die nach dem Ablachen die Rückwanderung antreten, die Fischtreppe in Domat / Ems nicht passieren. Es stellt sich die Frage, ob der Stausee sich für die Überwinterung der Seeforellen gut eignet und inwiefern der lange Aufenthalt im See bei Domat / Ems das natürliche Verhalten der Seeforellen im Hinblick auf eine weitere Reproduktion beeinträchtigt. Von den 19 markierten Seeforellen sind 11 nach dem Ablachen

wieder zum See in Domat / Ems abgestiegen. Die Hochrechnung ergibt, dass bei einem jährlichen Aufstieg von etwa 500 Seeforellen sich schätzungsweise 250 bis 300 Seeforellen im See bei Domat / Ems bis Ende Jahr ansammeln, wenn die Schleusen geschlossen bleiben. Während der Telemetrierversuche von Peter (2004) im Jahre 2002 musste das Kraftwerk Reichenau die Schleusen der Staulage öffnen, weil in der zweiten Novemberhälfte viel Regen im Einzugsgebiet des Rheins fiel. Daraufhin konnten sechs markierte Seeforellen beim Abwandern die Kraftwerksanlagen passieren und gelangten in den Bodensee. Beiläufig an den Untersuchungen von Peter (2004) konnte beobachtet werden, wie bei einem starken Überlauf eine Seeforelle die Mauer in Domat / Ems überwunden hat (Einzelereignis, mündliche Mitteilung von Florian Bebi, Chef HFA, Fischereibezirk 3, Alpenrhein). Ein starker Überlauf fand im Herbst 05 und im Winter 05 / 06 nicht statt. Jonsson & Jonsson (2002) beobachteten bei ihren Telemetrierversuchen in einem Fluss in Schweden, dass 3/4 der Meerforellen im Herbst / Winter nach dem Ablachen wieder ins Meer zurückkehrten, und 1/4 im Laichhabitat überwinterte. Sie vermuten, dass hohe Abflussraten die Migration flussabwärts unterstützen und im Gegenzug die Wanderung flussaufwärts behindern. Diese Vermutung scheint plausibel für Flüsse, die ständig genug Wasser führen, so dass die Migration flussaufwärts nicht durch das vermehrte Auftreten von Wanderhindernissen bei einer geringeren Wasserführung erschwert wird. Die Beobachtungen von Jonsson & Jonsson (2002) sind vergleichbar mit denjenigen aus dem Vorderrhein, wenn man die Rückkehr in den See bei Domat / Ems als Abstieg bezeichnet. Allerdings ist der eigentliche Abstieg, der dem Lebenszyklus der Seeforelle entspricht, derjenige bis in den Bodensee.

So wie Dedual (1999) bei Regenbogenforellen in Neuseeland feststellte konnte, fanden sich auch bei den Seeforellen im Rhein keine signifikanten Unterschiede bezüglich Dauer und Geschwindigkeit im Aufstieg von Milchner und Rogner.

2.4.2 *Bewegungsmuster*

Die schnellen Abwanderungen unmittelbar nach dem Ablachen, wie sie bei Rogner Nr. 8, 9, 11 und 12 beobachtet werden konnten, wurden auch bei Meerforellen festgestellt (Rubin et al., 2005) und bei den früheren Telemetrierversuchen im Vorderrhein (Peter, 2004).

Finstad (2005) beobachtete eine Haltephase von 10 ± 12 Tagen bei Meerforellen (N=21) in Norwegen. Dies ist etwa doppelt so lange wie die Dauer der Haltephase von 5.8 ± 2.7 Tagen für die markierten Seeforellen aus dem Bodensee. Auch die Suchphase dauerte bei den Meerforellen (14 - 39 Tage) mehr

als doppelt so lange wie bei der Seeforelle aus dem Bodensee (0 - 15 Tage). Die zurückgelegten Distanzen während der Suchphase sind bei der Meerforelle (3.3 ± 2.5 km) etwa gleich gross wie bei der Seeforelle (3 ± 3.4 km).

2.4.3 *Laichverhalten*

Die Unterschiede in der Dauer der Suchphasen bestätigen die Hypothese H2 "Milchner und Rogner zeigen unterschiedliches Verhalten auf den Laichplätzen".

Die geschlechterspezifischen Unterschiede in der Dauer der Suchphasen und in den zurückgelegten Distanzen beim Suchen wurden in den Untersuchungen von Finstad (2005) bei Meerforellen nicht gefunden. Dies könnte im Widerspruch zu den vorliegenden Resultaten stehen, da dieser Unterschied zwischen den beiden Formen nicht einfach zu erklären scheint. Für die zurückgelegten Distanzen beim Suchen sind die Unterschiede von Milchner und Rogner nicht signifikant, da die hohe Streuung der kleinen Stichprobe der Männchen nicht zuverlässig genug ist. Möglich wäre auch, dass die Männchen bezüglich der zurückgelegten Distanz beim Suchen sehr unterschiedliches Verhalten untereinander zeigen. Um diese Frage zu klären war die Stichprobe zu klein. Bei der kleinen Stichprobengrösse von $N=3$ für die Milchner kann nur für die Dauer der Suchphase davon ausgegangen werden, dass sie die Grundgesamtheit der aufsteigenden Milchner repräsentiert. Rubin (2005) beobachtete, dass Milchner sich längere Zeit im Laichhabitat aufhielten als Rogner, die direkt nach dem schnellen Aufstieg schon zu laichen begannen. Diese Beobachtung deckt sich mit der erfassten kürzeren Suchphase für Rogner im Vergleich mit den Milchnern. Das unterschiedliche Verhalten von Rogner und Milchner ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Produktion von einem Sperma im Vergleich zur Produktion eines Eis viel weniger Energie benötigt und deswegen für Milchner und Rogner unterschiedliche Strategien zur Optimierung der Fitness angewendet werden.

2.4.4 *Bedeutung des Vorderrheins, Hinterrheins und der Zuflüsse*

Rund 3/4 der Seeforellen sind den Vorderrhein und 1/4 den Hinterrhein hochgestiegen. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen aus früheren Telemetrierversuchen der Jahre 2001 und 2002 (Peter, 2004). Im Vorderrhein liegen die heutigen Laichgründe der Seeforelle zwischen Trin und Tavanasa. Über die Fischtreppe in Tavanasa sind im Herbst 2005 lediglich 10 Seeforellen aufgestiegen (mündliche Mitteilung von Lukas Deplazes, Fischereiaufseher

Fischereibezirk 1 Vorderrhein). Vor dem Bau der Kraftwerkanlagen stiegen die Seeforellen bis Diesentis hoch (vgl. Rupf, 1998). Von den 15 markierten Seeforellen, die in den Vorderrhein gewandert sind, haben 5 (siehe Abbildung 20) in der Restwasserstrecke zwischen der Kraftwerkszentrale Ilanz I (Tavanasa) und Ilanz II gelaicht. Das entspricht wiederum einem Anteil von ungefähr 1/4. Die Standortfaktoren oberhalb von Ilanz II unterscheiden sich wesentlich von denjenigen unterhalb der Kraftwerkzentrale. In der Restwasserstrecke ist die Abflusssdynamik vor allem im Winter sehr gering. Der Abfluss schwankt zwischen 2.5 und 5 m³/sec. Die Zuflüsse in diesem Abschnitt bringen im Winter relativ wenig Wasser. Im Verlauf des Winters konnte an verschiedenen Stellen eine Zunahme der Ablagerung von Feinsedimenten beobachtet werden, was u.a. auf die stark reduzierte Abflusssdynamik zurückzuführen ist. Die Kolmatierung der Sohle wird durch die während der Laichgrubenkartierung gesammelten Eindrücke in diesem Abschnitt geringer als unterhalb von Ilanz II intuitiv eingestuft. Sie wurde nicht im Rahmen der Diplomarbeit methodisch analysiert. Geschiebeverfrachtungen finden in der Restwasserstrecke seltener statt. Unterhalb von Ilanz II konnten im Verlauf des Winters Geschiebeverfrachtungen beobachtet werden. Die Sedimente im mittleren Teil der Sohle werden jeden Tag bewegt. Dadurch sind im Vergleich zum Abschnitt oberhalb von Ilanz II viele Kiesbänke im mittleren Teil der Sohle relativ frei von Feinsedimenten. Der Abfluss im Glenner beträgt im Winter etwa 2-3 m³/sec. Die hohe Abflusssdynamik im Vorderrhein unterhalb von Ilanz verursacht als positiven Effekt aus fischökologischer Sicht eine grössere Diversität des Habitatangebotes.



Abbildung 24: Mündung der Rabiusa in den Vorderrhein, 28.10.2005. Wegen ihrer sehr geringen Wasserführung kann die Rabiusa in einem trockenen Herbst und Winter kaum potenzielle Laichgebiete für Seeforellen bieten. Die typisch türkisfarbene Trübung des Vorderrheins ist hier durch den Schwallbetrieb bedingt.

2.4.5 Warum hat es fast keine Mehrfachlaicher?

Die Hypothese H1: "Unter den aufsteigenden Seeforellen hat es eine grössere Anzahl Mehrfachlaicher" kann nicht bestätigt werden.

Die Resultate der Untersuchungen zu den Mehrfachlaichern müssen mit Vorsicht interpretiert werden. Sie zeigen, dass es heutzutage für rund 7 % der Seeforellen möglich ist, mehrfach zu laichen. Verborgener bleibt, wie gross der Anteil Mehrfachlaicher unter natürlichen Bedingungen wäre. Entsprechende Untersuchungen aus den Zeiten vor den Regulierungen und Verbauungen des Rheins fehlen. Heute ist mehrmaliges Laichen für die Seeforellen, die den Vorderrhein hoch schwimmen, nur unter bestimmten Voraussetzungen denkbar: Wiederholtes Laichen kann möglich sein,...

.... wenn die Mehrfachlaicher durch die Kraftwerkanlagen unbeschadet abwandern können,

.... wenn sie mit einem Überlauf die Staumauer überwinden können,

.... wenn sie bereits ein Mal unterhalb der Fischtreppe gelaicht haben, oder

.... wenn sie ihren Lebenszyklus so anpassen können, dass ein Abstieg zwischen zwei Laichperioden nicht mehr nötig ist.

Letzteres schliesst sich als Erklärung für die vorliegenden Ergebnisse jedoch aus, da die untersuchten Fische alle in der Fischtreppe in Domat / Ems gefangen wurden.

Sterben einige der Seeforellen nach dem Ablaichen?



Abbildung 25: Nicht markierter, toter Milchner, gefunden während der Laichgrubenkartierungen am 4.12.2005 ca. 250 m unterhalb der Staumauer in Tavanasa.

Ein Teil der Seeforellen wird durch die mit der Reproduktion in Verbindung stehenden Anstrengungen stark geschwächt, was zu einer höheren Anfälligkeit auf Krankheiten und Parasiten führt. Fergusson (1980) stellte bei seinen Untersuchungen fest, dass die Mortalität nach dem Ablaichen stark mit dem Befall von Pilzen in Verbindung steht. Insgesamt wurden während der Untersuchungen drei tote Seeforellen gefunden: Im Glenner (markiert) Bei Chrummwaag nach Versam in der Rheinschlucht (nicht markiert) und unterhalb der Staumauer in Tavanasa (nicht markiert). Für Seeforellen konnte gezeigt werden, dass der Gewichtsverlust während der Laichzeit positiv mit der Aufenthaltszeit auf den Laichplätzen korrelierte (Rubin et al., 2005).

3. Habitatspräferenz während der Reproduktion

3.1. Fragestellung und Hypothesen

3.1.1 *Fragestellung*

Die beiden wichtigsten Faktoren bei der Suche nach einem Laichhabitat ist die Präsenz von für den Bau einer Laichgrube geeignetem Substrat und eine relativ stabile Fliessgeschwindigkeit, die der Schwimmleistung des Fisches angemessen ist (Holcic, 1986). Der Bedeutung der Wassertiefe messen die Autoren weniger Gewicht bei. Heggberget et al. (1988b) konnte im Fluss Eira in Norwegen zeigen, dass die Laichhabitate der Meerforellen bezüglich Substrat und Wassergeschwindigkeit sich von denjenigen der Lachse unterscheiden. Bezüglich Wassertiefe war die Präferenz weniger stark ausgebildet. Die von ihm in unterschiedlichen Flüssen untersuchten Forellenpopulationen wiesen auch untereinander eine grosse Variabilität in der Habitatspräferenz auf. Beide Faktoren sind u.a. abhängig von der Grösse der Forelle. Grosse Fische sind eher in der Lage, Laichgebiete mit gröberer Substratzusammensetzung zu nutzen. Die Laichgruben liegen in der Regel unmittelbar flussaufwärts von Stromschnellen an der Stelle, wo das stillere Wasser sich zu beschleunigen beginnt (Holcic, 1986). Die Lage der Laichgruben innerhalb "riffle - pool - Sequenz" wurde in der vorliegenden Studie nicht methodisch untersucht. Wegen der grossen Diversität der Habitate, die von Forellen besetzt werden, kann man nicht sagen, wie weit sich die in einem bestimmten Abschnitt aufgezeichnete Habitatspräferenzen auch auf eine andere Umgebung übertragen lassen (Shirvell & Dungey, 1983). Aufgrund der grossen Unterschiede in der Abflussdynamik des Vorderrheins unterhalb und oberhalb der Zentrale Ilanz II kann nicht angenommen werden, dass die in der "Restwasserstrecke" zwischen Ilanz und Tavanasa ermittelten Habitatspräferenzen auch für den unteren Flussabschnitt gelten.

