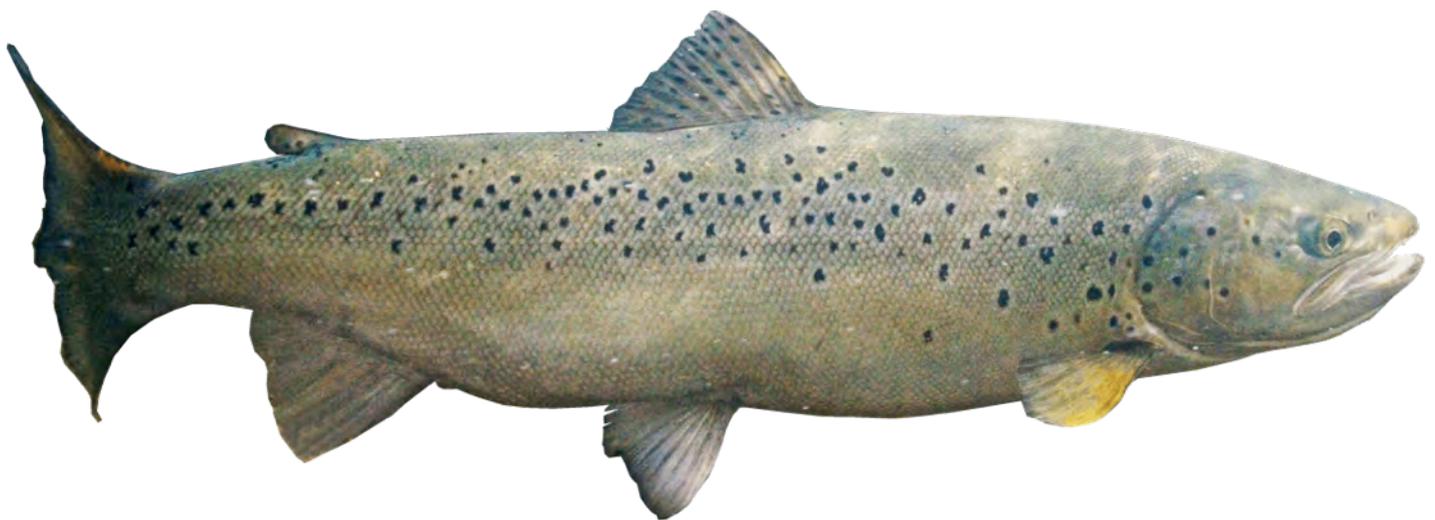




Seeforelle - Arterhaltung in den Bodenseezuflüssen



Interreg IV-Projektbericht

Seeforelle - Arterhaltung in den Bodenseezuflüssen

Im Auftrag der Internationalen Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodensee-Fischerei (IBKF),
AG Wanderfische

R. Jehle, H. Kindle, R. Kistler, M. Klein, M. Konrad (Projektkoordinator), M. Kugler, H. Löffler,
M. Michel (Vorsitz), R. Rösch, N. Schotzko, M. Schubert; D. Thiel.

Autoren:

S. Werner, P. Rey, J. Hesselschwerdt, A. Becker, J. Ortlepp (HYDRA, Büro Peter Rey, Konstanz)
W. Dönni (Fischwerk, Luzern)
M. Camenzind (AquaPlus, Zug)

Projektarbeiten:

Stefan Werner, John Hesselschwerdt, Peter Rey, Andreas Becker, Klaus Blasel, Piet Linde, Katarina
Varga, Karin Mohr, Werner Dönni, Johannes Ortlepp, Uta Mürle, Lukas Boller, Romy Durst

Fotos: HYDRA (P. Rey, J. Hesselschwerdt, M. Weber, C. Lott, S. Werner, K. Varga)

Konstanz, den 13. Juni 2014



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération Suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Inhalt

Zusammenfassung	6
1 Auftrag und Zielsetzung	8
2 Einleitung.....	10
2.1 Biologie der Seeforelle.....	10
2.2 Kenntnisse zur Bodensee-Seeforelle.....	16
2.3 Wachstum der Bodensee-Seeforelle	19
3 Methodik.....	20
3.1 Hydrologie der Untersuchungsgewässer	20
3.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	20
3.3 Laichflächenanalysen und Brutboxenversuche.....	27
3.4 Untersuchung der Jungfischabwanderung in den See	32
4 Ergebnisse Rotach.....	34
4.1 Hydrologie.....	34
4.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	37
4.3 Reproduktion und Habitatanalysen.....	40
4.4 Abwanderung.....	46
4.5 Fazit	51
4.6 Empfehlungen.....	52
5 Ergebnisse Argen.....	53
5.1 Hydrologie.....	54
5.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	57
5.3 Reproduktion und Habitatanalysen.....	66
5.4 Abwanderung.....	74
5.5 Fazit	74
5.6 Empfehlungen.....	75
6 Ergebnisse Leiblach.....	77
6.1 Hydrologie.....	78
6.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	80
6.3 Reproduktion und Habitatanalysen.....	87
6.4 Abwanderung.....	95
6.5 Fazit	97
6.6 Empfehlungen.....	98
7 Ergebnisse Bregenzerach.....	99
7.1 Hydrologie.....	100
7.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	105
7.3 Reproduktion und Habitatanalysen.....	119
7.4 Abwanderung.....	129
7.5 Fazit	131
7.6 Empfehlungen.....	132
8 Ergebnisse Goldach.....	134
8.1 Hydrologie.....	135
8.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen.....	137
8.3 Reproduktion und Habitatanalysen.....	147
8.4 Abwanderung.....	156
8.5 Fazit	158
8.6 Empfehlungen.....	159
9 Flussübergreifende Betrachtungen.....	161
9.1 Hydrologie der Untersuchungsgewässer	161
9.2 Einwanderung.....	163
9.3 Kontinuumsanalysen.....	180
9.4 Reproduktion und Habitatanalysen.....	181
9.5 Abwanderung.....	187
9.6 Typologie der Bodensee-Seeforellen.....	189
9.7 Empfehlungen.....	192
10 Literatur:.....	194
11 Anhang:.....	202
11.1 Befischungen in den einzelnen Projektgewässern.....	202
11.2 Dank.....	204

Zusammenfassung

Um Wissenslücken zur Reproduktion der Bodensee-Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) zu schließen, wurde von 2010 bis 2013 das Interreg IV-Projekt „Seeforelle – Arterhaltung in den Bodenseezuflüssen“ durchgeführt. An den fünf Zuflüssen Rotach, Argen (Baden-Württemberg), Leiblach (Bayern, Vorarlberg), Bregenzerach (Vorarlberg) und Goldach (St. Gallen) wurde der Weg aufsteigender Laichfische und absteigender Jungfische (Smolts) verfolgt, die morphologischen und hydrologischen Charakteristika der Gewässer erfasst und die Durchgängigkeit und Eignung der Zuflüsse als Reproduktionsraum beurteilt.

Zur Untersuchung der Seeforelleneinwanderung wurden 252 einsteigende Laichtiere gefangen und davon 163 mit Passivsendern markiert. Die Einwanderung erfolgt von Juli bis April mit Haupt-einstiegszeit von Oktober bis Dezember. Die kleineren Zuflüsse Rotach, Leiblach und Goldach wurden fast ausschließlich bei erhöhten Abflüssen aufgesucht, während der Einstieg in die größeren Flüsse Bregenzerach und Argen eher unabhängig von Hochwässern erfolgte. Die Zahl einsteigender Seeforellen variierte in den Gewässern von Jahr zu Jahr und zwischen den fünf Gewässern im selben Jahr zum Teil erheblich. Die nördlichen Bodenseezuflüsse Rotach und Argen wiesen dabei deutlich geringere Aufsteigerzahlen auf als die südöstlich gelegenen Leiblach, Bregenzerach und Goldach. In zwei Fällen konnte nachgewiesen werden, dass männliche Seeforellen innerhalb derselben Saison zwei verschiedene Laichgewässer aufsuchten.

Erhebliche Defizite für die Seeforellenwanderung wurden in Argen, Rotach und Bregenzerach festgestellt. Oft ist die Durchgängigkeit an künstlichen Querbauwerken stark eingeschränkt oder endet dort. Lediglich in der Leiblach und der Goldach wird das Ende des Seeforellenaufstiegs durch ein natürliches Hindernis gesetzt. Vorhandene Fischwanderhilfen zeigten sich in mehreren Fällen als nur eingeschränkt oder gar nicht funktionsfähig.

Bei Habitatflächenanalysen wurden die Lage und die prinzipielle Eignung potentieller Laichflächen sowie die erkennbar von Forellen genutzten Laichareale erfasst. Es zeichnet sich ab, dass in den untersuchten Bodenseezuflüssen nicht die Qualität oder Quantität von Laichflächen, sondern vor allem äußere Einflüsse wie eingeschränkte Durchgängigkeit, Schwall-Sunk, Winterhochwasser oder partikuläre Stoffeinträge und für die Seeforellen-Reproduktion limitierend sind.

Durch Brutboxenversuche mit Seeforellenlaich wurde abgeklärt, wo innerhalb potenzieller Laichareale erfolgreiche Reproduktion tatsächlich möglich ist bzw. durch welche Faktoren sie verhindert wird. Ergebnis: Brutboxen wurden oftmals durch Hochwasser ausgegraben; andernorts war durch anorganische oder organische Feststoffeinträge in das Laichsubstrat die Sauerstoffversorgung der Eier nicht mehr gewährleistet. Zusammen mit dem Fehlen von Forellenbrut in fast allen untersuchten Gewässern muss davon ausgegangen werden, dass Naturverlaichung von Seeforellen derzeit nur in der

Goldach regelmäßig und erfolgreich funktioniert. Aber selbst dort scheint der Bestand nach wie vor von Besatz abhängig zu sein. Die Auswertungen hydrologischer Daten bestätigen, dass in den meisten Zuflüssen vermehrt Winterhochwasser mit hoher Intensität auftreten, die zu einer Umlagerung des Laichsubstrats führen und damit generell eine große Gefahr für den Reproduktionserfolg der Seeforellen darstellen. Deshalb müssen künftig die weniger durch Winterhochwasser betroffenen Seitengewässer und Flussoberläufe eine immer wichtigere Rolle für eine erfolgreiche Seeforellen-Reproduktion spielen. Zudem bestehen in einigen Gewässern noch erhebliche kraftwerksbedingte Defizite aufgrund von Schwall- und Sunkerscheinungen und unzureichender Dotierung von Ausleitungsstrecken mit zu geringen Wassertiefen.

Untersuchungen zur Jungfisch-Abwanderung fanden in den drei kleineren Zuflüssen Rotach, Leiblach und Goldach statt. Durch die Detektion besonderer, junger Forellen konnte deren Abwanderung in den Bodensee verfolgt werden. Nur in der Goldach und Rotach wurden höhere Dichten ein- bis zweijähriger Jungforellen nachgewiesen. Der Anteil absteigender Jungfische (Smolts) gegenüber standorttreuen Individuen variierte dabei zwischen den Gewässern beträchtlich. Es konnte nachgewiesen werden, dass zu einem überwiegenden Anteil die silbrig umgefärbten, meist einjährigen Seeforellen-Smolts in den See abwanderten. Diese Abwanderung fand vorwiegend im April und im Mai statt.

Aus diesen Ergebnissen wurden flussspezifische Maßnahmenempfehlungen abgeleitet. Daneben konnten auch generelle Empfehlungen formuliert werden:

- Verbleibende künstliche Hindernisse für den Seeforellenaufstieg in die Laichgewässer müssen beseitigt oder durchgängig gemacht werden; die Durchgängigkeit ist bis zu den historischen Grenzen in den Oberläufen und Nebengewässern zu gewährleisten;
- Bestehende Fischwanderhilfen müssen auf ihre Funktionsfähigkeit und Dimension hin geprüft und ggf. verbessert/ersetzt werden;
- an Wasserkraftanlagen und sonstigen Querbauwerken muss ein gefahrloser Abstieg für absteigende Jungforellen sichergestellt werden;
- Stoffeinträge durch Flächenabschwemmungen, aus Regenüberlaufbecken und aus Kläranlagen sind nach Möglichkeit zu reduzieren;
- kraftwerkbedingte Defizite, die den Einstieg, Abstieg oder Reproduktionserfolg der Seeforellen bzw. der gesamten Fischzönose einschränken oder verhindern, sind nach der besten verfügbaren Umweltpraxis zu beseitigen;
- die Besatzstrategien sind überregional zu koordinieren und anzupassen.

1 Auftrag und Zielsetzung

Auftrag

Im Jahr 2008 fasste die Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei (IBKF) den Grundsatzbeschluss, die Arbeitsgruppe Wanderfische (AG WF) für die Erarbeitung eines Programms zur Förderung und Bestandsstützung der Seeforelle in verschiedenen Zuflüssen des Bodensee-Obersees zu beauftragen. Bei der IBKF wurde die Konzeption des Untersuchungsprogramms im Jahr 2009 verabschiedet und die AG WF beauftragt, den Interreg-IV-Antrag vorzubereiten und das Projekt federführend zu begleiten. Als Projektkoordinator wurde der Vertreter der Fischereiverwaltung des Regierungspräsidiums Tübingen bestimmt.

Die AG WF sprach sich für die Vergabe des Projektes an das Büro HYDRA, Institut für angewandte Hydrobiologie, Büro Peter Rey, Fürstenbergstr. 25, D-78467 Konstanz aus, die im Unterauftrag mit drei weiteren Partnerbüros (Fischwerk, Luzern (CH); Aquaplus, Zug (CH) und Büro für Fischereibiologie und Ökologie, Sölden (D)) als „Arbeitsgruppe Bodensee-Seeforelle“ auftrat. Der Vergabevermerk wurde im Einvernehmen mit der AG WF am 01.06.2010 ausgestellt, der Werkvertrag am 02.08.2010 unterzeichnet.

Am 11. Juni 2010 fand in der Fischereiforschungsstelle/Institut für Seenforschung in Langenargen die öffentliche Auftaktveranstaltung für das Projekt statt. Alle Fischereiberechtigten, Pächter, betroffene Behörden wurden persönlich angeschrieben, sonstige Interessierte waren über die Presse zu dieser Veranstaltung eingeladen. Für die Veranstaltung wurde eine Pressemitteilung erarbeitet und veröffentlicht.

Zielsetzung und Programmgewässer

Im Rahmen des Programms wurden an den fünf Bodenseezuflüssen Rotach, Argen, Leiblach, Bregenzrach und Goldach Untersuchungen durchgeführt (Abb. 1.1). Sie sollten dazu beitragen, noch bestehende Wissenslücken zur Reproduktionsbiologie der Bodensee-Seeforellen zu schließen und die Gewässer hinsichtlich ihrer Eignung als Reproduktionsgewässer zu beurteilen und gegebenenfalls Vorschläge zu erarbeiten, um die Reproduktion der Seeforellen zu verbessern. Die gewonnenen Kenntnisse sollen der Arterhaltung, einer gezielten Seeforellenförderung, einer verbesserten Naturverlaichung und einer Optimierung struktureller und funktioneller Aufwertungsmaßnahmen zugute kommen.

Im Laufe des Projekts wurde schnell ersichtlich, dass zuvor geplante Methoden und Termine zum einen an äußere Bedingungen (Niederwasser-Abfluss, Hochwasser, Frostperioden u.a.) zum anderen aber auch an unvorhergesehene Verwaltungsprobleme (Verfahrensdauer für die Genehmigungen zur Exposition des Fischwehrs, Befischungsverbote von Pächtern an strategisch wichtigen Abschnitten in Baden-Württemberg, Verfahrensdauer bei Ausstellung von Tierversuchsgenehmigungen u.Ä.) ange-

passt werden mussten. Oftmals musste und konnte improvisiert werden, sodass die Bearbeitungsziele dennoch erreicht wurden.

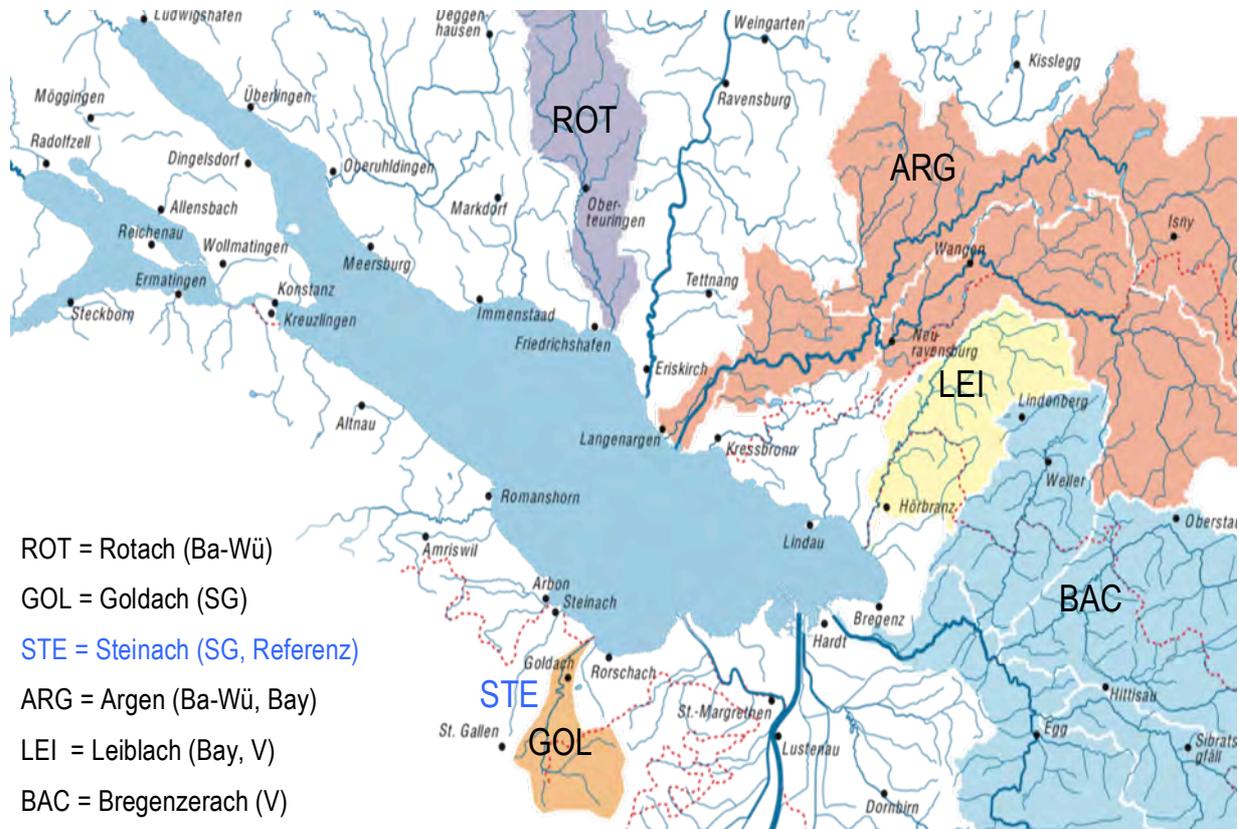


Abb. 1.1: Untersuchungsgewässer des Seeforellen-Programms und ihr Einzugsgebiet.

2 Einleitung

2.1 Biologie der Seeforelle

2.1.1 Taxonomie der Gruppe

Bei der europäischen Forelle (*Salmo trutta L.*) handelt es sich um eine Fischart, die in vielen verschiedenen Formen vorkommt und eine ausgeprägte Fähigkeit zur lokalen Anpassung besitzt. Diese Tatsachen haben dazu geführt, dass in der Fachwelt die Systematik der Forellen der Gattung *Salmo* schon lange kontrovers diskutiert wird (MORINVILLE & RASMUSSEN 2006, SUSNIK et al. 2006, JUNGWIRTH et al. 2003, BERNATCHEZ 2001, ELLIOTT 1994, FROST & BROWN 1967).

Genetische Untersuchungen über das gesamte Verbreitungsgebiet haben ergeben, dass sich alle in Mitteleuropa existierenden *Salmo-trutta*-Populationen auf fünf ursprüngliche „Stämme“ zurückführen lassen, die sich ursprünglich aus einer glazialen geographischen Isolation heraus ergaben. Es bildeten sich die Stämme Adria, Atlantik, Donau, Mediterran und Marmorata (BERNATCHEZ 2001). Diese fünf Stämme werden auch mit den Haupteinzugsgebieten der größten europäischen Flüsse in Verbindung gebracht: Po (Adriastamm), Rhein (Atlantikstamm), Donau (Donaustamm), Rhône (Mediterraner Stamm) und der Etsch (Marmoratastamm). Durch Isolation und Erschließung neuer Gewässer entstanden stationäre (Bachforelle, *S. trutta f. fario*) und migrierende (Meerforelle, *S. trutta f. trutta* und Seeforelle, *S. trutta f. lacustris*) Formen (MCMEEL et al. 1997), welche von verschiedenen Autoren z.T. als Unterarten, z.T. als ökologische Formen, Lebensraumformen oder Ökotypen bezeichnet werden (KOTTELAT & FREYHOF 2007). Die gängigste Einteilung in Bachforelle, Seeforelle und Meerforelle basiert auf drei unterschiedlichen Verhaltensmustern, die teilweise auch zu Unterschieden in der äußerlichen Gestalt führen (KOTTELAT & FREYHOF 2007, CRISP 2000, ELLIOTT 1994). Der Ökotyp Seeforelle – die großwüchsige Binnen-Wanderform, die im Fließgewässer laicht und im See zum geschlechtsreifen Tier heranwächst – ist im Lauf der Wiederbesiedlung des Alpenraums nach der letzten Eiszeit mehrfach unabhängig in den verschiedenen Einzugsgebieten entstanden.

Bei Bach-, See- und Meerforelle handelt es sich also nicht um eigenständige Arten, sondern um ökologische Varianten derselben Art: In Neuseeland, wo ausschließlich nicht heimische Bachforellen besetzt wurden, entwickelten sich innerhalb weniger Generationen die Ökotypen Meer- und Seeforellen aus demselben Besatzstamm (FROST & BROWN 1967). Genetische Untersuchungen an migrierenden Forellen und residenten Bachforellen kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen, die z.T. auch auf unterschiedlichen Methoden beruhen könnten. Ein Teil der Untersuchungen fand keine genetischen Unterschiede (CHARLES et al. 2005, CHARLES et al. 2006, HINDAR et al. 1990), während andere Studien Hinweise darauf liefern, dass es Forellenstämme mit Wanderverhalten gibt, die sich auf Populationsebene genetisch von stationären Forellen im gleichen Heimatgewässer unterscheiden (BEHRMANN-GODEL, 2011, unveröffentlicht).

2.1.2 Ökotypen von *Salmo trutta* und ihre unterschiedlichen Lebenszyklen

Die **Bachforelle** ist in der Regel standorttreu, braun-grün gefärbt und weist auffallend rote Punkte auf. Sie bleibt im Durchschnitt wesentlich kleiner als die beiden Wanderformen.

Die **Seeforelle** bewohnt bevorzugt nährstoffarme, tiefe Seen mit guter Sauerstoffversorgung und Wasserqualität und ernährt sich hauptsächlich von anderen Fischen, aber auch von Plankton. Seeforellen sind ursprünglich in Mittel- und Nordeuropa zuhause. Verbreitungsschwerpunkte sind die großen Alpenrandseen, die Gewässer des Karpatenbogens, Skandinaviens, Großbritanniens und Islands. Im Alpenraum steigt sie bis in Höhen von über 1.300 m auf, (DUBLING und BERG, 2001) lebt aber als Besatzfisch auch in Höhen von deutlich über 1.800 m (eigene Untersuchungen).

Seeforellen können Längen von über einem Meter und ein Gewicht von über 20 kg erreichen. Zwischen einzelnen Ländern, Einzugsgebieten und Seen bestehen oft erhebliche Unterschiede in Aussehen und Größe der verschiedenen Seeforellen-Typen. Zur Reproduktion wandern Seeforellen aus dem See zu ihren Laichgründen, die zumeist im Oberlauf direkter Seezuflüsse liegen. Hauptlaichzeit ist im November und Dezember. Je nach Wanderdistanz beginnen die Fische ihre Wanderung bereits im Sommer oder noch früher (Bsp. Bodensee-Seeforellen im Alpenrheinsystem, Daten AJF Graubünden).

Wanderung und Gestaltwechsel

Mit Eintritt in die Fließgewässer zur Laichzeit färben sich die Fische um – von silber hin zu zu Braun-, Grün- und Rosatönen. Bei Männchen (Milchnern) ist diese Umfärbung in der Regel auffälliger. Bei ihnen kann sich auch die Körperform verändern und sie entwickeln einen auffälligen Laichhaken (Abb. 2.1).

Bei der Wanderung können sie – abhängig von der Wassertiefe im Unterwasser – angeblich Abstürze von 1,10 m bis 1,20 m Höhe überwinden (REISER et al. 2006). Wir gehen jedoch davon aus, dass dies nur in sehr seltenen Fällen möglich ist und von den hydraulischen Bedingungen des jeweiligen Absturzes abhängt. Nach bisherigen Beobachtungen werden auch bei gut überströmten Hindernissen Sprunghöhen von über 70 cm von Seeforellen nur selten und von mehr als 1 m nur in Einzelfällen erreicht (LFU 2005). Ist die Wassertiefe vor dem Hindernis geringer als das 1,2 bis 1,4-fache des Hindernisses selbst, dann können manchmal selbst Stufen von weniger als 40 cm Höhe nicht überwunden werden (vgl. Kap. 3.2.5). Sicher ist jedoch, dass jedes Hindernis auf dem Weg zu den Laichgebieten für die Seeforelle eine Verzögerung und einen Kraftverlust darstellt. Aktivitätspausen von mehreren Tagen vor einem Hindernis und bis zu einer Woche nach Überwindung eines Hindernisse konnten auch im Rahmen dieses Projektes an der Goldach festgestellt werden.



Abb. 2.1: Anpassung der Seeforellen an ihre Laichwanderung: oben: Umfärbung von der silbernen Seeforelle in die Wanderform; unten: ausgeprägte Laichhaken bei den Seeforellenmännchen (Milchnern).

Reproduktion und Entwicklung der Brut

Wie bei allen anspruchsvollen kieslaichenden Fischarten erfolgt das Schlagen der Laichgruben und die Eiablage auf gut durchströmten Kiesflächen. Laichgruben werden bis zu 30 cm tief ins Substrat gegraben; der linsenförmige Laichhügel kann über 3 m lang werden (Abb. 2.2). Die Eier entwickeln sich im Winter im gut durchströmten Substrat. Die Jungfische schlüpfen abhängig von der Wassertemperatur nach ca. vier Monaten. Für die Entwicklung benötigt die Seeforelle bis zu 500 Tagesgrade. Bei einer konstanten Wassertemperatur von 5° C bedeutet dies eine Entwicklungsdauer von rund 100 Tagen.

Die so genannte Dottersackbrut verbleibt nach dem Schlupf noch im Substrat. Erst wenn die Larven ihre Nährstoffvorräte im Dotter aufgebraucht haben, verlassen sie (nach insgesamt ca. 800 Tagesgraden ab der Befruchtung) das Lückensystem der Gewässersohle. Junge Seeforellen bleiben ein, höchstens zwei Jahre in ihrem Geburtsgewässer. Dann wandern sie als Seeforellen-Smolts – ein Begriff, der aus der Entwicklung junger Lachse stammt und die zur Wanderung umgefärbten Jährlinge bezeichnet – in den See ab oder vollführen als „Flussforellen“ längere Wanderungen innerhalb des Flusssystemes.



Abb. 2.2: Beispiele von Seeforellen-Laichgruben: oben links: im Vorderrhein; unten links: im Liechtensteiner Binnenkanal; rechts: in der Goldach.

Abwanderungsimpulse und genetische Determination

Lange ist man davon ausgegangen, dass allein das Erreichen einer Mindestgröße für den ontogenetischen Habitatwechsel und die damit verbundene Abwanderung verantwortlich ist (KLEMENTSEN et al. 2003, JONSSON & JONSSON 1993). Die Wachstumsrate der Individuen gilt als besseres Maß für die Wahrscheinlichkeit einer Abwanderung als die reine Körpergröße (ACOLAS et al. 2012), wobei das Vorhandensein einer Mindestgröße trotzdem nicht auszuschließen ist (ØKLAND et al. 1993, ROFF 1996) (vgl. dagegen Kap. 4.4.1, Wachstum in der Rotach). Individuelles Wachstum ist eine Funktion physiologischer Prozesse sowie äußerer Faktoren, wie z.B. der Verfügbarkeit von Nahrung (WOOTON 1990). Schnell wachsende Individuen scheinen somit bevorzugt in Gebiete mit ergiebigeren Nahrungsressourcen auszuweichen, um ihren erhöhten Energiebedarf zu decken (JONSSON & JONSSON 1993, FORSETH et al. 1999, MORINVILLE & RASMUSSEN 2003, O'NEIL & STANFORD 2011).

Im Wissen, dass die Körpergröße sowie das Wachstum von Salmoniden zum Teil vererbbar sind und dass äußere Faktoren deren Ausprägung beeinflussen, kann davon ausgegangen werden, dass genetische Faktoren beim Drang abzuwandern eine wichtige Rolle spielen (GARCIA DE LÉANIZ et al. 2007). Ein Teil derselben Brut kann aber auch im Geburtsgewässer verbleiben und als residente Bachforelle heranwachsen (CAMPBELL 1977, NORDENG 1983, SCHULZ 1999). Wie die Erfahrung zeigt, treten bei den Nachkommen phänotypisch „eindeutiger“ Bachforellen fast nie Individuen auf, die dem Phänotyp der Seeforelle entsprechen (SCHOTZKO, pers. Mitteilung), umgekehrt dagegen schon. Die jüngsten genetischen Untersuchungen (BEHRMANN-GODEL 2011, unveröff.) bestätigen die

genetische Differenzierung zwischen den beiden Ökotypen bzw. Formen. Die genetischen Untersuchungen werden mit dem im Rahmen des aktuellen Programms gewonnenen Material fortgeführt.

Unter Fachleuten wird daher noch immer diskutiert, inwieweit die Genetik die Entwicklung zur Bachforelle (residente Form) und Seeforelle (Wanderform) vorbestimmt. Während verschiedene populationsdynamische Überlegungen die These einer gemeinsamen Population mit unterschiedlichem Abwanderungsdruck nahelegen (HERTIG, pers. Mitt.), deuten Erfahrungen aus der Zucht eher darauf hin, dass man von zwei unterschiedlichen, genetisch determinierten Ökotypen ausgehen kann. Zweifellos kommt es hierbei aber immer wieder zu Rückkreuzungen zwischen beiden Ökotypen.

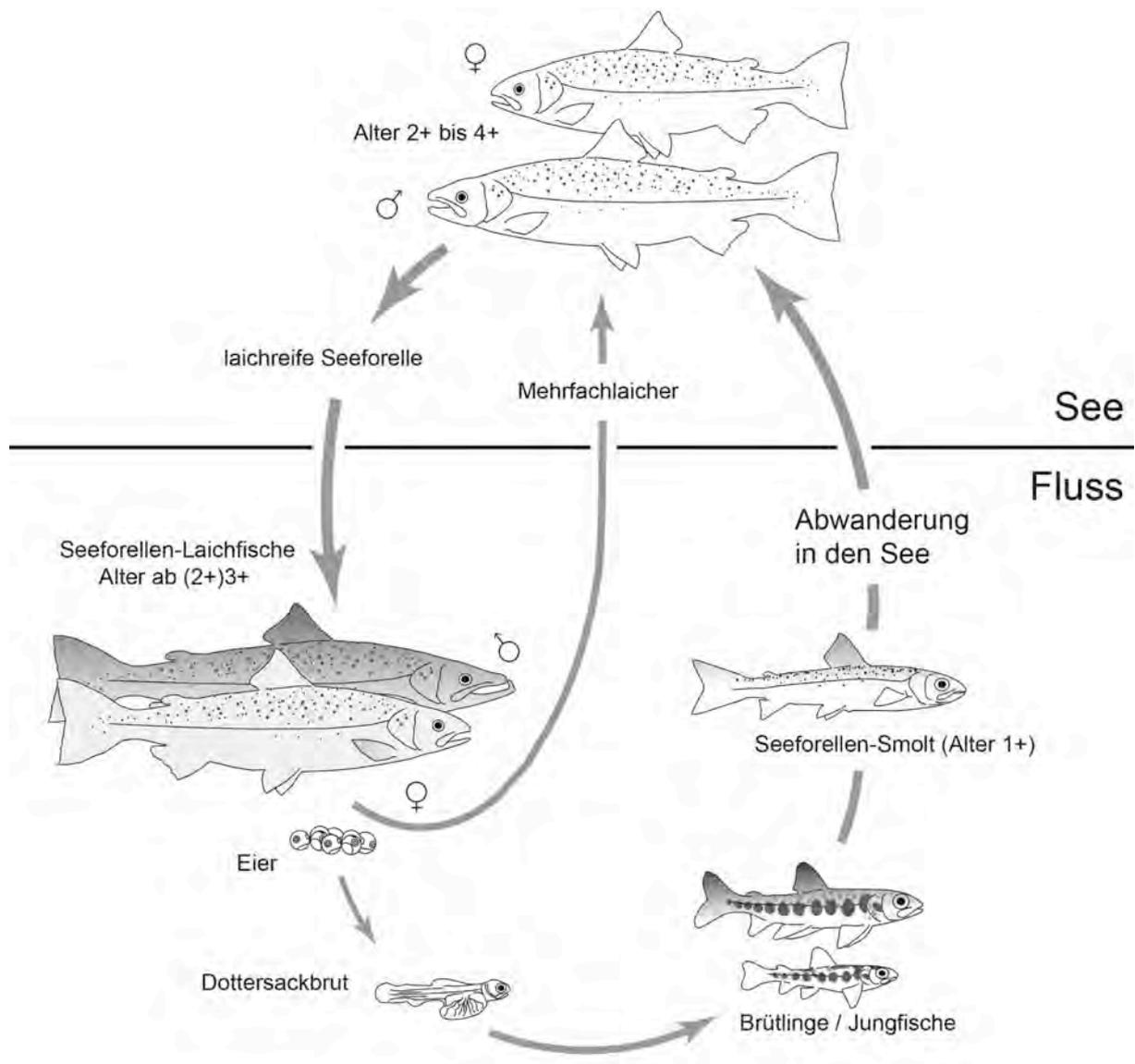


Abb. 2.3 Lebenszyklus der Seeforelle.

Prägung und Homing

Nach einem Aufenthalt von zwei oder mehr Jahren im See wandern die laichbereiten Fische erstmals zur Reproduktion in einen Seezufluss (Abb. 2.3). Migrierende Salmoniden kehren dabei zu einem sehr hohen Prozentsatz in ihre Geburtsgewässer zurück, um sich fortzupflanzen (so genanntes „Homing“). Wie die Seeforellen ihr Heimatgewässer wiedererkennen und auffinden können, ist noch nicht gänzlich geklärt. Gut dokumentiert ist jedoch, dass migrierende Salmoniden der Gattungen *Oncorhynchus*, *Salmo* und *Salvelinus* ihr Heimatgewässer am spezifischen Geruch erkennen und als Juvenile darauf geprägt werden (LEGGETT 1977, HASLER & SCHOLZ 1983, DITTMAN & QUINN 1996, NEVITT & DITTMAN 1999, HINO et al. 2009, UEDA 2011, UEDA 2012). Die für die Prägung verantwortlichen Gerüche beinhalten zum Teil auch Stoffe (Pheromone, Hormone), die von Artgenossen und verwandten Individuen abgesondert werden (GROOT et al. 1986, MOORE & SCOTT 1991, COURTENAY et al. 1997, 2001). Heute geht man davon aus, dass die Prägung der Jungfische auf sequentielle Weise geschieht: Bei der flussabwärts gerichteten Wanderung werden neue Gerüche und veränderte Umweltbedingungen wahrgenommen und sind somit Teil des Prägungsprozesses (SOLAZZI et al. 1991, GUNNERØD et al. 1988, HEGGBERGET et al. 1991, HANSEN & JONSSON 1991, BUGERT et al. 1997, CHAPMAN et al. 1997, KEEFER et al. 2008). Ein Teil der Population sucht bei Lachsen das Reproduktionsgewässer zufällig auf. Diese Fische werden „Strayer“ genannt (QUINN 1993). Das so genannte „Straying“ kann für eine Population von Vorteil sein, um räumliche und zeitliche Variationen in der Habitatqualität auszugleichen, neue Habitate zu besiedeln, Inzuchteffekte und dichteabhängige Konkurrenz zwischen Verwandten zu verringern (QUINN 1993, HENDRY et al. 2004). Dass es solche Individuen auch bei den Seeforellen gibt, konnte im Rahmen des aktuellen Programms nachgewiesen werden. MENDEZ (2007) und CAVIEZEL (2006) haben ebenfalls Hinweise auf eine kleine Strayer-Rate im Alpenrhein gefunden. Die Auswertung der Laichfischfänge an der Goldach und der Steinach mit über 1.000 markierten Seeforellen und 173 Wiederfängen ergab dagegen keine diesbezüglichen Nachweise (M. KUGLER, pers. Mitt.). Im Rahmen derselben Untersuchungen konnten Seeforellen allerdings als Mehrfachlaicher identifiziert werden: Es wurden bis zu 32 % Zweitlaicher und etwa 2 % Dritllaicher wiedergefangen.