Wie wird das Angebot an Laichplätzen und Laichhabitaten genutzt?

Wie stark ist die Verteilung der Laichgruben im Vorderrhein geklumpt?

3.1.2 *Hypothese*

H3: Auf den meisten Laichplätzen können gleichzeitig mehrere Laichgruben kartiert werden; Laichplätze mit nur einer Laichgrube sind selten.

3.2. Methode

3.2.1 *Auswahl der Laichplätze für die Untersuchung*

Das Habitatsangebot wurde an drei verschiedenen Laichplätzen oberhalb der Zentrale Ilanz II erfasst (siehe Abbildung 36, Laichplätze Nr. 6, 11, 15). Zwei davon wurden von mit Telemetrie-Sendern markierten Seeforellen aufgesucht. Auf dem dritten Laichplatz befanden sich 5 Laichgruben unmittelbar nebeneinander. Unterhalb der Zentrale Ilanz II wurden erkennbare Laichgruben kartiert, nicht aber die Habitatsbenutzung und das Habitatsangebot analysiert. Alle für die Beschreibung der Habitatsbenutzung ausgemessenen Laichgruben befanden sich zwischen Ilanz und Tavanasa (siehe Abbildung 36).

3.2.2 *Analyse des Habitatangebotes*

Eine Querprofilanalyse diente der Aufzeichnung des Habitatangebots. Die Querprofile wurden im Abstand von 10 m aufgenommen. Die Messungen erfolgten nach jedem Meter. Insgesamt wurden 28 Querprofile aufgenommen und ein Flussabschnitt von 280 m analysiert. Dies ergab eine gesamte Anzahl Messpunkte von 598. Der Fluss war an den gewählten drei Laichplätzen zwischen 15 und 30 m breit.

Die Querprofilanalyse wurde auf drei verschiedenen Laichplätzen durchgeführt:

- 10 Querprofile auf dem Laichplatz von Milchner Nr. 13 und Rogner Nr. 19 bei Fkm 27.16 (siehe Abbildung 36, Laichplatz Nr. 15)
- 13 Querprofile auf dem Laichplatz bei Fkm 28.96 zwischen Rueun und Waltensburg / Vuorz (siehe Abbildung 36, Laichplatz Nr. 11)

- 5 Querprofile auf dem Laichplatz von Rogner Nr. 8 nach Tavanasa bei Fkm 33.61 (siehe Abbildung 36, Laichplatz Nr. 6)

Bestimmt wurden:

- Wassertiefe
- Fliessgeschwindigkeiten 5 cm unter der Wasseroberfläche
- Fliessgeschwindigkeiten 5 cm über den Boden (nose velocity)
- Substratzusammensetzung des Flussbettes



Abbildung 26: Messen der Fliessgeschwindigkeit bei der Aufnahme eines Querprofils

Die Substratzusammensetzung wurde auf einer modifizierten "Wentworth Scale" angegeben (vgl. Heggenes & Saltveit, 1990), die in Tabelle 11 beschrieben wird. Der relative Anteil der Substratklassen an der Bodenbedeckung wurde jeweils für eine Fläche von 30x30 cm abgeschätzt. Die Anwendung der modifizierten Wentworth ordnete die Sedimente in 10 Klassen an. Partikelgrößen unterhalb von 2 mm konnten nicht gut von Auge quantifiziert und differenziert werden. Sie wurden deshalb zu einer Substratklasse zusammengefasst.

Tabelle 11: Klassifizierung des Substrates, mod. "Wentworth Scale" (vgl. Heggenes & Saltveit, 1990)

Index des Substrates	Material	Grössenbereich (mm)
10	Grosse Blöcke	> 512
9	Kleine Blöcke	384 - 512
8	Grosse Steine	256 - 384
7	Steine	128 - 256
6	Kleine Steine	64 - 128
5	Sehr grobkörniger Kies	32 - 64
4	Grobkörniger Kies	16 - 32
3	Mittlerer Kies	8 - 16
2	Feiner Kies	2 - 8
1	Sand, Ton und Lehm	< 2

3.2.3 Kartierung der Laichgruben

Die Kartierung der Laichgruben erfolgte beim Telemetrieren und beim systematischen Ablaufen des Vorderrheins zwischen Reichenau und Tavanasa. Die systematischen Kartierungen der Laichgruben erfolgten in der Zeitspanne vom 15.11.2005 bis zum 4.12.2005.

Oberhalb der Zentrale Ilanz II dauerte es etwa 3-4 Wochen, bis der Biofilm und die Ablagerung von Feinsedimenten dem aufgewühlten Kies der Laichgruben wieder die gleiche Farbe verliehen wie dem Substrat nebenan. Frische Laichgruben konnten in diesem Abschnitt sehr gut erkannt werden. Durch die geringe Wasserführung war es zwischen Ilanz II und Tavanasa möglich, sich fast jeder Laichgrube so zu nähern, dass die Ausmessung und das Fotografieren der Grube ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden konnte. Unterhalb der Zentrale Ilanz II wurden die gefundenen Laichgruben nicht ausgemessen. Schwallspitzen kommen erst unterhalb von Ilanz II vor. Sie bewirkten immer wieder Erosion von Geschiebe und Substratverlagerungen, was das Auffinden der Laichgruben stark erschwerte und vor allem die Zeit verkürzte, während der eine Laichgrube noch als solche erkannt werden konnte. Während des Schwall war das Wasser zudem stark getrübt und die Sohle in der Regel nicht sichtbar. In der Nacht kamen in der Regel keine Schwallspitzen vor. So herrschten meistens am frühen Morgen für etwa 2 Stunden zwischen Dunkelheit und Einsetzen der Stromproduktion sehr gute Beobachtungsbedingungen. Diese Zeitspanne wurde

aber gegen Jahresende immer geringer, mit Ausnahme der Sonntage, an denen die Schwallspitzen weniger stark und weniger häufig waren.

3.2.4 *Analyse der Habitatbenutzung und der Habitatspräferenz*

Um die Habitatsbenutzung zu untersuchen, wurden über den kartierten Laichgruben die gleichen Standorteigenschaften wie bei der Querprofilanalyse erfasst. Die Ermittlung der Standorteigenschaften erfolgte bei jeder Laichgrube an fünf verschiedenen Punkten: vorne, hinten, in der Mitte und an den beiden Seiten.

Die Habitatspräferenz wurde bestimmt, indem das Habitatsangebot und die Habitatsnutzung auf eine Skala von 1 skaliert und zu einander ins Verhältnis gesetzt wurden.

3.3. Resultate

3.3.1 *Ausmessungen der Laichgruben*

	<i>N</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	σ_x
Fließgeschwindigkeit oben (m/s)	185	0.32	0.98	0.67	0.14
Fließgeschwindigkeit unten (m/s)	185	0.28	0.85	0.55	0.12
Länge (cm)	33	173.00	360.00	247.00	46.48
Breite (cm)	33	68.00	123.00	95.00	14.31
Tiefe (cm)	185	18.00	50.00	32.17	6.15

3.3.2 Fließgeschwindigkeit

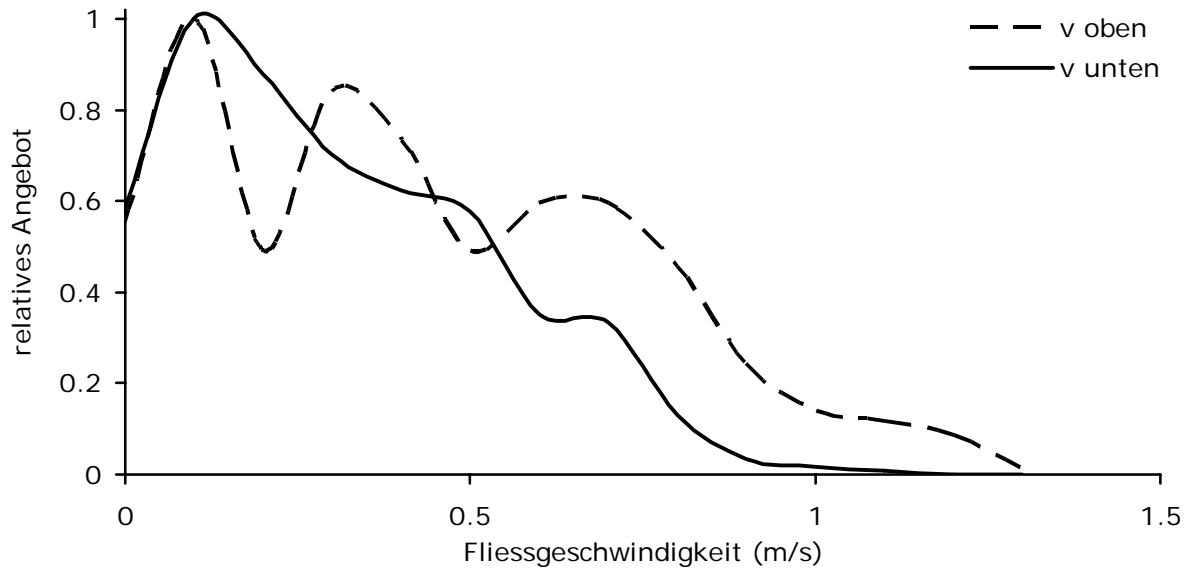


Abbildung 27: Habitatangebot und Fließgeschwindigkeit auf den Laichplätzen, N=598