2.1.3 Lebensraumfaktoren und Wanderwege

Seeforellen und Wassertemperatur

Seeforellen verbringen den Großteil ihres Lebens in sommerkühlen Seen; als Optimaltemperatur gelten rund 13° C (LFU 2005). Ab 18 bis 23° C beginnt die so genannte Störtemperatur, die je nach Jahreszeit und Akklimatisierungstemperatur schwankt (KÜTTEL et al., 2002, LFU 2005). Ab Temperaturen um 20° C ist mit Beeinträchtigungen der Fitness zu rechnen (kritische Temperatur). Es kann im übrigen angenommen werden, dass die für Bachforellen ermittelten Temperaturpräferenzen auch für die Seeforelle gelten (KÜTTEL et al. 2002); detailliert untersucht wurde dies aber noch nicht. Junge Bachforellen stellen die Nahrungsaufnahme ab 18 bis 19°C ein und wachsen danach nicht mehr.

Temperaturen von 21° C bis 25° C können binnen einer Woche sogar letal wirken (LFU 2005), noch weiter erhöhte Temperaturen (>26° C) führen meist zu einem raschen Tod. Da in Fließgewässern unserer Breitengrade aber die Wassertemperaturen in der Regel nachts wieder um mehrere Grade sinken, können Bachforellen auch in Gewässern leben, die sich unter Tag deutlich über 20° C erwärmen. Auch kühle Grundwasseraufstöße spielen zumindest lokal eine wichtige Rolle.

Für die Eientwicklung liegen die Vorzugstemperaturen um 4-6° C. Unter 1° C und ab ca. 14° C können Probleme bei der Eientwicklung auftreten (LFU 2005), müssen aber nicht. SCHUBERT (2010) belegt, dass für Wachstum und Entwicklung der Forellenbrut auch noch Wassertemperaturen bis 16 °C als verträglich anzusehen sind.

Wanderwege und Laichgebiete

Bei ihren Wanderungen legen Seeforellen unterschiedlich lange Wege zurück; sie zählen zwar noch zu den Mitteldistanz-Wanderfischen, allerdings mit den längsten Wanderstrecken (> 145 km) dieser Gilde. Ihr Lebenszyklus macht die Seeforelle in jenen Gebieten, in denen sie die einzige große Wanderfischart ist, zu einem hervorragenden Indikator für die ökologische Funktionsfähigkeit und die lineare Durchgängigkeit eines Flusssystem. Für eine erfolgreiche Naturverlaichung benötigt sie:

- uneingeschränkten Zugang zu geeigneten Laichgebieten,
- lockere Kiesflächen als Laichsubstrat; Deckung, um sich bei Störung zurückziehen zu können,
- geeignete Wassertemperaturen für die Laich- und Jungfischentwicklung,
- deckungs- und nahrungsreiche Jungfischhabitats,
- eine ungehinderte und gefahrlose Abwanderung in den See.

Außerdem dürfen weder Gelege noch die geschlüpfte Brut durch Sunk trockenfallen oder durch Schwall- bzw. unnatürlich häufige bzw. verstärkte Hochwasserabflüsse vernichtet werden.

2.2 Kenntnisse zur Bodensee-Seeforelle

2.2.1 Erdgeschichtliche Entwicklung des Bodensee-Einzugsgebiets

Der Bodensee hat eine sehr wechselhafte und dynamische Entwicklung hinter sich. Die Entstehung seines tektonisch vorgezeichneten Beckens geht auf Vergletscherungen zurück. Der erste Ur-Bodensee, der jedoch bald verlandete, entwässerte vor ca. einer Million Jahren in die Donau. Erst der zweite Ur-Bodensee entwässerte mit dem neu entstanden Ur-Rhein Richtung Nordsee (INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (IGKB) 2004). Die mächtigen Gletscher der Riss- und Würmeiszeit schufen nach und nach die heutige Form des Bodensees. Seit dem Alt-Bodensee vor 120.000 Jahren verlandete der See nicht mehr. Letztmals vergletschert war der Bodensee in der Würmeiszeit vor ca. 20.000 Jahren; während der anschliessenden Wärmeperiode ragte er weit ins Alpenrheintal hinein: Vor ca. 14.000 Jahren reichte er bis in die Gegend zwischen den heutigen

Städten Sargans und Chur. Die heutige Form besitzt er seit ca. 10.000 Jahren (IGKB 2004). Seit etwa derselben Zeit ist er durch den Rheinfluss vom Verbreitungsgebiet des Lachses im Hochrhein isoliert. Der Bodensee ist der einzige See Baden-Württembergs, in dem Seeforellen natürlicherweise vorkamen (DUBLING & BERG, 2001).

2.2.2 Gefährdung der Seeforellenbestände

Noch im 19. Jahrhundert kam es zu nicht reglementierten Massenfängen von Seeforellen während des Laichzugs in den Fließgewässern (KLUNZINGER 1881). Seit Mitte des 20. Jahrhunderts waren die Seeforellen-Bestände des Bodensees dann stark rückläufig (Abb. 2.4). Die erste „Arbeitsgruppe Seeforelle“ der IBKF (INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI) nannte 1984 u.a. auch ungenügende Schonbestimmungen als Grund für diesen Rückgang. Das Schonmaß wurde deshalb von 35 auf 50 cm Zentimeter erhöht.

Als wesentlicher Grund für die massiven Bestandseinbrüche wurde schon bald der Querverbau in den Bodenseezuflüssen identifiziert, der die Laichwanderungen vielerorts verhinderte. Seit den 1950er Jahren kam es im Bodensee und seinen Zuflüssen durch den Nährstoffeintrag aber auch zu massiven Belastungen der Wasserqualität (IGKB 2004), die auch die Verhältnisse an den Laichgründe im Fluss verschlechterten (Algenwachstum, Verschlammung, Kolmation, Sauerstoffzehrung). Mit der Wasserkraftnutzung – vornehmlich verbunden mit dem Schwall-Sunk-Betrieb, aber auch den Spülungen von Stauräumen in den Einzugsgebieten von Alpenrhein, Ill und Bregenzerach – wurden viele der stofflich nicht oder gering belasteten Kiesflächen ebenfalls entwertet.

Die „Arbeitsgruppe Seeforelle“ führt aber auch die Förderung der standortfremden Regenbogenforelle als einen der Gründe für den Bestandsrückgang der Seeforelle an, da diese Art um die dieselben Ressourcen konkurriert, aber später im Jahr laicht und dabei die Seeforelleneier ausgraben könnte. Seit den 1990er Jahren ist der Besatz von Regenbogenforellen in den meisten Bodenseezuflüssen verboten, lediglich in Österreich bestehen hierfür noch Ausnahmeregelungen.

Während das Problem der stofflichen Belastung der Gewässer durch umfangreiche Sanierungsmaßnahmen und Investitionen in die Abwasserreinigung und den Siedlungswasserbau behoben werden konnte (IGKB 2004), verbleiben viele Defizite der Gewässerregulierung und der Wasserkraftnutzung in den Seezuflüssen bis heute.

Als Folge der genannten Faktoren waren Seeforellen-Laichfische im Einzugsgebiet des Bodensees Mitte der 1980er Jahre beinahe ausgestorben, wie die regelmäßigen Fänge am Wehr des KW Reichenau (Domat/Ems) am Alpenrhein zeigt (Abb. 2.5). Nur ein engagiertes Rettungsprogramm mit intensiven Zucht- und Besatzmaßnahmen, das aus den letzten Seeforellen-Aufsteigern in den Alpenrhein und die Goldach aufgebaut wurde, rettete die Art. Leider fand in der kritischen Zeit auch Besatz aus anderen Einzugsgebieten (Genferseebecken, Walchensee u.a.) statt (IBKF 2009), so dass die ursprüngliche genetische Identität der Bodensee-Seeforelle wahrscheinlich verändert wurde. Der Besatz er-

folgte damals zum großen Teil in den See selbst, was erklärt, dass die Seefänge nie gänzlich eingebrochen waren (vgl. Abb. 2.4). Heute werden die größtenteils aus Laichfischfang und Elterntierstämmen gewonnenen Brütlinge und Vorsommerlinge in die Laichgewässer besetzt (IBKF 2013).

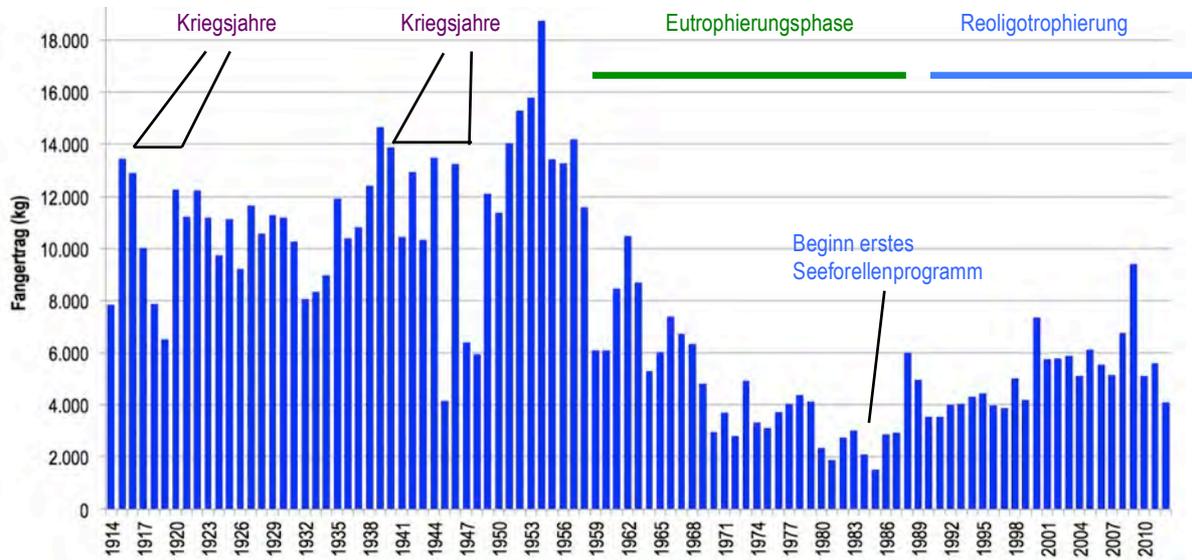


Abb. 2.4: Bestandentwicklung der Bodensee-Seeforelle (Statistik der Seefänge 1914 bis 2012, Quelle: IBKF).

Obwohl heute infolge der Errichtung von Fischaufstiegshilfen und der Beseitigung von Migrationshindernissen wieder zahlreiche ehemalige Laichgebiete erreichbar sind, reicht der Nachwuchs aus natürlicher Vermehrung noch lange nicht aus, um die bisherige Größe der Seepopulation aus Naturverlaichung zu rekrutieren. Immerhin können Seeforellen ihre wichtigsten Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein wieder erreichen, seitdem im Jahr 2000 am Flusskraftwerk Reichenau bei Domat/Ems eine Fischaufstiegshilfe gebaut wurde (Abb. 2.5). Sie wird von 400 bis über 1.200 Laichfischen pro Jahr genutzt. Die älteren Zahlen sind dabei allerdings nicht direkt mit den neueren zu vergleichen: Bis 2000 – vor dem Bau der Schlitzpassanlage – erfolgten Laichfischfänge unterhalb des Wehrs; 2000-2006 fanden nur Erhebungen vom 1. September bis zum 1. Dezember statt. Seit dem Einbau der Videoüberwachung 2007 erfolgt die Erhebung kontinuierlich 365 Tage im Jahr. So gut nun der Seeforellenaufstieg im Schlitzpass der Kraftwerkstufe funktioniert, so lebensgefährlich bleibt dort für adulte Tiere der Wiederabstieg.

Der Erhalt der Bodensee-Seeforelle ließ und lässt sich nur durch zielgerichtete Maßnahmenplanung erreichen. Dank der großen Aufmerksamkeit, welche sie als Indikatorart bei regionalen Gewässerschutzprogrammen genießt, wurde die Seeforelle von der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) im Rahmen des „Masterplans Wanderfische“ auch zur „Galionsfigur“ für das Flussgebiet Alpenrhein-Bodensee erhoben. Zum Schutz und zur Förderung der Seeforelle sollen künftig Maßnahmen umgesetzt werden, die nicht nur der Art selbst, sondern den gesamten Flussgebietsbiozöten zugute kommen.

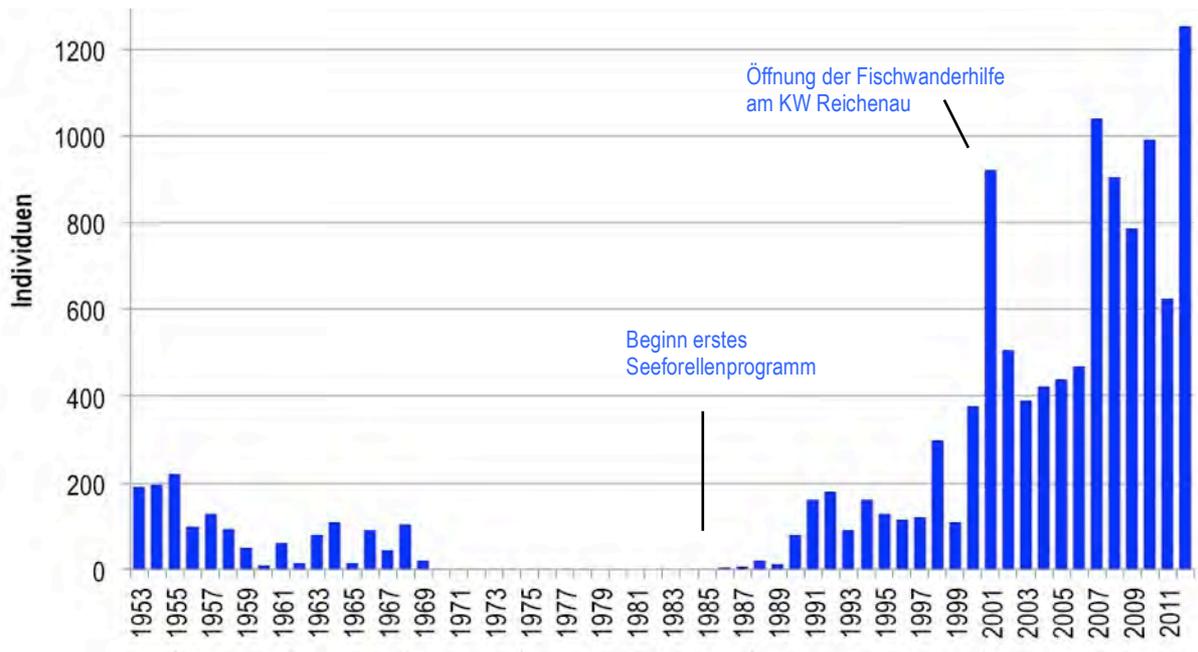


Abb. 2.5: Seeforellenfänge der kantonalen Fischereiaufsicht Graubünden KW Reichenau (Domat/Ems) im Alpenrhein. Anm. zur Datengrundlage: Bis 2000: Elektrofänge unterhalb des Wehrs; 2000 bis 2007: Reusenkontrollen zwischen 1.9. und 1.12.; seit 2007: Erhebung mittels Videoüberwachung.

2.3 Wachstum der Bodensee-Seeforelle

Aus dem Laichfischfang an der Goldach im Jahr 2004 wurden vom ANJF St. Gallen (M. KUGLER) an 57 Fischen Altersbestimmungen mittels Schuppenanalysen durchgeführt. Eine Alterszuordnung für über 7 Jahre alte oder über 80 cm lange (TL) Forellen bleibt dabei unsicher (Abb. 2.6). Neuere Analysen mit einer höheren Stichprobenzahl oder Analysen anderer Teilpopulationen liegen nicht vor.

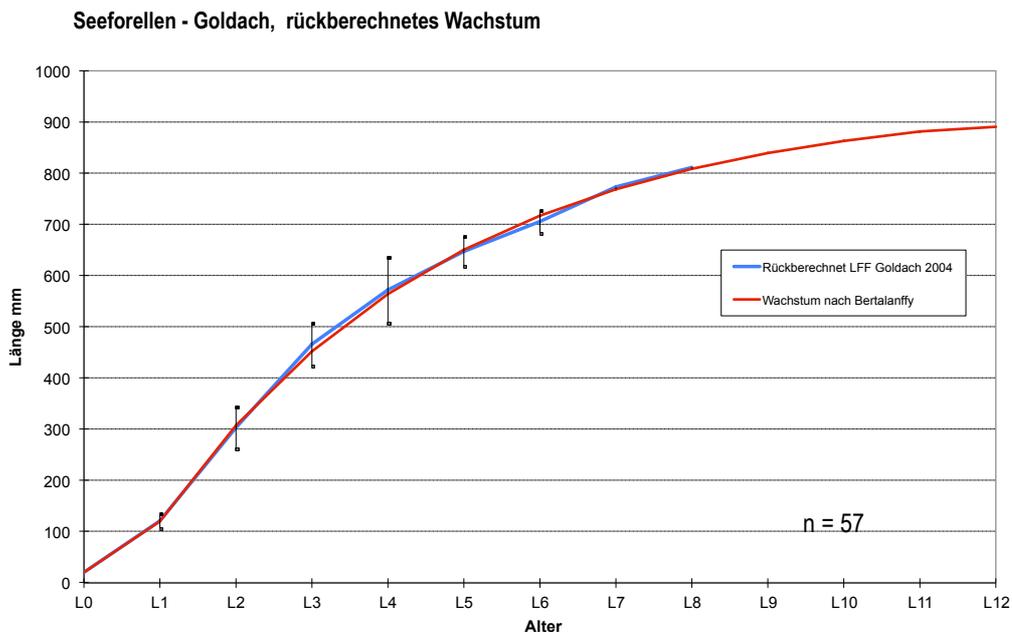


Abb. 2.6: Längen-Alters-Verhältnis an einer Teilpopulationen von Bodensee-Seeforellen aus der Goldach (Quelle: M. Kugler, ANJF St. Gallen).

3 Methodik

3.1 Hydrologie der Untersuchungsgewässer

Für die Analyse der Abfluss- und Pegeldata wurden die Tagesmittelwerte von den offiziellen Messstationen der jeweiligen Bodenseezuflüsse verwendet, die uns von folgenden Institutionen freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden von:

- der LUBW Karlsruhe, Institut für Seenforschung Langenargen (Argen, Rotach)
- dem Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Bregenz (Leiblach, Bregenzerach)
- dem Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie, Bern (Goldach).

3.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

Zur Untersuchung der aus dem See in das Reproduktionsgewässer einsteigenden Seeforellen wurden je nach Fragestellung und Gewässertyp verschiedene Methoden zum Fang und zur Markierung verwendet, die im Folgenden vorgestellt werden (Abb. 3.1). Alle gefangenen Seeforellen wurden gemessen, gewogen und nach Auffälligkeiten abgesucht (Deformation, Verpilzung, Parasitierung, Verletzungen u.ä.). Bei einem größeren Teil der Seeforellen wurden zusätzlich zur Gesamtlänge auch die Körperbreiten und -höhen vermessen. Von den Einsteigern wurden Gewebeproben zur genetischen Untersuchung entnommen und in Analyse-Ethanol fixiert. Die entsprechenden Analysen werden an der Universität Konstanz unter Leitung von Frau Dr. Jasminca Behrmann-Godel durchgeführt. Die etwa bis August 2014 zu erwartenden Ergebnisse sind einem eigenständigen Bericht vorbehalten.

3.2.1 Elektro-Befischungen

Zum Fang einsteigender Seeforellen fanden in den Bodenseezuflüssen elektrische Befischungen mit je nach Gewässergröße unterschiedlich leistungsstarken Elektrofischereigeräten statt. In den großen Gewässern Argen und Bregenzerach wurde mit einem 8 kW-Standgerät und 2 Anoden gefischt. In der Regel waren für diese Befischungen inklusive dem Fischtransport und der Hälterung mindestens 10-12 Personen notwendig. In der Leiblach wurde mit einem 3 kW-Gerät und einer Anode gefischt. Durchschnittlich waren für die Befischung und Versorgung der Fische hier 8 Personen ausreichend. In der Goldach konnten die Befischungen aufgrund der geringen Gerinnebreite mit einem 1,7 kW-Rücktragegerät durchgeführt werden. Bei diesen Befischungen waren in der Regel 6 Personen im Einsatz. Bis auf wenige Ausnahmen waren wir bei den Befischungen auf die Hilfe der Fischereiaufsicht, der Fachstellen und der Fischereivereine angewiesen, die uns stets unbürokratische und kostenlose Hilfe boten. Die einzelnen Befischungstermine sind im Anhang aufgeführt.

3.2.2 Dynamisches Fischwehr

Im Gegensatz zur Elektrofischerei verspricht der Einsatz eines sogenannten dynamischen Fischwehres, den jeweiligen Seeforelleneinstieg zu quantifizieren. Dynamische Fischwehre versperren wanderbereiten Fischen den Aufstieg und fangen sie in einer Reuse, die täglich kontrolliert wird. Das Fischwehr besteht aus Kunststoffpaneelen mit einem Abstand von 4 cm zwischen den einzelnen, hohlen Gitterstäben. Die Paneele erhalten zusätzlichen Auftrieb durch Styrodur-Schwimmkörper. Am Flussgrund sind die Einheiten mit Gelenken an schweren Betonsteinen fixiert. Mithilfe dieser beweglichen Verbindung kann das Wehr abtauchen, wenn der Anpressdruck des Wassers bei höheren Abflüssen stärker wird als der Auftrieb der Schwimmkörper. Auf diese Weise kann das Wehr auch Hochwasser unbeschadet überstehen, falls es nicht durch Schwemmholz zerstört wird. Es muss allerdings täglich von Laub und Treibgut befreit werden, um funktionsfähig zu bleiben. Im Bereich der Hauptströmung befindet sich in einer Aussparung der Paneele der Reusenkasten, in den die Fische durch eine Reusenkehle einschwimmen. Zum Ufer hin werden mögliche Durchschlupfmöglichkeiten verbaut (Abb. 3.1).

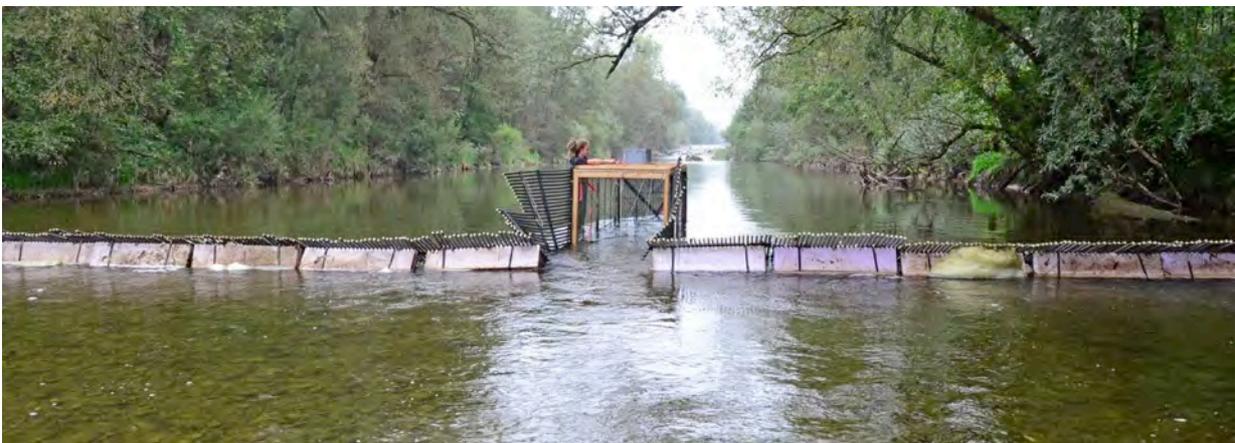
Nachdem für den Herbst 2010 aus Verfahrensgründen der geplante Einsatz des Fischwehres in der Argen nicht möglich war, konnten wir erst im Herbst/Winter 2011 jeweils ein dynamisches Fischwehr in die Argen und in die Bregenzerach einbauen.



a) Elektrofischung rauer Rampen in der Argen



b) Elektrofischung in der Goldach



c) Dynamisches Fischwehr in der Argen



d) Dynamisches Fischwehr in der Bregenzerach



e) Paneelsperre (oben) und f) Reusenkehle (unten) aus Sicht aufsteigender Wanderfische



f) Zurücksetzen der untersuchten und besenderten Fische in ihr Heimatgewässer



Abb. 3.1: Methoden zum Fang und zum Handling der gefangenen Fische.

3.2.3 Telemetrie

Die ursprünglich vorgesehene telemetrische Verfolgung wandernder Seeforellen konnte nicht durchgeführt werden, da der für die Untersuchungen vorgesehene Radiotelemetrie-Empfänger der Fischereiforschungsstelle (FFS) in Langenargen defekt war. Ein Ersatzgerät konnte kurzfristig nicht angeschafft werden und auch ein Leihgerät stand nicht zur Verfügung (angefragt wurden das BOKU Wien, die EAWAG und Schweizer Fachstellen). Somit musste das ursprüngliche Untersuchungsziel mit einer Ersatzmethode erreicht werden. Die individuelle Verfolgung einzelner Tiere war damit zwar nicht mehr mit derselben räumlichen und zeitlichen Auflösung möglich, dafür konnten aber mehrere Individuen gleichzeitig besendert und detektiert werden.

3.2.4 PIT-Tags zur individuellen Markierung von Fischen

die Besenderung der Seeforellen erfolgte mittels PIT-Tags (PIT=Passive Integrierte Transponder) bzw. RFID-Tags (RFID=Radio-Frequency Identifikation Transponder). Diese Transponder übertragen

von jedem besenderten Tier eine digital kodierte individuelle Nummer; damit eignen sie sich zur individuellen Markierung. Durch den Verzicht auf eine Batterie sind die Sender sehr klein und leicht, allerdings müssen sie für eine Detektion zuerst aktiviert werden. Die nötige Sendeenergie wird dem PIT-Tag beim Auslesevorgang durch Induktion übertragen (Abb. 3.2). Von der Ausleseantenne wird ein elektrisches Wechselfeld aufgebaut, aus welchem der PIT-Tag seine Energie entnimmt (dieselbe Energieübertragung wird z.B. auch beim steckerlosen Laden elektrischer Zahnbürsten oder bei Induktionskochherden angewendet). Frisch aufgeladen sendet der PIT-Tag seine Nummer an das Auslesegerät zurück. Dies erfolgt bei den von uns verwendeten Einheiten zehn Mal pro Sekunde.

Im Normalfall wird diese weit verbreitete Methode angewandt, um z.B. Pakete oder Haustiere individuell zu markieren (daher erschienen in unseren Ausleseeinheiten auch einzelne Detektionen von Haustieren, die der Antenne nahegekommen waren). Für den Einsatz bei Fischen in Flüssen musste dieses System stark vergrößert und in der Leistung erhöht werden. Wir nutzten die Detektionseinheiten und PIT-Tags der Firma Oregon RFID Europe BV aus Ootmarsum, Niederlande. Vor allem die Ausleseantenne wurde nachträglich stark erweitert. Sie reichte quer über die ganze Breite des untersuchten Flusses (Abb. 3.2). Die technisch bedingt maximal erfassbare Gewässerbreite liegt allerdings bei 25 m. Das Antennenkabel benötigte eine externe Stromversorgung, die in unzugänglichen Gebieten durch Blei-Akkus gewährleistet wurde, die spätestens nach drei Tagen ausgetauscht werden mussten. Der damit verbundene personelle Aufwand wurde am Zusammenfluss der Oberen und Unteren Argen betrieben. In der Folge erachteten wir eine permanente Stromversorgung als Vorbedingung für die Wahl des Antennenstandorts. Der von uns verwendete Antennentyp (flach auf dem Flussgrund liegende Schlaufe) hat bei 3,6 x 40 mm großen PIT-Tags eine sichere Reichweite von ca. 35 cm über der Antenne, bei 2 x 12 mm großen eine von ca. 10 cm. Bei größeren Abständen sinkt zwar die Wahrscheinlichkeit einer Detektion, sie ist jedoch auch bei Abständen bis ca. 60 cm noch möglich. Große Hochwasserereignisse können daher zur einer Verringerung des detektierten Anteils der besenderten Fische führen.

Auch die größten Tags sind nur kleine, mit Elektronik gefüllte Glasröhrchen, die mittels eines nur ca. 4 mm langen Schnitts in die Bauchhöhle der Fische geschoben werden konnten. Der Schnitt wurde anschließend mit Gewebekleber verschlossen. Für diesen Eingriff wurden entsprechende Tierversuchsgenehmigungen erteilt (Argen und Rotach: Regierungspräsidium Tübingen, Aktenzeichen: 35/9185.81-4/ Versuch-Nr. RP 1/10; Leiblach: Regierung von Oberbayern, Bescheid vom 17.09.2012: Geschäftszeichen: 55.2-1-54-2532.8-199-12 und 55.2-1-54-2532.8-198-12; Bregenzerach: Amt der Vorarlberger Landesregierung: Ia-562).

PIT-Tags sind über viele Jahre aktivierbar. Dies ermöglicht eine langfristige individuelle Erkennung der besenderten Fische. Bei adulten Rognern kommt es allerdings in der Regel bei der Eiabgabe zum Verlust des frei in der Bauchhöhle liegenden Transponders.



a) Die Besenderung der Seeforellen erfolgt nicht-invasiv (durch einen leicht erweiterten Kanülen-Kanal) im Rahmen der Biometrie.

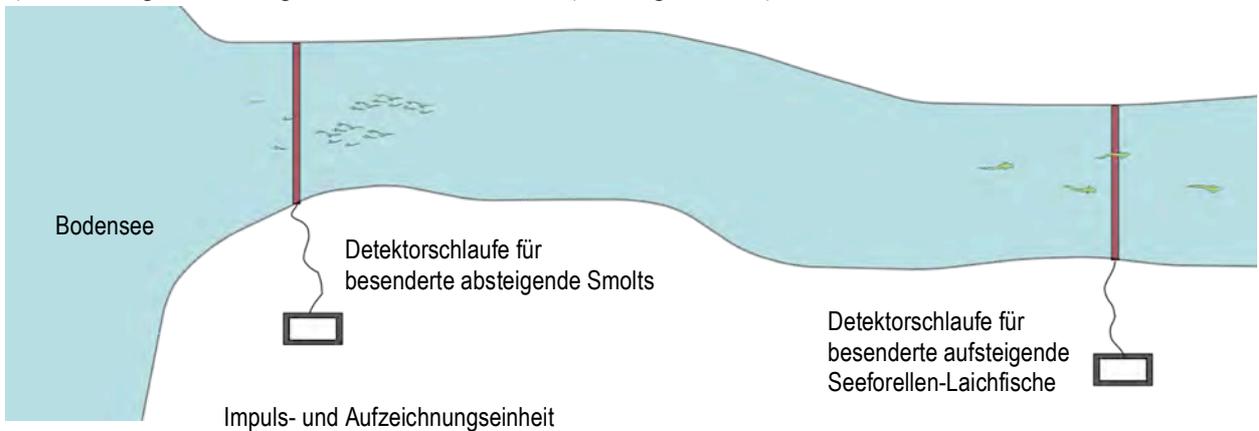


PIT-Tag: 32 mm x 3 mm

b) Die zur Untersuchung der Ein- und Auswanderung von Seeforellen eingesetzten PIT-Tags (Passive Integrated Transponder) sind sehr kleine batterieelose Funksender, die sich zur individuellen Markierung eignen.



c) In der Bregenzerach exponierte Detektorschleufe (PIT-Tag-Antenne)



d) PIT-Tags wurden sowohl zur Untersuchung der Wanderung aufsteigender Laichfische als auch absteigender Smolts eingesetzt

Abb. 3.2: Methoden zur Detektion mit PIT-Tags besendeter Fische.

3.2.5 Kontinuumsanalysen

Die Beurteilung der Wanderhindernisse erfolgte für laichbereite aufsteigende Seeforellen, absteigende abgelaichte Individuen sowie Smolts nach den Kriterien in Abb. 3.3 und Tabelle 3.1; die Beurteilung erfolgte in 4 Stufen (Tab. 3.2). Die in diesem Zusammenhang getroffenen Aussagen zur Überwindbarkeit von Hindernissen und Ausleitungsstrecken dürfen allerdings nicht auf andere Fischarten übertragen werden, da diese in der Regel Hindernisse schlechter überwinden können als die schwimm- und sprungstarken Seeforellen. Ist die Beurteilung von Auf- und Abstieg voneinander abgewichen (z.B. an Fischwanderhilfen höherer Wehre), so wurde dies gesondert vermerkt. Aufwärts ungehindert oder eingeschränkt überwindbare natürliche Hindernisse, Blockrampen oder Stufen wurden in der Regel nicht als Hindernis für den Abstieg abgelaichter adulter Fischen und von Smolts beurteilt (Abb. 3.3, Tab. 3.1).

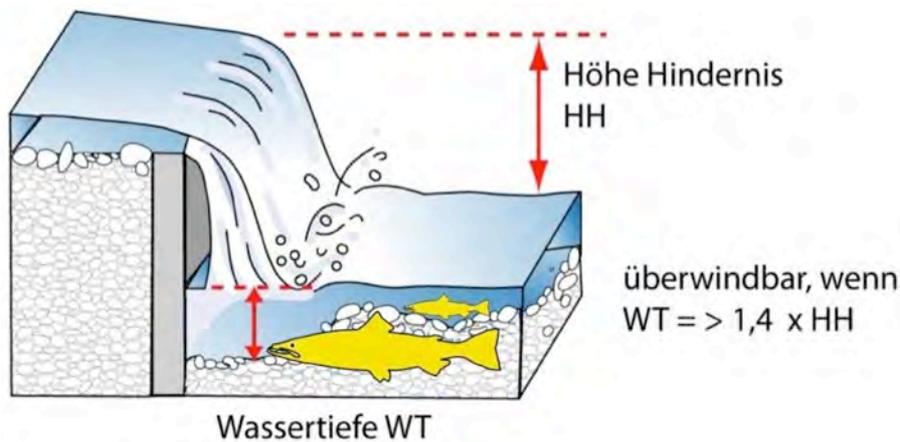


Abb. 3.3: Durch Seeforellen überwindbare Hindernishöhen in Abhängigkeit der Kolkttiefe und Fischlänge.

Tab. 3.1: Kriterien zur Beurteilung einzelnen Querbauwerke ohne Fischaufstiegshilfe

Fallhöhe	Ab 1 m Sprunghöhe Hindernis nur in Ausnahmefällen passierbar. Bis 0,7 m selektiv überwindbar. Beurteilung zudem in Abhängigkeit von Abfluss und der Wassertiefe vor dem Hindernis (Unterwassertiefe).
Unterwassertiefe	Wassertiefe vor dem Hindernis muss für große Seeforellen mind. 1,4x größer sein als die Höhe des Hindernisses, sonst sind selbst kleine Stufen bis 40 cm Höhe bei Normalabfluss in Abhängigkeit vom Neigungswinkel nicht überwindbar.
Wassertiefe im Hindernis	Vor allem in rauen Rampen, Rauschen und Ausleitungs-/Restwasserstrecken wichtiges Kriterium. Auch bei Niederwasser über Strecken von 15 - 25 m Länge gelegentlich limitierend. (Wassertiefen unter 15 cm nur gröbenselektiv und über sehr kurze Strecken (≤ 5 m) passierbar; Wassertiefen von 20 – 25 cm über kürzere Abschnitte bis ca. 25 - 50 m Länge eingeschränkt passierbar.)
Leitströmung	In Fischwanderhilfen und rauen Rampen wichtiges Kriterium. Bei fehlender Niederwasser- rinne (Leitströmung) und/oder nicht auffindbarem Aufstieg nur selektiv oder möglicherweise nicht passierbar („Labyrinth-Bildung“).
Neigungswinkel	An Abstürzen, rauen Rampen und Wuhren beurteilt. Bei geringem Abfluss Neigungswinkel des Wasserfadens über 60° an Abstürzen eingeschränkt (bedingt bei z.B. geeignetem Abfluss) passierbar, über 80° immer nur selektiv. Lange raue Rampen und Wuhre mit Winkel >30° eingeschränkt (bedingt bei z.B. geeignetem Abfluss) passierbar, bei Winkeln über 45° immer nur selektiv passierbar (siehe auch Leitströmung und Fallhöhen).

An Hindernissen mit Fischmigrationshilfen wurden nur diese bewertet, nicht das Hindernis selbst. Kriterien waren neben der Auffindbarkeit beim Aufstieg (Leitströmung) die Becken-Dimension, die Schlitzweite (bei Schlitzpässen) und die Wasserführung in Abhängigkeit von der Körpergröße der Seeforellen (vgl. auch Kap. 9.2.6 und Kap. 9.3). Hydraulische Parameter innerhalb der Migrationshilfe wurden nicht weiter berücksichtigt. Weiterhin wurden auch die Auffindbarkeit bei der Abwanderung bzw. mögliche Gefahren beim Fischabstieg beurteilt. Als selektive Wanderhindernisse wurden auch Ausleitungsstrecken (Restwasserstrecken) mit unzureichender Wasserführung identifiziert (Wassertiefen < Körperhöhe über kurze und Wassertiefen < doppelte Körperhöhe über längere Strecken). Weitere Hindernisse waren auch Kraftwerkskänäle, wenn sie eine Sackgasse für die aufwandernden Fische darstellten, oder bei Niedrig- oder Normalabfluss eine stärkere Leitströmung besaßen als das Hauptgerinne.

Tab. 3.2: Qualitäts-Kategorien zur Beurteilung von Wanderhindernissen

Passierbarkeit	Kriterium
nicht passierbar	Unabhängig von der Größe für Seeforellen nicht überwindbar
möglicherweise nicht oder immer nur selektiv passierbar	für Seeforellen nur in Ausnahmesituationen oder nur größenabhängig für einzelne Individuen überwindbar
eingeschränkt passierbar (bedingt bei geeigneten Abflussverhältnissen)	nur abflussabhängig oder größenselektiv überwindbar. Die Mehrzahl der Seeforellen kann das Hindernis überwinden; bei geeigneten Abflüssen manchmal für alle aufstiegswilligen Individuen passierbar
ungehindert passierbar	für alle Seeforellengrößen bei jedem Abfluss überwindbar

Bei der Beurteilung der Erreichbarkeit potenzieller Laichgebiete wurde neben der Einzelfallbetrachtung von Hindernissen (absolute Wirkung) auch ihre kumulative betrachtet. Eine Reihe von einzeln noch relativ gut passierbaren Hindernissen kann zusammen genommen den Fischen einen unverhältnismäßig hohen Energieaufwand abverlangen und deshalb zu einer deutlichen Einschränkung der Durchwanderbarkeit eines Systems führen. Mehrere eingeschränkt überwindbare Hindernisse können deshalb kumulativ einen Fischaufstieg sogar verhindern.

An der Rotach wurden die vorhandenen Aufstiegshindernisse detailliert untersucht, in den Bodenseezuflüssen Argen, Leiblach, Bregenzerach und Goldach erfolgte die Beurteilung im Zuge der Laichflächenkartierung und der Befischungen. In der Leiblach und Goldach wurden die Hindernisse bis zur jeweiligen natürlichen Aufstiegsgrenze betrachtet. Die Argen und ihre Ursprungsgewässer (Oberen Argen und Untere Argen) wurden bis zu den aktuellen künstlichen Aufstiegs Grenzen beurteilt.

In der Bregenzerach konnten alle Hindernisse vom See bis auf Höhe des Ausgleichsbeckens Ach bei Andelsbuch beurteilt werden; aufwärts davon bis Schoppernau fanden nur noch sporadische Beobachtungen statt. Die Zuflüsse der Bregenzerach wurden nicht näher untersucht.

Die Ergebnisse der Kontinuumsanalysen wurden in einem GIS verortet und die Erreichbarkeit der Laichgründe in Abhängigkeit von den Wanderhindernissen bilanziert.

3.3 Laichflächenanalysen und Brutboxenversuche

3.3.1 Laichflächenkartierung

In den Projektgewässern wurden potenziell zur Fortpflanzung der Seeforelle geeignete Kiesflächen während Niederwasserbedingungen kartiert. Eine ursprünglich geplante Auswertung von Luftbildern erwies sich als nicht zuverlässig, da u.a. die Korngröße sowie Grad und Ausmaß von Kolmationen nicht beurteilt werden konnten. Darüber hinaus waren zu viele Flächen innerhalb der Gerinne von Ufervegetation verdeckt. Daher wurden die jeweiligen Gewässer watend von der Mündung flussaufwärts kartiert. Bei „geeigneten“ oder „möglicherweise geeigneten“ Laichgründen wurden mittels GPS-Gerät Wegpunkte gesetzt, die Flächen dimensioniert (Abschätzung der nutzbaren Quadratmeter) und die Flächen zur Nachkontrolle fotografisch dokumentiert (Lage (GPS), Charakter, Substratzusammensetzung). Die möglichen Laichflächen wurden überdies im Kartenmaterial eingezeichnet und anschließend im GIS bearbeitet und in Abhängigkeit von der Erreichbarkeit bilanziert.

Die Bewertung dieser Momentaufnahmen erfolgte anhand einer Matrix, die vier Parameter berücksichtigte (Abb. 3.4, Tab. 3.3):

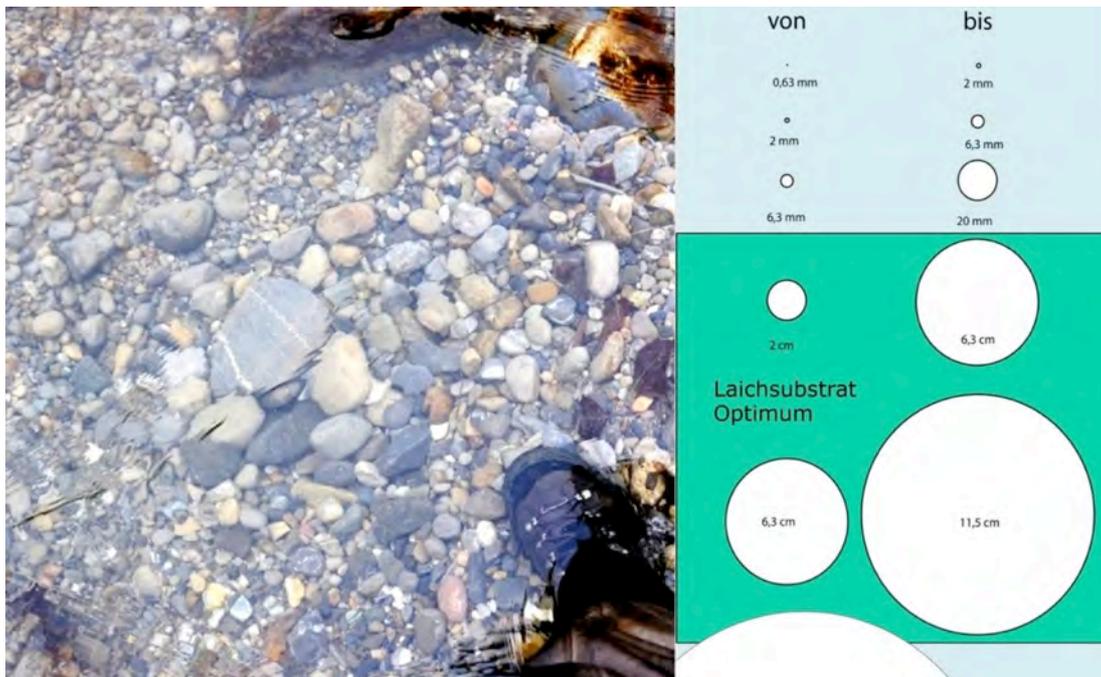
1. geeignete Laichgebiete (optimales Substrat, durch Kolmation nicht beeinträchtigt, optimale Strömungs- und Wassertiefenverhältnisse)
2. möglicherweise geeignete Laichgebiete (Abstufung in mind. einer der vier Kategorien)
3. ungeeignete Abschnitte (eine der drei Kategorien außerhalb des möglicherweise geeigneten Bereichs für Seeforellenlaichgruben oder mehr als zwei Parameter „möglicherweise geeignet“).

Die Kriterien der Eignung von Substratqualität, Kolmation, Strömung und Wassertiefe wurden aus den Analysen von Seeforellenlaichgruben (eigene Untersuchungen (e.U.) in Goldach, Steinach, Alpenrhein, Vorderrhein, Liechtensteiner Binnenkanal (LBK)), aus Laichgruben großer (> 35 cm) Bachforellen (Inn, Vorderrhein, LBK, Bregenzerach, e.U.) sowie großer Regenbogenforellen (LBK, Vaduzer Giessen, e.U.) abgeleitet. Eine weitere Basis waren die für Forellen (allgemein) erstellten Präferenzkurven für geeignete Laichflächen für die Forellen im Alpenrhein (IRKA, INTERNAT. REGIERUNGSKOMMISSION ALPENRHEIN, EBERSTALLER et al. 2012). Mehrere Beobachtungen – vor allem in der Goldach – haben allerdings gezeigt, dass Seeforellen bei hoher Laichfischdichte auch auf weniger geeigneten oder sogar äußerlich kolmatierten Flächen Laichgruben anlegen oder zumindest Grabungsversuche durchführen.

In der Umgebung von den für die Reproduktion als geeignet erscheinenden Flächen wurde die Eignung als Jungfisch- und Adulthabitate (und damit auch Deckungsstrukturen) grob abgeschätzt. Diese beiden Faktoren waren jedoch in keinem der untersuchten Fließgewässer eindeutig limitierend.

Tab. 3.3: Qualitätskriterien und Eignungskategorien zur Bewertung potenzieller Laichflächen.

Parameter	Geeignet	möglicherweise geeignet	nicht geeignet
Substratzusammensetzung in der Deckschicht	Grobkies ab 2 cm und Steine bis 11,5 cm	Grobkies ab 2 cm und Steine bis 11,5 cm, aber auch feinere oder gröbere Substrate vorhanden	Kies- und Steinanteil fehlend oder nur in geringem Maße vorhanden
Kolmationsgrad des Substrates	keine bis leichte Kolmation (höchstens geringer Feinmaterialanteil, aber auch nicht regelmäßig mobilisiert)	1) mittlere Kolmation (mit Energieaufwand aufbrechbar oder hoher Feinmaterialanteil) 2) regelmäßig mobilisiertes Substrat	1) starke Kolmation (nur mit Werkzeug aufbrechbar oder reduzierter Untergrund) 2) ständig mobilisiertes Substrat (z.B. in Walzen)
Einschätzung der Strömungsverhältnisse	Beschleunigungsstrecken vor Riffeln (30-60 cm/s)	ständig benetzte Rinnen und moderate Strömungsverhältnisse (5-20 cm/s; oder 60 -100 cm/s)	Riffel und andere stark strömende Bereiche (<100 cm/s) oder stehende, eingestaute Gewässerabschnitte (bis 5 cm/s)
Einschätzung der Tiefenverhältnisse	Wassertiefe von 20 bis 50 cm	Wassertiefen von 5-20 cm oder 50-150 cm	trockene oder trockenfallende Kiesbereiche oder Tiefen über 150 cm



a) Die Beurteilung der geeigneten Zusammensetzung von Seeforellen-Laichsubstrat basiert aus der Analyse von Seeforellenlaichgruben und den Laichgruben grosser Bach- und Regenbogenforellen



b) Optimales, lockeres und grobkiesiges Laichsubstrat; Lückenräume frei



c) Zu feinkörniger Kies, meist mit Sandeinlagerungen



d) Kolmatisierte und zu grobkörnige Sohle



e) Kieskörper mit zu vielen Feinstoffen durchsetzt

Abb. 3.4: Methoden zur Erfassung der Laichsubstrateignung für die Habitatflächenanalysen.

3.3.2 Brutboxenversuche

Die Laichflächenanalysen liefern lediglich Indizien dafür, ob eine natürliche Reproduktion auf den betrachteten Flächen möglich ist. Die tatsächliche Eignung hängt jedoch von zusätzlichen Parametern ab, die im Rahmen einer Substratkartierung nicht beurteilt werden können; diese sind z.B.:

- die Wasserqualität
- der Aufbau und die Durchströmung des Kieskörpers
- die Umlagerungsstabilität während der Ei- und Larvalentwicklungszeit
- der mögliche Eintrag von Feinstoffen während der Entwicklung
- das Zusammenspiel der Einzelparameter (multifaktorielle Aspekte).

Durch Brutboxenversuche mit befruchteten Eiern können diese Parameter indirekt überprüft werden und bessere Aussagen über die potenzielle Eignung von Kiesflächen abgeleitet werden. Der Expositionszeitraum sollte daher möglichst den gesamten Entwicklungszeitraum der Seeforelle vom befruchteten Ei bis zum den Kieskörper verlassenden Brütling abbilden können.

Auswahl der Probestellen und verwendetes Eimaterial

Sämtliche Probestellen wurden basierend auf den Kartierungen potenzieller Laichplätze und der Gewässerkenntnis innerhalb der jeweiligen Projektperimeter ausgewählt. Die für die Versuche verwendeten Seeforelleneier stammten von Wildfischen, die in den Fischbrutanstalten Langenargen, Nonnenhorn und Rorschach gestreift wurden. Somit entsprach die Eiqualität dem naturverlaichten Eimaterial. Die Verwendung von frisch gestreiften (= grünen) Eiern wurde zwar grundsätzlich bevorzugt, ihr Einsatz ist jedoch schwierig, da sie nur direkt nach dem sog. Quellen innerhalb eines Tages transportfähig sind. Anschließend sind die Eier erschütterungsempfindlich und erst wieder ab dem Erreichen des sog. Augenpunktstadiums transportierbar. Um mit grünen Eiern zu arbeiten, müssen die Zeitpunkte des Streifens in den Fischzuchtanstalten mit geeigneten Abflussbedingungen in den Ziel-

gewässern und der Verfügbarkeit des Fachpersonals übereinstimmen. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt waren, musste mit Eiern im Augenpunktstadium gearbeitet werden.

Qualität und Überlebensfähigkeit des Eimaterials

Um zu überprüfen, ob die Eier das Handling und den Transport unbeschadet überstehen, wurden beim ersten Versuch 1.000 Eier ebenso behandelt wie die im Brutversuch exponierten. Sie wurden zum Zielort transportiert, am Abend aber wieder in die Fischbrutanstalt zurück gebracht und deren weitere Entwicklung (FZ Rorschach, ANJF St. Gallen) dokumentiert. Bei diesem Test sind insgesamt lediglich sechs Eier abgestorben und zwei Brütlinge verendet. Daher wurde bei später exponierten Eier-Chargen mit den Fischbrutanstalten vereinbart, dass uns auffällige Verluste derselben Chargen gemeldet werden. Dies trat jedoch in keinem Fall ein. Daher ist davon auszugehen, dass alle verwendeten Eier zu Versuchsbeginn in gutem, entwicklungsfähigem Zustand waren.

Brutgefäße

Zur Exposition der Seeforelleneier in den Gewässern wurden handelsübliche WHITLOCK-VIBERT-Boxen (WV-Boxen) (Abb. 3.5) und eigens für die Versuche konstruierte Brutröhrchen (Abb. 3.7) verwendet (BECKER et al., 2009).



Abb. 3.5: WV-Box fertig für die Exposition.



Abb. 3.6: Im Sediment vergrabene WV-Boxen wurden durch Schwimmschnüre markiert (roter Pfeil).

Die WV-Boxen wurden in der unteren, großen Kammer mit Steinen und in der oberen, kleinen Kammer mit Kies und jeweils 40 Seeforelleneiern bestückt (Abb. 3.5). Zur Exposition im Substrat wurden die bestückten Boxen ca. 10 cm in das Sediment eingegraben und markiert (Abb. 3.6).

Brutröhrchen wurden aus Edelstahllochblech (Lochung 3 mm) konstruiert (Abb. 3.7). Da sich im ersten Untersuchungsjahr herausgestellt hat, dass Brütlinge verenden können, wenn sie die Röhrchen durch die Lochungen verlassen wollen, wurden in den Folgejahren nur noch Röhrchen mit Gaze verwendet. Jedes Brutröhrchen wurde mit jeweils 20 Seeforellen-Eiern und etwas Mittel- und Feinkies zur Separation der Eier befüllt (Abb. 3.8).



Abb. 3.7: Brutröhrchen wurden im ersten Untersuchungswinter mit und ohne Ummantelung durch Edelstahlgaze im Verhältnis 1:1 eingesetzt, später nur noch mit Ummantelung.



Abb. 3.8: Mit Eiern und Feinkies bestückte Röhrchen für die Exposition in einer künstlich geschaffenen Laichgrube. Rechts im Bild ein Gefäß mit Seeforellen-Eiern im Augenpunktstadium.

Zur Exposition dieser Brutröhrchen wurde an einer geeignet erscheinenden Stelle eine „künstliche Laichgrube“ in das Sediment gegraben (Abb. 3.9). Anschließend wurden in den Bereich, in dem sich natürlicherweise die Eitasche befinden würde, jeweils sechs Brutröhrchen so eingebracht, dass sie nahezu senkrecht zum Gewässergrund und mit der Oberkante ca. 10 cm unter der Kiesoberfläche im Kieskörper zu liegen kamen.

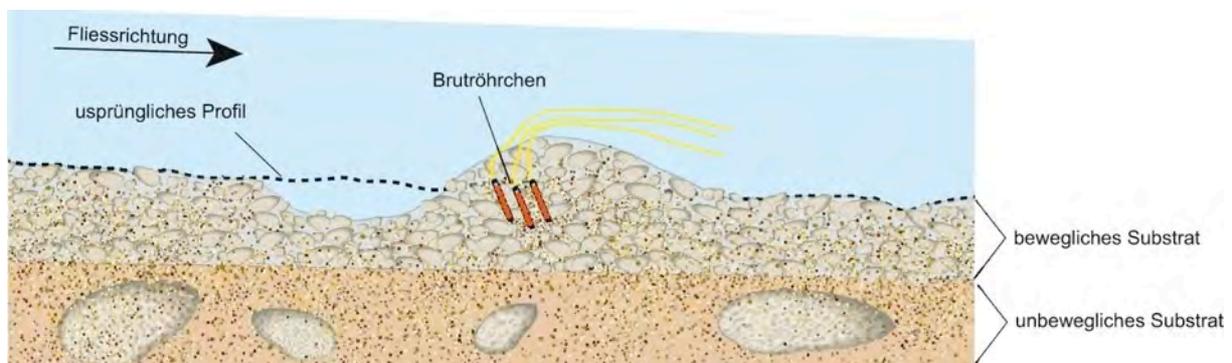


Abb. 3.9: Prinzip einer künstlichen Laichgrube zur Exposition von Brutröhrchen.

Sofern Anhaltspunkte für eine möglicherweise beeinträchtigte Wasserqualität vorlagen (Fieselbach, Rotach), wurden Seeforelleneier zusätzlich über dem Sediment exponiert. Hierfür wurde ein modifiziertes Kanalgrundrohr (KG-Rohr) von einem Meter Länge verwendet (Abb. 3.10, 3.11).



Abb. 3.10: Zur Inkubation von Seeforelleneiern außerhalb des Sediments wurde ein präpariertes KG-Rohr eingesetzt, das mit bis zu vier WV-Boxen bestückt werden kann.



Abb. 3.11: Auf dem Gewässergrund befestigtes und mit vier WV-Boxen bestücktes KG-Rohr.

Expositionszeiträume und Untersuchungsaufwand für die einzelnen Probestellen

Die exponierten Seeforelleneier wurden während ihrer Entwicklung zwei Mal kontrolliert; die Wassertemperatur wurde an den jeweiligen Probestellen mit Temperaturloggern aufgezeichnet. Aus den von den Loggern aufgezeichneten Temperaturverläufen konnte die Entwicklung der Tagesgrade abgeschätzt werden. Lagen zum Zeitpunkt der ersten Kontrolle im Zeitraum des Dottersackstadiums in den ersten geborgenen Brutgefäßen mehrere überlebende Eier/Larven vor, dann wurde mindestens eine WV-Box ungestört im Substrat belassen. Die verbliebenen Brutgefäße wurden dann – möglichst nahe am Zeitpunkt des Emergenzstadiums der Larven – nochmals kontrolliert.

3.4 Untersuchung der Jungfischabwanderung in den See

Zur Untersuchung der Jungfischabwanderung in den See wurden im Frühjahr zwischen März und Mai in den Flüssen Rotach, Leiblach und Goldach potenziell abwanderbereite Jungforellen elektrisch gefangen und besendert. In Goldach, Leiblach und Rotach wurden darüber hinaus auch Erkenntnisse über die Rückwanderung adulter Seeforellen nach dem Abbläichen gesammelt.

Jungfische konnten ab einer Größe von ca. 13 cm bereits mit den 3,6 x 40 mm großen PIT-Tags besendert werden. Diese Fische konnten somit garantiert bis 35 cm über der Antenne detektiert werden. Jungfische unter 13 cm Gesamtlänge wurden mit 2 x 12 mm großen PIT-Tags markiert, was eine sichere Detektions-Reichweite von ca. 10 cm über der Antenne gewährleistet. Die Standorte der Detektionseinheiten befanden sich möglichst mündungsnah im Fließgewässer. Aufgrund der technischen Rahmenbedingungen von maximal 25 m aktivierbarer Antennenlänge war es nicht möglich, auch in der Argen (ca. 35 m Breite) und in der Bregenzerach (mit bis zu 80 m Breite) Detektorantennen zu exponieren.

Aufgrund ungünstiger äußerer Bedingungen (Vandalismus, Gewässermorphologie, permanente Stromversorgung) an Rotach und Leiblach mussten wir hier die Anlagen flussaufwärts verlegen. In diesen beiden Fällen befanden sich die Detektionsstandorte dennoch mehrere Flusskilometer unterhalb der

Fangstrecken, so dass im Falle einer Detektion davon ausgegangen werden kann, dass es sich um eine Abwanderung in den See und nicht um lokale Bewegungen handelt.

Die Jungfische wurden in drei Färbungstypen eingeteilt (Abb. 3.12):

- 1) Smolt-Typ: Körper silbern gefärbt mit gelben oder grauen Brust- und Bauchflossen, ohne rote Punkte, oft mit gelbem Augenhintergrund
- 2) Intermediärer Typ: Weder dem Typ 1 noch dem Typ 3 zuzuordnen. Oft Brauntöne mit deutlich silbernem Schein, roten Punkten, Flossen orange (Ohne Abbildung)
- 3) Bachforellen-Typ: Körper braun-grün gefärbt mit roten Punkten, typisch dunkklen Jugendflecken entlang der Seitenlinie, Flossen kräftig gelb-orange gefärbt.



Abb. 3.12: Verschiedene Typen junger Forellen in den Seeforellengewässern des Interreg-Programms. Links der typische silbrige Smolt-Typ ohne rote Punkte, rechts der typische stark gefärbte Bachforellen-Typ; der intermediäre Typ ist keinem der beiden Gruppen eindeutig zuzuordnen.

4 Ergebnisse Rotach

Über den Seeforellen-Bestand der Rotach weiß man aufgrund des langjährigen Engagements des ASV Friedrichshafen bereits recht viel (u.a. Laichfischfang, Gewässerkartierungen, koordinierter Besatz). Trotz intensiver Schutz- und Besatzbemühungen wächst die Zahl der einwandernden Seeforellen aber in den letzten Jahren kaum an. Daher wurden im Rahmen dieses Projekts gezielt bereits vermutete, aber noch ungeklärte Probleme untersucht.



Abb. 4.1: Mündung der Rotach bei Niederwasser im Februar 2006



Abb. 4.2: Unterlauf der Rotach



Abb. 4.3: Abschnitt im Mittellauf der Rotach



Abb. 4.4: Seeforellen-Laichfischfang in der Rotach

4.1 Hydrologie

4.1.1 Allgemeine Charakteristik

Die Rotach besitzt ein Einzugsgebiet von 132 km² und erstreckt sich über einen Höhengradienten von 620 m bis 395 m ü. NN. Sie besitzt ein pluvio-nivales Abflussregime, der MQ (mittlerer Abfluss, 1982-2003) liegt bei 1,97 m³/s. Üblicherweise hat die Rotach ein niederschlagsgeprägtes Abflussmaximum während der Wintermonate (Dezember bis Ende Januar). Nahezu nahtlos schließt sich eine Abflussspitze durch Schmelzwasser an, die vor allem aus dem oberen Einzugsgebiet stammt. Aber auch späte Winter- bzw. Frühjahrsniederschläge (Anfang März bis Anfang Mai) führen zu weiteren Abflussspitzen (Abb. 4.5). Das HQ₁₀ (statistisch zehnjährliches Hochwasser) liegt bei 59,4 m³/s. Im Sommer gibt es typische Niedrigwasserstände, die sich bis in den späten Herbst hinein ziehen. Der NQ

(niedrigster Abfluss; 1982-2003) liegt bei $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Die höchsten Abflüsse in der Rotach fallen somit mit der Reproduktionszeit der Seeforellen zusammen.

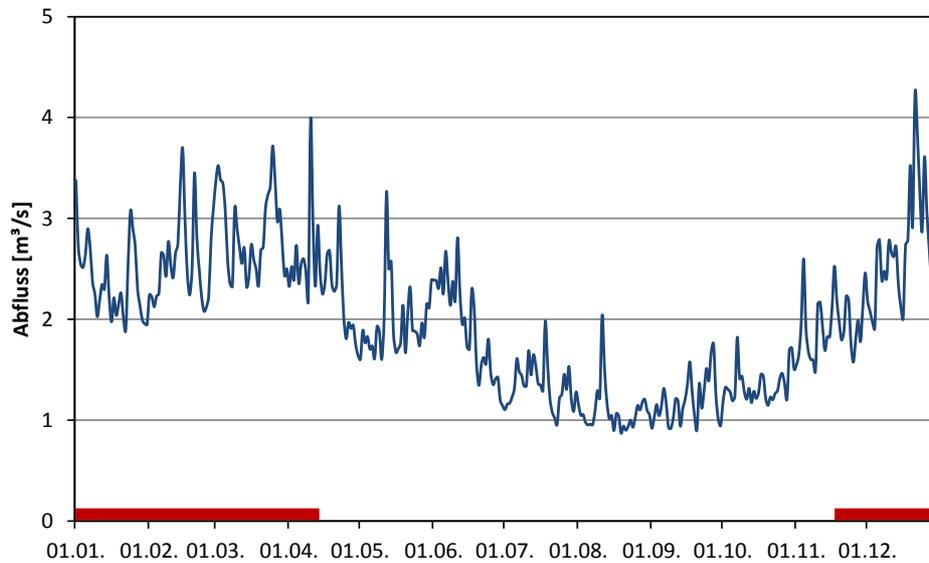


Abb. 4.5: Abflussregime der Rotach am Pegel Friedrichshafen (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1983-2009). Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

4.1.2 Abflüsse im Untersuchungszeitraum

Die Darstellung der Abflüsse für die Jahre 2010-2013 zeigt, dass das langjährige Abflussregime die Abflusscharakteristik der Rotach nur unzureichend abbildet, vielmehr sind Abflussspitzen prägend, die zu jeder Jahreszeit auftreten können (Abb. 4.6).

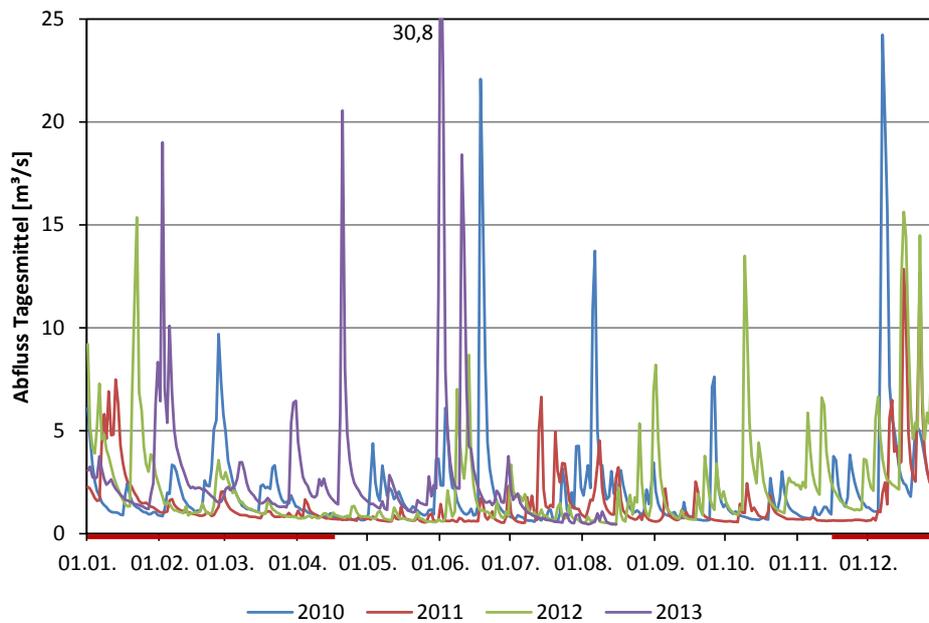


Abb. 4.6: Abfluss der Rotach am Pegel Friedrichshafen für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

Darunter befanden sich vier Hochwasser mit über $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (jeweils zwei in 2010 und 2013). Das höchste Hochwasser vom 02.06.2013 entsprach mit $48,6 \text{ m}^3/\text{s}$ einem statistischen 2-jährlichen Hochwasser (HQ_2). Das Frühjahr 2011, in dem die Smoltabwanderung untersucht wurde, war dagegen durch einen sehr geringen Abfluss mit ausbleibenden Hochwassern geprägt, die ersten höheren Abflüsse traten erst wieder im Sommer 2011 auf. Weiterhin wird ersichtlich, dass Hochwasser aufgrund von Niederschlägen im Winter konzentriert auftreten. Sie lagen in allen Winterhalbjahren während der Programmzeit zwischen $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und $15 \text{ m}^3/\text{s}$ auf und führten in der kiesigen Rotach zu großflächigen Substratumlagerungen. Die Brutboxenversuche fanden im Winter 2010/11 statt; ergänzende Untersuchungen wurden 2011/12 durch den ASV Friedrichshafen durchgeführt.

4.1.3 Temperaturregime

An der Rotach wurden von der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg) ein Mal im Monat Wassertemperaturdaten am Pegel Friedrichshafen gemessen (Abb. 4.7). Obwohl die Temperaturmessungen nur stichprobenhaft erfolgten, ist ersichtlich, dass in der Rotach im Sommer Temperaturen an die 20° C erreicht werden können. Die am selben Tag gemessenen Wassertemperaturen in der Argen lagen zumeist um ca. 2° C höher. Die geringeren Sommerwassertemperaturen in der Rotach sind möglicherweise auf eine bessere Beschattung durch Ufergehölze und nur kurze Ausleitungsstrecken zurückzuführen. Wir gehen davon aus, dass Temperaturen über 20° C regelmässig, Temperaturen über 25° C aber nicht auftreten. Die Temperatur sollte künftig kontinuierlich überwacht werden.

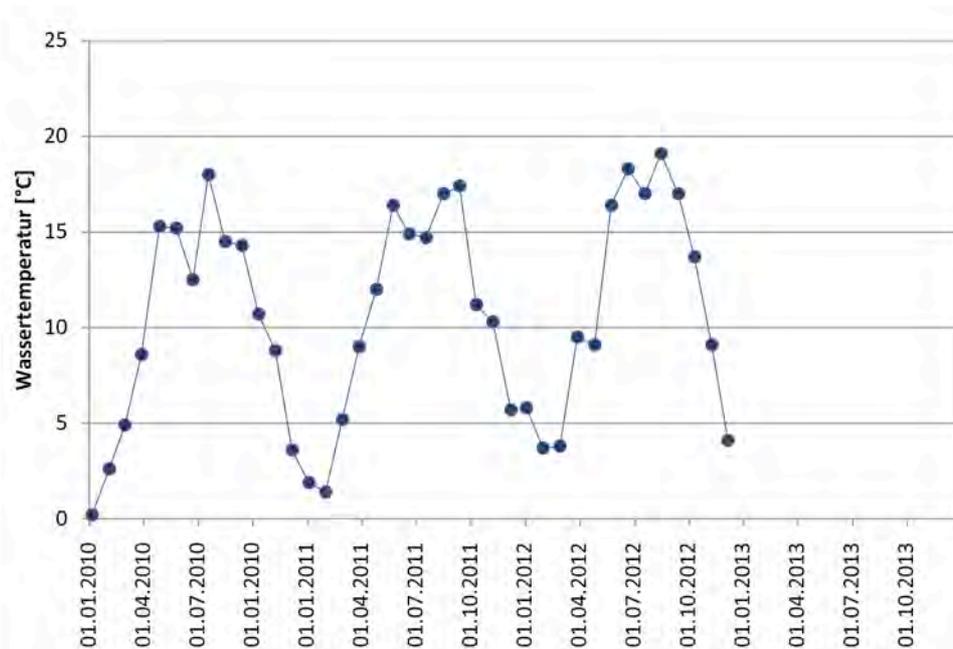


Abb. 4.7: Temperaturregime der Rotach am Pegel Friedrichshafen für die Jahre 2010 bis 2012. Die Messungen erfolgten etwa ein Mal im Monat, meist am frühen Nachmittag (Punkte).

4.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

Die Laichfischfänge der letzten Jahre belegen, dass die Einwanderung der Seeforellen in die Rotach stark von erhöhten Abflüssen abhängig ist, vermutlich weil längere Gewässerabschnitte bei Normalabfluss und das Mündungsdelta bei Niederwasser im See sehr seicht sind. Aufgrund unterschiedlichen Befischungsaufwands (Befischungsstrecke, Zahl der Befischungen) sind die Ergebnisse der beim Laichfischfang gefangenen Seeforellen über die Jahre hinweg zwar nicht direkt vergleichbar, dennoch scheinen die Zahlen der Aufsteiger stark zu schwanken (Abb. 4.8). Das Geschlechter-Verhältnis ist in der Rotach nach vorliegenden Daten – zumindest in manchen Jahren – zu den Rognern hin verschoben (vgl. Tab. 9.6). Möglicherweise differieren die Aufstiegszeiten der Geschlechter, so konnten am 20.11.2010 drei Rogner und 11 Milchner gefangen werden, am 27.12.2010 zehn Rogner und kein Milchner.

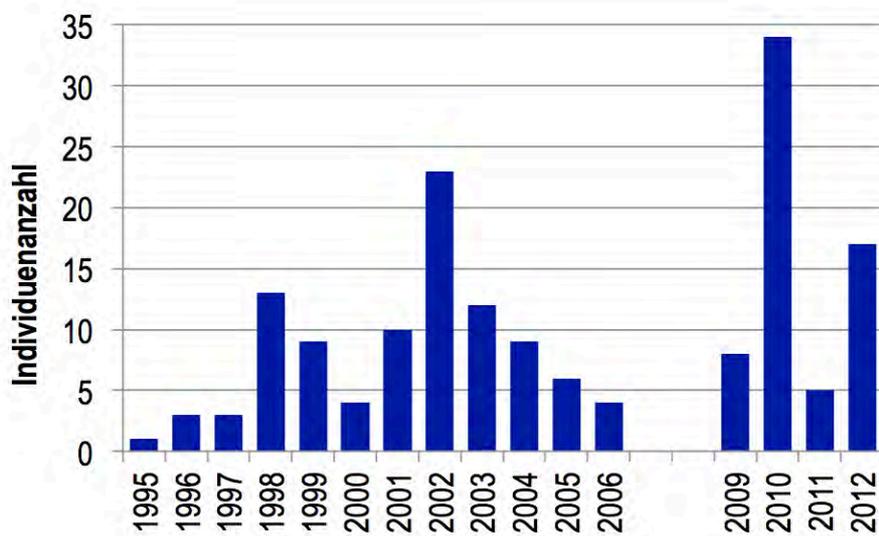


Abb. 4.8: Zahlen des Laichfischfangs in der Rotach seit 1995. Der Befischungsaufwand variierte von Jahr zu Jahr; 2007 und 2008 wurde nicht gefischt.