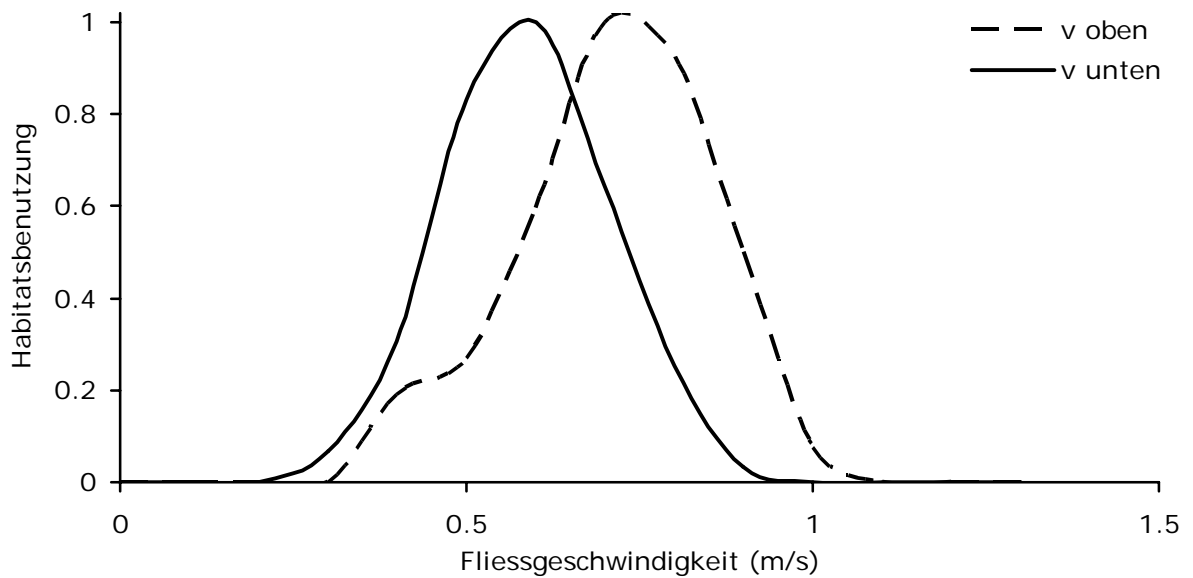


Abbildung 28: Habitatbenutzung und Fließgeschwindigkeit beim Ablachen, N=185

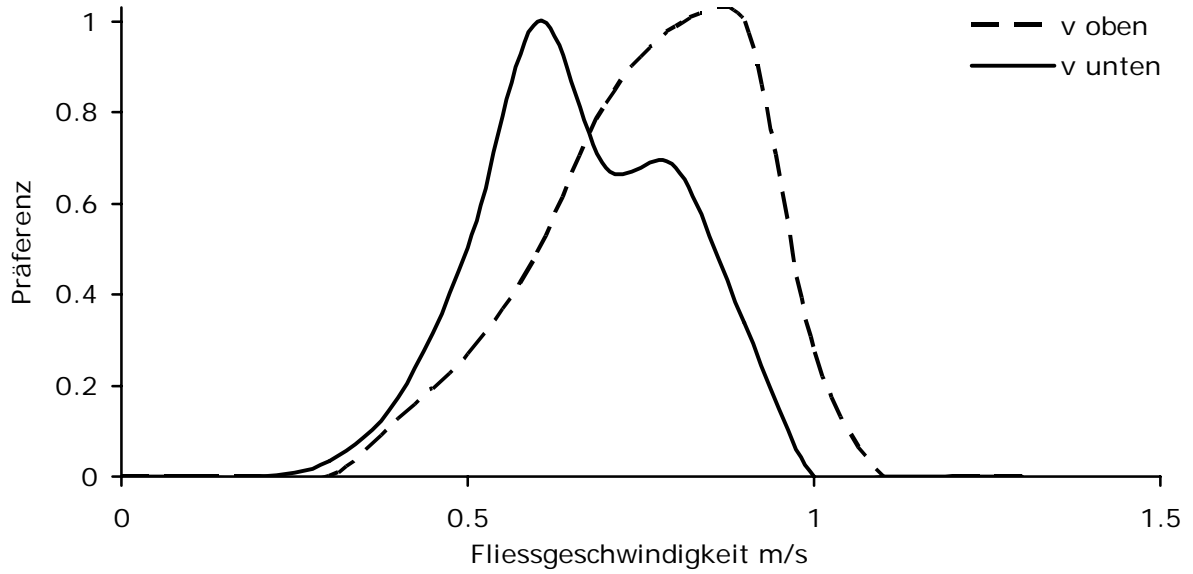


Abbildung 29: Habitatspräferenz und Fließgeschwindigkeit beim Abbläichen

3.3.3 Wassertiefe

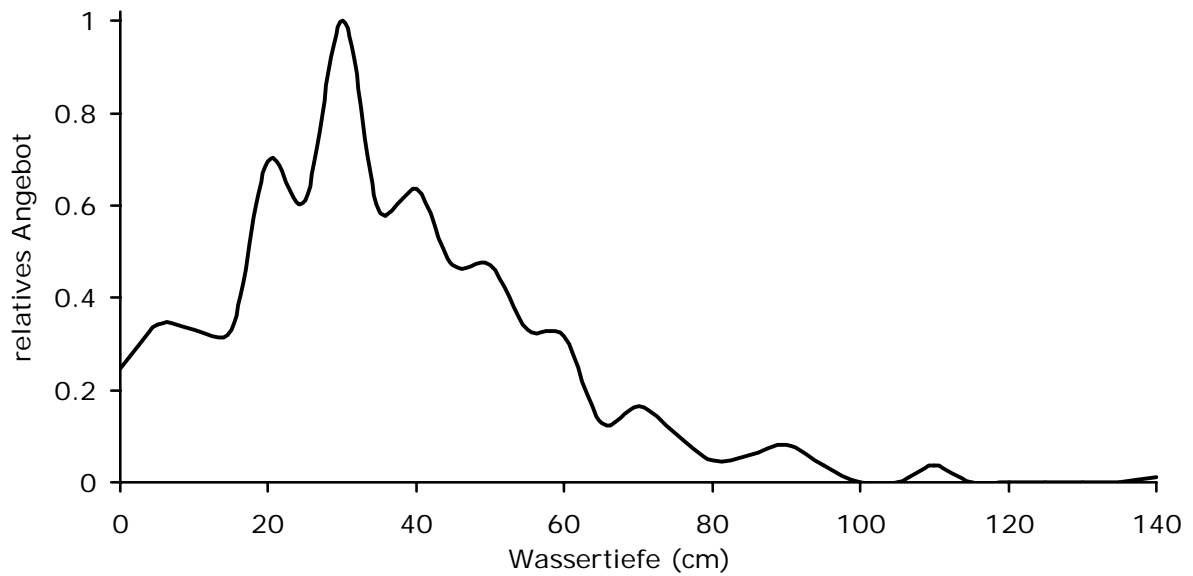


Abbildung 30: Habitatangebot und Wassertiefe auf den Laichplätzen N=598

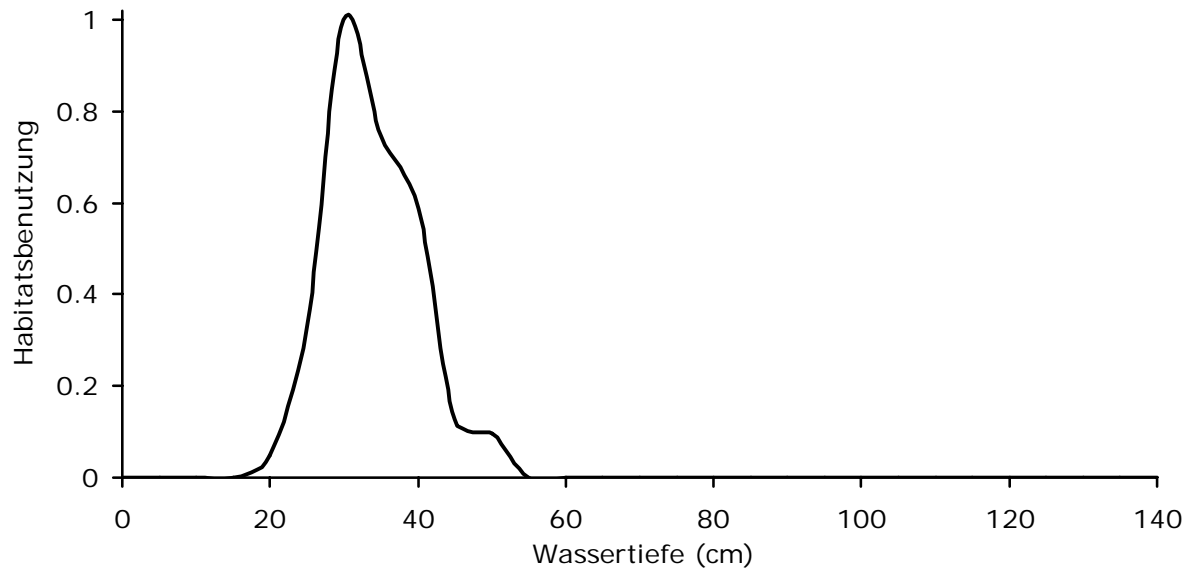


Abbildung 31: Habitatbenutzung und Wassertiefe beim Ablaichen N=185.