4.2.1 Kontinuumsanalysen

Die Wasserkraft der Rotach wurde schon im 12. Jahrhundert genutzt, um Mühlen zu betreiben. Mitte des 19. Jahrhunderts waren allein im heutigen Stadtgebiet von Friedrichshafen acht Mühlen in Betrieb (Schautafel der Stadt Friedrichshafen). Im Laufe der Jahrhunderte wurden mindestens 15 Querbauwerke errichtet, die dann als Wanderhindernisse für die Seeforelle und andere Fischarten wirkten. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Querbauwerke wieder zurückgebaut oder mit Fischwanderhilfen ausgestattet. Der aktuelle Stand der Systemdurchgängigkeit wurde bis zum natürlichen Aufstiegs Hindernis (Buchmühle, F-km 28) im Rahmen einer Begehung am 25.07.2013 beurteilt (Abb. 4.15, Tab. 4.1). An den Wehren Reinachmühle und Ziegelmühle sind Umgehungsgerinne in Planung. Seeforellenbesatz findet derzeit auch oberhalb dieser Aufstiegshindernisse statt.

Fischaufstieg

Das Rundelwehr als erstes Hindernis liegt 1,6 km, die Buchmühle als natürliches Ende des Fischaufstiegs rund 28 km oberhalb der Rotachmündung. An der Buchenmühle existiert ein Geländeknick, welcher bereits vor dem Bau des Wehres ein natürliches unüberwindliches Hindernis für aufsteigende Fische darstellte. Zwischen der Mündung in den Bodensee und der Buchenmühle findet man 12 aktuelle oder ehemalige Hindernisse. Drei davon sind z.T. schon seit längerer Zeit beseitigt und durch fischgängige flache Rampen ersetzt: Trautenmühle (km 2,8), Wehr Brielmaier (km 4,0) und Wehr Oberteuringen (km 12,9). Ein viertes Wehr (Wehr Weilmühle) wurde beseitigt (gesprengt) und ist im Gelände kaum noch zu erkennen. Es verbleiben acht Wehranlagen als potenzielle Wanderhindernisse.

Drei der untersten Wehre (Rundelwehr, Wehr Zeller und Wehr Hammerstatt) sind mit Umgehungsgerinnen ausgestattet, die für die Seeforellenwanderung nicht limitierend wirken. Somit besteht heute für Seeforellen eine Aufstiegsmöglichkeit bis zum Reinachwehr, 7,6 km oberhalb der Rotachmündung. Für dieses Wehr ist bereits ein Umgehungsgerinne in Planung. Auch für das folgende Wehr (Ziegelmühle km 15,6) bestehen Überlegungen zum Bau eines Umgehungsgerinnes. Beim letztgenannten Wehr hat sich bei einem der letzten Hochwasser bereits ein wildes Gerinne durch den Wald gegraben, welches das Wehr weiträumig umgeht. Dieser Verlauf bietet sich bereits als Standort für ein Umgehungsgerinne an.

Bis zur Buchenmühle, dem natürlichem Ende der Aufwanderstrecke, finden sich noch zwei weitere Wehre (Wehr Urnau km 20,3 und Wehr Schönemühle km 21,5), welche allenfalls bei Hochwasserabflüssen eingeschränkt passierbar sind.

Fischabstieg

Hinsichtlich des Fischabstiegs bestehen an mehreren Querbauwerken in der Rotach noch deutliche Defizite. Die bestehenden Umgehungsgerinne eignen sich kaum für einen Abstieg, da sie in der Regel für die an der Hauptströmung orientierten Fische nicht auffindbar sind und auch keine effiziente und sichere Weiterleitung für abwandernde Fische bieten. Bei hohen Abflüssen und Hochwassern – besonders relevant für die abwandernden Smolts – ist allerdings ein Abstieg über die Wehre möglich. Dabei besteht jedoch, abhängig vom Abfluss, eine erhebliche Verletzungsgefahr für die über das Wehr geschwemmten Fische. Diese treffen an mehreren Orten auf sehr dünn überströmte, harte und z.T. mehrere Meter lange Beton-/Steinplatten am Wehrfuß. Die mehr oder weniger geneigten Platten sind oft mit scharfkantigen Resten oder Nägeln alter verrotteter Beplankungen versehen, von denen eine weitere Verletzungsgefahr ausgeht. Diesbezüglich besonders problematisch scheinen das Rundelwehr und das Wehr Ziegelmühle zu sein. Über das Rundelwehr muss jede abwanderungsbereite Seeforelle wandern.

Aufgrund der geringeren Fallhöhe oder kürzeren betonierten Flächen sind die Verhältnisse am Zellerwehr, Reinachwehr, Wehr Urnau und Schönemühle etwas günstiger. Etwas anders liegen die Verhältnisse am Wehr Hammerstatt (Ittenhausen), welches als steile raue Rampe ausgeführt ist. Hier

dürfte für Smolts ein Abstieg gut möglich sein, während sich der Abstieg für große Seeforellen aufgrund der engen Abstände zwischen den Blöcken – zumindest bei normaler Wasserführung – schwierig gestaltet.



Abb. 4.9: Rundelwehr



Abb. 4.10: Rundelwehr; Nägel ehemaliger Beplankung



Abb. 4.11: Ziegelwehr



Abb. 4.12: Wehr unterhalb Urnau



Abb. 4.13: Schönenmühle



Abb. 4.14: Meisterhofener Mühle

Tab. 4.1: Beurteilung der Hindernisse und Durchgängigkeitsstörungen in der Rotach

	Name	Beschreibung		Aufstieg	Abstieg	
		Km ab Mündung	Aufstiegshilfe	Bewertung	Bewertung Durchgängigkeit	Verletzungs-gefahr bei Niederwasser
1	Rundelwehr	1,6	Umgehungsgerinne	ungehindert passierbar	abflussabhängig eingeschränkt	hoch
2	ehem. Trautenmühle	2,8	Rampe	kein Hindernis		
3	Meistershofener Mühle = Wehr Zeller	3,8	Umgehungsgerinne	ungehindert passierbar	abflussabhängig passierbar	ja
4	Maschinenfabrik Brielmaier	4,0	Rampe	kein Hindernis		
5	Mühle Ittenhausen = Wehr Hammerstatt	6,4	Umgehungsgerinne und Rampe	ungehindert passierbar	abflussabhängig passierbar	-
6	Reinachmühle	7,6	-	möglicherweise nicht passierbar	abflussabhängig passierbar	-
7	ehem. Weilmühle	9,4	-	kein Hindernis		
8	Oberteuringen	12,9	Rampe	ungehindert passierbar	kein Hindernis	-
9	Ziegmühle	15,6	Fischpass ungenügend	nicht passierbar	abflussabhängig eingeschränkt	ja
10	Ramsenmühle	16,8	kein Hindernis			
11	Wehr Urnu	20,3	-	abflussabhängig eingeschränkt	abflussabhängig passierbar	ja
12	Schönemühle	21,5	-	abflussabhängig eingeschränkt	abflussabhängig passierbar	ja
13	Buchmühle (natürlich)	28	-	nicht passierbar	abflussabhängig eingeschränkt	ja

4.3 Reproduktion und Habitatanalysen

Die Kartierung der potenziellen Laichflächen in der Rotach war nicht Inhalt des Untersuchungsprogramms.

4.3.1 Brutboxen-Versuche

Die Probestellen für die Brutboxenversuche in der Rotach wurde basierend auf der Gewässerkenntnis von Thomas Stauderer vom Angelsportverein Friedrichshafen e. V. festgelegt. Dabei wurde ein Bereich ausgewählt, in dem auch natürlicherweise Laichgruben angelegt werden. Weitere Versuche wurden im Fieselbach, einem Zufluss der Rotach, durchgeführt. Im Winter 2010/11 wurden Eier im Augenpunktstadium aus der Fischbrutanstalt Langenargen verwendet, im Winter 2011/12 aus der Fischbrutanstalt Rorschach. Im Einzelnen wurden folgende Probestellen ausgewählt (Tab. 4.2, übernächste Seite).

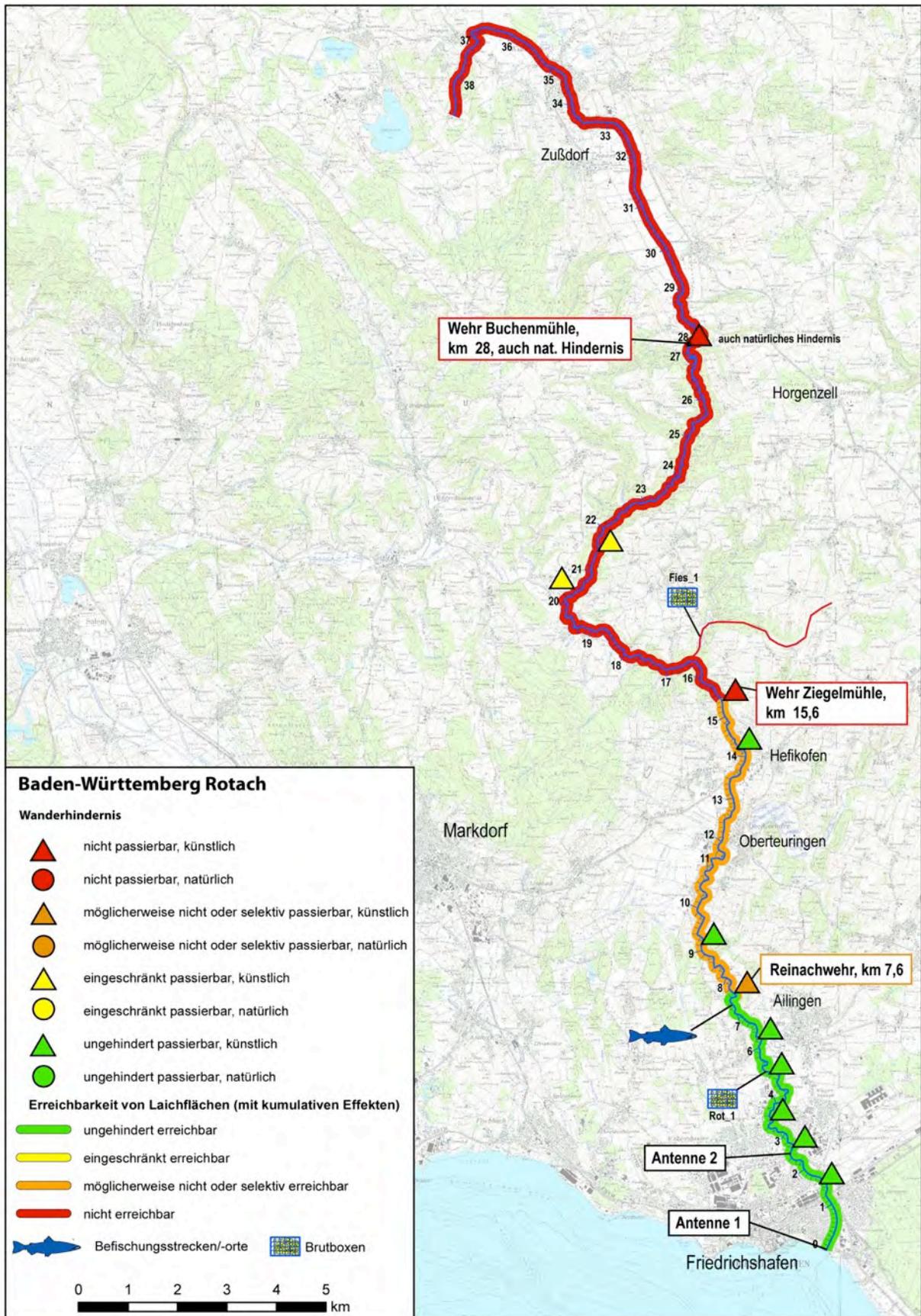


Abb. 4.15: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Flussabschnitte der Rotach. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

Tab. 4.2: Brutboxenversuche und Probestellen an der Rotach

Probestellenkürzel	Koordinatenangaben (WGS-84)	Beschreibung der Lage
Rot_1 (F-km 5,2)	47.682609° / 9.479786° bis 47.682617° / 9.480183°	Rotach zwischen Ittenhausen und Bunkhofen
Fies_1 (F-km ca. 0,3 Fi)	47.759982° / 9.462325° bis 47.759933° / 9.462050°	Fieselbach oberhalb Straßenbrücke. Rotach-Zufluss zwischen Fuchstobel und Ramsenmühle

Probestellen	Eityp	Expositionsdatum	Brutgefäße & Bestückung	Kontrollen
Rot_1	Augenpunkt-stadium	09.02.2011	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier KG-Röhre mit 4 WV-Boxen à 40 Eier	22.03.2011 14.04.2011
Rot_1	grün	18.01.2012	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	27.04.2012
Fies_1	grün	18.01.2012	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier 1 WV-Box (Rohr über Substrat) à 100 Eier	27.04.2012

Wassertemperatur und Abflusssituation

Die Wassertemperaturen der Rotach zeigten im Versuchszeitraum Februar bis April 2011 keine für die Entwicklung von Salmonidenbrut kritischen Werte ($< 1^{\circ} \text{C}$ bzw. $> 14^{\circ} \text{C}$, LFU 2005) (Abb. 4.16). Bereits im April wurden Temperaturen von über 12°C gemessen, wobei in diesem Zeitraum auch die Tag-/Nachtschwankungen am höchsten waren. Da die Forellenbrut in dieser Zeit schon lange geschlüpft ist, ist davon auszugehen, dass auch Temperaturschwankungen mit Amplituden von mehreren Graden die Entwicklung nicht störten. Im Untersuchungswinter 2011/12 herrschte allerdings extreme Kälte von Anfang bis Mitte Februar 2012, die sowohl in der Rotach als auch im Fieselbach kritisch niedrige Wassertemperaturen um 0°C verursacht hat. Da die Brutboxen vor der nächsten Kontrolle aber durch Hochwasser ausgegraben wurden, lassen sich bei der Rotach keine Aussagen zum Effekt dieser Kälteperiode treffen; immerhin gelang in anderen Programmgewässern (Bregenzerach und Goldach) zur selben Zeit der Nachweis, dass die Gelege auch solche extrem niedrigen Temperaturen schadlos überleben können.

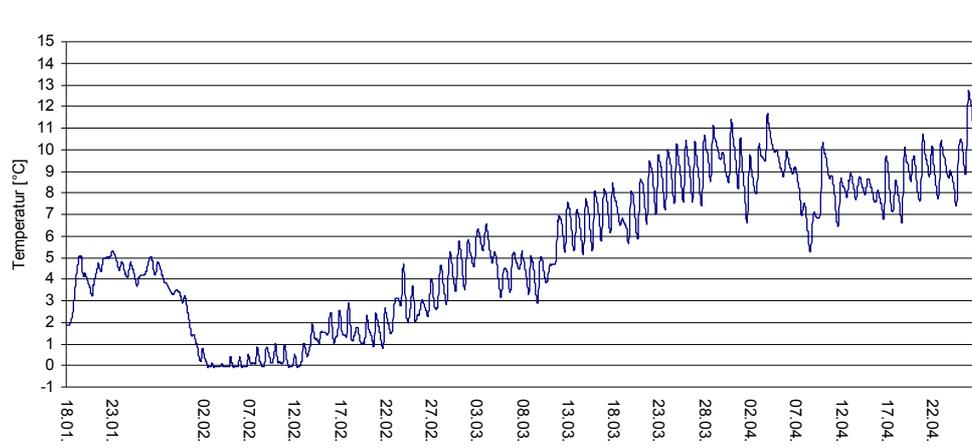


Abb. 4.16: Temperaturverlauf an der Probestelle Rot_1 im Winter/Frühjahr 2011/2012 (dargestellt sind 30-Minuten-Messwerte).

Ab dem Beginn des Brutversuchs am 09.02.2012 traten keine nennenswerten Abflusserhöhungen auf, so dass der Brutversuch unter ungewöhnlich konstanten Abflussverhältnissen stattfinden konnte. Im Winter 2011/12 waren die Abflussbedingungen repräsentativ. Im Zeitraum November bis Ende Januar traten vier Abflussspitzen auf, die deutlich über jenen des Vorjahres lagen, darunter auch ein ausgeprägtes Winterhochwasser mit über 20 m³/s (Pegel Friedrichshafen), drei Tage nach dem Start des Brutversuchs.

Überlebensraten

Die Überlebensraten an den einzelnen Probestellen sind in Tab. 4.3 zusammengestellt. Die weitere Betrachtung erfolgt getrennt nach Probestellen.

Tab. 4.3: Zusammenstellung der Brutversuchsergebnisse im Gewässersystem der Rotach.

Untersuchungswinter 2010/11 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (22.03.2011)	2. Kontrolle (14.04.2011)
Rot_1 (Exp. 09.02.2011)	1 WV-Box	90 %	
	1 WV-Box		90 %
	1 Brutröhrchen	100 %	
	1 Brutröhrchen	45 %	-
	1 Brutröhrchen	65 %	-
	1 Brutröhrchen	-	20 %
	1 Brutröhrchen	-	60 %
	1 Brutröhrchen	0	50 %
	System KG-Röhre	ca. 85 %	-
Gesamtergebnis	2010/11	ca. 65 % (nur im Substrat exponierte Gefäße)	

Untersuchungswinter 2011/12 – Verwendung grüner Eier			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (27.04.2012)	2. Kontrolle
Rot_1 (Exp. 18.01.2012)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	0 %	-
Fies_1 (Exp. 18.01.2012)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	0 %	-
	1 WV-Box (Rohr über Substrat)	8 %	-
Gesamtergebnis	2011/12	0 % (nur im Substrat exponierte Gefäße)	

Rot_1 – Rotach zwischen Ittenhausen und Bunkhofen, F-km 5,2

Im ersten Winter wurde in der Rotach zusätzlich zu den Inkubationen im Sediment auch eine Charge von Eiern in einem Rohr über dem Substrat exponiert, um die Wirkung der Wasserqualität zu überprüfen. Hierbei wurde eine Überlebensrate von ca. 83 % festgestellt, obwohl eine relativ starke Verschlammung dokumentiert wurde. Dieses Ergebnis belegt, dass die chemisch-physikalische

Wasserqualität der Rotach für eine funktionierende Salmonidenreproduktion grundsätzlich ausreichend ist. Eine Abhängigkeit des Bruterfolgs von einzelnen stofflichen Belastungen und/oder Mikroverunreinigungen konnte im Rahmen dieses Projekts nicht untersucht werden.

Im ersten Untersuchungswinter wurden kaum Substratumlagerungen und Lageveränderungen der Bruteinheiten festgestellt. Die Überlebensrate lag im Mittel bei ca. 65 % (Tab. 4.3). Einige der verendeten Brütlinge gingen in den Brutröhrchen ohne Gazeummantelung aufgrund mechanischer Verletzungen zugrunde; diese wurden daraufhin im weiteren Versuchszeitraum nicht mehr verwendet. Die vergleichsweise hohen Überlebensraten sind durch die danach ungewöhnlich stabilen Abflussverhältnisse in der Rotach bedingt. Daher haben die Ergebnisse aus dem Winter 2010/11 nur eine eingeschränkte Aussagekraft über das tatsächliche Reproduktionspotential der Seeforellen in diesem Bereich der Rotach.



Abb. 4.17: Probestelle Rot_1 zwischen Ittenhausen und Bunkhofen



Abb. 4.18: Blick flussaufwärts an der Stelle Fies_1.

Im eher typischen Winter 2011/12 haben erhöhte Abflüsse vermutlich bereits wenige Tage nach der Exposition zu Substratumlagerungen und somit zum Totalverlust der Eier geführt. Diese Umlagerungen betrafen vor allem die Deckschicht des Kieskörpers bis ca. 20 cm Tiefe. Es ist daher nicht auszuschließen, dass natürlich abgelegter Laich unter diesen Bedingungen in weniger exponierten Kiesbereichen bzw. tiefer im Kieskörper eine – wenn auch geringe – Überlebenschance gehabt hat. Das Auftreten erhöhter Abflüsse und damit einhergehende Substratumlagerungen sind in der Rotach demnach ein kritischer Faktor für eine natürliche Fortpflanzung von See- und Bachforellen.

Fies_1 – Fieselbach oberhalb Straßenbrücke, F-km ca. 0,3 Fi

Im Kieskörper des Fieselbachs (Abb. 4.17-18) haben sich keine Dottersacklarven entwickelt (Abb. 4.22). Bereits beim ersten Kontrolltermin konnten hier ausschließlich abgestorbene Eier festgestellt werden. Auch in der Box im Rohr über dem Substrat wurden mit ca. 8 % sehr geringe Überlebensraten bis zum Dottersackstadium dokumentiert (Abb. 4.19-21). In sämtlichen Brutgefäßen wurden hohe schlammige Feinstoffeinträge festgestellt, die offensichtlich verantwortlich für das Absterben der Eier waren.



Abb. 4.19: Fies_1: Auch im Inneren der WV-Boxen aus der KG-Röhre ist relativ viel Feinmaterial eingedrungen.



Abb. 4.20: Fies_1: Dottersacklarven, abgestorbene Eier und Feinsediment aus einer WV-Box, die in der KG-Röhre exponiert war.



Abb. 4.21: Fies_1: Die in der fließenden Welle exponierte WV-Box nach der Bergung am 27.04.2012.



Abb. 4.22: Fies_1: Detailaufnahme verklumpter und mit Schlamm zugesetzter, verendeter Eier aus dieser WV-Box.

Auch stoffliche Belastungen des Wassers hatten in diesem Fall offenbar negative Wirkungen auf Eier und Brut. Die Probestelle Fies_1 befand sich ca. 500 m unterhalb der Rückleitung geklärten Abwassers der Kläranlage Urbanstobel. Es erscheint möglich und sollte geprüft werden, ob die festgestellte Mortalität an Eiern und Seeforellenbrut mit dem Eintrag von geklärtem Abwasser und von Feinstoffen mit offenbar hohem organischem Anteil zusammenhängt. Möglicherweise sind oberhalb der Einleitung bessere Voraussetzungen für eine Fortpflanzung von Forellen vorhanden.

Zusammenfassende Beurteilung der Brutboxenversuche

Die moderaten Hochwasser der Rotach haben weniger Umlagerungen verursacht, als sie im Folgenden noch für die Argen vorgestellt werden. Dennoch ist auch in der Rotach davon auszugehen, dass erhöhte Abflüsse im Winter regelmäßig Kieskörper umlagern und dabei See- und Bachforellenbrut vernichten können. Bei ausbleibenden starken Hochwassern erscheint aber eine erfolgreiche Naturverlaichung möglich, obwohl das Interstitial der Substrate zur Verschlammung neigt. Die chemisch-physikalische Wasserqualität genügt möglicherweise nicht immer zur erfolgreichen Ei- und Larvalentwicklung. Der Einfluss von Kläranlagen auf den Feinstoffeintrag in die Rotach sollte näher untersucht werden. Generell sollte auch geprüft werden, welchen Einfluss Regenrückhaltebecken auf die partikuläre stoffliche Belastung der Rotach haben. Langjährige Studien an der Schussen (GÜDE, REY

& ORTLEPP 2010) belegen, dass Kläranlagenrückläufe (kontinuierlich) und Regenrückhaltebecken (gepult) erhebliche Mengen Phosphor, CSB und Keimfrachten ins Gewässer eintragen können. Eben-diese Belastungsparameter können dazu beitragen, dass sich in der Umgebung von Forellengelegen große Mengen organischer Feinstoffe mit einem sauerstoffzehrenden und mikrobiell gefährlichen Mi-lieu einlagern.

4.3.2 Natürliche Reproduktion

In der Rotach werden regelmäßig an vereinzelt Abschnitten Seeforellen-Laichgruben festgestellt. Der Nachweis erfolgreicher, natürlicher Reproduktion steht jedoch noch aus. Im Rahmen der Jungfischbefischungen im Frühjahr 2011 (vor Besatz) konnten keine Brütlinge erfasst werden. Jungfischhabitats sind in der Rotach und in ihren Zuflüssen dagegen zahlreich vorhanden. Wie in den meisten Bodenseezuflüssen könnten sich sommerliche Wassertemperaturen jenseits von 20° C negativ auf die Jungfischentwicklung auswirken, falls es in den Nächten nicht ausreichend abkühlt und/oder stellenweise kühle Grundwasseraufstöße vorhanden sind.

4.3.3 Besatz

In der Rotach und ihren Zuflüssen werden jährlich Seeforellen-Brütlinge in unterschiedlicher Zahl besetzt. Nachdem in den Jahren 2003 und 2004 noch knapp 140.000 Individuen ins Rotachsystem ausgebracht wurden, sank die Zahl von 2004 bis 2009 auf durchschnittlich 74.000 Individuen. Seit 2010 werden jährlich wieder 100.000 bis 114.000 Brütlinge eingesetzt (Abb. 4.23).

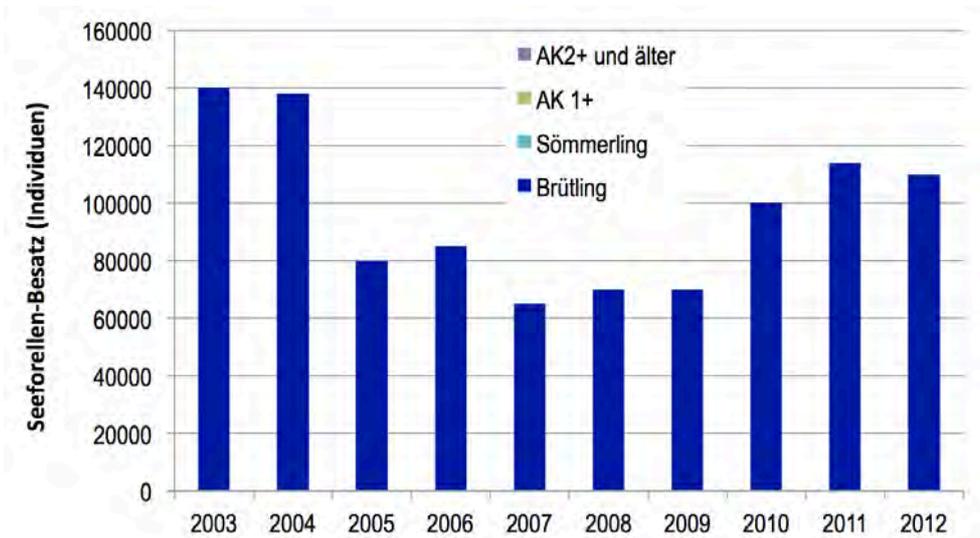


Abb. 4.23: Besatzzahlen von jungen Seeforellen ins Rotachsystem für die Jahre 2003 bis 2012.

4.4 Abwanderung

Am 17.03.2011 wurde in der Rotach bei Ailingen eine 500 m lange Strecke vor dem Wehr Hammerstatt (ca. 6 km oberhalb der Mündung) befischt, dabei wurden relativ hohe Jungfischdichten von rund 20 Ind. der Alterklasse 1+ auf 100 m Strecke festgestellt. Insgesamt wurden 101 Forellen gefangen,

darunter eine Seeforelle von 59 cm, drei Regenbogenforellen mit 16 bis 20 cm sowie 97 juvenile (1+) Fische, die als potenzielle Abwanderer eingestuft und mit PIT-Tags besendert wurden. Von diesen jungen *Salmo trutta* wurden 85 Individuen dem „Bachforellen-Typ“ zugeordnet (87,6 %), 9 Individuen dem „intermediären Typ“ (9,3 %) und 3 Individuen dem „Smolt-Typus“ (3,1 %).

Die Längenverteilung der 96 mit PIT-Tag markierten, potenziell abwandernden Bach/Seeforellen ist Abb. 4.24 zu entnehmen.

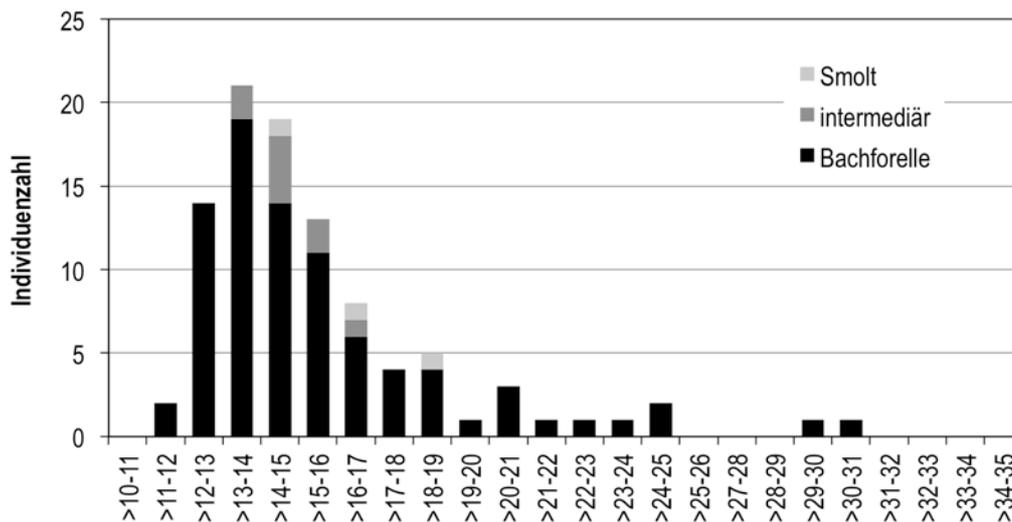


Abb. 4.24: Nach Typus getrennte Längenverteilung der am 17.03.2011 mit PIT-Tags markierten, potenziell abwandernden Forellen der Art *Salmo trutta* in der Rotach.

Zwischen dem 17.03. und dem 15.09.2011 wurden zwei Detektionsschleifen (Antennen) im Unterlauf installiert:

- eine in einer kleinen Schwelle ca. 70 m flussauf der Mündung (Abb. 4.25, 4.27)
- eine auf Höhe der Technischen Werke Friedrichshafen (2,5 km vor der Mündung; Abb. 4.26).

Aufgrund der Distanz von 3,3 km bzw. 5,8 km zwischen Fangort und Detektionsstandort wurden Detektionen als Abwanderungen und nicht als kleinräumige Bewegungsmuster gewertet. Bis zur Detektionsanlage mussten Smolts ein Wehr überqueren, das beim Abstieg während geringer Abflüsse zumindest zu Verletzungen führen dürfte. Durch die Exposition von zwei Detektorschleifen sollten Abwanderungsgeschwindigkeiten und Bewegungen im Unterlauf erfasst werden.

4.4.1 Detektionen und Wiederfänge

An der Rotachmündung konnten keine abwandernden Fische detektiert werden. Obwohl die Anlage innerhalb eines abgeschlossenen Grundstücks aufgebaut wurde, trat regelmäßig Vandalismus auf (Abb. 4.28). Auch wurde die Stromversorgung für längere Zeit unterbrochen und ein Schaltkasten wurde teilweise zerstört. Da die Antenne zudem funkgesteuerte Fahrradcomputer auf dem angrenzenden Uferweg beeinflusste, wurde das öffentliche Interesse geweckt. Nachdem Presse und Rundfunk

den genauen Standort der Antenne Ende April 2011 veröffentlichten, nahmen die Störungen weiter zu. Daher wurde die Anlage am 25.05.2011 abgebaut.



Abb. 4.25: Lage der unteren Detektorschleife in der Rotachmündung



Abb. 4.26: Lage der oberen Detektorschleife neben dem Areal der technischen Werke Friedrichshafen



Abb. 4.27: Kontrolle der Antenne in der Rotachmündung; kl. Bilder: Relais der Induktionsschleife Auslesegerät.



Abb. 4.28: Vandalismus an Detektionsgeräten in der Rotachmündung

Bei den Technischen Werken wurden innerhalb von fünf Monaten trotz störungsfreiem Betrieb nur drei Fische detektiert. Zunächst wanderte die 59 cm große, adulte Seeforelle am 04.04.2011 ab. Als nächstes wanderte am 12.05.2011 eine der drei jungen Regenbogenforellen in den See ab (Ausgangsgröße: 20,1 cm). Von den 96 markierten juvenilen *Salmo trutta* wurde lediglich ein Fisch detektiert, der am 18.06. abwanderte. Er war zuvor als Bachforellen-Typus klassifiziert worden und hatte eine Ausgangsgröße von 13,5 cm. Alle drei Forellen wanderten bei steigendem Abfluss ab (Abb. 4.29).

Aufgrund der geringen Abwanderungsraten wurde am 17.06.2011 eine Kontrollbefischung auf der gleichen Strecke wie im März 2011 durchgeführt. Hierbei konnten 36 *Salmo trutta* (ca. 15-25 cm) gefangen werden; 28 dieser Fische waren dem „Bachforellen-Typ“ zuzuordnen (77,8 %), 5 dem „intermediären Typus“ (13,9 %) und 3 dem „Smolt-Typ“ (8,3 %). Unter den 36 Fischen befanden sich 6 PIT-Tag-markierte Individuen, was ca. 16 % des Fangs entspricht. Einer der markierten Fische zeigte den Smolt-Typus, er war im März noch als „intermediär“ eingestuft worden (Abb. 4.30). Die fünf markierten Fische waren in sehr guter Kondition. Sie wiesen erstaunliche Wachstumsraten von durchschnittlich 6,1 cm in 3 Monaten auf. Die Maximallänge von 21,4 cm wurde von jeweils zwei Forellen erreicht. Im Laufe des Sommers dürften somit einige Fische das Schonmaß von 25 cm übertroffen haben.

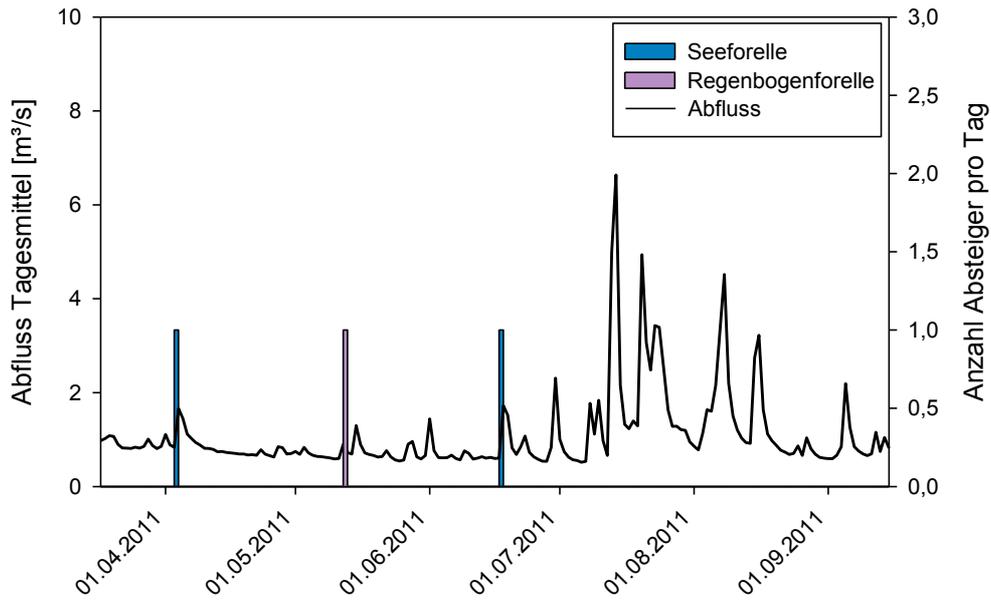


Abb. 4.29: Detektion der abwandernden See- und Regenbogenforellen in der Rotach in Abhängigkeit vom Abfluss. Die am 04.04. abgewanderte Seeforelle war adult.

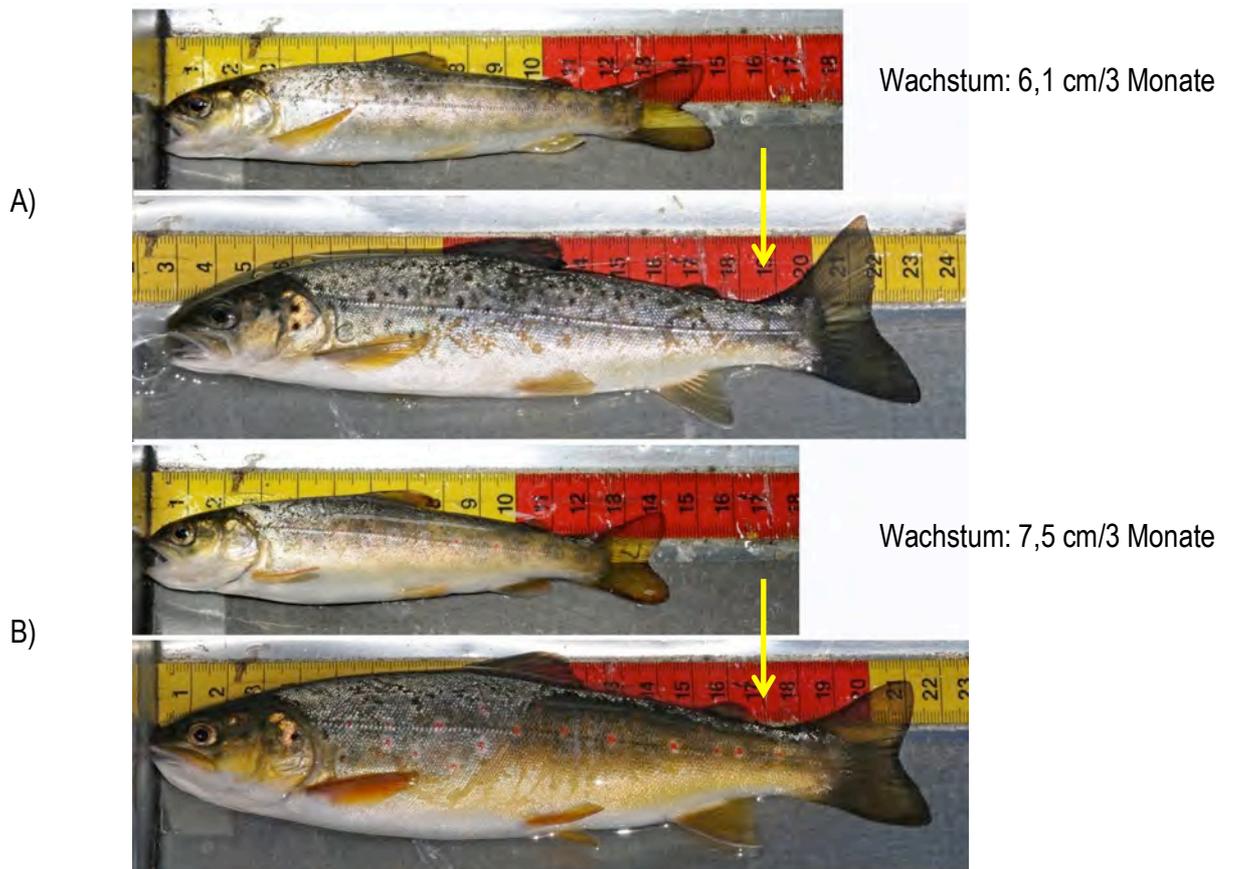


Abb. 4.30: Potenzielle Abwanderer aus der Rotach. Im März 2011 mit PIT-Tag markiert und als A) „Smolt-typus“ bzw. B) Bachforelle im Juni 2011, also nach 3 Monaten wiedergefangen. Die Wachstumsraten waren bei den 6 untersuchten Wiedergefängen überraschend hoch.

Tab. 4.4: Anteile des Typus junger *Salmo trutta* im Gewässersystem der Rotach und der Detektionserfolg.

	Bachforellen -Typus	Intermediärer Typus	Smolt-Typus
Anteil am Gesamtfang (n=97) im März 2011 (%)	87,6	9,3	3,1
Anteil am Gesamtfang (n= 36) im Juni 2011 (%)	77,8	13,9	8,3
Wiederfänge im Juni 2011(%)	5,8*	11,1	-
abgewandert (%)	1,2	-	-

* inkl. einem Angelfang einer Bachforelle im Mai 2011

Von den zwölf im März als „Smolt-Typus“ oder „intermediär“ klassifizierten Jungforellen wurde keine Abwanderung festgestellt (Tab. 4.4). Da die Apparatur am Standort der Technischen Werke Friedrichshafen einwandfrei funktionierte, ist ihre Abwanderung in der langen Niedrigwasserphase zumindest bis Mitte Juli 2011 auszuschließen; möglicherweise könnten jedoch einige der Fische bei einem der Hochwasser ab Mitte Juli unbemerkt in den See abgewandert sein (kleine PIT-Tags mit nur 10-20 cm Detektionsabstand). Eine ausbleibende oder verspätete Abwanderung der Seeforellen könnte teilweise auch dem trockenen Frühjahr geschuldet sein. Ein Teil der jungen Seeforellen wanderte eventuell auch noch nach dem Abbau der Antenne nach Mitte September 2011 in den See. Einen Hinweis darauf liefert der noch Mitte Juni vorhandene Anteil des „Smolt-“ oder „intermediären“ Typs sowie der wiedergefangene Smolt (Abb. 4.30). In den der Rotach vergleichbaren Zuflüssen Leiblach, Goldach (Kap. 9.5) und Steinach (unveröff. Daten) wanderten die mit PIT-Tags besenderten Smolts jedoch vornehmlich bereits Mitte Mai ab. Insofern spricht vieles dafür, dass auch die als abwanderbereit eingestufte Fische im System der Rotach verblieben sind.

Unabhängig von der hydrologischen Sondersituation konnte festgestellt werden, dass der „Smolt-Typ“ an der Rotach im Vergleich zu anderen Bodenseezuflüssen (zumindest im selben Zeitraum) seltener auftritt. In der Goldach und der Steinach (unveröff. Daten) zeigte dieser Typus jedoch die höchsten Abwanderungsraten (siehe Kap. 9.5). Auch wenn junge Rotachforellen z.T. noch im Herbst in den See wandern sollten und auch der überwiegende Anteil die Wehrpassagen überlebt, sind die Ergebnisse der Abstiegsuntersuchungen ein Hinweis auf sehr geringe Abwanderungsraten. Dies ist umso verwunderlicher, weil in der Rotach im Verhältnis zu den anderen untersuchten Zuflüsse relativ hohe Zahlen an 1+ -Forellen nachgewiesen wurden (20 Ind./100m, vgl. Tab. 9.12), die nur noch mit dem Referenzgewässer Steinach vergleichbar sind. Somit müsste der „Abwanderungsdruck“ in der Rotach eigentlich höher sein als beispielsweise in der Leiblach und in der Goldach. Auch die Anzahl der Rückkehrer lässt sich nicht durch die geringe Zahl der abgewanderten Jungforellen erklären. Möglicherweise ist ein Teil der Aufsteiger auf Strayer zurückzuführen, die aus anderen Flüssen stammen (siehe Detektionen von Strayern in Goldach).

Genetische Untersuchungen der Universität Konstanz deuten an, dass Bachforellen in der Rotach dem Seeforellen-Zuchtstamm aus Bad Waldsee sehr ähnlich sind und dieser sich wiederum gänzlich von allen anderen Haplotypen am Bodensee abhebt (HT8). Dies könnte darüber hinaus bedeuten, dass

Nachkommen von Seeforellen, die Gene dieses Zuchtstamms tragen, weniger abwandern und vermehrt standorttreu bleiben (BEHRMANN-GODEL, pers. Mitt.). Aufgrund des meist bestehenden Milchener-Defizits beim Laichfischfang in der Rotach werden auch Milchener eines Elterntierstamms aus Bad Waldsee zur Befruchtung verwendet (STAUDERER, pers. Mitt.). Weitere genetische Untersuchungen hierzu sind im Gange (BEHRMANN-GODEL, pers. Mitt.). Es sei jedoch in diesem Zusammenhang noch auf eine frühere Untersuchung des ASV Friedrichshafen hingewiesen, die im Frühjahr 2000 stattfand. Im Schachenbächle – einem Zufluss im Mittellauf der Rotach – wurde eine Abwanderungskontrolle von Seeforellen-Besatz mit einer Reuse durchgeführt. Von April bis Juni wanderten von 2.100 Seeforellen-Setzlingen aus dem Jahr 1999 immerhin 58 Forellen in die Reuse kurz vor der Mündung in die Rotach. Aufgrund der silbernen Färbung der Forellen wurde geschlossen, dass sie in den Bodensee wandern wollten (Jahresbericht 2000 der Arbeitsgruppe Bodensee-Seeforelle des ASV Friedrichshafen). Auch wenn mit dieser Methode kleinräumigere Ausweichbewegungen der Fische nicht ausgeschlossen werden können, scheinen aus dem Ober- und Mittellauf doch größere Anzahlen von Smolts abzuwandern.

4.5 Fazit

Die Rotach besitzt ein pluvio-nivales Einzugsgebiet, das jeden Winter Hochwasserabflüsse bringt. Selbst moderate Hochwasser führen zu Umlagerungen des kiesigen Substrats und zu Feinstofffrachten, die teilweise anthropogen verursacht sind (z.B. am Fieselbach). Durch beide Faktoren können große Teile der See- und Bachforellenbruten vernichtet werden. In verschiedenen Jahren, vor allem bei ausbleibenden starken Hochwassern, erscheint aber eine erfolgreiche Naturverlaichung möglich, obwohl das Interstitial der Substrate zur Verschlammung neigt. Auch die Wasserqualität genügt offenbar nicht immer zur erfolgreichen Ei- und Larvalentwicklung. In Untersuchungsgewässern mit ausgeprägten Winterhochwassern wie der Rotach scheinen Oberlauf und kleinere Zuflüsse für die natürliche Fortpflanzung von Seeforellen auch historisch eine höhere Bedeutung gehabt zu haben als bisher angenommen. Die Substrate dürften hier bei stark erhöhten Abflüssen generell weniger stark umgelagert werden als im Mittel- und Unterlauf. Je weiter Seeforellen also während der Laichwanderung aufsteigen können, desto geringer sind vermutlich die Risiken von Gelegeverlusten. Aktuell dürfte die natürliche Reproduktion aufgrund der hydrologischen Gegebenheiten im bislang erreichbaren Flussabschnitt nur eine sehr untergeordnete Rolle für den Seeforellen-Bestand der Rotach spielen. Weil man in der oberen Rotach von weniger hydraulisch verursachten Verlusten bei Gelegen ausgehen kann, erscheinen die beiden geplanten Umgehungsgerinne für die derzeit flussaufwärts limitierenden Wanderhindernisse Reinachmühle und Ziegmühle besonders wichtig. Besatz findet in diesem vermutlich auch für Jungfische hydrologisch geeigneteren Abschnitt der Rotach bereits statt. In kleinen Besatzgewässern erreichen Seeforellen-Setzlinge gute Dichten, sie überstehen hier zudem – wie auch Kleinfischarten – Hochwasser gut (Jahresbericht 2000 der Arbeitsgruppe Bodensee-Seeforelle des ASV Friedrichshafen). Einige Abstiegshindernisse sind für abwandernde Smolts aber prob-

lematisch, auch wenn sie flussaufwärts kein Hindernis mehr darstellen. Eine erhöhte Mortalität beim Abstieg in Verbindung mit ohnehin geringen Abwanderungszahlen der Besatzfische könnte neben den Defiziten bei der natürlichen Reproduktion bei der eher geringen Aufsteigerzahl ebenfalls eine Rolle spielen.

4.6 Empfehlungen

Warum der vergleichsweise intensive Seeforellenbesatz in der Rotach bisher nicht in erhofftem Maße erfolgreich war und nur zu einer wahrscheinlich geringen Abwanderungsrate von Jungfischen führte, konnte noch nicht geklärt werden. Verschiedene Indizien deuten aber darauf hin, dass für die Rotach ein Potenzial besteht, sich zu einem Seeforellengewässer mit hinreichend umfangreicher Naturverlaidung zu entwickeln. Die Ergebnisse einer genetischen Studie werden bald verfügbar sein. Diese sollten zumindest abgewartet werden, bevor über die weitere Besatz- und Maßnahmenstrategie diskutiert wird.

Im Oberlauf und in den Zuflüssen erwarten wir aufgrund der geringeren Energie, die bei Hochwasserereignissen auf die Bachsohle wirkt, bessere Reproduktionschancen als im Mittel- und Unterlauf. Auf dem Weg zu solchen Abschnitten stoßen Seeforellen in der Rotach aber noch immer auf Wanderhindernisse. Neben dem an einigen Wehren noch nicht möglichen Aufstieg ist vor allem auch die Abwanderung von Smolts über zahlreiche Wehre im Unterlauf als problematisch einzustufen.

Folgende Maßnahmen sind vorrangig abzuschließen oder zu planen:

- Erstellung der ungehinderten Durchgängigkeit für einsteigende und vor allem auch abwandernde Seeforellen; deutliche Verbesserung der Verhältnisse für die Seeforellen-Abwanderung: Entschärfung/ Sanierung von Abstürzen, Einbau von Feinrechen in Turbinenwege u.a.
- Reduktion des anthropogen verursachten Feststoffeintrags; Überprüfung und wenn möglich Minderung der organischen Einträge aus Regen-Rückhaltebecken und Kläranlagen, Kontrolle und ggf. Reduzierung der lokal wirkenden, stofflichen Gewässerbelastung
- Einhaltung von Gewässerrandstreifen in Gebieten mit landwirtschaftlich genutzten Offenböden
- Fortsetzung der Brutboxen-Versuche in Zuflüssen und Oberläufen – insbesondere auch zur Überprüfung möglicher Auswirkungen organischer Belastungen und Feinsedimente und zur Identifikation gut geeigneter Laich- und Jungfischstrecken
- Überprüfung der Genetik der Besatzfische und konsequente Berücksichtigung der Ergebnisse bei der künftigen Besatzstrategie (populationsspezifische Bewirtschaftung).

5 Ergebnisse Argen

Der Argen wird für den baden-württembergischen Teil des Bodensee-Einzugsgebietes eine zentrale Rolle als Seeforellengewässer zugeschrieben. Systematische Untersuchungen zur Zahl der einwandernden Seeforellen und deren Reproduktionserfolg fehlten bislang. Die Argen mündet an zwei Stellen in den Bodensee. Ihre Hauptmündung liegt zwischen Langenargen und Gohren, „eingeklemmt“ zwischen zwei Binnen-Hafenbecken (Abb. 5.1). Weiter nordwestlich in Langenargen mündet der Mühlkanal mit hohen Abflüssen und starker Lockströmung in den See, ein Werkskanal, der oberhalb des Ortsgebietes von Langenargen aus der Argen abgeleitet wird (Abb. 5.2).



Abb. 5.1: Mündung der Argen.



Abb. 5.2: Mündung des Argen-Kanals.



Abb. 5.3: Vereinigte Argen im Unterlauf.



Abb. 5.4: Oben: naturnaher Abschnitt der vereinigten Argen; unten: Zusammenfluss von Oberer (rechts) und Unterer Argen (Mitte).



Abb. 5.5: Abschnitte mit lockerem Kiessubstrat sind in der Argen häufig.



Abb. 5.6: Untere Argen in der Ausleitungsstrecke bei Pfügelberg (F-km 0,7 Unt. Argen).



Abb. 5.7: Obere Argen in der Ausleitungsstrecke bei Föhlschmitten (F-km 27,1 Ob. Argen).



Abb. 5.8: Seeforellenfang vor der Haslach-Mündung (F-km 0,8 Unt. Argen).

5.1 Hydrologie

5.1.1 Allgemeine Charakteristik

Das Einzugsgebiet der Argen umfasst 639 km² und erstreckt sich über einen Höhengradienten von ca. 800 m bis 395 m ü. NN. Die Argen entsteht durch die Vereinigung von Oberer und Unterer Argen, die ein weitgehend identisches pluvio-nivales Abflussregime zeigen. Der Abflussverlauf der Oberen und der Unteren Argen ist weitgehend mit dem der vereinigten Argen identisch, wenn auch geringer. Die Obere Argen liefert in der Regel 30 % und die Untere Argen 50 % bis 60 % des Abflusses der Argen.

Der MQ (mittlerer Abfluss 1982-2003) der Argen beträgt 20,1 m³/s, derjenige der Oberen Argen 5,6 m³/s und in der Unteren Argen 8,3 m³/s. Infolge von Winterniederschlägen im unteren Einzugsgebiet treten Ende Dezember bis Januar Abflussspitzen auf. Durchwegs höhere Abflüsse mit größeren Abflussspitzen treten zur Zeit der Schneeschmelze im oberen Einzugsgebiet Ende März bis Mitte April ein. Das Abflussregime ist geprägt vom Zusammenwirken von Niederschlägen im unteren Einzugsgebiet und von Schneeschmelze im oberen (Abb. 5.9). Das HQ₁₀ (statistisch zehnjährliches Hochwasser) der Argen liegt bei 338 m³/s. Im Sommer gibt es typische Niedrigwasserstände, die sich bis in den späten Herbst hinein ziehen. Das NQ (niedrigster Abfluss 1982-2003) liegt bei 2,9 m³/s. In Abschnitten mit Vollabfluss ohne Wasserentnahmen ist aufgrund der Wasserstände nicht mit der Beeinträchtigung des Seeforelleneinstiegs zu rechnen. In den Ausleitungsstrecken der Oberen und Unteren Argen bestehen diesbezüglich allerdings Defizite.

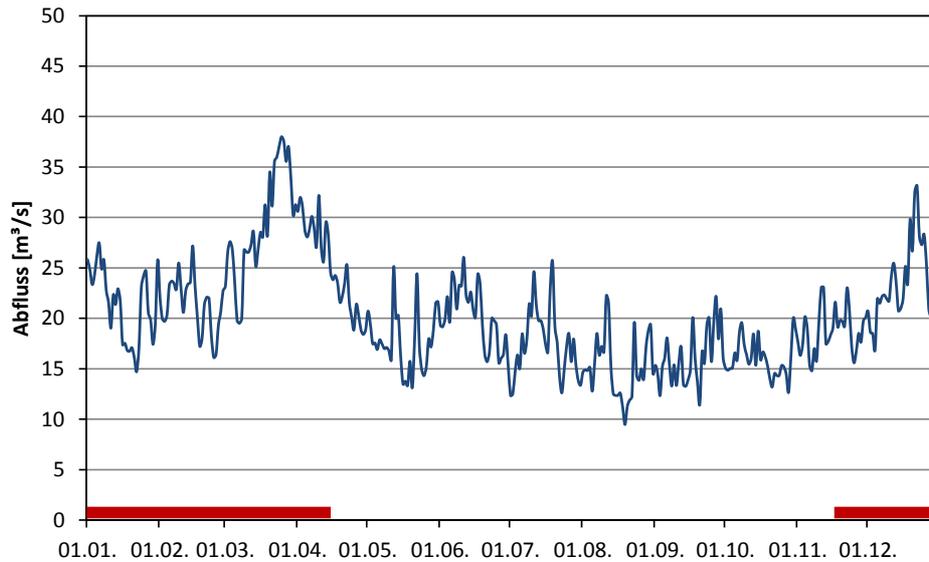


Abb. 5.9: Abflussregime der Argen (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1980-2009) am Pegel Gießen. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

5.1.2 Abflüsse im Untersuchungszeitraum

Wie auch in der Rotach sind in der Oberen, der Unteren und der vereinigten Argen die Hochwasser für die Charakterisierung der Abflüsse in den Jahren 2010-2013 maßgebend (Abb. 5.10). Hochwasser können zu jeder Jahreszeit auftreten. Am stabilsten waren die Abflüsse in der aktuellen Betrachtungsperiode 2010 bis 2013 zur Zeit der Schneeschmelze von März bis Mai und dann wieder von September bis Ende November. Besonders starke und häufige Hochwasser treten in der Argen von Anfang Dezember bis Mitte Februar auf, also in der Reproduktionszeit und Phase der Eientwicklung der Seeforelle, sowie im Juni und August (Gewitterregen).

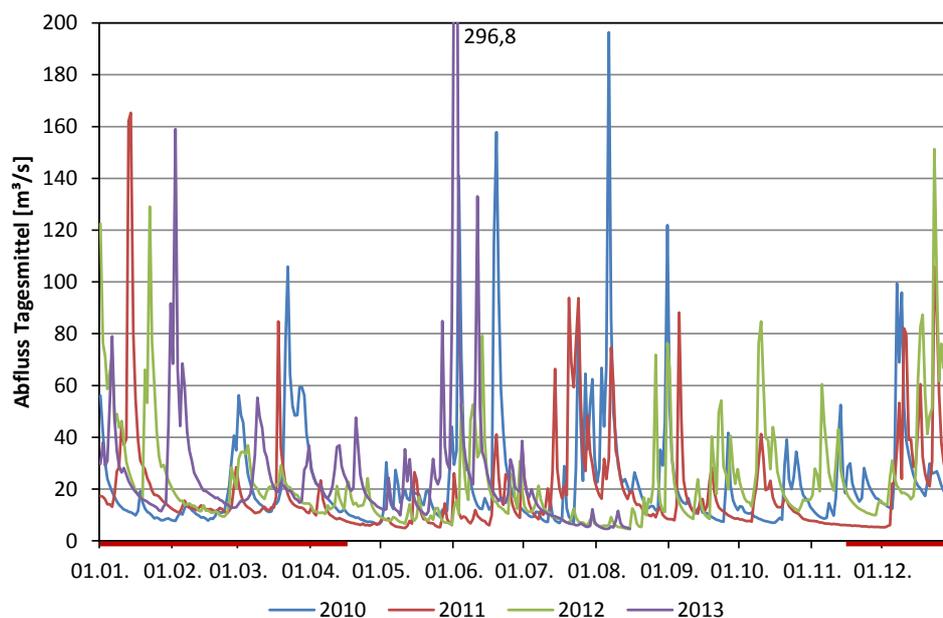


Abb. 5.10: Abfluss der Argen am Pegel Giessen für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

Im Untersuchungszeitraum ereigneten sich 14 Hochwasserereignisse mit Abflüssen über $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 5.10). Das höchste Ereignis am 02.06.2013 übertraf mit $468 \text{ m}^3/\text{s}$ sogar ein HQ_{100} (statistisch hundertjährliches Hochwasser) von $457 \text{ m}^3/\text{s}$. Auch in allen Winterhalbjahren traten Hochwasser um oder über $100 \text{ m}^3/\text{s}$ auf, die das Substrat der Argen großflächig umlagerten. Brutboxenversuche fanden im Winter 2010/11 statt, der Abfluss war mit denen der Folgewinter vergleichbar und dürfte somit repräsentativ für ein Regeljahr sein.

5.1.3 Temperaturregime

Für die Argen liegen keine kontinuierlich erhobenen Temperaturdaten vor, jedoch wurden von der LFU ein Mal pro Monat Wassertemperaturdaten am Pegel Gießenbrücke erhoben (Abb. 5.11). Obwohl die Messungen nur stichprobenhaft erfolgten, konnten sommerliche Wassertemperaturen von $21,6^\circ\text{C}$ belegt werden. Die Wassertemperaturen liegen damit um ca. 2°C höher als diejenigen, die zur selben Zeit in der Rotach gemessen wurden. Wir gehen davon aus, dass in den längeren Ausleitungsstrecken, die teilweise unbeschattet sind, noch deutlich höhere Temperaturen auftreten können. Liegen sie über einen längeren Zeitraum (ca. 1 Woche) über 25°C , dann können sie für Forellen sogar letal wirken (LFU 2005). Derzeit handelt es sich aber lediglich noch um Extremwerte, die nur unter Tags und dann nur wenige Tage so hoch liegen. Daneben gibt es in einem größeren System meist kühlere Wasserkörper, in die temperaturempfindliche Arten ausweichen können. Vor dem Hintergrund prognostizierter weiterer Gewässererwärmungen sollte dieses Problem jedoch weiter verfolgt und die Wassertemperaturen detaillierter erfasst/überwacht werden.

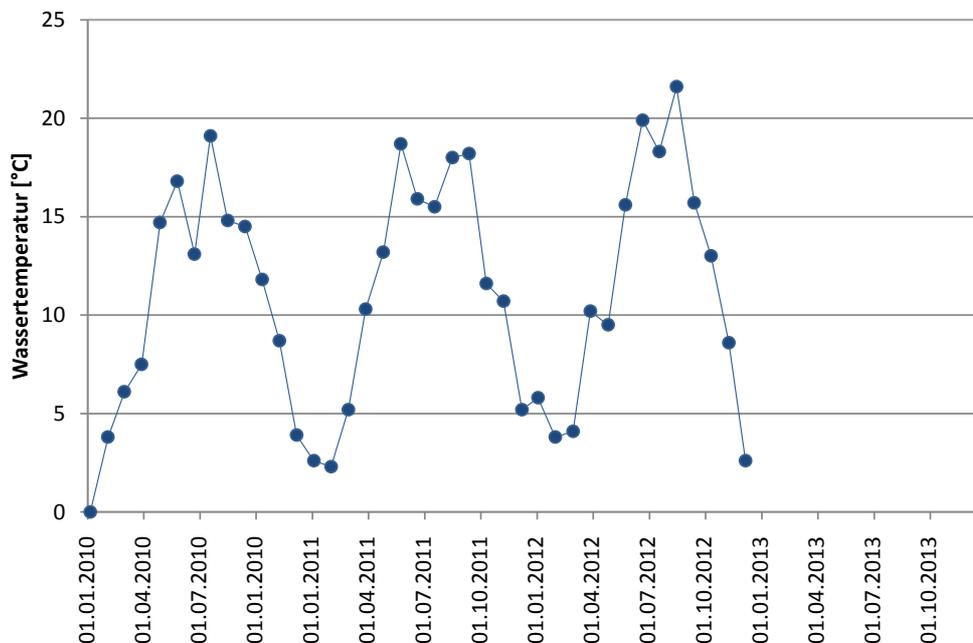


Abb. 5.11: Temperaturregime der Argen am Pegel Gießenbrücke für die Jahre 2010 bis 2012. Die Messungen erfolgten ca. ein Mal im Monat am frühen Nachmittag (Punkte).

5.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

5.2.1 Seeforellen-Einstieg

Der Seeforelleneinstieg in die Argen wurde im Winter 2010/11 und im Winter 2011/12 untersucht. Neben der Exposition eines Fischwehrs wurden an neun Terminen zehn verschiedene Strecken im Gewässersystem der Argen elektrisch befischt (siehe Anhang).

Saison 2010/11

Da das Fischwehr 2010 noch nicht eingesetzt werden konnte, wurden bereits in diesem Jahr alternativ drei elektrische Befischungen an Hindernissen durchgeführt. Am 28.10.2010 wurden die drei untersten Schwellen in der Argen sowie der Argen-Kanal befischt. Auch an relevanten Wanderhindernissen der Oberen und Unteren Argen fanden am 10.11. und 03.12.2010 elektrische Befischungen statt. Insgesamt konnten in der Saison 2010/11 lediglich drei Seeforellen-Rogner gefangen werden. Diese Individuen wurden mit Elastomeren und Pan-Jet-Punkten markiert, jedoch noch nicht mit PIT-Tags ausgestattet, da diese Methode erstmals im Februar 2011 eingesetzt werden konnte (Umstellung der Methodik, Tierversuchgenehmigungen, Lieferzeiten für die Detektoreinheiten, Methodentest).

Ein weitgehend laichreifer Rogner wurde am Wehr der Wasserkraftanlage „Neumühle“, rund 47 km vom Bodensee entfernt, gefangen. Diese Seeforelle wanderte über neu angelegte Fischwege (z.B. die neue FWH in Pfügelberg) an zwei Wasserkraftanlagen und Ausleitungsstrecken in der Unteren Argen vorbei und erreichte die für alle Fischarten unüberwindbare Wehranlage.

Saison 2011/12

Im dynamischen Fischwehr (Abb. 5.12), das vom 17.09. bis zum 08.12.2011 in der Argen stand, wurden lediglich zwei Seeforellen-Rogner gefangen und mit PIT -Tags markiert. Weitere Seeforellen konnten mit dem Fischwehr nicht nachgewiesen werden.



Abb. 5.12: Fischwehr in der Argen

Vor dem Aufbau des Fischwehrs wurden am 13.09.2011 die wichtigsten Wanderhindernisse der Oberen und Unteren Argen elektrisch befishet. Dabei wurde ein Seeforellen-Rogner in der Unteren Argen (Haslach-Mündung) gefangen und mit PIT-Tag versehen. Im Mühlkanal in Langenargen fanden drei Befischungen statt (05.10. und 02.12.2011 sowie am 16.01.2012). Nur am 02.12.2011 hielten sich Seeforellen im Werkkanal auf. Es konnten sechs große Exemplare (3 Milchner, 3 Rogner) gefangen und mit PIT-Tags markiert werden. Diese Tiere wurden anschließend oberhalb des Fischwehrs wieder in die Argen entlassen. Am 16.01.2012 fand eine weitere Kontrollabfischung an Aufstiegshindernissen der Oberen und Unteren Argen statt.

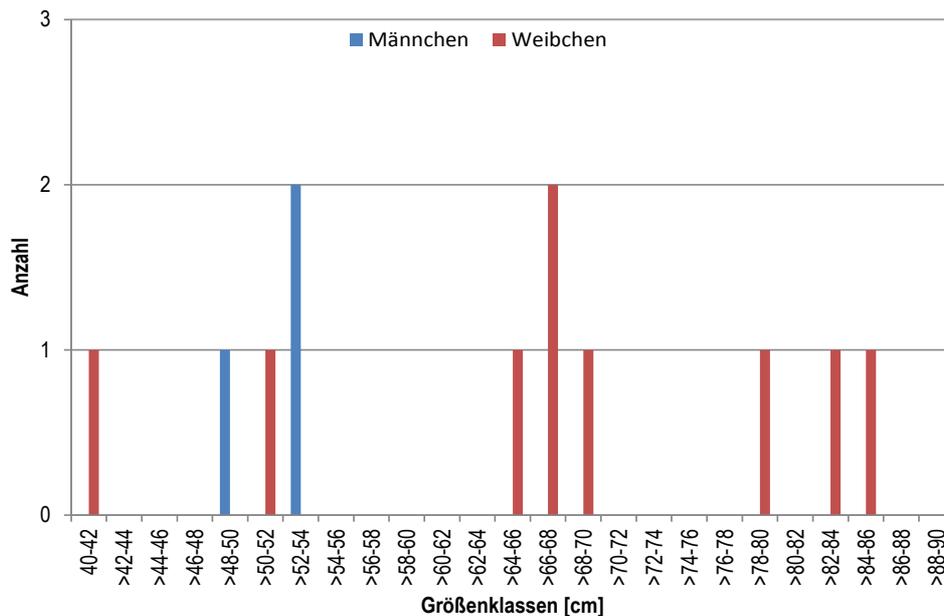


Abb. 5.13: Größenverteilung aller im Argensystem 2010 bis 2012 gefangener und markierter Seeforellen.

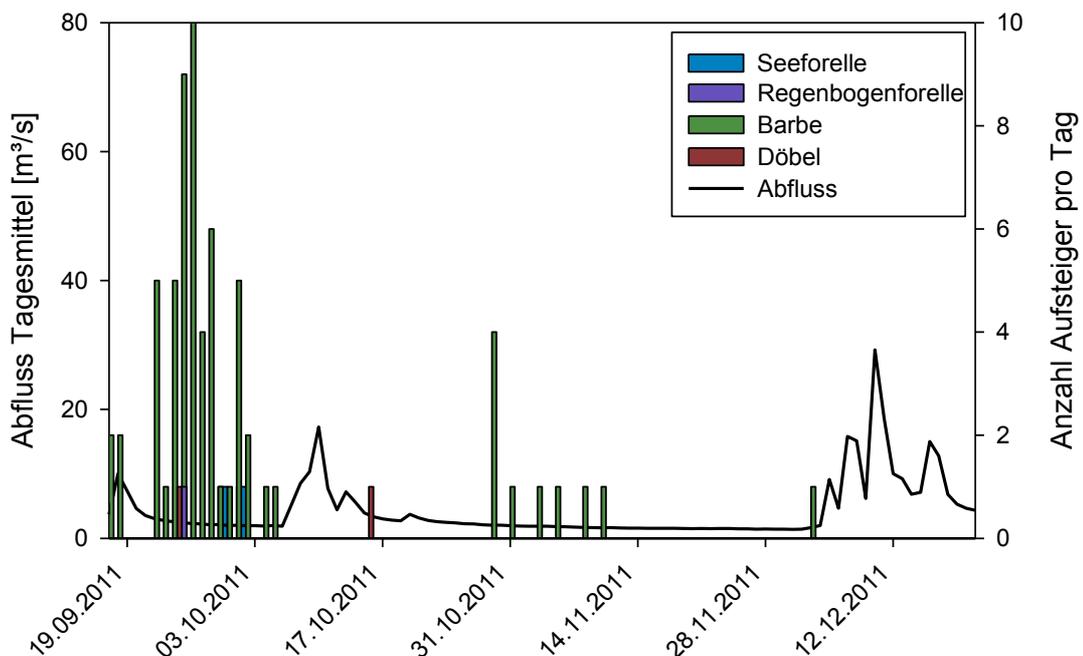


Abb. 5.14: Fänge von Barben, Döbel und Seeforellen mit dem Dynamischen Fischwehr in der Argen (rechte Ordinate) und Abfluss (linke Ordinate). Das Wehr war vom 17.09 bis 08.12.2011 fängig. Der Pegel Gießen liegt oberhalb der Ausleitung zum Mühlkanal, die bei normaler Wasserführung in der Regel bei 6 m³/s liegt.

2011/12 wurden im Gewässersystem der Argen neun Seeforellen gefangen, in beiden Untersuchungsjahren zusammen waren es also insgesamt lediglich zwölf Fische (3 Milchner, 9 Rogner). Im knapp dreimonatigen Betrieb des Fischwehrs wurden neben den zwei Seeforellen noch 65 Barben, 2 Döbel und eine Regenbogenforelle gefangen (Abb. 5.14). Die Barben wurden hauptsächlich Ende September gefangen. Die Längen der Einsteiger variierten ohne einen eindeutig erkennbaren Gipfel zwischen 40 und 85 cm, alle Seeforellen über 54 cm Gesamtlänge waren weiblich (Abb. 5.13). Eine Abhängigkeit der Einwanderung vom Abfluss konnte in der Argen nicht festgestellt werden.

5.2.2 PIT-Tag-Detektionen und Wiederfänge

In der Oberen und Unteren Argen wurde jeweils eine Detektionsschleife exponiert, und zwar jeweils kurz vor deren Zusammenfluss zur vereinigten Argen bei F-km 23,2. Die Antennen waren ab dem 16.09.2011 in Betrieb. Nach Hochwasserschäden wurde die Schleife in der Unteren Argen am 23.02.2012 außer Betrieb genommen. Die Detektorantenne in der Oberen Argen konnte bis Anfang April 2012 weiter betrieben werden.



Abb. 5.15: Exposition der Detektorschleife in der Oberen Argen



Abb. 5.16: Exposition der Detektorschleife in der Unteren Argen

Insgesamt konnten wir zwei der neun PIT-Tag markierten Seeforellen beim Aufstieg in die Obere Argen detektieren. Am 10.12.2011 schwamm bei ansteigendem Hochwasser um 3:50 Uhr ein Rogner (84,8 cm Länge, 6460 g Gewicht) und gleichentags um 12:57 Uhr - bei erhöhtem Abfluss, verbunden mit sehr starker Strömung - ein Milchner (53 cm Länge, 1830 g) über die Antenne. Beide waren zusammen mit vier weiteren Seeforellen am 02.12.2011 im Mühlkanal gefangen und oberhalb des Fischwehres ausgesetzt worden. Daraus ergeben sich eine Wanderstrecke von etwa 20,8 km und eine minimale Geschwindigkeit von ca. 2,6 bis 2,8 km/Tag. Das Hochwasser setzte am 05.12. ein; nachts lag der Abfluss am 10.12.2011 bei $10 \text{ m}^3/\text{s}$ und gegen Mittag erreichte er sogar rund $37 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 5.17).