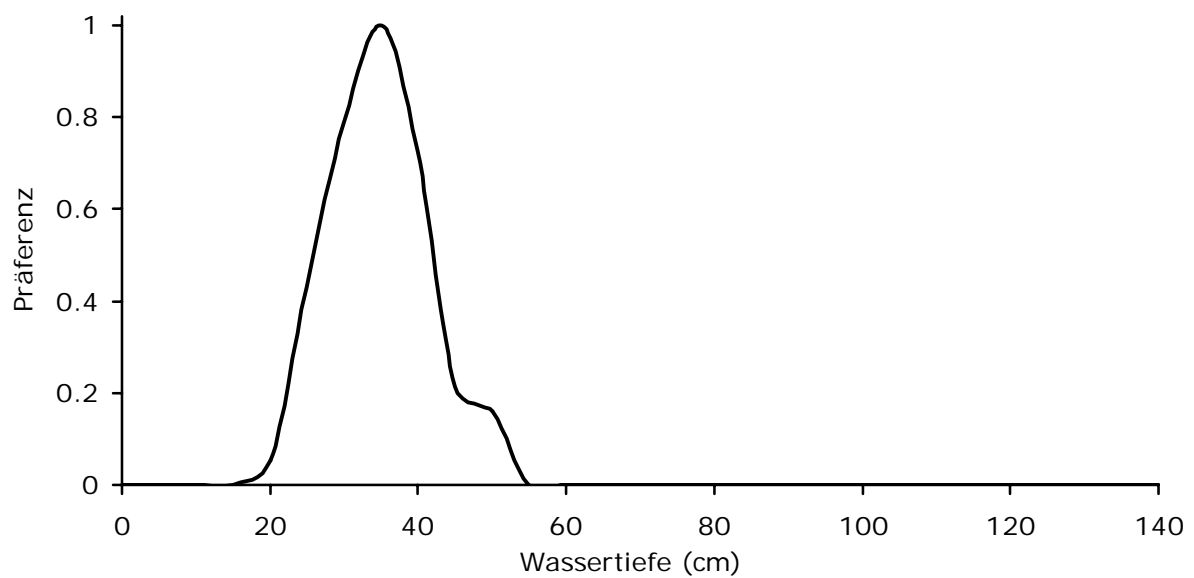


Abbildung 32: Habitatpräferenz und Wassertiefe beim Ablaichen

3.3.4 Substrat

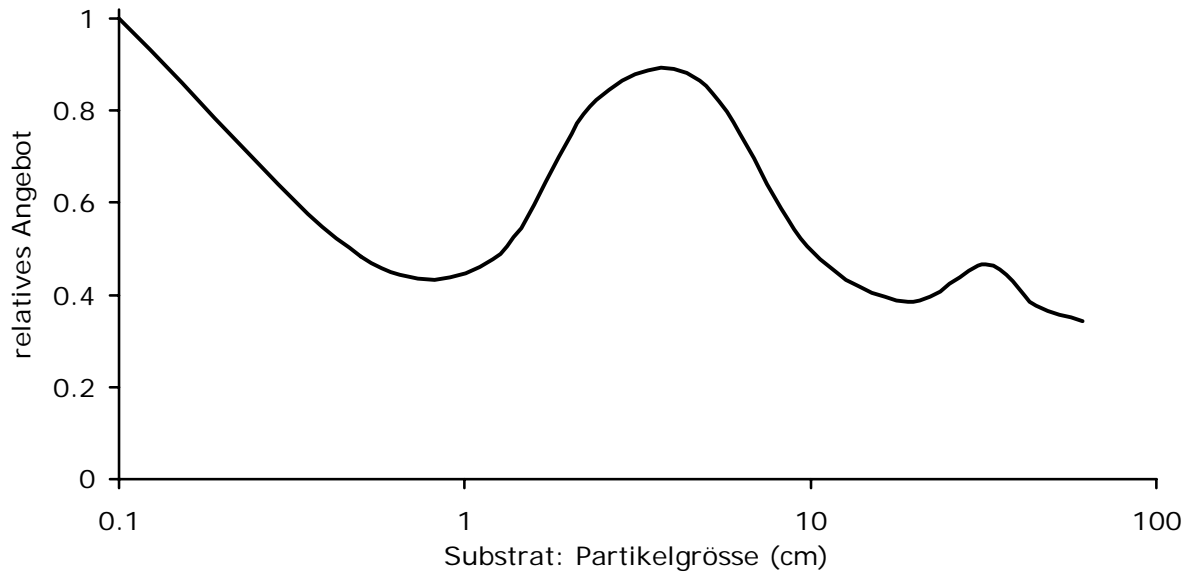


Abbildung 33: Habitatangebot und Substrat auf den Laichplätzen N=598

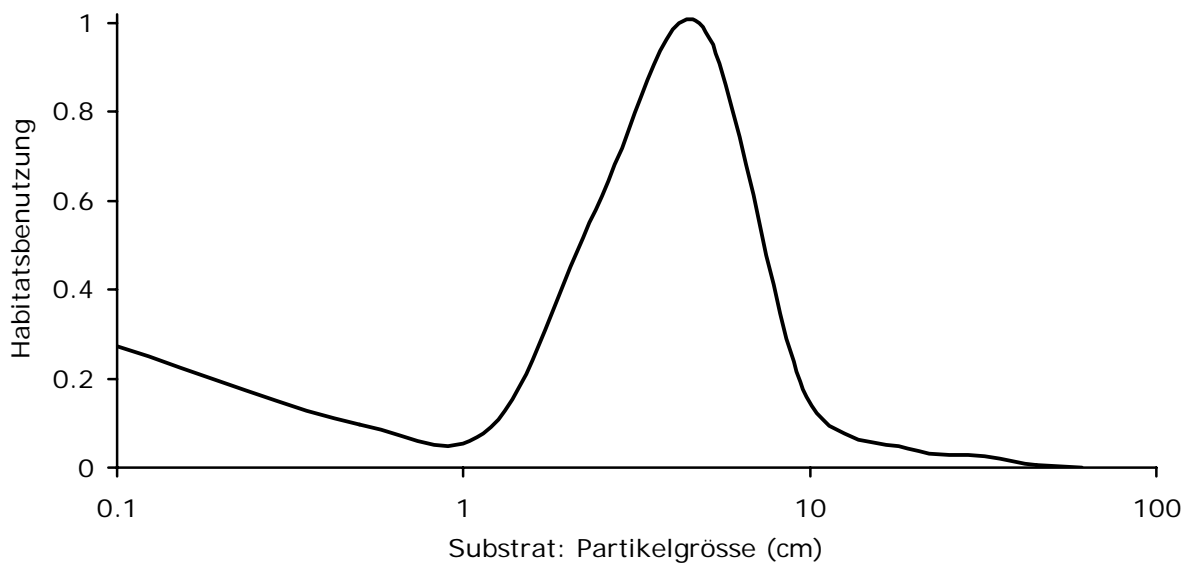


Abbildung 34: Habitatbenutzung und Substrat beim Abbläichen N=185

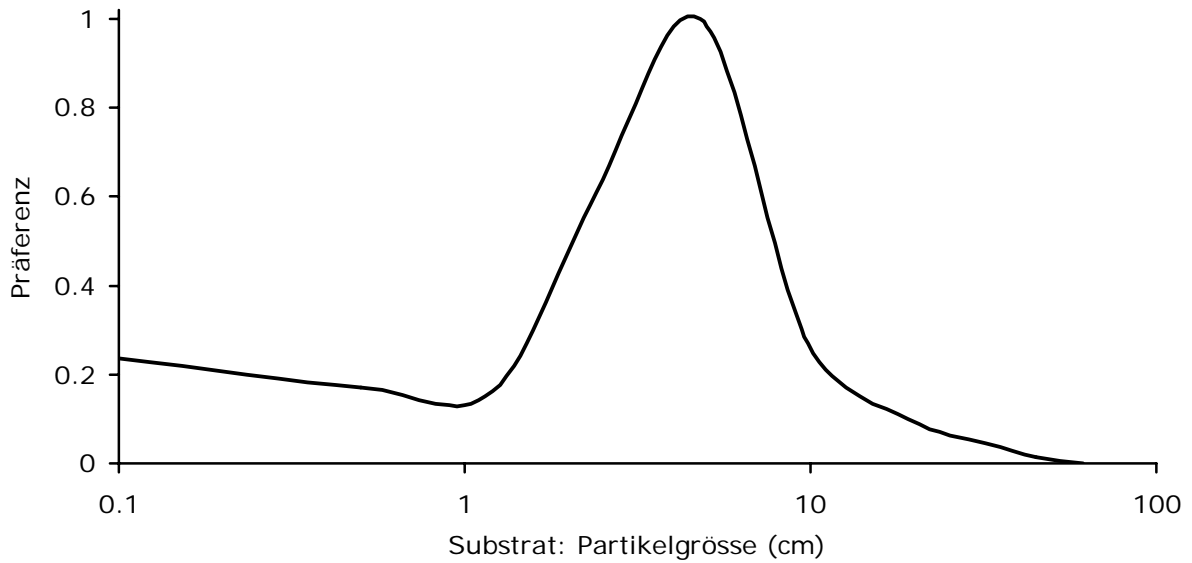


Abbildung 35: Habitatspräferenz und Substrat

3.3.5 Laichgrubenkartierungen

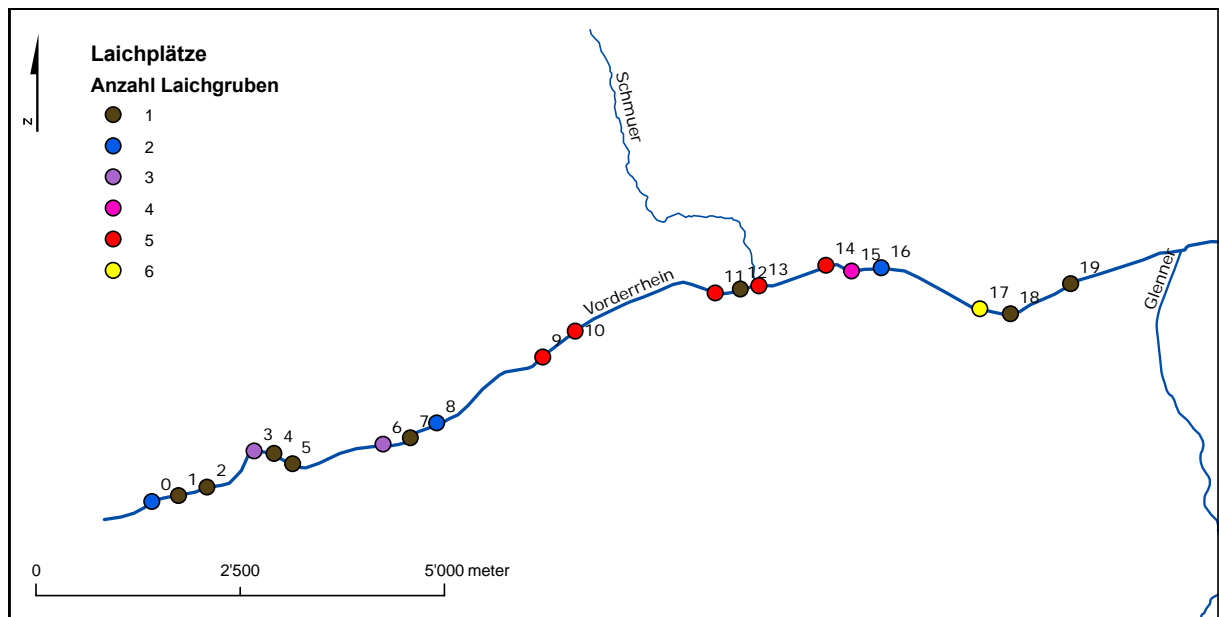


Abbildung 36: Laichplätze zwischen Ilanz und Tavanasa. Die Darstellung beruht auf den Kartierungen der Laichgruben. Laichgruben, die näher als 200 zu einander lagen, wurden zu einem Laichplatz zusammengefasst.

Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse der Laichgrubenkartierungen. Die grösste gefundene Ansammlung von Laichgruben auf einem Abschnitt von 200 m betrug

7. Vor allem der Abschnitt kurz vor dem Bahnhof Waltensburg / Vuorz mit den beiden Laichplätzen Nr. 9 und Nr. 10 ist einer der wichtigsten Laichgebiete im Vorderrhein. Neben den 10 kartierten Laichgruben von Seeforellen wurden sehr viele Laichgruben von Bachforellen auf dem Laichplatz Nr. 10 gefunden, an dem sich Laichgrube an Laichgrube reiht. Auf Laichplatz Nr. 9 konnte Milchner Nr. 5 während seiner Suchphase beobachtet werden.

3.4. Diskussion

3.4.1 Habitatspräferenz beim Ablaichen

Rubin et al. (2004) betont, dass der Kies fein genug für die Weibchen sein muss, damit diese die Partikel bewegen können. Weiter muss der Kies eine Partikelgrösse haben, die eine gewisse Resistenz gegenüber Verfrachtungen mit dem darüber fliessenden Wasser aufweist. Die Partikelgrösse darf aber nicht zu klein sein, bzw. das Substrat darf nicht zu viel Sand enthalten, da sonst die Durchströmung des Substrates, und damit auch die Versorgung der Eier mit Sauerstoff zu stark behindert ist.

Tabelle 12: Habitatsnutzung beim Ablaichen. Bei den Grössen handelt es sich um den Mittelwert, wenn keine Bandbreite angegeben ist. Gewicht und Länge beziehen sich auf die Eigenschaften der Fische, Form: S=Seeforelle, B=Bachforelle, Me=Meerforelle, Re=Regenbogenforelle. Die Angaben zu der Länge der Fische bei den eigenen Resultaten sind Mittelwerte der Reusenfänge in Reichenau aus dem Jahre 2005.

Substrat (mm)	v (cm/s)	Tiefe (cm)	Länge (cm)	Gewicht (kg)	N	Form	Flüsse	Quelle
	55	32.2	64	-	185	S	Vorderrhein	eigene Resultate
14	39	31.7	42	-	140	B, Re		(Shirvell & Dungey, 1983)
11.5	38 ±18	43±18	-	1.8	36	M, B	Alta, Gaula Driva	(Heggberget, Haukebo et al., 1988)

In Tabelle 12 fällt auf, dass sich die Habitatsnutzung bezüglich der Fliessgeschwindigkeit in den drei Studien unterscheidet. Die höhere

Fliessgeschwindigkeit bei der Seeforelle aus dem Bodensee kann dadurch erklärt werden, dass die Stichprobe aus grösseren Individuen als bei den anderen Studien bestand. Auf den Laichplätzen konnte in der Regel nicht ein Überschneiden der Laichgruben (overcutting) beobachtet werden. Oft reihten sich die Laichgruben an einander, bzw. befanden sich unmittelbar nebeneinander. In der Regel befanden sich die Laichgruben kurz oberhalb von Stromschnellen. Oft wurden auch Laichgruben von Bachforellen auf denselben Laichplätzen gefunden. Diese befanden sich meistens oberhalb der Laichgruben von Seeforellen, dort wo die Wassergeschwindigkeit etwas tiefer war.

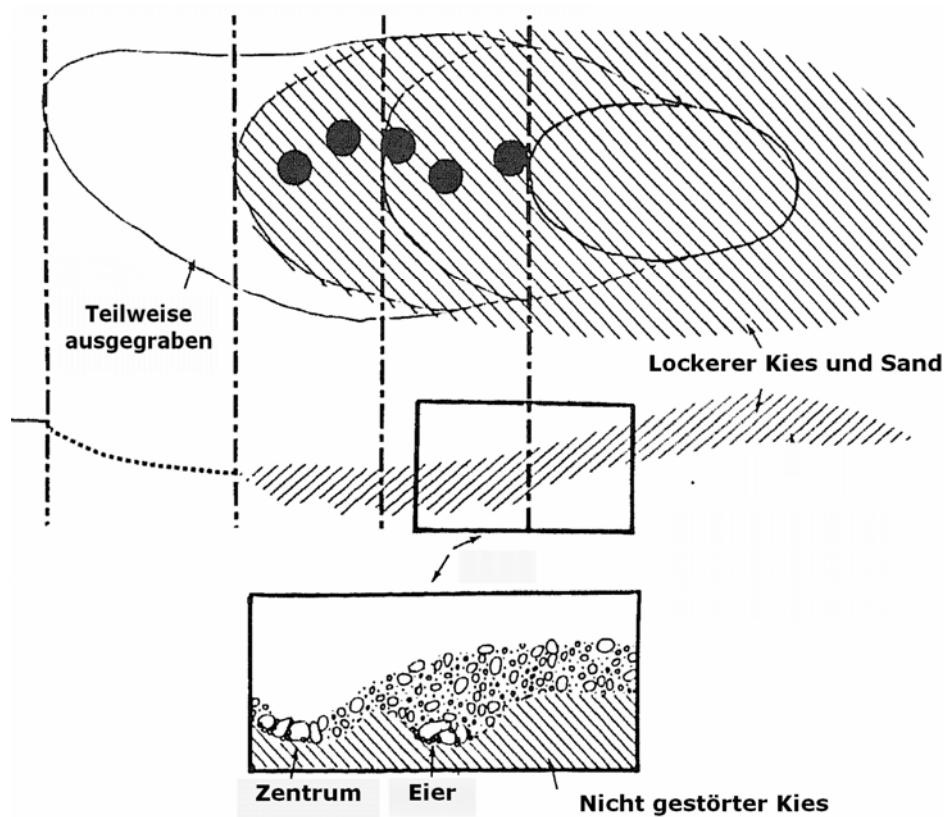


Abbildung 37: Modell einer Laichgrube von oben gesehen (oben) und von der Seite (Mitte). Die grossen schwarzen Punkte symbolisieren die Eiablagen. Die kleine Grafik unten zeigt einen vergrösserten Abschnitt mit Eiablagen. (Die Grafik wurde verändert nach Chapman, 1988).

Die gesamte Laichgrube enthält weniger Feinsedimente als die Sohle neben der Laichgrube. Der Kies, der die Embryonen umgibt, weist eine höhere Permeabilität als der Kies nebenan auf (Chapman, 1988). Wenn die Population der Laichtiere stark einbricht, kann die Qualität der Laichhabitate wegen der ausbleibenden Benutzung abnehmen (Everest et al. 1987, zitiert in Chapman, 1988). Die Korngrösse des Substrates, das bei den Laichgruben erfasst wurde

(Habitatsbenutzung), wies auch im Vorderrhein einen geringeren Anteil an Feinsedimenten auf als das durchschnittliche Habitatsangebot. Letztendlich kann angenommen werden, dass dieses Ergebnis einerseits dadurch erklärbar ist, dass die Rogner die Stellen mit weniger Feinsedimenten für das Ablichten bevorzugen, und andererseits dadurch, dass durch das Ablichten selber die Feinsedimente entfernt wurden. Da die Habitatbenutzung immer erst nach dem Ablichten erfasst wurde, spiegelt sie nicht genau die Wahl der Seeforellen bezüglich Tiefe und Fließgeschwindigkeit für die während des Laichens bezogenen Mikrohabitate wieder.



Abbildung 38: Kies mit der Korngrösse von 2-6 cm, praktisch frei von Feinsedimenten, Foto vom 14.12 2005, nach Valendas Station beim Laichplatz von Rogner Nr. 15.

Auch unterhalb von Ilanz weisen viele Plätze eine Substratzusammensetzung auf, die stark mit der ermittelten Habitatspräferenz übereinstimmen könnte (siehe Abbildung 38). Das Habitatsangebot wurde im Rahmen der Diplomarbeit nur im Abschnitt oberhalb von Ilanz erfasst.

Auf 8 der 19 Laichplätzen wurde bei der Laichgrubenkartierung nur eine Laichgrube gefunden. Aufgrund dieses Ergebnisses kann die Hypothese H3 nicht auf einem Signifikanzniveau von 0.05 akzeptiert werden.

4. Entwicklung der Eier auf den Laichplätzen

4.1. Fragestellung und Hypothesen

4.1.1 *Fragestellung*

Wie gut überleben die Eier auf den Laichplätzen?

4.1.2 *Hypothese*

Das Überleben der Eier ist in Substrat mit einem Korngrössendurchmesser <15 mm sehr tief (Rubin & Glimsater, 1996). Da der Anteil an Feinsedimenten auf den Laichplätzen recht hoch ist (10-20%), nehmen wir an, dass die Eier nicht so gut überleben werden wie bei vergleichbaren Inkubationen von Rubin et al. (1996). Daraus leitet sich die Hypothese H4 ab:

H4: Die in den Vibertboxen inkubierten Eier entwickeln sich gut auf den von den Seeforellen besuchten Laichplätzen (erwartete Überlebensrate bis zum Augenpunktstadium: > 70 %).

4.2. Boxeninkubation

4.2.1 *Standorte für die Boxeninkubation*

Die gewählten Laichplätze für die Boxeninkubationen befanden sich kurz vor der Deponie Plaun Grond bei Fkm 27.16, zwischen Waltensburg / Vuorz und Rueun bei "Bual" bei Fkm 28.96, und bei der Isla Runcalatsch zwischen

Waltensburg / Vuorz und Tavanasa bei Fkm 33.51. In Abbildung 36 sind dies die Laichgebiete Nr. 3, 11 und 15.

4.2.2 *Inkubation der Eier*

Am 5.12.2006 und am 6.12.2006 wurden insgesamt 600 Eier in 30 Vibertboxen (siehe Abbildung 39) à jeweils 20 Eier in den Vorderrhein inkubiert. Auf drei verschiedenen Laichplätzen zwischen Ilanz und Tavanasa wurden je zwei künstliche Laichgruben mit 5 Vibertboxen gebaut. Die Boxen wurden jeweils im Laichgebiet mit dem dort vorgefundenen Substrat gefüllt. Während der Inkubation wurde darauf geachtet, dass die Wassertemperatur bei den Eiern etwa gleich wie im Fluss war. Die Eier wurden wenn möglich nicht im hellen Licht gelassen, sondern möglichst im Dunkeln gehalten. Die Kunststoffboxen sind mit vielen Löchern versehen. Die Gruben für die Vibert-Boxen wurden mit einer Schaufel ausgehoben. Crisp (1989) ermittelte für Laichgruben von 60 - 70 cm grosse Seeforellen eine Tiefe von ca. 15-20 cm, bei der die Eier im Substrat vergraben liegen. Bei der Inkubation der Boxen wurde darauf geachtet, die Eier in etwa in dieser Tiefe zu vergraben. An den Boxen wurden gelbe Schnüre montiert, die das Auffinden der Boxen im Frühling erleichterten. Die verwendeten Eier stammen von Seeforellen, die während ihrem Aufstieg über die Fischtreppe in Domat / Ems in der Reuse gefangen wurden. In der Fischzucht Domat / Ems wurde eine Kontrolle von 200 Eiern bei einer Wassertemperatur von 8 °C gehalten. Die Kontrolle der Boxen und Überprüfung der Entwicklung der Eier erfolgte auf dem Laichplatz unmittelbar nach dem Ausgraben einer Box. Dabei mussten die Vibert-Boxen zerstört werden.

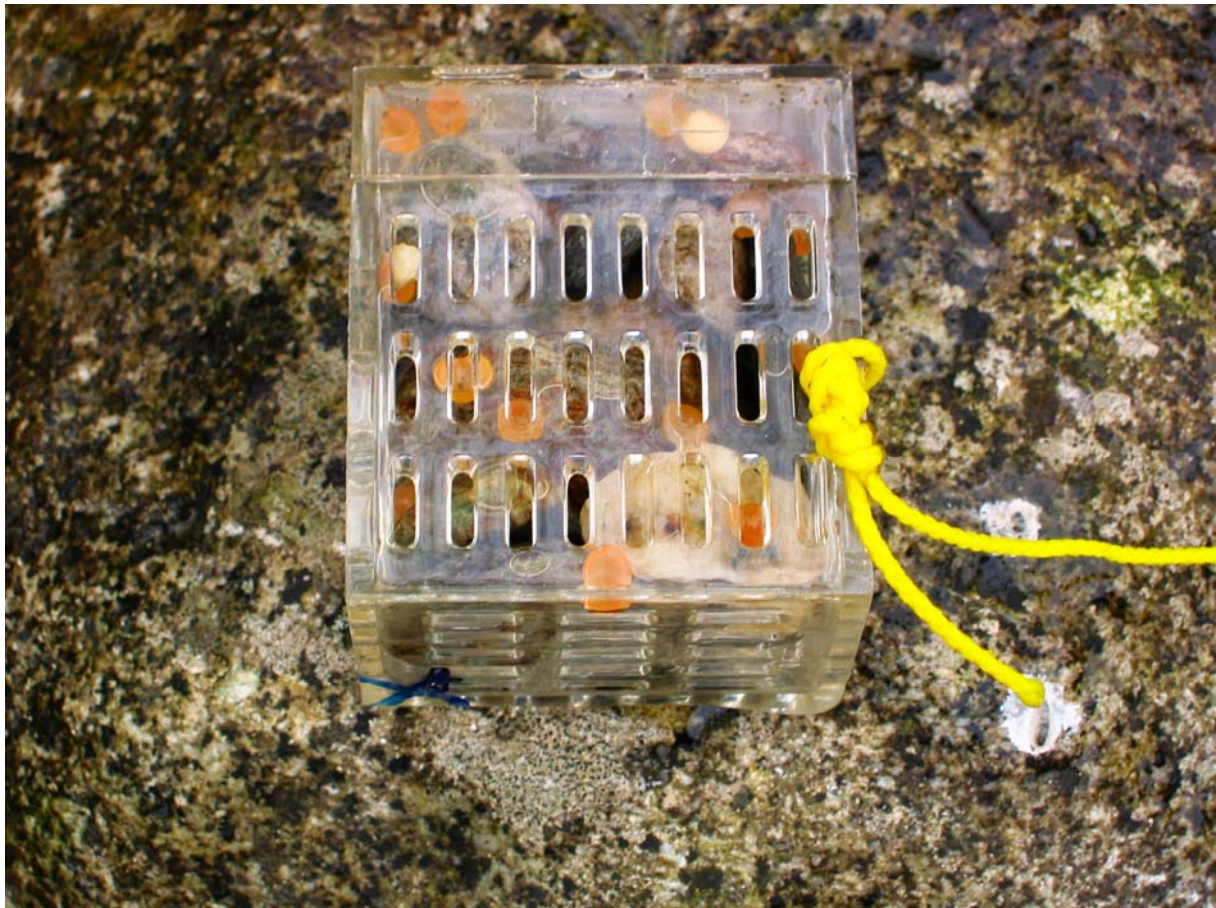


Abbildung 39: Verwendete Vibert-Box mit Eiern im Augenpunktstadium, 7.4.2006. Die Box wurde nach dem Ausgraben fotografiert. Die beiden weissen Eier (oben und Mitte rechts) haben nicht bis zum Augenpunktstadium überlebt. Die Ägung der Eier ist auf der Abbildung durch die Box nicht erkennbar.

4.2.3 Ausgraben der Eier

Der Zeitpunkt kurz nach dem Erreichen des Augenpunktstadiums eignet sich sehr gut für das Ausgraben der Eier, da die Beurteilung, ob ein Ei überlebt hat, mit der Identifizierung der Augenpunkte sehr leicht fällt. In der Regel werden die abgestorbenen Eier ziemlich schnell weiss und von Destruenten befallen. Bereits zersetzte Eier konnten nicht mehr gefunden werden, jedoch kommt für das Fehlen eines Eies in der Box zum Zeitpunkt des Augenpunktstadiums nur der Tod und die Zersetzung als mögliche Erklärung in Frage. Die Boxen auf dem Laichplatz Nr. 15 wurden im Verlaufe des Winters und des Frühlings höchst wahrscheinlich weggeschwemmt. Sie konnten nicht wieder gefunden werden. Zur Kontrolle der Temperatur wurde an den Inkubationsorten je ein Temperaturlogger (Marke Minilog) in den Fluss gegeben. Die Temperaturlogger zeichneten die Wassertemperatur im Stundentakt auf.

4.3. Resultate

4.3.1 Überleben der Eier

Am 7. April wurden die Vibertboxen mit den Eiern auf dem Laichplatz Nr. 11 ausgegraben. Bis zu diesem Zeitpunkt hatten die Eier 219 Tagesgrade erreicht.

Tabelle 13: Überleben der inkubierten Eier

künstliche Laichgrube	Vibertbox	geäugte Eier	nicht geäugte Eier	fehlende Eier	überlebende Eier (%)
1	1	19	1	0	95
1	2	15	5	0	75
1	3	16	4	0	80
1	4	19	1	0	95
1	5	19	1	0	95
2	1	17	2	1	85
2	2	19	0	1	95
2	3	18	2	0	90
2	4	16	2	2	80
2	5	16	4	0	80
alle	alle	174	22	4	87

Von den 200 inkubierten Eiern, die ausgegraben wurden, hatten 174 das Augenpunktstadium erreicht. Die Überlebensrate betrug 87 %. Die fehlenden Eier sind bereits vor längerer Zeit gestorben und zersetzt worden. Von der Kontrollgruppe in der Fischereizucht in Domat / Ems haben 199 Eier (=99.5 %) überlebt.

4.3.2 Noch nicht ausgegrabene Boxen

Durch die starke Vereisung des Vorderrheins im Januar hat das Wasser teilweise seinen Lauf gewechselt und zusätzliches Geschiebe transportiert. Auf einem der Laichplätze waren die Veränderungen ausserordentlich stark und es wird angenommen, dass die Boxen weggeschwemmt wurden. Wegen der

geänderten Verhältnisse und der mit der Schmelze zusammenhängenden höheren Wasserführung war das Suchen der betreffenden Boxen stark erschwert.



Abbildung 40: Vorderrhein bei Tavanasa, Januar 2006.

4.4. Diskussion

Dass ein so grosser Teil der Eier bis zum Augenpunktstadium überlebt hat, ist sehr erfreulich. Die Überlebensrate ist mit 87 % weit über die in H3 vermuteten 70 %.

Es ist ein Indiz dafür, dass die Naturverlaichung auf dem ausgewählten Laichplatz im Vorderrhein funktioniert. Das Überleben der Eier nach dem Augenpunktstadium und die Emergenz der Larven konnte aus zeitlichen Gründen nicht untersucht werden. Dementsprechend sind darüber auch keine Aussagen möglich. Bei der Emergenz der Brut spielen u.a. andere Faktoren eine Rolle als bei der Entwicklung der Eier. Rubin (1998) beispielsweise zeigte, dass feiner Kies mit einer Partikelgrösse zwischen 6 und 15 mm für die Emergenz von

Seeforellenbrut problematisch sein kann. Er interpretiert, dass die Brut noch zu schwach ist, um die Partikel zu bewegen und die Zwischenräume bei dieser Partikelgröße kein Durchkommen erlauben.

Eine künstliche Laichgrube erreicht selten die Qualität einer natürlichen. Der Fisch entfernt während des Aushebens und Zudeckens der Laichgrube viel Feinsedimente wie Ton, Lehm und feinen Sand aus dem Kies. Dies kann der Wissenschaftler nur in einem sehr beschränkten Mass tun. Analoges gilt für bei der Wahl des Standortes für das Ablachen bzw. für die Inkubation der Eier. Umgekehrt kann aber sehr wohl angenommen werden, dass auch die natürlich abgelegten Eier überleben, wenn sich die Eier in den Boxen gut entwickeln.

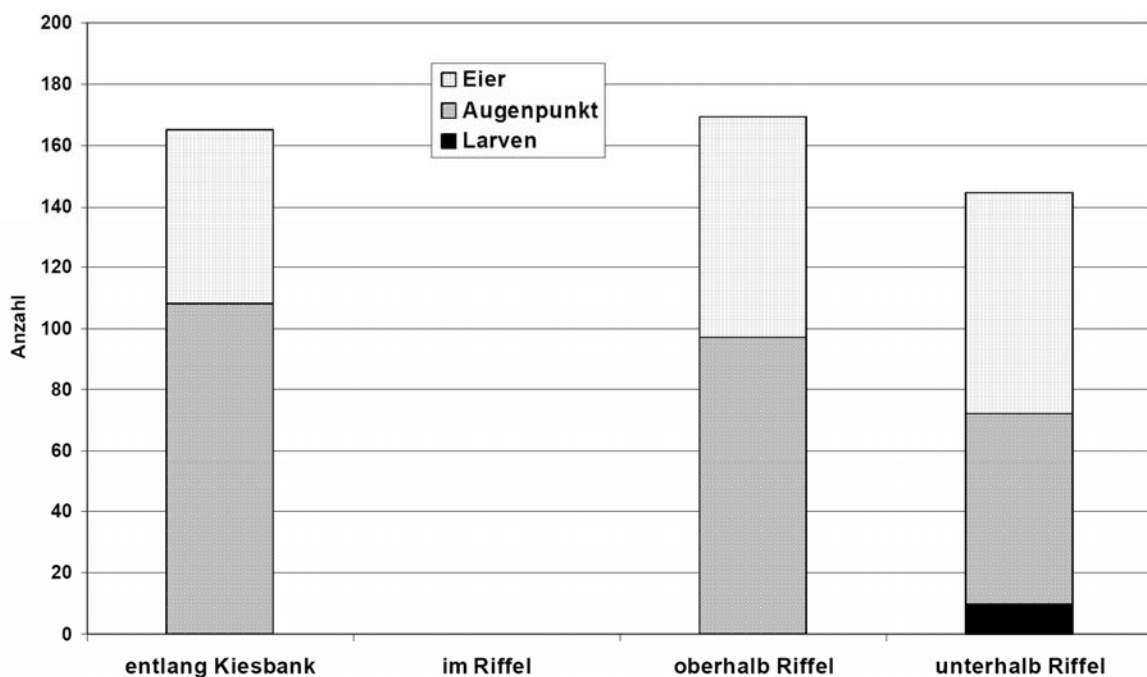


Abbildung 41: Durchschnittliche Anzahl an Larven und den zwei Eistadien in den verschiedenen Mesohabitaten des Alpenrheins (Eberstaller et al., 2001)

Eberstaller et al. (2001) haben in verschiedenen Flüssen Vibertboxen inkubiert, um die Auswirkungen der mit dem Schwall vermehrt vorhandenen Schwebstoffe auf die Entwicklung der Eier und der Larven zu untersuchen. Da die Methoden sich stark unterschieden (andere Boxen verwendet etc.), können die Resultate nicht gut miteinander verglichen werden. Dennoch liefern sie einen Hinweis darauf, dass möglicherweise im Vergleich zu den ursprünglichen Laichgebiete der Seeforelle die Entwicklung der Eier im Alpenrhein nicht ganz so erfreulich abläuft.