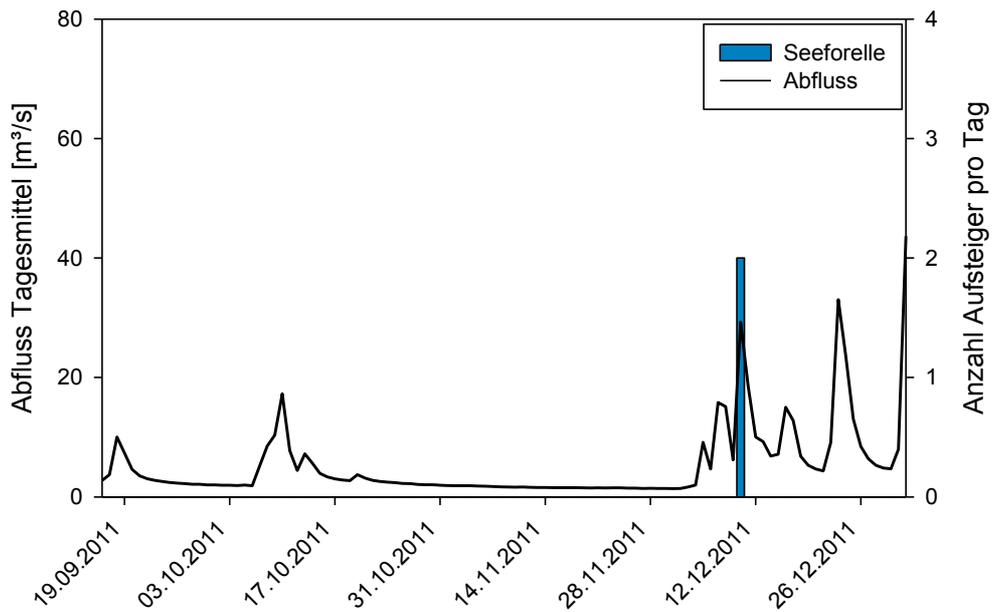


Abb. 5.17: Detektion der beiden Seeforellen in der Oberen Argen und Abfluss (linke Achse).

Der am 10.12.2011 detektierte Milchner konnte am 16.01.2012 noch einmal bei einer Kontrollbefischung in der Oberen Argen an dem für große Seeforellen nicht durchgängigen Wehr bei Föhlschmiten (F-km 27,1) wiedergefangen werden (Abb. 5.18).



Abb. 5.18: Seeforellenmilchner, im Mühlkanal gefangen, in der Vereinigten Argen ausgesetzt, beim Einstieg in die Obere Argen detektiert und dort vor einer nur eingeschränkt funktionstüchtigen Fischwanderhilfe wiedergefangen.

Das Männchen wies Verletzungen an der Schwanzflosse auf, die auf die Überwindung längerer flacher Flussabschnitte hindeuten. Bis zum Abbau der Schleife Anfang April 2012 kam es zu keiner weiteren Detektion der beiden Aufsteiger, was beim Rogner wahrscheinlich auch am Verlust des Transponders während des Ablaichens lag. Der Milchner verweilte erwiesenermaßen mindestens 46 Tage im Argen-System.

5.2.3 Kontinuumsanalysen

Das erste Wanderhindernis der Argen besteht bei Niederwasser- und Normalabflüssen bereits im Auffinden der Mündung. Der Mühlkanal, der ausgeleitetes Wasser der Argen führt (vgl. Abb. 5.2 & 5.20) und in rund 980 m Entfernung getrennt von der Argen in den See mündet, weist eine starke Lockströmung für aufstiegsbereite Seeforellen auf. Die Argen selbst mündet aufgrund des geringen Gefälles im Unterlauf, der reduzierten Wassermenge und dem Rückstau aus dem See ohne merkliche Strömung in den See. Der Mühlkanal ist für den Seeforellenaufstieg aber eine Sackgasse, bei der aufgrund der räumlichen Verhältnisse im Siedlungsgebiet die Errichtung einer Fischwanderhilfe auch künftig nicht möglich sein wird (Abb. 5.20). Immerhin besitzt das entsprechende Kleinkraftwerk nun einen gefahrlosen Abstiegsweg. Dass der Mühlkanal aufsteigende Seeforellen von der eigentlichen Argenmündung ablenkt, ist lange bekannt (RÖSCH; KONRAD, pers. Mitt.) und konnte durch unsere Untersuchungen noch einmal bestätigt werden. Die am 02.12.2012 gefangenen sechs Seeforellen waren die Hälfte aller Seeforellen, die in zwei Jahren im gesamten Argensystem gefangen wurden. Wegen dieses Problems erfolgte die kumulative Betrachtung der Fischaufstiegshindernisse in der Argen für den Fluss selbst und den Kanal getrennt.

Haben die Seeforellen den Einstieg in die Argen gefunden, müssen sie 20 Rampen im begradigten Unterlauf der Argen passieren (Abb. 5.19, 5.25). Einzeln erweisen sich diese Rampen als ungehindert überwindbar (BLASEL, 2003), als Kette von Hindernissen dürften sie jedoch nicht von allen aufstiegs-willigen Seeforellen passiert werden, da der Aufstieg von den Fischen sehr viel Energieaufwand ab-verlangt.



Abb. 5.19.: Die Sohlrampen in der vereinigten Argen sind zwar einzeln gut überwindbar, aber auch Seeforellen haben einen hohen Energieaufwand bei der Überwindung aller 20 Rampen.



Abb. 5.20: Aufstiegsgrenze Kleinkraftwerk im Argen-Kanal (abgelassen). Hier existiert keine Fischwanderhilfe.

Etwa ab der Gießenbrücke (F-km 6,1) folgt in der Argen bis zur Aufzweigung in die Zuflüsse (F-km 23,2) allerdings kein problematisches Hindernis mehr.

In der Oberen Argen befindet sich eine Ausleitungsstrecke bei Föhlschmitt (F-km OA 27,1), die bei geringem Abfluss zu Schwierigkeiten beim Aufstieg führen dürfte. Viel problematischer ist aber das Wehr bei dieser Ausleitung, das trotz eines technischen Umgehungsgerinnes für große Seeforellen bereits nach 3,7 km in der Oberen Argen kaum überwindbar sein dürfte, da das mit Störsteinen abgepflasterte Raugerinne nur für kleinere Fische dimensioniert ist (Abb. 5.21). Sollte es einer adulten Seeforelle bei sehr hohem Abfluss gelingen, den Fischpass zu überwinden, folgt 2,4 km weiter flussauf am Wehr des Sägewerks bei Hiltensweiler das endgültige Aufstiegshindernis (Abb. 5.21). Es gibt zwar auch hier eine Fischaufstiegshilfe in Form eines sog. Rhomboid-Fischpasses, der von EICHERT & STRAUS 1990 noch als „durchwanderbar“ eingestuft wurde. Zwischenzeitlich sind die hölzernen Beckensegmente verwittert, aber auch aufgrund des Einstiegs mit schlechter Lockströmung, der geringen Wassermenge und des hohen Gefälles konnte diese FAH wahrscheinlich immer nur von kleineren schwimmstarken Fischen überwunden werden. In der Folge bestehen weitere unüberwindbare Hindernisse, die im Rahmen des Projekts aber nicht mehr begutachtet wurden.



Abb. 5.21: Das technische Umgehungsgerinne in Föhlschmitt ist zumindest für Seeforellen kaum überwindbar.



Abb. 5.22: Das Wehr beim Sägewerk Hiltensweiler bildet ein unüberwindliches Hindernis. Der alte, steile Rhomboid-Fischpass ist nicht mehr funktionsfähig.

In der Unteren Argen befindet sich unmittelbar oberhalb des Zusammenflusses mit der Oberen Argen eine Ausleitungsstrecke bei Pfügelberg (F-km 0,8). Der Rücklauf ist sehr kurz und daher vermutlich kein schwerwiegendes Hindernis. In Niederwasserphasen ist die Ausleitungsstrecke für die Wanderung großer Seeforellen allerdings zu flach. Zudem bildet in Zeiten mit geringem Abfluss die in die Ausleitungsstrecke einmündende Haslach, die natürlicherweise nicht für große Wanderfische durchgängig ist, eine stärkere Lockströmung aus als die Untere Argen selbst. Im Mündungsbereich der Haslach wurden während der Niederwasserphasen zwei der drei Seeforellen aus der Unteren Argen gefangen. In die Haslach selbst können wegen künstlicher und natürlicher Aufstiegshindernisse keine Seeforellen einsteigen (Abb. 5.23). Bei erhöhtem Abfluss ist einer der drei Arme der Restwasser-

strecke mit neuer Fischwanderhilfe gut überwindbar. Die Pflichtwasserabgabe selbst ist allerdings zu gering bemessen – insbesondere während der Wander- und Laichperiode der Seeforelle.

Die ca. 770 m lange Ausleitungsstrecke Kernaten (F-km 3,9 bis 4,7) führt nur sehr wenig Wasser und ist ebenso wie eine in dieser Strecke gelegene raue Rampe ohne höheren Abfluss nicht passierbar. Eine weitere während Niedrigwasserphasen für die Durchwanderbarkeit kritische Ausleitungsstrecke befindet sich bei Herfatz/Beutelsau (F-km 15,1). Der relativ neue Fischpass ist ausreichend dimensioniert und als funktionstüchtig einzustufen (belegt durch Fänge großer RBF im Pass). Ein für alle Fischarten unüberwindbares Wehr befindet sich letztendlich bei Neumühle (F-km 23,5, 46,7 ab See) – am derzeitigen Ende der Seeforellen-Wanderung konnte bei der Elektrobefischung am 10.11.2010 ein laichbereiter Rogner nachgewiesen werden (Abb. 5.24). Oberhalb „Neumühle“ befinden sich noch weitere künstliche Hindernisse, die im Rahmen des Projekts aber nicht mehr begutachtet wurden.



Abb. 5.23: In die bei Pfügelberg mündende Haslach können wegen künstlicher und natürlicher Aufstiegshindernisse keine Seeforellen einsteigen.



Abb. 5.24: Das Wehr Neumühle besitzt keine Fischwanderhilfe und stellt nach rund 47 Fließ-km die heutige Aufstiegs Grenze von Seeforellen in der Argen dar.

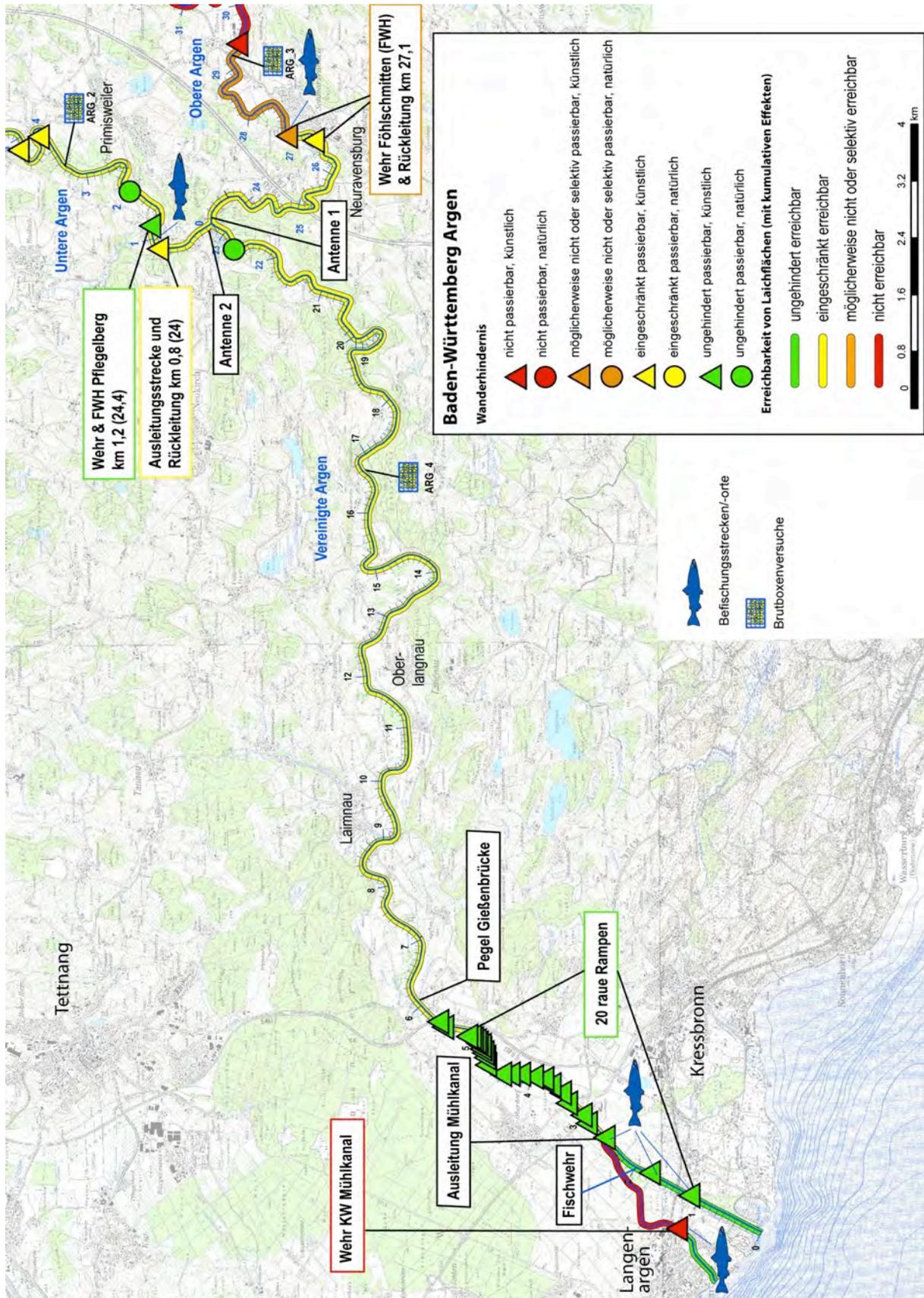


Abb. 5.25a: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Flussabschnitte der Argon sowie der untere Abschnitte von Oberer und Unterer Argon. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

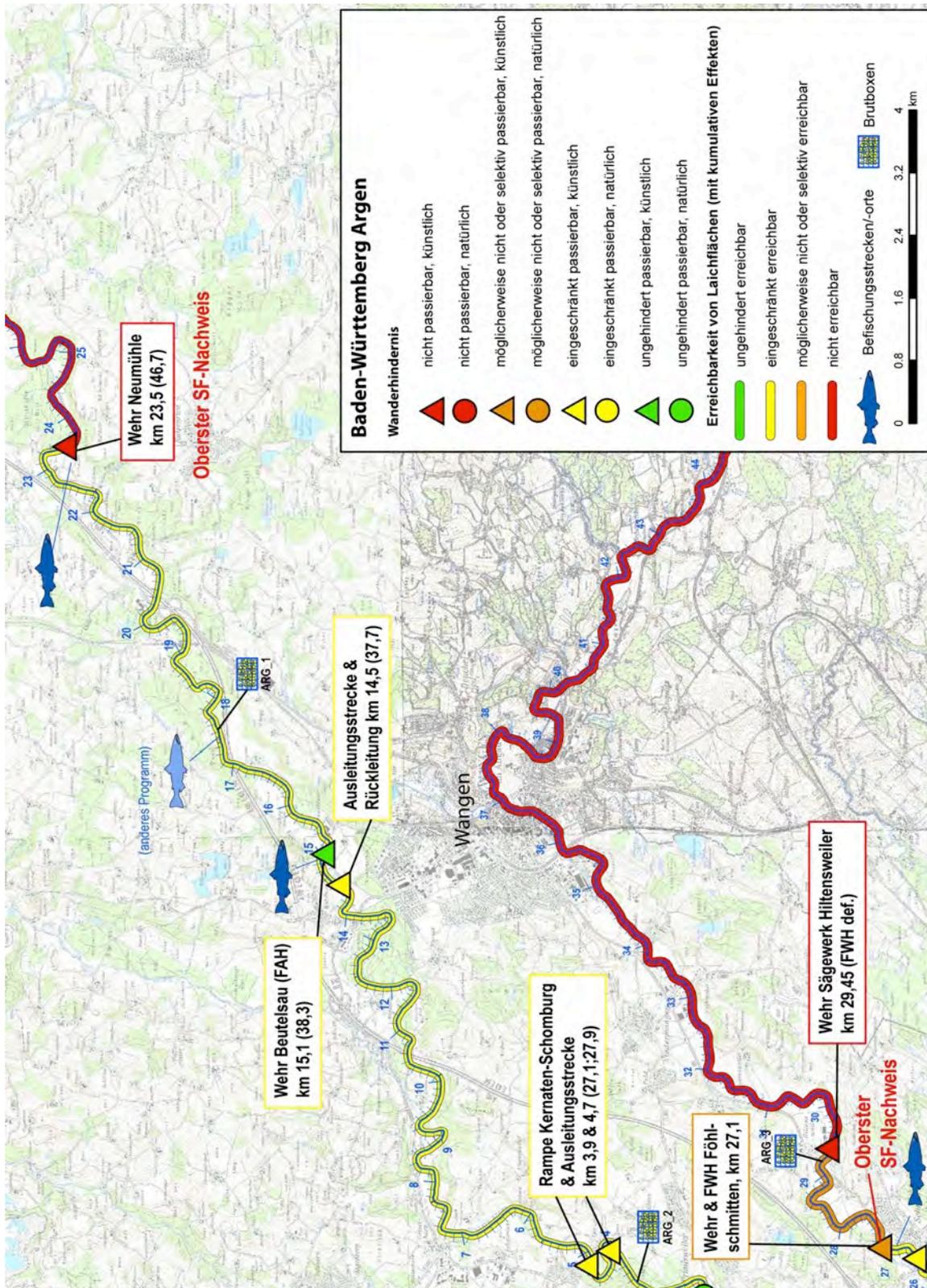


Abb. 5.25b: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Flussabschnitte der Argon sowie der untere Abschnitte von Oberer und Unterer Argon. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

5.3 Reproduktion und Habitatanalysen

5.3.1 Laichflächen

Ab Mitte September 2010 wurden die potenziellen Laichflächen und deren Eignung für die Reproduktion auf rund 41,5 km Flusslänge kartiert. Dabei wurden die gesamte vereinigte Argen (ca. 23,2 km) sowie die Obere Argen bis über das endgültige Wanderhindernis bei Hiltensweiler hinaus kartiert (7,5 km). In der Unteren Argen wurden 11,5 km kartiert, das endgültige Hindernis bei Neumühle wurde nicht erreicht – es war jedoch ersichtlich, dass potenziell geeignete Laichflächen in diesem Zufluss nicht limitiert sind (Abb. 5.26).

Im Zuge der Kartierungen potenzieller Laichflächen wurden 48.200 m² als potenzielles Laichsubstrat kategorisiert, wovon 10.600 m² als geeignet und 37.600 m² als mögliche Laichflächen eingestuft wurden, die – wie in Tab. 5.1 dargestellt – von Seeforellen erreichbar waren.

Tab. 5.1: Ergebnisse der Laichflächenkartierung in der Argen

Erreichbarkeit	Eignung als Laichhabitat	Anzahl	Fläche Laichsubstrat (m ²)
Ungehindert erreichbar	Geeignet	0	-
	Möglich	3	11000
Eingeschränkt erreichbar	Geeignet	37	10500
	Möglich	119	26300
Möglicherweise nicht oder selektiv erreichbar	Geeignet	7	150
	Möglich	7	300

Insgesamt wurden auf ca. 4,6 % der Gerinnefläche der Argen potenzielles Laichsubstrat gefunden:

Kartierte Länge (km)	Potenzielles Laichsubstrat (m ²)	Kartierte Fläche (m ²) - geschätzt	Anteil Laichsubstrat an Gesamtfläche - geschätzt
41,5	48.200	1.037.500	4,6%

Die im Folgenden vorgestellten Brutboxenversuche zeigen, dass eine einmalige Kartierung potenzieller Laichflächen ein falsches Bild bezüglich des Reproduktionspotenzials ergeben kann, da dabei die Dynamik der Kiesflächen im Hochwasserfall nicht berücksichtigt werden kann.

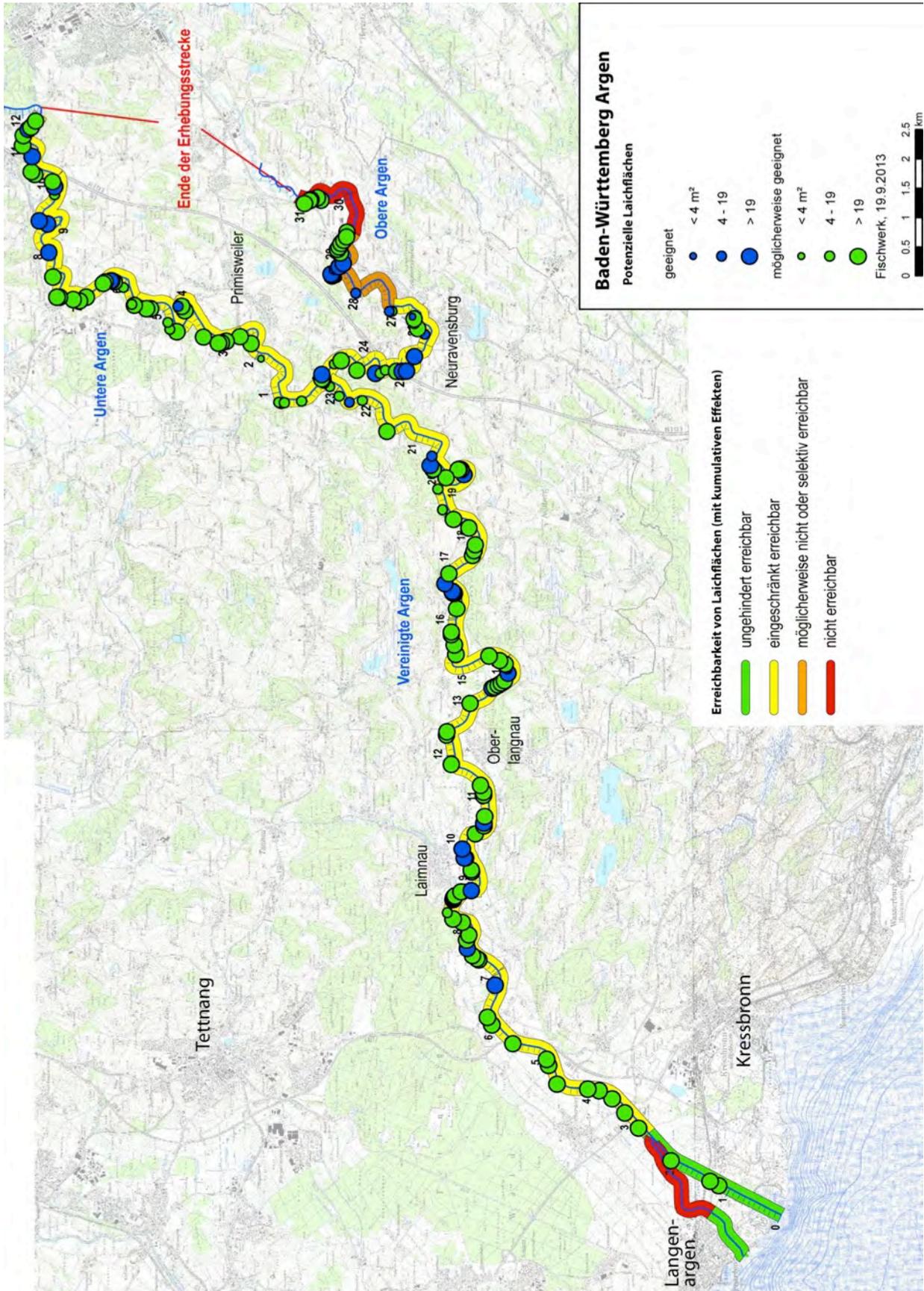


Abb. 5.26: Karte mit potenziellen Laichhabitaten im Argensystem. Farblich hinterlegt ist die Erreichbarkeit der Laichflächen.

5.3.2 Brutboxen-Versuche

Die Untersuchungen wurden im Winter 2010/11 mit grünen Eiern aus der Fischbrutanstalt Rorschach und mit Eiern im Augenpunkt-Stadium aus der Fischbrutanstalt Langenargen durchgeführt. Die Brutboxen wurden an folgenden Probestellen exponiert (Tab. 5.2):

Tab. 5.2: Brutboxenversuche und Probestellen an der Argen.

Probestellenkürzel	Koordinatenangaben (WGS-84)		Beschreibung der Lage	
Arg_1 (F-km UA 17,5)	47.698436° / 9.797054° bis 47.698805° / 9.796518°		Untere Argen bei Wangen-Nieratzerbad oberhalb der Autobahnbrücke	
Arg_2 (F-km UA 3,3)	47.672855° / 9.755393° bis 47.672342° / 9.755019°		Untere Argen im Bereich unterhalb Kernaten	
Arg_3 (F-km OA 29,2)	47.651182° / 9.776853° bis 47.650674° / 9.778288°		Obere Argen unterhalb dem Wehr Gebrüder Bernhard Holzindustrie	
Arg_4 (F-km 16,8)	47.635503° / 9.697219° bis 47.634872° / 9.696420°		Vereinigte Argen im Bereich Neukirch- Summerau	
Probestellen	Eityp	Expositionsdatum	Brutgefäße & Bestückung	Kontrollen
Arg_3	Grün	17.12.2010	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	10.02.2011
Arg_4	Grün	16.12.2010	6 Brutröhrchen à 20 Eier	10.02.2011
Arg_1, Arg_2, Arg_3, Arg_4	Augen- stadium	10.02.2011	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	23.03.2011 14.04.2011

Wassertemperatur und Abflusssituation

Die Aufzeichnungen der Wassertemperaturen zeigten keine für die Entwicklung von Salmonidenbrut kritischen Extremwerte. Bereits im April 2011 wurden an der Probestelle Arg_1 allerdings schon Temperaturen von über 12 °C gemessen. Auch die Ausprägung und Regelmäßigkeit von Tag-/Nachtschwankungen waren im April am höchsten.

Im System der Argen traten im Winter 2010/11 während des Brutversuch-Zeitraums zwei ausgeprägte Abflussspitzen am 13.01.2011 und am 18.03.2011 auf. Beide Ereignisse, insbesondere das im Januar, führten zu ausgeprägten Substratumlagerungen an den Untersuchungsstellen. Derartige Abflussspitzen treten im Zeitraum von Dezember bis Ende April fast jeden Winter auf, daher kann der Untersuchungswinter bezüglich des Abflusses als repräsentativ gewertet werden.

Überlebensraten

Die Überlebensraten an den einzelnen Probestellen sind in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Die weitere Betrachtung erfolgt getrennt nach Probestellen.

Tab. 5.3: Zusammenstellung der Brutversuchsergebnisse im Gewässersystem der Argen. Termine (Exposition und Kontrollen) siehe Tab. 5.2.

Untersuchungswinter 2010/11 – Verwendung grüner Eier			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (10.02.2011)	2. Kontrolle
Arg_3 (F-km 29,2 OA) (Exposition am 17.12.2010)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	0% (Verlust)	-
Arg_4 (F-km 16,8) (Exposition am 16.12.2010)	6 Brutröhrchen	0% (Verlust)	-
Gesamtergebnis	grüne Eier	0%	
Untersuchungswinter 2010/11 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (23.03.2011)	2. Kontrolle (14.04.2011)
Arg_1 (F-km 17,5 UA) (Exposition am 10.02.2011)	4 Brutröhrchen	0% (Verlust)	-
	1 Brutröhrchen	0% (geborgen)	-
	1 Brutröhrchen	25%	-
	1 WV-Box	32,5%	-
	1 WV-Box	-	15%
Arg_2 (F-km 3,3 UA) (Exposition am 10.02.2011)	6 Brutröhrchen 1 WV-Box	0% (Verlust)	-
	1 WV-Box	10%	-
Arg_3 (Exposition am 10.02.2011)	1 Brutröhrchen	0% (Verlust)	-
	4 Brutröhrchen	0% (geborgen)	-
	1 Brutröhrchen	55%	-
	1 WV-Box	45%	-
	1 WV-Box	100%	-
Arg_4 (Exposition am 10.02.2011)	6 Brutröhrchen 1 WV-Box	0% (Verlust)	-
	1 WV-Box	2,5%	-
Gesamtergebnis	Augenpunkteier	ca. 9%	

Probestelle Arg_1 – Untere Argen bei Wangen-Nieratzbad, Fließ-km 17,5 (UA)

An der Stelle Arg_1 (Abb. 5.27, 5.28) wurden im Zeitraum vom 10.02.2011 bis zum 14.04.2011 leichte Substratumlagerungen dokumentiert. Die Auswirkungen des großen Hochwassers vom Januar 2011 konnten nicht überprüft werden, doch auch der erhöhte Abfluss im März 2011 führte zu Umlagerungen. So konnten bei der ersten Kontrolle vier der sechs exponierten Brutröhrchen nicht mehr gefunden werden (Tab. 5.3). Die beiden verbliebenen Röhrchen befanden sich noch in einer Lage ähnlich der bei der Exposition. Allerdings war die künstliche Laichgrube vollständig erodiert und nicht mehr als solche erkennbar. Eine der WV-Boxen war bis zur Oberkante freigelegt. Die zweite WV-Box befand sich noch immer in der Tiefe, in der sie exponiert wurde. Daher konnte diese für eine Kontrolle nahe am Emergenzzeitpunkt herangezogen werden (14.04.2011). Die Substratumlagerungen haben

demnach auch kleinräumig nicht alle Standorte beeinflusst und waren insgesamt nicht so ausgeprägt wie an den anderen Stellen im Argensystem.



Abb. 5.27: Probestelle Arg_1 bei Wangen-Nieratzbad (Fließ-km 17,5) Blick flussabwärts.



Abb. 5.28: Probestelle Arg_1, Blick flussabwärts. Im Vordergrund ist das kiesig-steinige Substrat gut zu erkennen.

In alle Bruteinheiten fand ein relativ starker Feinsedimenteintrag statt, besonders deutlich in die WV-Boxen (Abb. 5.29, 5.30). Insgesamt wurde an der Probestelle Arg_1 eine Überlebensrate von knapp über 10 % festgestellt, im Vergleich zu den anderen Probestellen im Argensystem der höchste Wert. Dieses Ergebnis dürfte an der vergleichsweise höheren Substratstabilität gelegen haben.



Abb. 5.29: Lebende Dottersacklarven aus einer WV-Box der Stelle Arg_1.



Abb. 5.30: Inhalt der am 23.03.2011 geborgenen WV-Box. Hier hatte sich viel Feinsediment eingelagert.

Probestelle Arg_2 – Untere Argen bei Kernaten, (Fließ-km 3,3, UA)

Auch an der Probestelle Arg_2 (Abb. 5.31, 5.32), gingen bis auf eine WV-Box sämtliche Bruteinheiten verloren, obwohl sie im strömungsgeschützteren Gleithang ausgebracht wurden. Erodierende Prozesse dürften die fehlenden Bruteinheiten erfasst haben. Die wiedergefundene WV-Box war bei der Kontrolle am 23.03.2011 stark von Feinsedimenten zugesetzt. Im Inneren konnten lediglich vier lebende Dottersacklarven festgestellt werden (Tab. 5.3). Die restlichen, verendeten Dottersacklarven waren zumeist noch orangefarben pigmentiert, was auf einen noch nicht zu weit zurückliegenden Todeszeitpunkt schließen lässt (Abb. 5.33, 5.34). Möglicherweise hat das Hochwasser vom

18.03.2011 zu einem Anstieg des Feinstoffeintrags beigetragen, der kritische Werte überschritten hat. Der Schlupferfolg vor dem Verenden der Larven hätte bei mindestens 75 % gelegen.



Abb. 5.31: Probestelle Arg_2 bei Kernaten, Blick flussabwärts.



Abb. 5.32: Probestelle Arg_2, Blick flussaufwärts.



Abb. 5.33: Die geöffnete Box zeigt einen starken Feinsedimenteintrag.



Abb. 5.34: Die meisten Dottersacklarven aus dieser Box sind relativ kurze Zeit vor der Kontrolle verendet.

Probestelle Arg_3 – Obere Argen unterhalb Wehr Bernhard Holzindustrie, Fließ-km 29,2 (OA)

Die Charge der Bruteinheiten an der Stelle Arg_3 (Abb. 5.35, 5.36) mit grünen Eiern ging durch ein Hochwasserereignis am 13.01.2011 (93 m³/s bei Pegel Epllings) vollständig verloren (Tab. 5.3). Bei diesem Hochwasser kam es zu starken Sedimentumlagerungen, bei denen sämtliche Brutröhrchen und WV-Boxen ausgegraben wurden. Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass auch die natürlich verlaichten Gelege in diesem Bereich vollständig zerstört wurden.

In einem weiteren Ansatz wurden hier am 10.02.2011 erneut Brutboxenversuche durchgeführt, dieses Mal mit Eiern im Augenpunktstadium. Bis zur Kontrolle am 23.03.2011 kam es wieder zu erhöhten Abflüssen, die aber nicht so ausgeprägt waren wie jene im Januar (57,9 m³/s am Pegel Epllings, 18.03.2011). Dabei fanden lediglich Sedimentauflagerungen in geringerem Umfang statt. Mit einer Ausnahme wurden alle Bruteinheiten wiedergefunden, wobei ein Röhrchen beim Versuch der Bergung von der Strömung erfasst wurde und verloren ging (Tab. 5.3).



Abb. 5.35: Probestelle Arg_3 bei Hiltensweiler, Blick flussaufwärts. Im Hintergrund ist die Wehranlage zu erkennen.



Abb. 5.36: Probestelle Arg_3, Blick flussabwärts.

Wiedergefundene und geborgene Bruteinheiten zeigten ein sehr unterschiedliches Bild. Abhängig vom Feinsubstrateintrag variierte der Schlupferfolg zwischen 0 und 100 %. Die Bruteinheiten dürften kleinräumig völlig unterschiedlichen Bedingungen im Interstitial ausgesetzt gewesen sein. Durch die umfangreichen Grabungen, die zum Auffinden der Bruteinheiten notwendig waren, wurde das Substrat so stark beeinflusst, dass sämtliche Bruteinheiten entnommen werden mussten.

Probestelle Arg_4 – Vereinigte Argen bei Neukirch-Summerau, Fließ-km 16,8



Abb. 5.37: Probestelle Arg_4 bei Summerau, Blick flussaufwärts.



Abb. 5.38: Probestelle Arg_4, Blick flussabwärts.

An der Stelle Arg_4 (Abb. 5.37, 5.38) wurde die erste Charge grüner Eier durch das Hochwasser vom 13.01.2011 vermutlich vollständig zerstört. Die vorgefundenen Substratumlagerungen waren derart massiv, dass eine erfolgreiche Entwicklung von Salmonidenbrut im Kieskörper ausgeschlossen werden kann.

Auch die Ergebnisse mit der zweiten Charge an Eiern an dieser Stelle dokumentieren eine hohe Substratmobilität. Selbst nach dem deutlich geringeren Hochwasser vom 18.03.2011 konnte trotz intensiver Grabungen lediglich eine WV-Box wiedergefunden werden (Tab. 5.3). In dieser Brutbox wurde lediglich eine lebende Dottersacklarve festgestellt (Abb. 5.39, 5.40). Die meisten der verendeten Dottersacklarven machten einen noch relativ frischen Eindruck. Ebenso wie bei der wieder-

gefundenen WV-Box an der Probestelle Arg_2 wurde auch hier ein starker Feinsedimenteintrag festgestellt, welcher möglicherweise im Zusammenhang mit dem Hochwasser vom 18.03.2011 steht.



Abb. 5.39: Diese WV-Box in geöffnetem Zustand. Auch hier ist eine starke Versandung zu erkennen.



Abb. 5.40: Verendete Dottersacklarven aus dieser WV-Box.

5.3.3 Natürliche Reproduktion

Im Zuge unserer Untersuchungen gelang kein Nachweis von Jungfischen aus natürlicher Reproduktion, allerdings wurden bisher auch in keinem Frühjahr gezielte Untersuchungen durchgeführt. Die im Rahmen der Befischungen nachgewiesenen Jungforellen bzw. Smolts geben keinen Hinweis auf Naturverlaichung. Bei Pfügelberg in der Unteren Argen konnten wir 2011 eine frisch geschlagene Seeforellenlaichgrube feststellen. Unterhalb des Wehrs bei Hiltensweiler laichten zahlreiche große Bachforellen, aufgrund von Substratumlagerungen kam es jedoch nicht zum Schlupferfolg.

5.3.4 Besatz

Im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen werden jährlich Seeforellen-Brütlinge und Sömmerlinge ins Argensystem besetzt (Abb. 5.41).

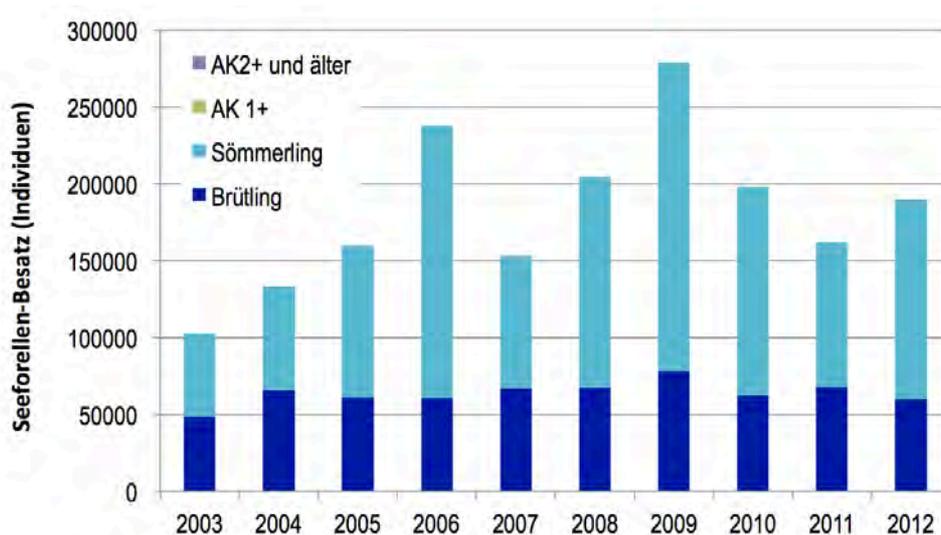


Abb. 5.41: Besatzzahlen von jungen Seeforellen ins Argensystem für die Jahre 2003 bis 2012.

Die meisten Besatzfische werden in die Untere und Obere Argen sowie in deren Zuflüsse ausgebracht, wobei die Zahlen jährlich zwischen 102.500 (2003) und 279.000 (2009) schwanken. Seit dem Jahr 2010 waren es durchschnittlich etwa 180.000 junge Seeforellen pro Jahr. Die Besatzzahlen junger Bachforellen sind weitgehend unbekannt, da diese von den Fischereivereinen besetzt werden.

Jungfischhabitate

Der Unterlauf der Argen bis zur Gießenbrücke ist als Habitat für Jungfische eingeschränkt geeignet, flussaufwärts verbessert sich die Situation erkennbar. Die Wassertemperaturen im Sommer erreichen regelmäßig über 20° C. In manchen Ausleitungsstrecken liegen die Temperaturverhältnisse und die Wasserführung deutlich außerhalb der Lebensraumoptima für junge Forellen. Insgesamt war die Bachforellen-Jungfischdichte in Argen, Oberer und Unterer Argen im Rahmen der Befischungen sehr gering (< 1 Ind./100 m Strecke). Lediglich im Mühlkanal konnten höhere Dichten junger Forellen (> 1 < 5 Ind./100 m Strecke) ermittelt werden.

5.4 Abwanderung

Im Rahmen der Befischungen auf aufwandernde Laichfische konnten vereinzelt auch Jungforellen (1+) gefangen werden. Bei Befischungen am 28.10.2010 im Mühlkanal wurden 19 juvenile Forellen gefangen; davon waren vier Forellen vom „Smolt-Typus“ (21%) und sechs vom intermediären Typus (31,6%). Am selben Tag wurden an den Rampen im Unterlauf der Argen zwei Forellen gefangen, jeweils um 23-25 cm lang und beide vom „Smolt-Typus“. Im April 2011 wurden im Hafen von Gohren unweit der Argenmündung zwei ca. 14 cm lange Forellen vom Typus „Bachforelle“ festgestellt, die möglicherweise aus der Argen in den See gewandert sein könnten. Ähnliche Beobachtungen wurden bereits von der Fischereiforschungsstelle gemeldet (RÖSCH, pers. Mitt.). Insgesamt sind juvenile Forellen unter 20 cm Länge im Argensystem jedoch spärlich vertreten. Lediglich beim Wehr in Föhlschmitten in der Oberen Argen konnten zahlreiche Jungforellen nachgewiesen werden, was wohl auf Besatz zurückzuführen ist.

Eine Untersuchung der Smoltabwanderung mit der PIT-Tag-Technologie war an der Argen aus technischen Gründen nicht möglich (> 25 m Flussbreite). Der Abstieg von Seeforellen-Smolts ist in der Argen aber weitgehend unproblematisch, auch wenn ein Teil der Fische durch den Mühlkanal abwandern können und somit den Turbinenweg passieren müssen (dieser ist nach geeignetem Umbau des Kleinkraftwerks mit Fischabstieg nun passierbar). In der Oberen und Unteren Argen bestehen an den Wehren und Ausleitungen – ähnlich wie in der Rotach – auch bezüglich des Abstiegs noch Defizite.

5.5 Fazit

In die vereinigte Argen steigen aus dem Bodensee derzeit nur wenige Seeforellen ein. Wir schätzen, dass ihre Gesamtzahl in manchen Jahren sogar unter 20 Tieren liegen dürfte, auch wenn immer wieder (bereits im Sommer) Individuen von Angelfischern gemeldet werden. Während der intensiven Unter-

suchungen im Winter 2011/2012 mittels Fischwehr gelangen in der Argen und ihren Zuflüssen – wie auch 2010 – nur drei Nachweise; allerdings müssen wir davon ausgehen, dass bei höheren Abflüssen einige Fische über das untergetauchte Wehr aufsteigen konnten. Im Argen- oder Mühlkanal, der getrennt vom Fluss in den See mündet und nach wenigen hundert Metern ein unpassierbares Wanderhindernis (KW) aufweist, wurden im Dezember 2011 sechs adulte Aufsteiger gefangen und markiert. Die anschließend in der Argen ausgesetzten Seeforellen lieferten wichtige Hinweise zu den Wanderwegen der Seeforelle im System. Trotz der geringen Individuenzahl gelangen Detektionen und Wiederfänge. Weiterhin gelangen auch Nachweise von aufgestiegenen Seeforellen am jeweilig endgültigen Aufstiegshindernis der beiden Zuflüsse (Untere Argen: Neumühle, F-km 46,7 ab See; Obere Argen: Föhlschmitt, 27,1 km vom See entfernt). Offensichtlich haben die Seeforellen in Jahren mit geringen Abflüssen im Herbst Schwierigkeiten, den Einstieg in den Hauptfluss zu finden. Sie steigen vermehrt in den wesentlich strömungsreicheren und wasserreichen Mühlkanal ein. Eine Herstellung der Durchgängigkeit im Mühlkanal ist aufgrund der räumlichen Restriktionen nicht möglich.

Die zahlreichen kurzen Sohlrampen im Unterlauf der Argen scheinen nach ihrem Umbau für Seeforellen gut überwindbar zu sein, obwohl davon auszugehen ist, dass sie in Summe den Fischen eine große Energieleistung abverlangen und einen Aufstieg zumindest verzögern. Einige Ausleitungsstrecken und Hindernisse in der Unteren Argen sind dagegen wohl nur bei höheren Abflüssen passierbar.

In der vereinigten Argen und den heute schon durchgängigen Abschnitten der Oberen und Unteren Argen kommt es im Rahmen von Winterhochwassern zu massiven Substratumlagerungen von eigentlich sehr gut geeignetem Laichsubstrat. Dies führt zu erheblichen Verlusten von naturverlaichten Gelegen, wie unsere Brutboxenversuche zeigen. Zwar wurden im Mittellauf der Unteren Argen weniger Umlagerungen festgestellt, aber auch diese führten noch zu Verlustraten an Eiern und Brütlingen von mehr als 80%. Trotz ihres eigentlich hohen Potenzials als Reproduktionsraum weisen die von Seeforellen erreichbaren Abschnitte der Argen also hydrologische Rahmenbedingungen auf, die eine natürliche Reproduktion bestenfalls punktuell und sicher nicht jedes Jahr ermöglichen.

5.6 Empfehlungen

Will man der Seeforelle eine Chance geben, sich im größten Bodenseezufluss Baden-Württembergs natürlich zu vermehren, muss man zweifellos weitere Untersuchungen der Lebensräume in den Oberläufen und den Zuflüssen der Argen durchführen und vor allem baldmöglichst die Erreichbarkeit solcher Strecken gewährleisten. Obwohl die Untere Argen bereits auf ca. 23,5 km Länge (bis Neumühle) durchgängig ist, muss auch hier – ähnlich wie an der Rotach – der gesamte Oberlauf erreichbar und auch flussab frei durchwanderbar werden. Hochwasser führen im Oberlauf zu geringeren Substratumlagerungen und somit zu höheren Reproduktionschancen für Seeforellen. Das gleiche gilt in noch ausgeprägterer Form für die Obere Argen, die für große Seeforellen bislang erst 3,7 km weit bis zum Wehr Föhlschmitt durchwanderbar ist.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erstellung der ungehinderten Durchgängigkeit für einsteigende Seeforellen bis in die Oberläufe von Oberer und Unterer Argen. Verbesserung des Aufstiegs Föhlschmitten. Verbesserung der Abwärts-Durchgängigkeit für absteigende Laichfische und Smolts
- Verbesserung der Auffindbarkeit der Mündung der Argen in den Bodensee trotz oder anstelle der Lockwirkung des Mühlkanals
- Bis zur Lösung des Aufstiegsproblems: Übersetzen im Mühlkanal abgefangener Laichfische in die vereinigte Argen (catch and carry)
- Entschärfung der Hochwasserspitzen im Unterlauf durch Gehölzentwicklung am Gewässerrandstreifen, Gerinneaufweitungen und Hochwasserretention im oberen Einzugsgebiet
- Erhöhung der Dotationen der Ausleitungsstrecken in der Oberen und Unteren Argen (Verbesserung der Durchgängigkeit, Vermeidung zu starker Erwärmung)
- Reduktion des anthropogen verursachten Feststoffeintrags (Überprüfung und wenn möglich Minderung der organischen Feinstoffeinträge aus Regenrückhaltebecken und Kläranlagen)
- Brutboxen-Versuche in Zuflüssen und Oberläufen zur Ermittlung geeigneter Laichplätze.

6 Ergebnisse Leiblach

Die Leiblach ist derzeit der für Seeforellen bedeutendste Zufluss des nördlichen Bodenseeeinzugsgebiets. Aus dem Laichfischfang liegen schon seit 1991 Zahlen von einsteigenden Seeforellen vor (Abb. 6.5). Systematische Untersuchungen zur Zahl der einwandernden Seeforellen und deren natürlichem Reproduktionserfolg fehlten bislang jedoch.



Abb. 6.1: Mündung der Leiblach



Abb. 6.2: Leiblach im Unterlauf (F-km 0,25)



Abb. 6.3: Naturnaher Abschnitt im Mittellauf der Leiblach (F-km 11,95)



Abb. 6.4: Seeforellenbefischung (F-km 12)

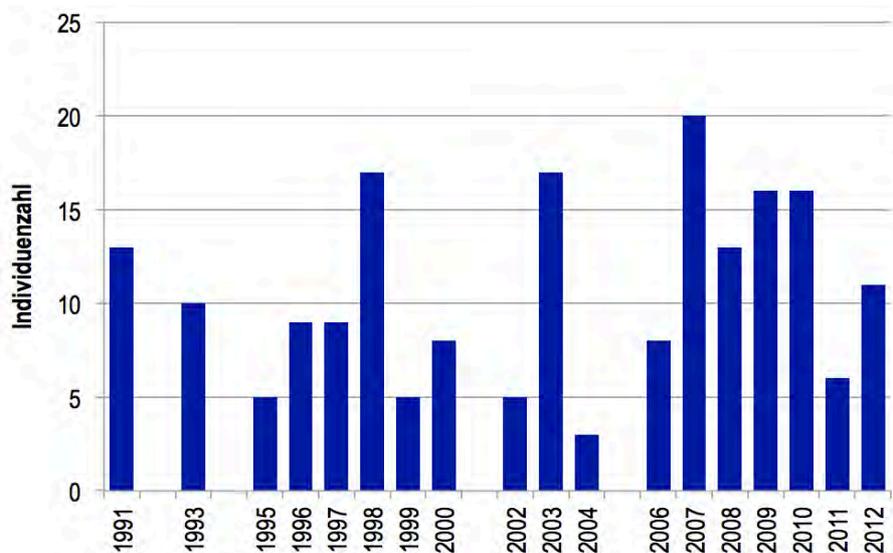


Abb. 6.5: Laichfischfangzahlen in der Leiblach für die Jahre 1991 bis 2012. Der Befischungsaufwand variierte. Jahre ohne Werte: kein Laichfischfang.

6.1 Hydrologie

6.1.1 Allgemeine Charakteristik

Das Abflussregime der Leiblach ist – wie jenes der anderen nördlichen Bodenseezuflüsse – pluvio-nival geprägt (Abb. 6.6). Das Einzugsgebiet ist 102 km² groß und der MQ (mittlerer Abfluss 1976-2009) liegt bei 3,3 m³/s. Auch hier gibt es typische, niederschlagsgeprägte Abflussspitzen während der Wintermonate (Dezember bis Mitte Januar). Das HQ₁₀ (statistisch zehnjährliches Hochwasser) beträgt 95 m³/s (Pegel Unterhochsteg). Obwohl der Höhengradient mit ca. 692 m bis 395 m ähnlich ist wie der von Rotach und Argen, sind die erhöhten Abflüsse im Frühjahr durch Schmelzwasser wegen dem höheren Anteil am nivalen Einzugsgebiet deutlicher ausgeprägt und halten auch länger an (Mitte März bis Ende Mai). Die Leiblach weist typische Niedrigwasserstände im Sommer und Herbst auf, das NQ (niedrigster Abfluss 1976-2009) liegt gar bei 0,1 m³/s. Aufgrund geringer Wassertiefen sind abschnitts-weise Einschränkungen für den Forellenaufstieg zu erwarten.

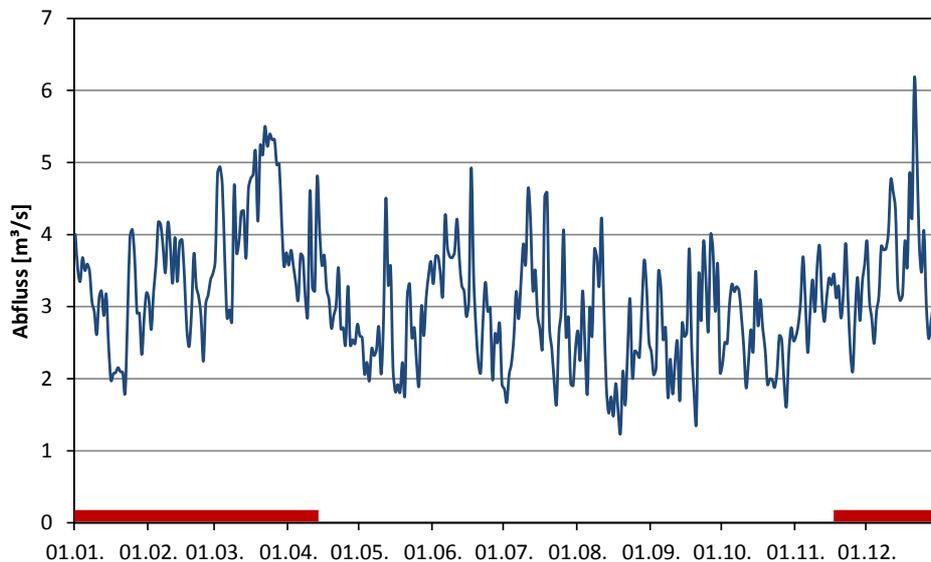


Abb. 6.6: Abflussregime der Leiblach (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1976-2009) am Pegel Unterhochsteg. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

6.1.2 Abflüsse im Untersuchungszeitraum

Der Abfluss der Leiblach war in den Jahren 2010 bis 2013 stark durch niederschlagsbedingte Hochwasser geprägt. Dabei fällt ein gehäuftes Auftreten im Sommer von Juni bis August auf (Abb. 6.7). Anders als in Rotach und Argen sind Winterhochwasser zwar weniger ausgeprägt, dennoch traten in jedem Winterhalbjahr Abflusswerte über 30 m³/s auf. Die stabilsten Abflussbedingungen während der Untersuchungsperiode herrschten jeweils von Mitte Februar bis Mitte Mai (Abb. 6.7).

Brutboxenversuche fanden von Januar bis April 2013 statt; bezüglich der Hochwasserabflüsse war die Untersuchungsperiode typisch für das Regeljahr. Die Smoltabwanderung wurde ebenfalls im Frühjahr 2013 untersucht. Die Arbeiten wurden durch ein knapp 100-jährliches Hochwasser Anfang Juni 2013

jäh beendet (144,6 m³/s am 02.06.2013 am Pegel Unterhochsteg; das offizielle HQ₁₀₀ der Leiblach wurde 2013 von 145 auf 155 m³/s erhöht).

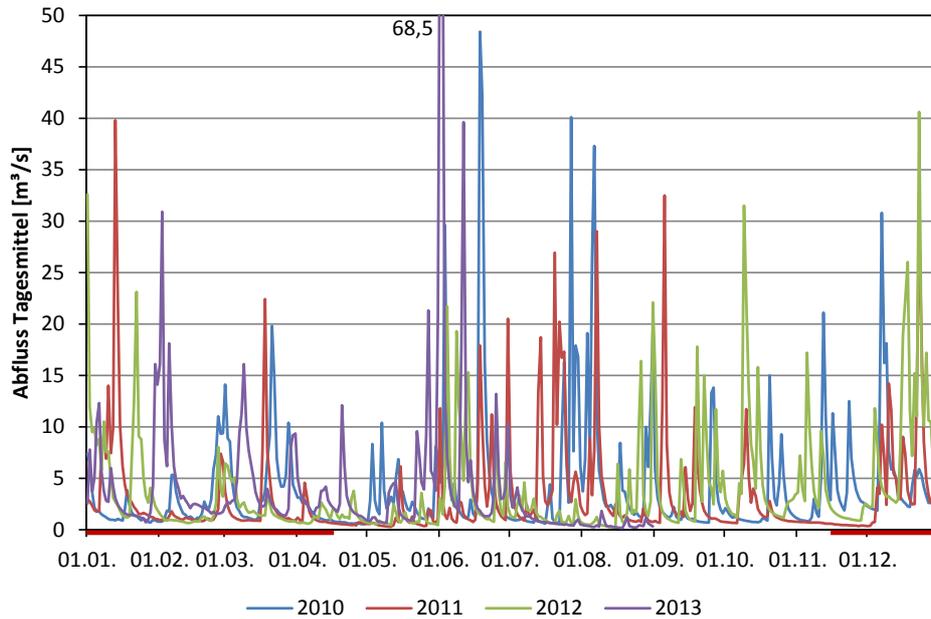


Abb. 6.7: Abfluss der Leiblach am Pegel Unterhochsteg für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

6.1.3 Temperaturregime

In der Leiblach liegen kontinuierliche Messwerte der Wassertemperaturen vom Pegel Unterhochsteg vor. Im Sommer treten dort regelmäßig Wassertemperaturen über 20° C auf, die im Sommer 2013 sogar knapp 25° C erreichten. Im Bereich über 20° C ist mit Beeinträchtigungen von Kaltwasserfischarten zu rechnen. Auf der anderen Seite treten in der Leiblach im Winter regelmäßig Temperaturen um den Gefrierpunkt auf, welche die Entwicklung von Laich zumindest verzögern könnten.

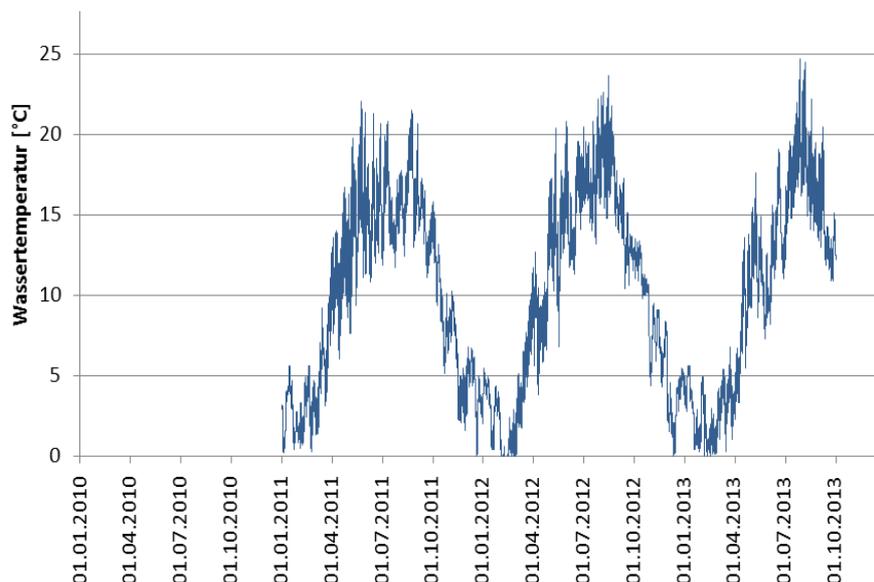


Abb. 6.8: Temperaturregime Leiblach am Pegel Unterhochsteg für die Jahre 2011 bis 2013.

6.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

6.2.1 Seeforellen-Einstieg

Der Einstieg der Seeforellen in die Leiblach wurde im Winter 2012/13 untersucht. Aufgrund der Erfahrungen während des Laichfischfangs durch die Staatliche Fischbrutanstalt Nonnenhorn war bekannt, dass der Einstieg der Laichfische stark von erhöhten Abflüssen abhängt. Die Befischungstermine im Herbst 2012 wurden deshalb bewusst auf Zeiträume nach hohen Abflüssen gelegt: Am 18.10.2012 konnte kurz nach einem ablaufenden Hochwasser (32 m³/s am 15.10.2012) gefischt werden. Der Termin am 15.11.2012 lag kurz nach zwei Hochwasserereignissen (27 m³/s am 05.11.2012 und 24 m³/s am 11.11.2012). Auch die letzte Befischung am 13.12.2012 fand kurz nach einem erhöhten Abfluss mit 15 m³/s statt (04.12.2012). An diesen drei Befischungsterminen konnten 42 Seeforellen gefangen werden, 37 davon wurden mit PIT-Tags besendert. Im Rahmen der drei Befischungen gelang lediglich ein Wiederfang.

Tab. 6.1: Befischungstermine und Seeforellen-Fangzahlen an der Leiblach.

Datum	Strecke	Seeforellen
18.10.2012	Zollbrücke, F-km 0,7 bis 0,9	1
18.10.2012	Brücke Oberhochstegstraße bis Sannwaldwehr F-km 2,55 bis 3,35	15
15.11.2012	Knochenmühle, F-km 11,9 bis 13,1	9
15.11.2012	Rickenbach, F-km 10,85 (300 m in Rickenbach)	5
15.11.2012	Bereich Reisachmündung, F-km 7,25 bis 7,75	5
13.12.2012	Brücke Oberhochstegstraße bis Sannwaldwehr F-km 2,55 bis 3,35	7*
Summe	Leiblach	42

* Es wurden nur zwei Milchener mit PIT-Tags markiert, die übrigen Fische wurden zur Laichgewinnung durch die Brutanstalt Nonnenhorn genutzt.

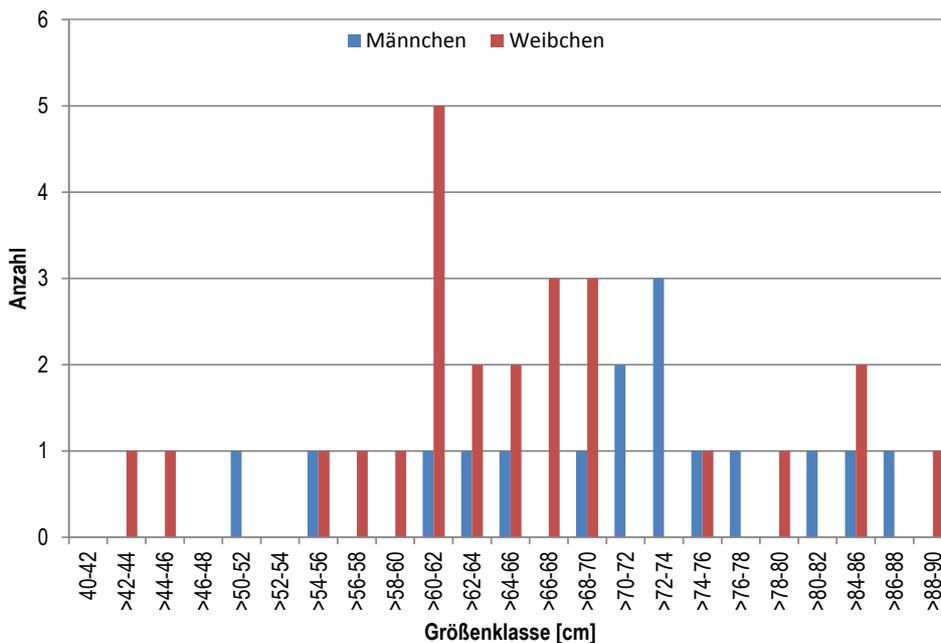


Abb. 6.9: Längenverteilung der 2012 in der Leiblach gefangenen Seeforellen.

Die Längenverteilung der 42 Einsteiger (16 Milchner, 26 Rogner) variierte zwischen 42 und 89 cm. Ein Großteil der Rogner war zwischen 60 und 70 cm lang, die meisten Milchner lagen im Größenbereich zwischen 65 und 75 cm (Abb. 6.9).

6.2.2 PIT-Tag-Detektionen und Wiederfänge

In der Leiblach wurde eine Detektorschleife oberhalb des Sannwaldwehrs bei Hörbranz (F-km 3,4) installiert, die vom 19.11.2012 bis zu einem Hochwasser mit 68 m³/s am 23.12.2012 betrieben wurde (im März 2013 erfolgte eine weitere Exposition zur Untersuchung des Smolt-Abstiegs). Insgesamt wurden an dieser Stelle in der vierwöchigen Betriebszeit 6 von 37 PIT-Tag-markierten Seeforellen detektiert (16,2 %). Fünf davon durchschwammen die Antenne bei erhöhten Abflüssen (Abb. 6.10):

- Ein Milchner mit einer Totallänge von 75,5 cm und einem Gewicht von 5,66 kg, der am 18.10.2012 unterhalb der Rampe des Sannwaldwehrs gefangen und besendert worden war, überquerte am 04.12.2012 die Antenne oberhalb des Wehres. An diesem Tag fand das erste größere Abflussereignis (15 m³/s) seit dem 05. und 11.11.2012 statt.
- Ein noch nicht laichreifer Rogner (63,5 cm, 2,86 kg) war am 15.11.2012 ca. 4 km flussaufwärts auf Höhe der Reisach-Mündung (F-km 7,6) markiert worden. Detektiert wurde er mehrfach vom 29.11.2012 bis zum 01.12.2012 und nochmals am 04.12.2012 oberhalb des Sannwaldwehrs (F-km 3,4). Der lange Aufenthalt in diesem Bereich deutet darauf hin, dass das Weibchen im Bereich seines Laichareals detektiert wurde. Interessant ist, dass der Fisch nach Fang und Markierung erst wieder ein Stück flussabwärts gewandert ist, um abzulaichen.
- Ein 54,5 cm langer Milchner mit einem Gewicht von 2,36 kg, der am 15.11.2012 an der Reisachmündung gefangen und besendert worden war (F-km 7,6), wurde am 17.12.2012 oberhalb des Sannwaldwehrs beim Abstieg detektiert.
- Ein weiterer 62,0 cm und 2,40 kg schwerer Milchner, der am 15.11.2012 im Rickenbach gefangen und besendert worden war, konnte am 20.12.2012 beim Abstieg detektiert werden.
- Ein unreifer 88,5 cm großer Rogner mit einem Gewicht von 8,91 kg wurde am 18.10.2012 unterhalb des Sannwaldwehrs gefangen und besendert. Das Weibchen wurde am 22.12.2012, kurz vor einem Hochwasser, beim Aufstieg oberhalb des Wehres detektiert.
- Am 23.12.2012 und 25.12.2012 wurde ein in der Leiblach markierter Milchner (69,0 cm; 4,70 kg) in der Mündung der Goldach detektiert (Abb. 6.12). Er war nach dem Fang am 13.12.2012 in die Fischbrutanstalt Nonnenhorn gebracht und gestreift worden. Am 17.12.2012 wurde er knapp unterhalb des Sannwaldwehrs wieder in die Leiblach ausgesetzt. Das Männchen hat daher den Abstieg aus der Leiblach und den Weg bis zur Goldachmündung in weniger als 10 Tagen zurückgelegt (15 km direkte Strecke, über 25 km entlang des Ufers).

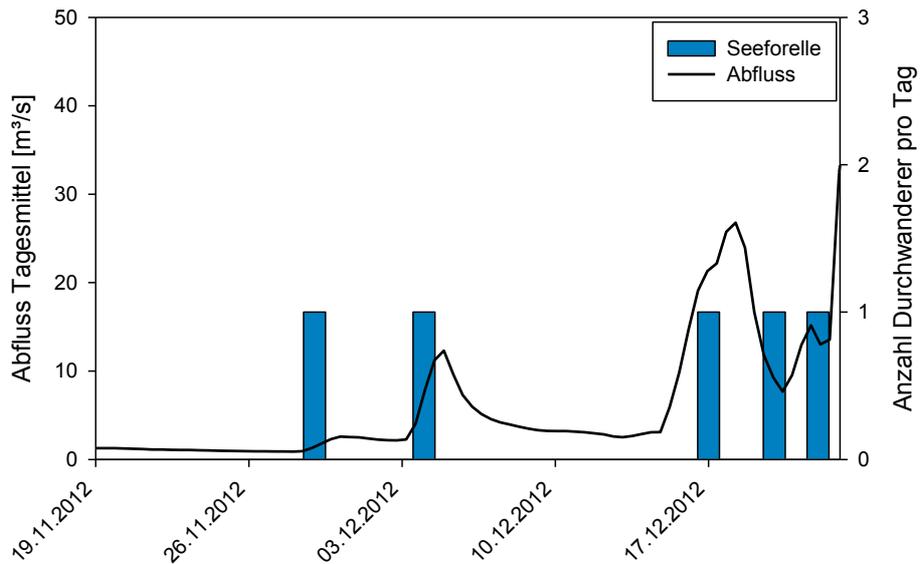


Abb. 6.10: Detektion von fünf Seeforellen-Laichfischen in der Leiblach in Abhängigkeit vom Abfluss. Die Abbildung beinhaltet sowohl Auf- als auch Absteiger.

Bei den Elektro-Befischungen oberhalb des Sannwaldwehrs am 15.11.2012 befand sich unter den 19 gefangenen Seeforellen keines der 16 bereits am 18.10.2012 unterhalb des Sannwaldwehrs markierten Tiere, obwohl zwischenzeitlich zwei Hochwasser die Aufwärtswanderung über die Hindernisse gefördert hätten. Am 13.12.2012 konnten eine am 18.10.2012 besenderte Seeforelle sowie sieben nicht besenderte Tiere unterhalb des Sannwaldwehrs gefangen werden. Das wiedergefangene, inzwischen verlaichte Weibchen verlor innerhalb der knapp zwei Monate 2,33 kg (- 28,9 %) an Gewicht (Abb. 6.11).

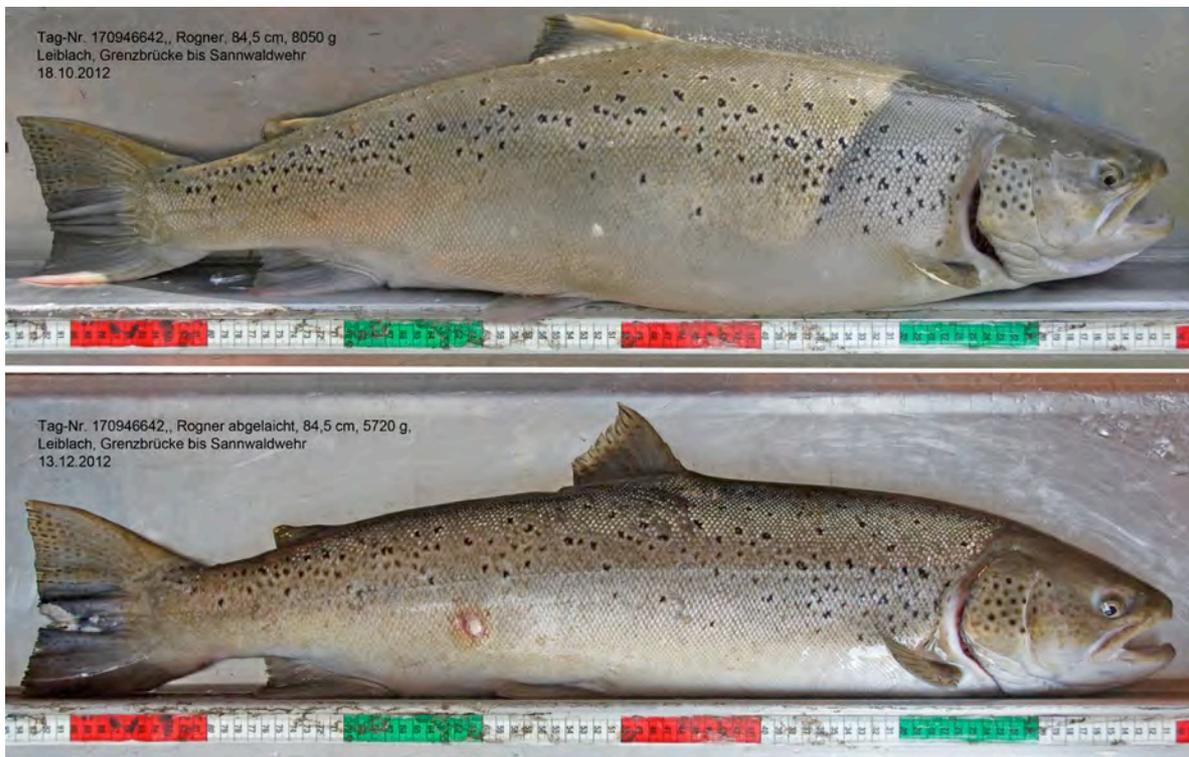


Abb. 6.11: Wiedergefangener, verlaichter Rogner, der innerhalb von zwei Monaten 2,33 kg an Gewicht verloren hat. Das Weibchen hatte beim Ablachen seinen Transponder verloren.

Am 13.12.2012 wurden in der Befischungsstrecke unterhalb des Sannwaldwehrs 12 Seeforellen-Laichgruben dokumentiert, eine davon ist vermutlich diesem Rogner zuzuordnen. Die geringe Wiederfangrate bei den Elektrobefischungen und die Tatsache, dass sich die Laichfische in der Leiblach nahezu über die ganze erreichbare Flussstrecke verteilen, deutet darauf hin, dass die tatsächliche Populationsgröße erheblich höher liegen dürfte als die bisherigen Fangzahlen belegen. Wir schätzen die Zahl der jährlichen Einsteiger deshalb auf 100 bis 250 laichbereite Seeforellen.