5. Synthese und Schlussfolgerungen

5.1. Bedeutung des Vorder- und Hinterrheins für die Reproduktion der Seeforelle

Weite Abschnitte des Vorder- und Hinterrheins, die seit dem Bau der Fischtreppe (Vertical-Slot-Pass) beim Kraftwerk Reichenau im Jahr 2000 wieder für die Seeforelle erreichbar sind, werden von der Seeforelle für die Reproduktion gut genutzt bzw. angenommen. Die Resultate zu den Boxeninkubationen können als Hinweis darauf gedeutet werden, dass die Naturverlaichung auf einige der wieder benutzten Laichplätzen funktioniert. Dies unterstreicht die Bedeutung der in den letzten Jahren umgesetzten Sanierungsmassnahmen zur Beseitigung der Aufstiegshindernisse der Seeforelle aus dem Bodensee (vgl. Ruhlé et al., 2005).

Rund drei Viertel der über die Fischtreppe aufsteigenden Seeforellen wandern in den Vorderrhein, ein Viertel in den Hinterrhein (vgl. Peter, 2004). Die markierten Seeforellen, die in den Vorderrhein gewandert sind, haben sich gleichmässig zwischen Trin und Tavanasa verteilt (siehe Abbildung 20). In den Hinterrhein ist vor allem die Aue bei Rhäzüns für die Reproduktion der Seeforelle von Bedeutung. Eine markierte Seeforelle hat den Flem aufgesucht, eine andere ist in den Glenner gewandert. Die übrigen Seitenbäche wurden nicht benutzt. Viele der Seitenbäche führen im Winter fast kein Wasser (z.B. die Rabiusa), frieren zu, oder sind wegen den zahlreichen Verbauungen nicht mehr zugänglich.

Der gesamte Flussabschnitt des Vorderrheins zwischen Trin und Tavanasa wird von der Seeforelle benutzt, und ist dementsprechend für den Erhalt und die Förderung der Seeforelle von Bedeutung. Das Abblachen konzentriert sich nicht auf einige wenige Laichplätze. Die Beseitigung der Aufstiegshindernisse war eine wertvolle Sanierungsmassnahme.

5.2. Kein Aufstieg oberhalb von Tavanasa

Die von den markierten Seeforellen benutzten Laichplätze zwischen Ilanz und Tavanasa stimmen nicht mit den Resultaten von zu den ehemaligen Laichgebieten überein. Die bedeutendsten ursprünglichen Laichgebiete der Seeforelle befanden sich im Vorderrhein bis in der Gegend von Disentis oberhalb des Zusammenflusses von Vorderrhein und Medelser Rhein (Klunziker, 1881, zitiert in Schulz, 1994). Keine der markierten Seeforellen ist weiter gewandert als bis zum Kraftwerk in Tavanasa. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen aus früheren Telemetrieversuchen der Jahre 2001 und 2002 (Peter, 2004). Vor der Fischtreppe in Tavanasa haben sich die markierten Seeforellen nicht angehäuft. Nur wenige markierte Seeforellen stiegen den Vorderrhein bis Tavanasa hoch (Im 2005 nur eine einzige). Ob diese Änderung im "Homing" der Seeforelle aus dem Bodensee genetisch oder durch Umweltfaktoren bedingt ist, lässt sich nicht sagen. Rupf (Rupf, 1998) weist in seinen ökomorphologischen Untersuchungen auf die geringe Restwassermenge unterhalb von Tavanasa hin (siehe Abbildung 4). Diese könnte zumindest teilweise für die oben beschriebene Veränderung verantwortlich sein. Klunziger (zitiert in Schulz, 1994 s. 4) kritisierte seinerzeit die starke Überfischung der Seeforelle in der Gegend von Trun und Disentis, was als Hinweis auf genetischer Drift gedeutet werden kann. Es ist gut möglich, dass anthropogene Veränderungen dazu geführt haben, dass die Seeforelle aus dem Bodensee fast nicht mehr oberhalb des Kraftwerkes in Tavanasa zu finden ist. Es führt uns vor Augen, dass viele Eingriffe des Menschen auch mit den besten Massnahmen nicht mehr reversibel gemacht werden können.

Die ehemaligen Laichgebiete oberhalb von Tavanasa werden kaum noch von der Seeforelle aufgesucht. Die Gründe dafür sind nicht eindeutig bekannt.

5.3. Naturverlaichung der Seeforelle im Vorderrhein

Die positiven Resultate der Boxeninkubationen sind sehr erfreulich. Weitere Stichproben sind nötig, um sicherzustellen, dass die Resultate zum Überleben der

Eier bis zum Augenpunktstadium nicht zufällig zustande kamen, bzw. die Ausnahme beschreiben.

Leider konnte unterhalb von Ilanz die Naturverlaichung noch nicht überprüft werden. Die Hälfte der markierten Seeforellen, die in den Vorderrhein gewandert sind, haben Laichplätze im Abschnitt zwischen Trin und Ilanz II aufgesucht (siehe Abbildung 20). Dieser Flussabschnitt ist unverbaut, aber stark vom Schwall beeinträchtigt (vgl. Rupf, 1998).

Die Auswirkungen des Schwalls unterhalb der Zentrale Ilanz II sollten systematisch untersucht werden. Die Kartierung der Laichplätze in der Rheinschlucht (Ablaichgebiete der markierten Fische) bietet eine gute Grundlage für weitere Untersuchungen. Im Vordergrund könnten dabei die Auswirkungen des Geschiebetransportes auf den Laichplätzen. im Winter stehen.

Es empfiehlt sich, im Frühling auf den kartierten Laichplätzen nach 0+ Fische zu suchen. Entsprechende Untersuchungen könnten weitere Hinweise liefern, wie gut die Naturverlaichung im Vorderrhein funktioniert.

6. Dank

Während der Datenerhebung konnte ich bei meinen Eltern wohnen und ihre Infrastrukturen, u.a. auch den Wagen, benutzen. Ohne den Wagen wäre es nicht möglich gewesen alle Fische am gleichen Tag zu lokalisieren.

Ich bedanke mich herzlich bei Florian Bebi für seine Hilfe bei der Markierung der Seeforellen, für die Erbrütung der Eier (Kontrolle) zu den Inkubationsversuchen, für das Bereitstellen der benötigten Eier, für die Entnahme der Schuppen für die Untersuchungen zu den Mehrfachlaichern und für die vielen nützlichen Auskünfte, die er mir erteilt hat. Ohne ihn wäre diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen. Die Unterstützung durch das Amt für Jagd und Fischerei, insbesondere durch Marcel Michel war wichtig und ich möchte mich hier für die gelungene Zusammenarbeit bedanken. Lukas Deplazes hat mich bei meiner ersten Laichgrubenkartierung zwischen Waltensburg / Vuorz und Tavanasa begleitet. Ich habe das sehr geschätzt, weil ich so etwas Sicherheit im Erkennen der Laichgruben gewinnen konnte.

Brigitte Germann führte mich in die Lokalisierung der Fische mittels Telemetrie ein (Trakking) und half beim Betreiben der automatischen Messtation unterhalb der Kraftwerkszentrale in Domat / Ems. Für ihr Engagement bei der Feldarbeit möchte ich mich herzlich bedanken. Bei den Aufnahmen der Querprofile erhielt ich gute Unterstützung von den beiden Praktikanten Thomas Ammann und Lorenzo Rovelli.

Einen besonderen Dank richte ich an Dr. Armin Peter, der die Seeforellen markierte und mich bei den Arbeiten betreute. Ich konnte immer auf seine wertvolle Unterstützung und Beratung zählen.

Mit der Diplomarbeit erlebte ich eine sehr intensive und spannende Zeit.

7. Glossar und Abkürzungen

7.1. Glossar

anadrome Fische	verbringen die meiste Zeit im Salzwasser und steigen zum Laichen die Flüsse auf (Lelek & Buhse, 1992, S. 213)
Fekundität	Fruchtbarkeit
Kolmatierung	Ablagerung feiner Teilchen wie Ton oder Schluff an der Oberfläche und in den Poren eines durchlässigen porösen Mediums, z.B. Kiesbank, die zu einer verminderten Durchlässigkeit führt. (Internationales hydrologisches Glossar der Unesco)
Homing	Rückkehr zum Geburtsort für die Reproduktion
Ökomorphologie	Gewässerzustand im Hinblick der eigentlichen Gewässermorphologie, der baulichen Massnahmen im und am Gewässer sowie der Vegetation am Ufer und in der unmittelbaren Bachumgebung
Rogner	Weiblicher, geschlechtsreifer Fisch
Mehrfachlaicher	Fisch, der in seinem Leben öfters als nur einmal gelaicht hat
Milchner	Männlicher, geschlechtsreifer Fisch
Strayer	Fisch mit einer herumschweifenden Laichwanderung
Schwall	Starker Anstieg der Wassertiefe in einem offenen Gerinne, bedingt durch eine plötzliche Änderung im Fliessvorgang
Sedimentation	In Wasser: Vorgang des Absetzens und der Ablagerung von Schwebstoffen infolge der Schwerkraft
Schwebstoffe	Relativ feines Material, das sich in einem Flusssystem nahezu ständig in der Schwebelage befindet und das durch das gesamte System transportiert wird, ohne sich abzusetzen

Schleppkraft	Kraft, die von einer fließenden Flüssigkeit, z.B. Wasser, auf einen Gegenstand in der Flüssigkeit in Strömungsrichtung ausgeübt wird
Sohle	Niedrigster Teil des Querschnittes eines Gerinnes
Telemetrie	Aufzeichnung der Anzeige eines Instrumentes über eine Distanz; im vorliegenden Fall die Erfassung der Signale der implantierten Sender

7.2. Abkürzungen

0+	Altersangabe für das erste Jahr nach dem Schlüpfen, nicht nach der Eiablage; 1+ Forellen sind zwischen 1 und 2 Jahre alt
IGKB	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
Fkm	Flusskilometer
GIS	Geographisches Informationssystem
RG	Reifegrad

7.3. Statistische Abkürzungen

M	Arithmetisches Mittel
N	Anzahl der Messungen
P	P-Wert für die Signifikanzprüfung des Koeffizienten
r	Korrelationskoeffizient
<i>Var</i>	Varianz
σ_x	Standardabweichung
v	Schiefe

<i>Max</i>	Maximalwert
<i>Min</i>	Minimalwert
kA	Kein Wert, keine Angabe möglich

8. Literaturverzeichnis

- Baglinière, J.-L., & Gerard, M. (1991). *Biology and ecology of the brown and sea trout*. Chichester, UK: Springer Praxis Publishing.
- Bouille, R. (2003). *La truite commune (Salmo trutta L.) dans la région du lac de Neuchâtel; biologie et perspectives de gestion*. Université de Neuchâtel, Lausanne.
- Buttiker, B., & Matthey, G. (1986). Migration of the Brown Trout (*Salmo-Trutta-Lacustris* L) in Lake Geneva and Its Tributaries. *Schweizerische Zeitschrift Fur Hydrologie-Swiss Journal of Hydrology*, 48(2), 153-160.
- Chapman, D. W. (1988). Critical-Review of Variables Used to Define Effects of Fines in Redds of Large Salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117(1), 1-21.
- Crisp, D. T., & Carling, P. A. (1989). Observations on Siting, Dimensions and Structure of Salmonid Redds. *Journal of Fish Biology*, 34(1), 119-134.
- 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., Pinka, P., Urbaneck, S., Bebi, F., Fehr, F., Dreher, R., et al. (2001). *Trübung und Schwall Alpenrhein - Einfluss auf Substrat, Benthos, Fische*: Internationale Regierungskommission Alpenrhein.
- Ferguson, H. W., & Rice, D. A. (1980). Post-Spawning Mortalities in Brown Trout *Salmo-Trutta-L*. *Journal of Fish Diseases*, 3(2), 153-160.
- Finstad, A. G., Okland, F., Thorstad, E. B., & Heggberget, T. G. (2005). Comparing upriver spawning migration of Atlantic salmon *Salmo salar* and sea trout *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, 67(4), 919-930.
- Heggberget, T. G., Hansen, L. P., & Naesje, T. F. (1988). a. Within-River Spawning Migration of Atlantic Salmon (*Salmo-Salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45(10), 1691-1698.
- Heggberget, T. G., Haukebo, T., Mork, J., & Stahl, G. (1988). b. 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., & Saltveit, S. J. (1990). Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., in a Norwegian river. *Journal of Fish Biology*, 36(5), 707-720.
- Holcic, J. (1986). *The Freshwater Fishes of Europe*. Wiesbaden: AULA-Verlag.
- 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., & Jonsson, B. (1999). Trade-off between egg mass and egg number in brown trout. *Journal of Fish Biology*, 55(4), 767-783.
- Jonsson, N., & Jonsson, B. (2002). Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater Biology*, 47(8), 1391-1401.
- L'Abée-Lund, J. H., & Hindar, K. (1990). Interpopulation variation in reproductive traits of anadromous female brown trout, *Salmo trutta* L. *Journal of Fish Biology*, 37(5), 755-763.
- Ladiges, W., & Vogt, D. (1979). *Die Süßwasserfische Europas*. Hamburg: Paul Parey.
- Lelek, A., & Buhse, G. (1992). *Fische des Rheins*. Berlin: Springer-Verlag.
- Mürle, U., Ortlepp, J., & Rey, P. (2004). *Der Bodensee - Zustand, Fakten, Perspektiven*: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB).
- Muus, B. J., & Dahlström, P. (1976). *Süßwasserfische*. München: BLV Verlagsgesellschaft.
- Okland, F., Erkinaro, J., Moen, K., Niemela, E., Fiske, P., McKinley, R. S., et al. (2001). Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: phases of migratory behaviour. *Journal of Fish Biology*, 59(4), 862-874.
- Peter, A. (2004). Die Seeforelle im Alpenrhein - ist ihre Rückwanderung in den Bodensee wieder möglich? *Bündner Fischer*, 7, 48 - 51.
- Rippmann, U. C. (1987). *Biologie und Bewirtschaftung der Seeforelle (Salmo trutta Lacustris) des Vierwaldstättersees unter besonderer Berücksichtigung der ernerischen Gewässer*. Zürich.
- Rubin, J.-F. (1998). Survival and emergence pattern of sea trout fry in substrata of different compositions. *Journal of Fish Biology*, 53(1), 84-92.

- Rubin, J. F., & Glimsater, C. (1996). Egg-to-fry survival of the sea trout in some streams of Gotland. *Journal of Fish Biology*, *48*(4), 585-606.
- Rubin, J. F., Glimsater, C., & Jarvi, T. (2005). Spawning characteristics of the anadromous brown trout in a small Swedish stream. *Journal of Fish Biology*, *66*(1), 107-121.
- Rubin, J.-F., Glimsater, C., & Jarvi, T. (2004). Characteristics and rehabilitation of the spawning habitats of the sea trout, *Salmo trutta*, in Gotland (Sweden). *Fisheries Management and Ecology*, *11*(1), 15-22.
- Ruhlé, C. (1990). Decline and Restoration of the Population of Migrating Lake-Trout (*Salmo-Trutta-Lacustris* L) of Lake Constance. *Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture*(319), 167-172.
- Ruhlé, C., Ackermann, G., Berg, R., Kindle, T., Kistler, R., Klein, M., et al. (2005). Die Seeforelle im Bodensee und seinen Zuflüssen: Biologie und Management. *Österreichs Fischerei*, *58*, 230 - 262.
- Rupf, R. (1998). *Ökomorphologie des Vorder- und Hinterrheins*. Universität Zürich, Zürich.
- 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.
- Schulz, U. (1994). *Untersuchungen zur Oekologie der Seeforelle (Salmo trutta f. lacustris) im Bodensee*. Konstanz: Hartung-Gorre.
- Schulz, U. H. (1999). Downstream migration of European lake trout, *Salmo trutta f. lacustris* L., and resident brown trout, *Salmo trutta f. fario* L., progeny in a Lake Constance affluent river. *Fisheries Management and Ecology*, *6*(3), 187-194.
- Shirvell, C. S., & Dungey, R. G. (1983). Microhabitats Chosen by Brown Trout for Feeding and Spawning in Rivers. *Transactions of the American Fisheries Society*, *112*(3), 355-367.
- SPSS. (2001). SPSS for Windows (Version Rel. 11.0.0). Chicago: SPSS Inc.
- 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.
- Thorstad, E. B., Okland, F., & Finstad, B. (2000). Effects of telemetry transmitters on swimming performance of adult Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, *57*(2), 531-535.

Wootton, R. J. (1992). *Fish Ecology*. Glasgow: Blackie and Son.

Anhang 1 Wassertemperaturen im Vorderrhein, 2005

Provisorische Daten / Données provisoires / Dati provvisori / Provisional data

Wassertemperatur		Vorderrhein (Rein anterior)-Ilanz (Glion)										LH 2033			
Température de l'eau		Koordinaten Coordonnées		Höhe Altitude		Fläche Surface		Mittlere Höhe Altitude moyenne		2020 m ü.M.		Vergletscherung Extension glacier		3.8 %	
Temperatura dell'acqua		Coordinate		Altitudine		Superficie		Altitudine media				Ghiacciaio			
2005		Jan./Janv. Genn.	Feb./Févr. Febbr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.		
Tagesmittel	1	0.9	2.2	1.9	5.3	9.1	8.5	10.3	10.9	12.1	9.1 +	7.6	2.9	1	
	2	1.2	2.1	1.8	5.9	8.5	8.9	9.7	11.1	12.3		7.8 +	2.8	2	
	3	2.3 +	2.3 +	2.0	5.9	6.9	9.2	11.2	10.0	12.6 +		7.2	2.5	3	
	4	1.6	1.9	2.2	4.2	6.9	9.1	11.0	9.9	12.5		7.1	3.0	4	
	5	1.6	1.7	1.8	4.0 -	7.0	8.8	10.3	10.2	11.7		7.4	3.4	5	
Moyenne journalière	6	1.4	1.0	1.8	4.6	6.4	8.0	9.3 -	11.1	11.0		7.9	7.4	6	3.6 +
	7	1.7	2.0	1.7 -	4.6	6.8	8.6	9.8	10.4	10.9		8.2	6.5	7	3.6 +
Media giornaliera	8	0.7	2.3 +	2.0	4.5	7.4	7.4	8.9	9.5	10.8		8.3	6.0	8	3.1
	9	1.1	2.3 +	2.4	4.2	6.4	7.0	10.4	9.4	10.9		8.2	5.8	9	2.2
	10	1.2	1.9	2.5	5.0	5.9 -	7.1 -	10.2	10.5	10.7		7.8	5.4	10	1.3
	11	1.1	2.0	2.1	5.1	6.4	8.6	10.1	11.1	10.6		7.9	5.4	11	0.7
	12	1.8	0.6 -	2.6	7.0	6.5	9.1	10.7	11.6 +	10.3		7.5	4.2	12	1.8
	13	1.7	1.1	3.3	7.7	7.1	9.2	11.6	11.3	11.0		6.9	4.1	13	1.7
	14	1.7	2.0	2.3	7.6	7.6	8.4	12.5	10.6	11.3		6.8	4.2	14	2.3
	15	0.8	2.2	2.8	6.3	8.7	8.7	13.2	9.5	11.5		6.7	4.3	15	2.3
	16	0.9	2.1	3.6	6.5	8.1	9.4	13.0 -	9.0 -	11.1		6.4	5.6	16	1.5
	17	1.6	2.3 +	3.2	6.4	6.8	9.8	13.5 +	10.0	10.4		6.2 -	5.7	17	0.9
	18	1.9	2.1	3.9	5.0	7.2	11.1	12.7	11.2	8.9		6.7	4.9	18	0.7
	19	2.2	1.7	4.5	5.3	7.0	11.4 +	11.4	11.1	8.8		6.4	4.6	19	1.5
	20	1.1	1.8	5.3	5.0	7.8	10.6	11.8	10.5	8.8		7.3	2.3	20	1.9
	21	2.1	2.1	4.2	4.9	9.5 +	10.0	12.2	9.7	8.7 -		7.7	4.4	21	1.7
	22	1.0	2.0	3.8	5.0	7.6	10.4	12.1	9.5	9.6		7.8	4.3	22	1.1
	23	0.5 -	1.9	4.4	6.0	6.4	10.6	12.0	9.3	10.0		8.4	4.4	23	0.7
	24	1.8	2.0	4.5	7.3	6.9	10.8	11.2	9.4	10.0		8.1	4.0	24	0.7
	25	2.0	2.0	5.6 +	6.0	8.2	11.3	11.2	9.8	9.8		7.6	2.8	25	1.0
+Maximum	26	2.0	1.1	5.0	6.3	9.3	11.3	12.5	10.5	10.1		7.2	2.1	26	1.6
Massimo	27	2.2	1.2	5.2	6.7	9.1	11.0	13.0	10.7	10.2		6.9	1.6	27	1.4
- Minimum	28	2.2	1.9	5.6 +	6.5	9.3	11.1	13.5 +	10.6	10.3		6.9	3.0	28	0.9
Minimo	29	1.8		4.5	8.0	9.1	10.9	13.5 +	10.4	10.4		6.3	3.6	29	0.5 -
	30	1.1		5.1	8.8 +	8.2	10.6	12.0	11.0	9.6		6.4	3.4	30	0.8
	31	1.9		4.8		8.5		10.9	11.6 +			6.5	0.5 -	31	0.5 -
Monatsmittel															°C
Moyenne mensuelle	1.5 -	1.9	3.4	5.9	7.6	9.6	11.5 +	10.4	10.6	7.4	4.9	1.8			
Media mensile															°C
Maximum/Massimo															°C
Spitze/Punte/Punta	3.1 -	3.1 -	8.5	14.7	15.1	13.7	18.4 +	14.8	15.8	10.5	9.0	5.0			
Datum/Date/Data	20.	3.	20.	30.	26.	26.	17.	1.	4.	8.	1.	1.			
Minimum/Minimo															°C
Momentan/momentan.	-0.0 -	0.1	0.1	3.1	5.1	5.9	8.0 +	8.0 +	6.9	5.0	0.0	0.0			
Datum/Date/Data	28.	1. 10.	1. 4.	5.	12.	10.	8.	9.	21.	29.	26.	1.			
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua															6.4 °C

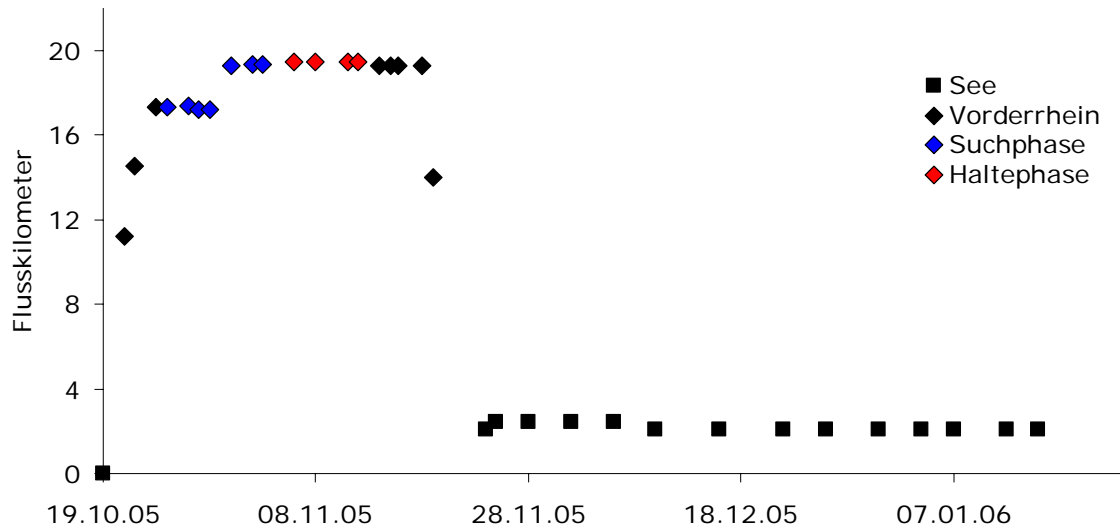
Quelle: Bundesamt für Umwelt, BAFU, download am 12.5.2006, URL <http://www.bwg.admin.ch/service/hydrolog/d/2033.htm>

Anhang 2 Abfluss im Vorderrhein bei Ilanz, 2005

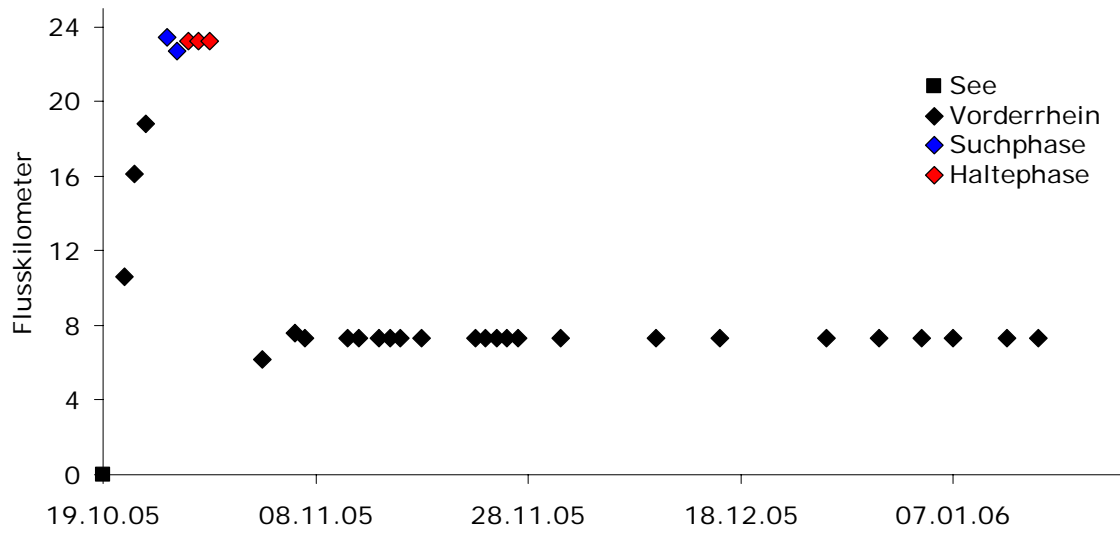
Abfluss	Vorderrhein (Rein anteriur)-Ilanz (Glion)													LH 2033
Débit	Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		2020 m ü.M.		Vergletscherung		3.8 %	
Portata	Coordonnées		Altitude		Surface		Altitude moyenne				Extension glacier			
	735000 / 182030		693 m ü.M.		776 km²		776 km²				Ghiacciaio			
	Jan./Janv.	Feb./Févr.	März/Mars	April/Avril	Mai/Mai	Juni/Juin	Juli/Juillet	Aug./Août	Sept./Sept.	Okt./Okt.	Nov./Nov.	Dez./Déc.		
	Genn.	Febbr.	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.		
2005														
	1	10.9	24.7	34.4	32.8	31.6	59.3	51.1	28.3	29.5 +	14.4	11.7	24.6 +	1
	2	7.47	29.1	34.9 +	18.8	41.9	55.2	38.9	91.2	28.6	18.2	18.4	20.9	2
	3	13.1	27.1	33.6	17.1	61.0	59.2	35.8	69.9	24.1	15.3	12.3	6.70	3
Tagesmittel	4	11.4	19.4	28.4	35.6	54.9	73.7 +	51.2 +	43.9	20.9	17.3	18.1	5.78	4
	5	15.7	8.41	14.3	37.9 +	34.5	53.0	40.9	35.8	26.8	17.1	10.9	14.0	5
Moyenne journalière	6	9.29	4.59 -	7.14 -	35.7	37.8	51.4	30.7	29.1	22.3	14.3	8.99	13.1	6
	7	7.45	23.2	20.9	36.9	28.1	41.8	30.8	30.8	22.0	17.2	14.0	12.8	7
Media giornaliera	8	6.63	27.6	24.5	33.6	24.8	43.2	27.3	31.7	21.6	12.8	15.9	13.1	8
	9	6.78	26.1	26.4	19.0	33.0	38.1	21.9 -	30.4	25.1	13.3	15.3	12.2	9
	10	9.89	22.8	26.8	17.0	36.3	36.1	23.1	30.1	20.6	17.0	11.0	5.62	10
	11	11.3	18.9	22.6	19.0	33.4	26.6	30.3	27.5	29.5 +	15.0	12.0	5.55 -	11
	12	14.5	4.74	10.8	14.6	33.3	25.8 -	27.1	26.3	24.4	14.5	7.95	17.0	12
m³/s	13	15.7	7.52	9.12	14.4	32.8	31.6	25.6	22.9 -	20.5	12.6	7.38 -	18.2	13
	14	15.6	19.2	23.2	14.3	23.5	54.8	25.6	23.1	19.3	11.0	14.5	15.7	14
	15	5.52	20.2	18.4	22.3	18.9 -	43.1	25.7	30.9	19.0	10.5	14.1	11.6	15
	16	9.10	23.7	15.1	14.9	26.6	46.4	23.5	27.3	19.4	11.0	21.1	10.2	16
	17	18.4	26.3	18.3	15.6	40.3	48.6	23.1	27.7	17.8	20.5 +	20.4	7.37	17
	18	20.4	21.7	15.6	29.0	36.9	45.4	35.8	25.3	16.7	10.9	20.6	5.80	18
	19	22.6	14.2	11.7	30.1	38.5	44.4	43.7	31.3	14.6	15.2	17.7	14.7	19
	20	8.11	9.32	11.1	27.2	35.4	59.2	28.4	45.4	17.5	13.8	10.8	18.8	20
	21	11.1	21.8	26.5	27.6	30.4	60.4	27.8	47.8	17.8	16.4	30.5	16.0	21
	22	6.45	23.3	25.3	27.2	50.6	56.7	27.1	108	16.8	12.3	25.9	9.10	22
	23	5.51 -	29.6	28.1	17.5	64.9	60.3	25.8	151 +	14.7	8.83 -	31.1 +	6.97	23
	24	23.4	26.4	25.8	12.5 -	55.0	62.5	22.8	65.9	14.6	13.4	26.1	6.47	24
+Maximum	25	26.2	23.0	22.5	25.2	48.4	53.9	28.3	49.9	14.4	8.86	15.0	5.63	25
Massimo	26	24.1	8.33	23.2	28.1	47.8	51.4	30.4	42.9	14.7	9.78	10.5	6.66	26
	27	26.8	7.19	24.2	24.9	62.9	62.0	29.3	34.8	13.6	13.0	10.3	7.30	27
- Minimum	28	27.6 +	30.1 +	24.1	28.1	72.2	57.1	31.2	30.0	13.4	13.7	26.3	7.63	28
Minimo	29	19.2	31.1	20.6	85.3	55.8	32.2	33.0	33.0	12.7	13.2	25.6	5.90	29
	30	7.00	26.9	24.6	79.5	61.8	37.3	32.1	14.0	11.3	24.0	8.84	30	
	31	23.2	31.5	66.5	29.9	28.8	28.8	13.4	13.4	13.4	6.45	31		
Monatsmittel														m³/s
Moyenne mensuelle		14.2	19.5	22.5	24.1	44.1	50.6 +	31.0	43.0	19.6	13.7	16.9	11.0	-
Media mensile														m³/s
Maximum/Massimo		60.6	53.3 -	63.4	67.2	111	97.9	72.2	251 +	63.7	53.9	62.8	62.9	m³/s
Spitze/Pointe/Punta		28.	23.	1.	1.	29.	4.	5.	22.	1.	9.	22.	13.	
Datum/Date/Data														
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua							25.9 m³/s							

Quelle: Bundesamt für Umwelt, BAFU, download am 12.5.2006, URL <http://www.bwg.admin.ch/service/hydrolog/d/2033.htm>

Anhang 3 Lokalisierungen und Abblanchorte der besenderten Seeforellen



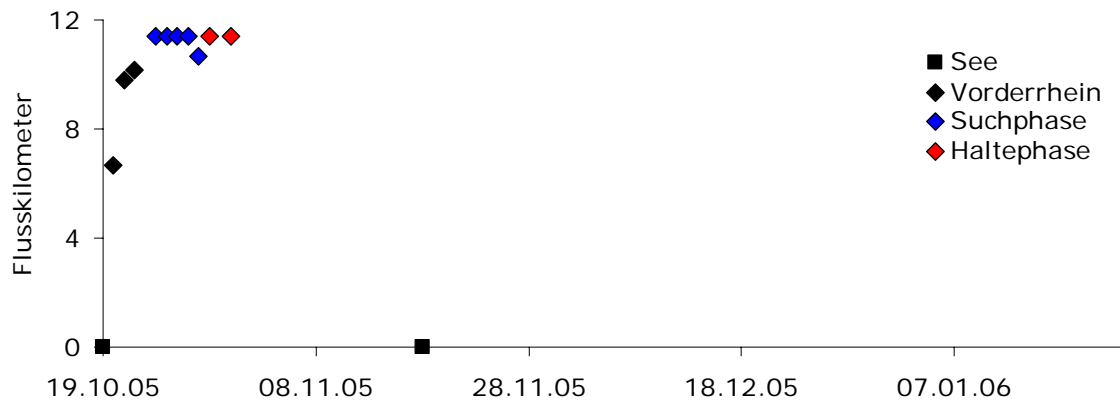
Lokalisierungen von Rogner Nr. 16



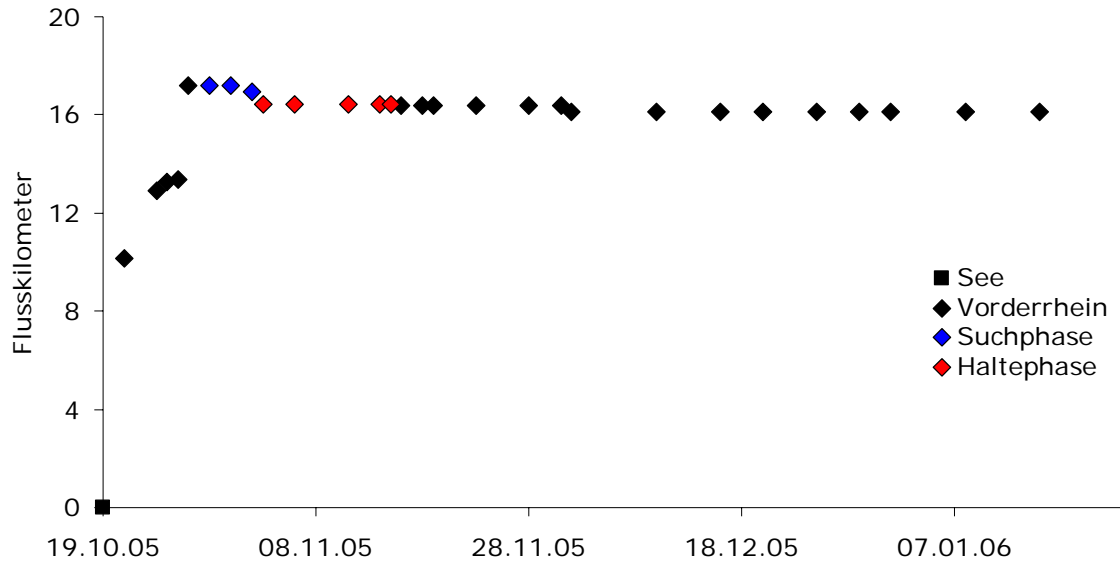
Lokalisierungen von Rogner Nr. 17



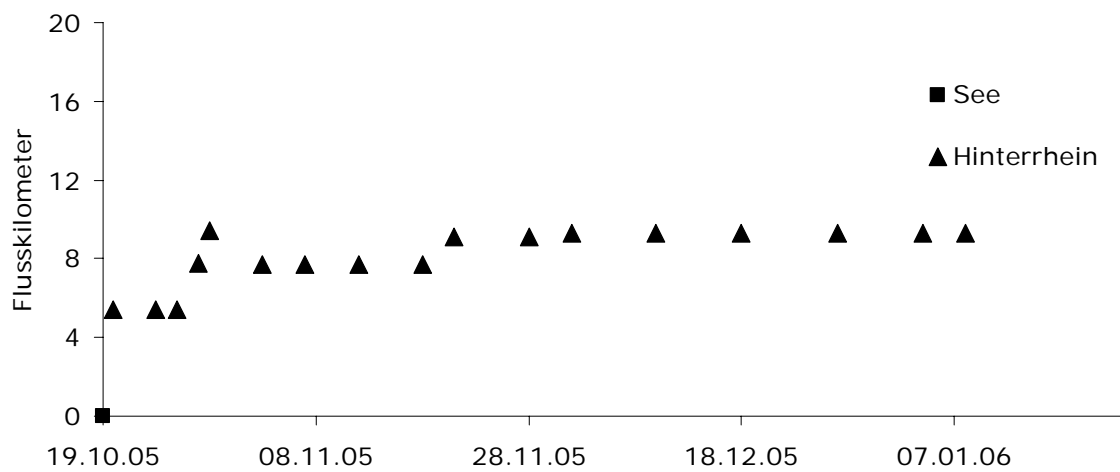
Lokalisierungen von Rogner Nr. 7



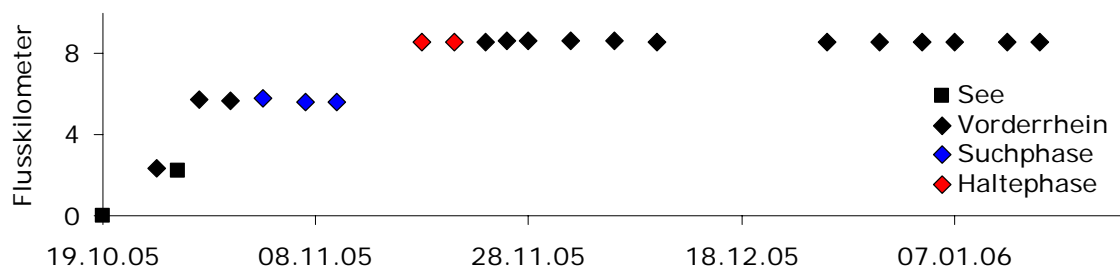
Lokalisierungen von Rogner Nr. 4



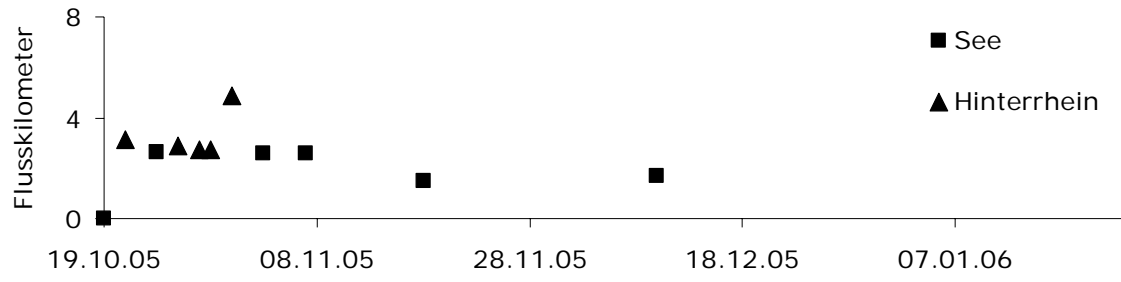
Lokalisierungen von Rogner Nr. 15



Lokalisierungen von Milchner Nr. 3



Lokalisierungen von Milchner Nr. 1



Lokalisierungen von Milchner Nr. 2