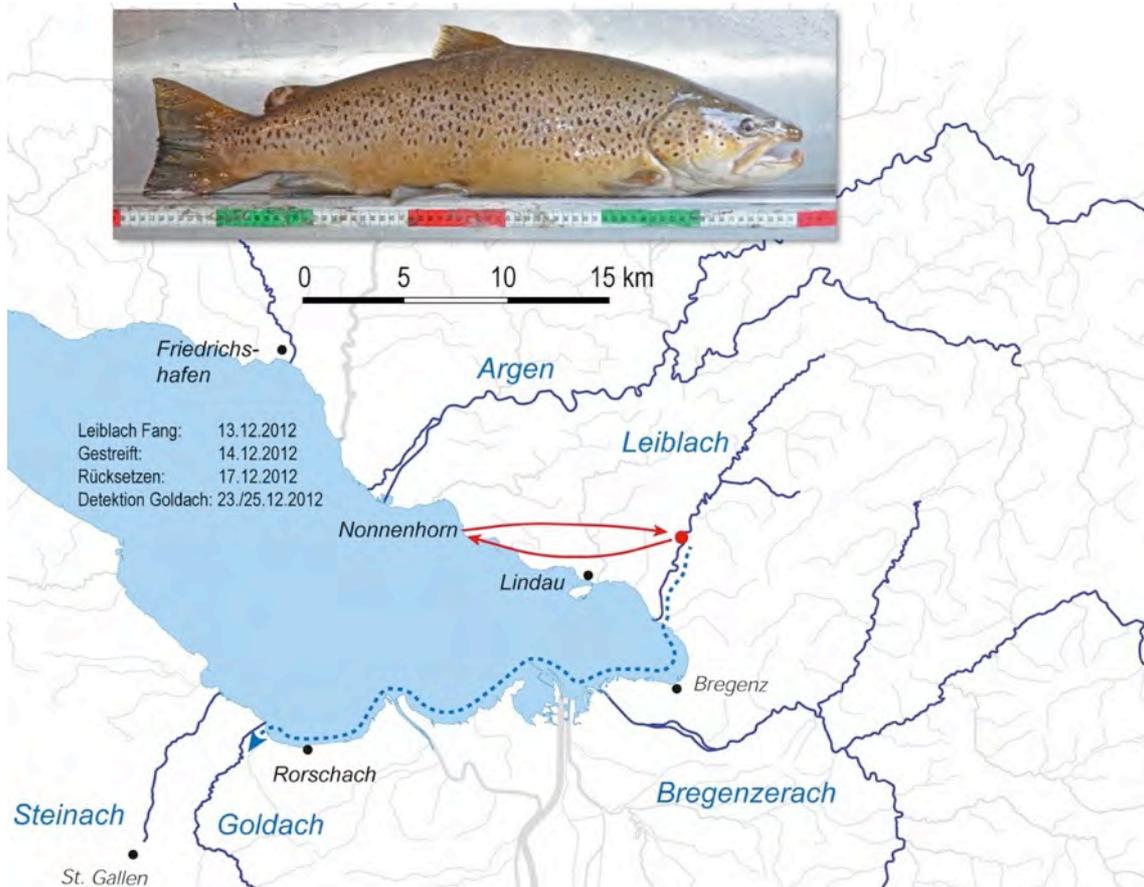


Abb. 6.12: Strayer aus der Leiblach mit Wiederfang in der Goldach.

6.2.3 Kontinuumsanalyse

Die Leiblach besitzt im Unterlauf mehrere Querbauwerke. Die Pegelschwelle flussauf der Mündung stellt kein Hindernis für aufstiegswillige Seeforellen mehr dar. Für andere Fischarten stellt sie noch immer ein nur eingeschränkt passierbares Hindernis dar. Mit dem Sannwaldwehr und einer direkt unterhalb liegenden Rampe verbleiben im Unterlauf zwei eingeschränkt passierbare Hindernisse (Abb. 6.20, 6.13 und 6.14). Bei Niedrigwasserabfluss sind die Rampen für große Seeforellen allerdings wohl nicht überwindbar. Das Sannwaldwehr besitzt zwar eine Fischaufstiegshilfe in Form eines vergleichsweise klein dimensionierten Raugerinnebeckenpasses, allerdings scheint der obere Ausstieg durch einen Rechen mit einem möglicherweise zu kleinen Fenster behindert. Zudem verlegt dieser Rechen regelmäßig mit Treibholz und Treibgut. Die recht hohe Anzahl an Seeforellenfängen oberhalb des

Sannwaldwehrs (19 Ind. auf ca. 1,45 km Befischungsstrecke) belegt aber, dass das Sannwaldwehr und die flussab gelegene Rampe zumindest bei höheren Abflüssen gut überwunden werden können.

Im Mittellauf befindet sich auf Höhe der Reisachmündung (F-km 7,6) eine weitere Rampe, die bei Niedrigwasser nur eingeschränkt überwindbar ist. Kurz flussab der Knochenmühle (F-km 13,1) liegen zwei natürliche Abstürze, die auch nur bei erhöhten Abflüssen überwindbar sind. Der natürliche Absturz bei der Knochenmühle nach 13,1 Flusskilometern ist aufgrund seiner Höhe von über 2,5 m Höhe auch bei Hochwasser nicht passierbar (Abb. 6.18). Dieser Absturz war bislang nicht als Hindernis in der Leiblach vermerkt (siehe Grundlagenbericht Seeforelle, REY et al. 2009). Ob sich das Hindernis aufgrund des aktuellen Geschiebedefizits und der sich dadurch immer weiter eintiefenden Leiblach so weit erhöht hat, dass es deswegen nicht mehr überwindbar ist, ist unklar. Eine Beurteilung weiter aufwärts liegender Aufstiegshindernisse (Abb. 6.19) und potenzieller Laichgebiete unterblieb daher. Der einzige größere Zufluss bis zur Knochenmühle ist der Rickenbach, der beim Einstieg eine Rampe aufweist, die bei Niedrigwasser eingeschränkt passierbar ist. Nach ca. 300 m folgt ein nicht mehr passierbares Wehr innerhalb einer kurzen Ausleitungsstrecke ohne Dotation (Abb. 6.20).



Abb. 6.13: Rampe unterhalb des Sannwaldwehrs (F-km 3,15).



Abb. 6.14: Rampe am Sannwaldwehr (F-km 3,3).



Abb. 6.15: Fischwanderhilfe am Sannwaldwehr (F-km 3,3).



Abb. 6.16: Oberer Ausstieg der Fischwanderhilfe mit Rechen (F-km 3,2).



Abb. 6.17: Überwindbare natürliche Stufen im Mittellauf der Leiblach (F-km 12,15).



Abb. 6.18: Die „Knochenmühle“ bei Hergensweiler (F-km 13,1) bildet das natürliche Ende des Seeforellenaufstiegs an der Leiblach.

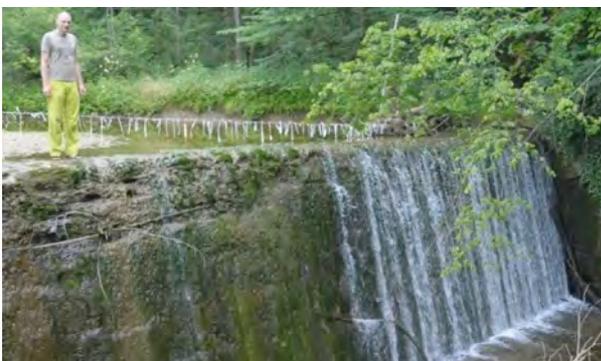


Abb. 6.19: Wehr im Oberlauf der Leiblach bei Meckatz.



Abb. 6.20: Aufstiegsgrenze im Rickenbach (F-km 0,3 Rickenbach).

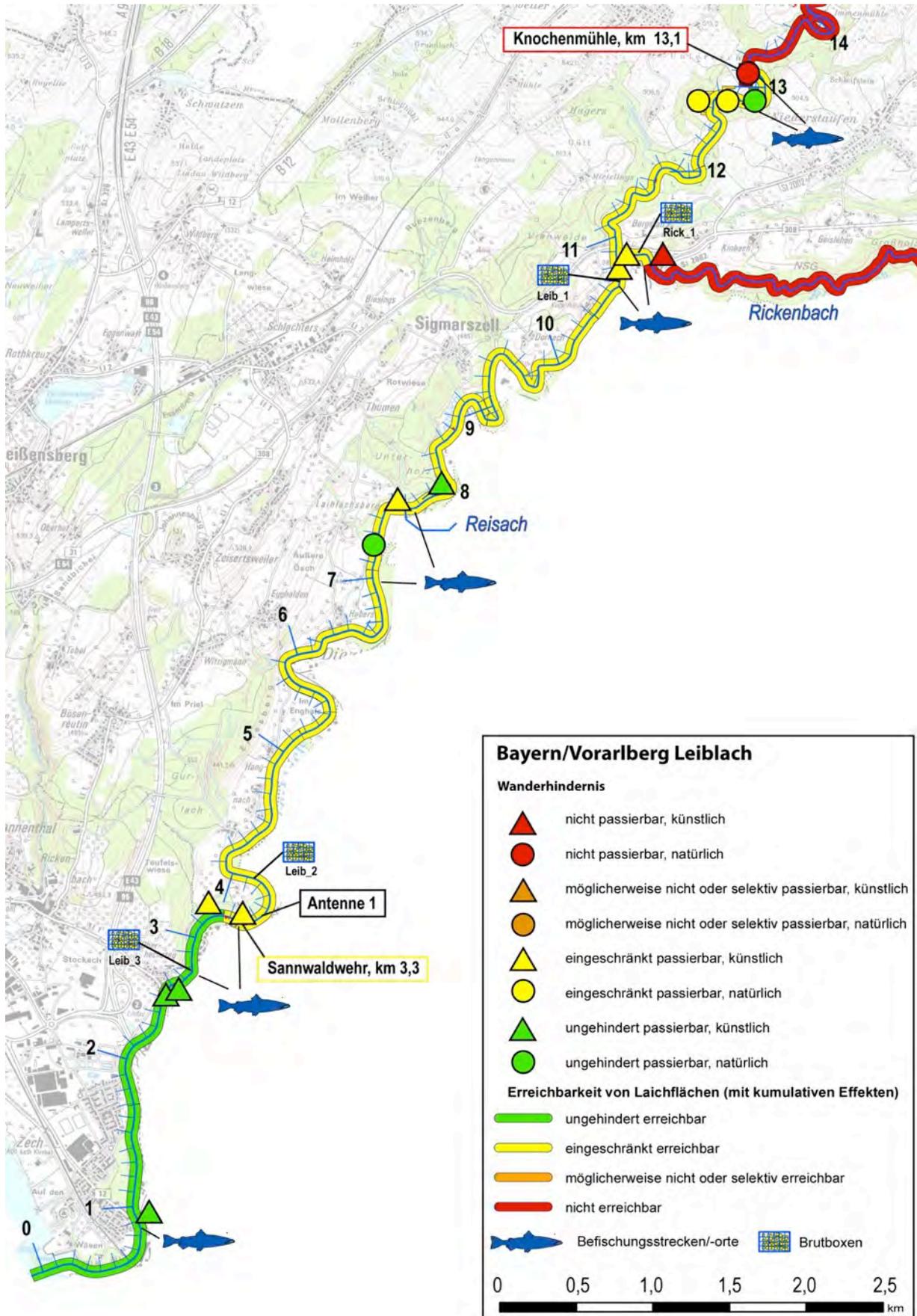


Abb. 6.21: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Bachabschnitte von Leiblach und Rickenbach. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

6.3 Reproduktion und Habitatanalysen

6.3.1 Laichflächenkartierungen

Im Sommer 2012 wurden die potenziellen Laichflächen und deren Eignung für die Reproduktion auf ca. 12,3 km Flusslänge kartiert. Dabei wurden die Leiblach und der Rickenbach bis zum endgültigen Wanderhindernis erfasst. In der Leiblach ist geeignetes Laichsubstrat nur spärlich vorhanden, aber auch die Zahl der möglichen Laichgebiete ist kleiner als z.B. in der Rotach, der Argen oder deren Zuflüssen. Geeignete Laichflächen umfassen meist nur wenige Quadratmeter (Abb. 6.24).



Abb. 6.22: In der Leiblach fehlt meist geeignetes Laichsubstrat (F-km 7,45).



Abb. 6.23: Die einzigen kiesreichen Abschnitte trifft man im Unterlauf und im Bereich des Sannwaldwehrs an (F-km 2,9).

Im Zuge der Kartierungen potenzieller Laichflächen bis zum natürlichen Aufstiegshindernis „Knochenmühle“ wurden 830 m² als potenzielles Laichsubstrat beurteilt, davon entfallen 700 m² auf geeignete und 120 m² auf mögliche Laichflächen, die wie folgt für Seeforellen erreichbar sind (Tab. 6.2):

Tab. 6.2: Ergebnisse der Laichflächenkartierung in der Leiblach

Erreichbarkeit	Eignung als Laichhabitat	Anzahl	Fläche Laichsubstrat (m ²)
Ungehindert erreichbar	geeignet	7	120
	möglich	11	150
Eingeschränkt erreichbar	geeignet	1	5
	möglich	62	560

Insgesamt wurden in der Leiblach nur knapp 0,7 % der kartierten Fläche als potenzielles Laichsubstrat beurteilt. Dieser geringe Anteil spiegelt auch das Geschiebedefizit über weite Abschnitte wider:

Kartierte Länge (km)	Potenzielles Laichsubstrat (m ²)	Kartierte Fläche (m ²) - geschätzt	Anteil Laichsubstrat an Gesamtfläche - geschätzt
12,3	830	11.0700	0,7%

Die einmalige Kartierung potenzieller Laichflächen berücksichtigt die Dynamik der Kiesflächen im Hochwasserfall nicht und kann ohne Brutboxenversuche zu falschen Schlüssen führen.

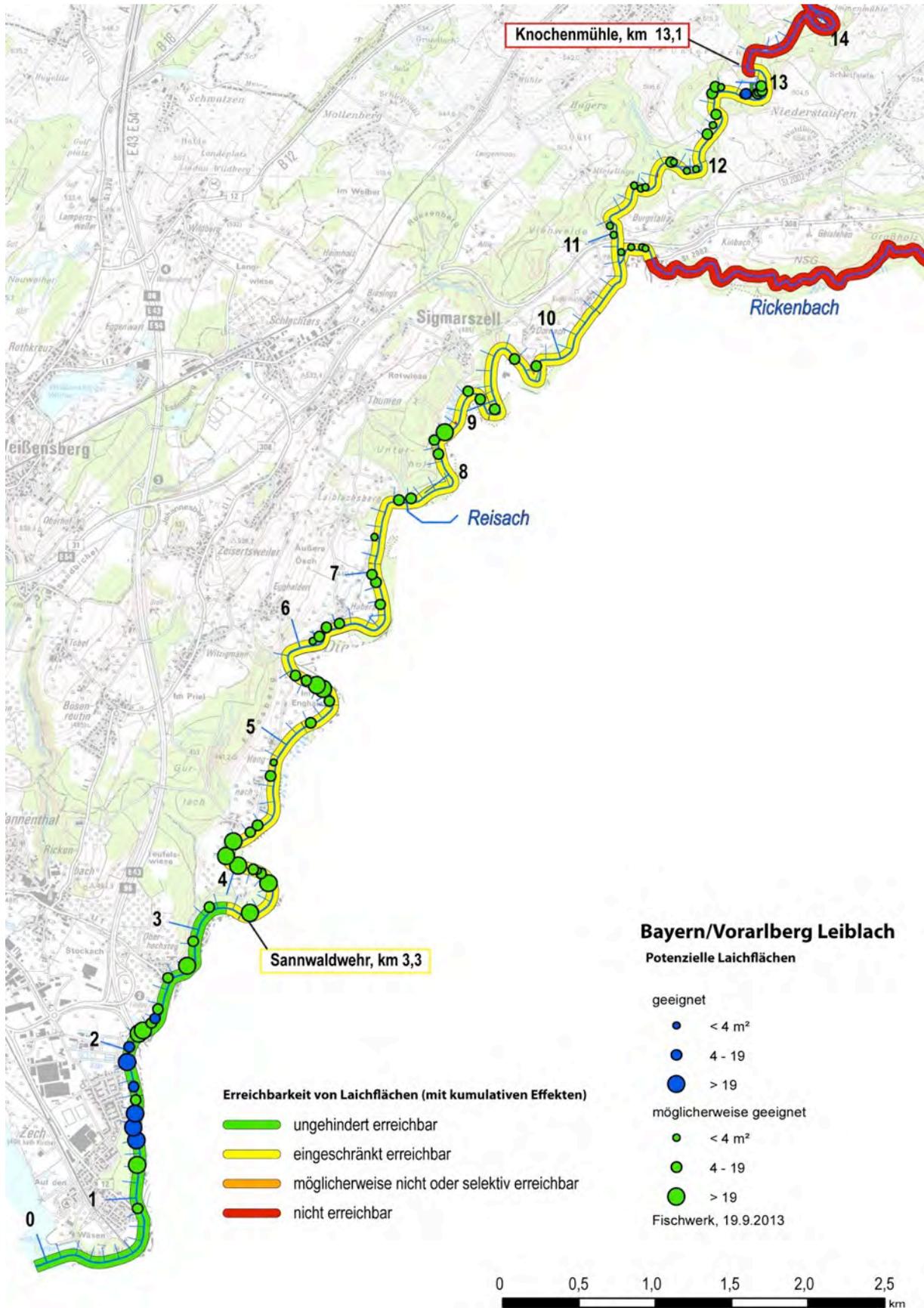


Abb. 6.24: Potenzielle Laichflächen von Leiblach und Rickenbach. Farblich hinterlegt ist die Erreichbarkeit der Laichflächen.

6.3.2 Brutboxen-Versuche

Die Brutboxenversuche wurden im Winter 2012/13 mit grünen Eiern und Augenpunkteiern der Fischbrutanstalt Nonnenhorn durchgeführt. Die jeweiligen Chargen konnten erst Mitte Januar exponiert werden, so dass sich die Entwicklungszeit der Eier länger hinauszögerte als in den anderen untersuchten Gewässern. Die Brutboxen wurden an folgenden Probestellen exponiert (Tab. 6.3):

Tab. 6.3: Brutboxenversuche und Probestellen an der Leiblach

Probestellenkürzel	Koordinatenangaben (WGS-84)		Beschreibung der Lage	
Rick_1 (F-km 0,2 Ri)	47.595192° / 9.776733° bis 47.594815° / 9.776557°		Rickenbach ca. 50-100 m oberhalb Mündung in die Leiblach. Leiblach-Zufluss zwischen Sigmarszell und Niederstauen	
Leib_1 (F-km 10,85)	47.594781° / 9.776112° bis 47.594640° / 9.776162°		Leiblach direkt oberhalb Rickenbachmündung	
Leib_2 (F-km 3,85)	47.557563° / 9.745847° bis 47.557066° / 9.746785°		Leiblach im Bereich Hörbranz oberhalb des Sannwaldwehrs	
Leib_3 (F-km 2,75)	47.551780° / 9.740645° bis 47.551534° / 9.740297°		Leiblach im Bereich Oberhochsteg unterhalb des Sannwaldwehrs (Restwasser)	
Probestellen	Eityp	Expositionsdatum	Brutgefäße & Bestückung	Kontrollen
Rick_1, Leib_1, Leib_2, Leib_3	grün	19.01.2013	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	09.05.2013 15.07.2013*
Rick_1, Leib_1, Leib_2, Leib_3	Augenpunkt	19.01.2013	1 WV-Box à 40 Eier	03.04.2013

*: zusätzliche Suche nach Loggern und Überresten von Brutgefäßen bzw. Markierungsstangen.

6.3.3 Wassertemperatur und Abflusssituation

In der Leiblach konnten wegen Loggerverlusten durch Hochwasser für die Probestellen Leib_2 und Leib_3 leider nur begrenzte Aussagen zu den Temperaturverläufen gemacht werden. Die Temperaturwerte von Leib_1 zeigen, abgesehen von wenigen Werten im Bereich von 0° C, keine für die Forellentwicklung als kritisch einzustufenden Werte (LFU 2005) auf.

Im Rickenbach, dem einzigen untersuchten Leiblach-Zufluss, zeigen die Aufzeichnungen kritisch niedrige Wassertemperaturen in den ersten Wochen nach dem Einbringen der Brutboxen. Schon ab Anfang Mai herrschten dagegen für die Forellentwicklung bereits kritisch hohe Werte von ca. 15° C (Abb. 6.23).

Im Untersuchungswinter traten in der Leiblach mehrere erhöhte Abflusssituationen auf, insbesondere am 18.12.2012, 23.12.2012 und 02.02.2013 (vgl. Abb. 6.7). Letzteres Hochwasser fiel in den Expositionszeitraum des Brutboxenversuchs. Diese Abflusscharakteristik kann als typisch für die Leiblach angesehen werden.

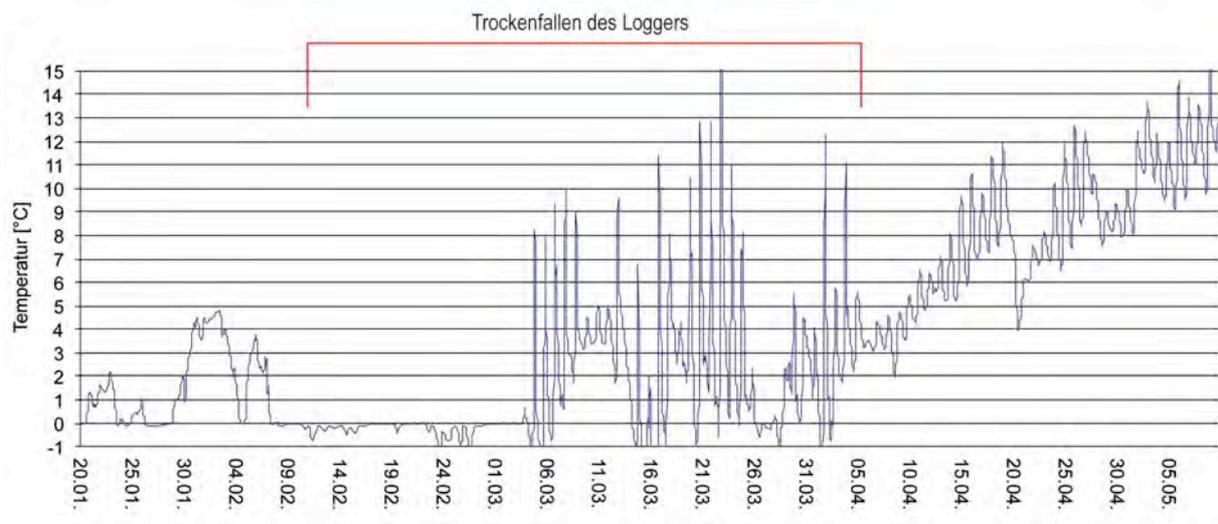


Abb. 6.25: Durch den Temperaturlogger aufgezeichneter Temperaturverlauf an der Probestelle Rick_1 (Rick-enbach). Dargestellt sind die 30-Minuten-Messwerte; im rot umklammerten Zeitraum befand sich der Logger, nachdem er weiter ans Ufer gespült wurde, zeitweise nicht im Wasser.

6.3.4 Überlebensraten

Die Überlebensraten an den einzelnen Probestellen sind in Tab. 6.4 zusammengestellt. Die weitere Betrachtung erfolgt getrennt nach Probestellen.

Tab. 6.4: Ergebnisse der Brutboxenversuche im Gewässersystem der Leiblach. Termine siehe Tab. 6.3

Untersuchungswinter 2012/13 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (03.04.2013)	2. Kontrolle
Leib_1 (Expos. 9.01.2013)	1 WV-Box	72,5 %	-
Rick_1 (Expos. 9.01.2013)	1 WV-Box	5 %	-
Leib_2 (Expos. 9.01.2013)	1 WV-Box	25 %	-
Leib_3 (Expos. 9.01.2013)	1 WV-Box	(nicht möglich)	0 %
Gesamtergebnis	Augenpunkteier	ca. 50 % (Leiblach)	
		ca. 5 % (Rickenbach)	
Untersuchungswinter 2012/13 – Verwendung grüner Eier			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (09.05.2013)	2. Kontrolle
Leib_1 (Expos. 9.01.2013)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	0 % (Verlust)	
Rick_1 (Expos. 9.01.2013)	6 Brutröhrchen	0 % (Verlust)	
	2 WV-Boxen	0 %	
Leib_2 (Expos. 9.01.2013)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	0 %	
Leib_3 (Expos. 9.01.2013)	6 Brutröhrchen 1 WV-Boxen	0 % (Verlust)	
	1 WV-Box	0 %	
Gesamtergebnis	grüne Eier	0 %	

Leib_1 – Leiblach oberhalb Rickenbachmündung, F-km 10,85

An der Probestelle Leib_1 (unterhalb Rickenbachmündung, F-km 10,8; Abb. 6.26, Abb. 6.27) konnten bei der Kontrolle am 03.04.2013 sämtliche Bruteinheiten wiedergefunden werden. Geborgen wurde an diesem Kontrolltermin lediglich die WV-Box mit den Augenpunkteiern, da die grünen Eier zu diesem Zeitpunkt noch nicht weit genug entwickelt waren. Aus den 40 Eiern hatten sich 29 lebende Dottersacklarven entwickelt, was einer Überlebensrate von ca. 73 % entspricht.



Abb. 6.24: Probestelle Leib_1 (F-km 10,85) mit Blickrichtung flussaufwärts. Im Hintergrund rechts im Bild die Rickenbachmündung.



Abb. 6.25: Leib_1 mit Blickrichtung flussabwärts.

Nach einer kurzen Abflussspitze von $16,43 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Unterhochsteg) am 20.04.2013 waren beim nächsten Kontrolltermin (09.05.) die verbliebenen Brutboxen/-röhrchen nicht mehr auffindbar. Auf dem Laichsubstrat befand sich eine ausgeprägte Feinsedimentauflage, darunter war das Substrat locker. Die Umlagerungsprozesse fanden lediglich in den obersten maximal 20 cm des Kieskörpers statt.

Rick_1 – Rickenbach oberhalb Mündung in die Leiblach, F-km 0,2 (Rickenbach)

Bei der Kontrolle der Stelle Rick_1 (Abb. 6.28, Abb. 6.29) am 03.04.2013 wurden in der WV-Box mit Augenpunkteiern zwei lebende Dottersacklarven festgestellt, was einer Überlebensrate von rund 5 % entspricht. An diesem Termin waren noch alle anderen Brutboxen/-röhrchen vorhanden. Beim zweiten Kontrolltermin am 09.05.2013 waren dagegen nur noch die beiden verbliebenen WV-Boxen auffindbar. Die Brutröhrchen waren durch Umlagerungsprozesse verloren gegangen. In den am 09.05.2013 ausgegrabenen Brutboxen befanden sich keine lebenden Larven mehr. Es konnte ein sehr starker Eintrag von Feinsediment festgestellt werden. Auch das gesamte Bachbett wies Zeichen von Versandung und Kolmation auf.

Zwar können auch extrem niedrige Wassertemperaturen als Ursache für ein Absterben der Eier nicht ganz ausgeschlossen werden, die starke Verstopfung durch Feinsedimente allein macht das Überleben von Larven jedoch schon nahezu unmöglich (Abb. 6.30, Abb. 6.31).



Abb. 6.28: Probestelle Rick_1 (F-km 0,2) mit Blickrichtung flussaufwärts.



Abb. 6.29: Rick-1 mit Blickrichtung flussabwärts.



Abb. 6.30: Am 03.04.2013 an der Probestelle Rick_1 geborgene WV-Box. Es hat ein sehr starker Eintrag von Feinsedimenten stattgefunden.

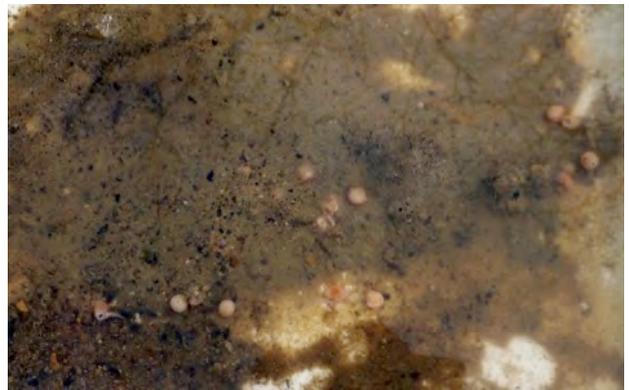


Abb. 6.31: Inhalt der in Abb. 6.30 dargestellten WV-Box: Feinsediment und hauptsächlich abgestorbene Eier.

Leib_2 – Leiblach oberhalb Sannwaldwehr, F-km 3,85

An der Probestelle Leib_2 (oberhalb Sannwaldwehr; Abb. 6.32, Abb. 6.33) wurden die WV-Box mit den Augenpunkteiern am 03.04.2013 kontrolliert, die restlichen am 09.05.2013. Die vier Brutröhrchen waren nicht mehr auffindbar. Dafür zeigten die Augenpunkteier in den WV-Boxen eine Überlebensrate von ca. 25 % (10 lebende Dottersacklarven). In den anderen Brutboxen/-röhrchen, die mit grünen Eiern bestückt wurden, konnte keine lebendige Dottersacklarve festgestellt werden. Sämtliche Eier waren hier bereits vor dem Schlupf abgestorben, während in der WV-Box mit den Augenpunkteiern noch 23 nach dem Schlupf verendete Dottersacklarven dokumentiert wurden. In diesen WV-Boxen war sehr viel Sand eingelagert, zum Teil haben sich sogar schon schwarze, reduzierte Bereiche gebildet, ein Zeichen für einen hohen organischen Anteil.

Insgesamt waren im Substrat dieser Probestelle am 09.05.2013 eine Feinsedimentauflage und Kolmation festzustellen. Unter der Deckschicht war das Substrat trotz Sandeinlagerung allerdings locker. Auch an dieser Probestelle wurde deutlich, dass die Leiblach – insbesondere bei erhöhten Abflüssen – eine hohe Feinstofffracht mit sich führt, die zu einer deutlichen Verschlechterung der Fortpflanzungsbedingungen führt.



Abb. 6.32: Probestelle Leib_2 (F-km 3,85) mit Blickrichtung flussaufwärts.



Abb. 6.33: Leib_2 mit Blickrichtung flussabwärts.

Leib_3 – Leiblach unterhalb Sannwaldwehr, F.km 2,75



Abb. 6.34: Probestelle Leib_3 (F-km 2,78) mit Blickrichtung flussaufwärts.



Abb. 6.35: Leib_3 mit Blickrichtung flussabwärts.

Bei der Kontrolle der Stelle Leib_3 (Abb. 6.34, Abb. 6.35) am 03.04.2013 war es aufgrund der Abflussverhältnisse nicht möglich, die Brutboxen/-röhrchen zu finden und zu bergen. Dies war erst bei der Kontrolle am 09.05.2013 möglich, bei der die WV-Box mit den Augenpunktiern und eine der WV-Boxen mit grünen Eiern wieder gefunden wurden. Es konnten ausschließlich verendete Larven bzw. Eier dokumentiert werden. Die dritte WV-Box und sämtliche Brutröhrchen sind verloren gegangen.

Die Probestelle unterhalb des Sannwaldwehrs wies eine Feinsedimentauflage und einen hohen Sandanteil in den Kieszwischenräumen auf. Dennoch war das Substrat locker. Zudem war an dieser Stelle ein für die Einleitung geklärter Abwasser typischer Geruch feststellbar. Auch im Bereich der Probestelle Leib_3 herrschen also trotz – oberflächlich betrachtet – guter Substratbedingungen zum Start des Brutversuchs insgesamt ungeeignete Bedingungen für die natürliche Fortpflanzung von Seeforellen.

6.3.5 Natürliche Reproduktion

Am 13.12.2012 wurden in der ca. 800 m langen Befischungsstrecke unterhalb des Sannwaldwehres – ca. 120 m oberhalb der Stelle Leib_3 – 12 Seeforellen-Laichgruben gezählt (vgl. Abb. 6.36), die meisten unterhalb der Rampe vor dem Sannwaldwehr. Brütlinge/Vorsommerlinge konnten bei der Befischung im Frühjahr 2013 in diesem Bereich allerdings nicht festgestellt werden.



Abb. 6.36: Seeforellenlaichgruben innerhalb eines der wenigen kiesreichen Abschnitte der Leiblach unterhalb des Sannwaldwehres (F-km ca. 3,05).

Zusammenfassende Beurteilung des Reproduktionspotenzials

Die Leiblach scheint eine hohe, z.T. organisch belastete Feinstofffracht mit sich zu führen, die zu einer Verschlechterung der Fortpflanzungsbedingungen für die Seeforelle führt. Der Ursprung der Belastung ist nicht bekannt, daher sollte zumindest untersucht werden, inwieweit anthropogene Quellen (Kläranlagen und Regenrückhaltebecken) dabei eine Rolle spielen. Zudem führen möglicherweise auch hier Umlagerungsprozesse infolge erhöhter Abflüsse zu Totalausfällen der Eier und der Brut.

Im Rickenbach kommt es zu einem mehr oder weniger natürlichen Feinsedimenteintrag aufgrund seines Einzugsgebietes (Molasse mit schichtweisem Wechsel von Mergel und Sandstein mit Konglomerat). Die Feinstoffmengen sind noch größer als in der Leiblach und könnten diese mitbeeinflussen. An der Probestelle im Rickenbach konnte zum Ende der Entwicklungszeit keine überlebenden Larven festgestellt werden. Zusammengefasst ist daher davon auszugehen, dass in den untersuchten Bereichen des Leiblach-Systems wenig geeignete bis allenfalls mäßige Bedingungen für die Fortpflanzung von Seeforellen gegeben sind.

6.3.6 Besatz

Die Leiblach und ihre Zuflüsse werden jährlich mit Seeforellenbrütlingen und -sömmerlingen besetzt. Gelegentlich findet auch Besatz mit der Altersklasse 1+ statt. Die Besatzfischzahlen lagen von 2003 bis 2009 wesentlich höher als in Rotach und Argen. In diesem Zeitraum wurden in der gesamten Leiblach durchschnittlich 380.000 Ind. eingesetzt (271.500 bis 610.000 Ind.). Seit dem Jahr 2010 wurden die Besatzzahlen deutlich reduziert. Im Jahre 2012 lagen sie unter 100.000 (Abb. 6.37). Die Besatzzahlen junger Bachforellen sind weitgehend unbekannt, da der Besatz durch die Fischereivereine erfolgt.

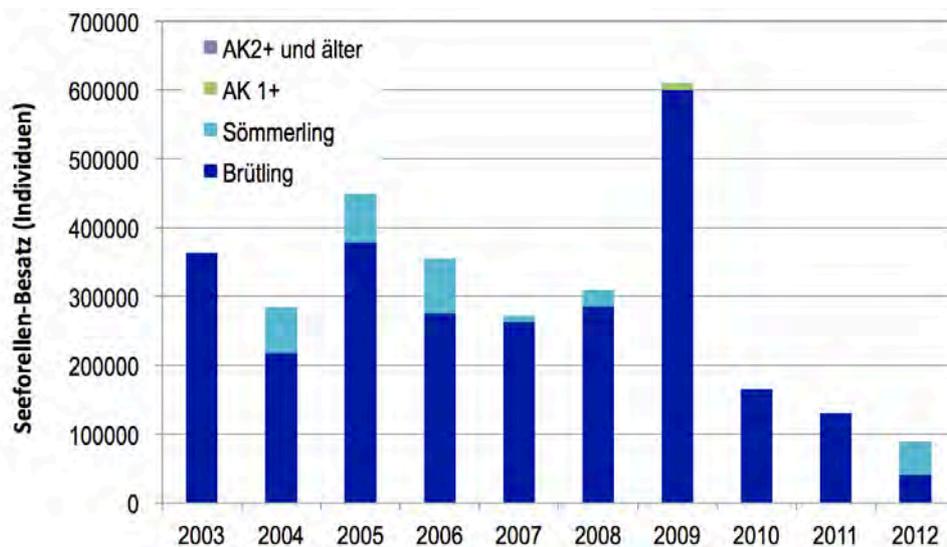


Abb. 6.37: Besatzzahlen von Seeforellen in die Leiblach für die Jahre 2003 bis 2012.

Mögliche Jungfischhabitate sind in der Leiblach reichlich vorhanden und im Gegensatz zu geeigneten Laichplätzen nicht limitierend. Die Wassertemperaturen im Sommer erreichen regelmäßig über 20°C. Im August 2012 lagen sie bei über 23°C. Solche Temperaturen können die Fitness der Forellen deutlich reduzieren und dabei Krankheiten und Parasitierungen begünstigen.

6.4 Abwanderung

Für die Untersuchung des Smoltabstiegs in der Leiblach wurden am 10.04.2013 in drei verschiedenen Abschnitten ca. 1,1 Fluss-km elektrisch befischt. Innerhalb einer Besatzstrecke im Restwasser bei Obermützenbrugg (F-km 18,6) wurden bei einer 350 m langen Befischung 13 junge Forellen gefangen und besendert. Davon konnte eine als „Smolt-Typ“ eingestuft werden, fünf weitere zeigten den „intermediären Typ“, die restlichen sieben typische Bachforellenfärbung. In der ca. 750 m langen Befischungsstrecke unterhalb der Knochenmühle (F-km 12,9) waren die Jungfischdichten noch geringer, allerdings ist hier eine erfolgreiche Naturverlaichung von Seeforellen denkbar. Hier konnten 14 Forellen gefangen werden: davon waren drei vom „Smolt-Typ“, zwei vom „intermediären Typ“ und

neun vom „Bachforellen-Typ“ (Abb. 6.38, Tab. 6.5). Trotz der recht hohen Dichte von laichbereiten Seeforellen in diesem Abschnitt ist ihr Reproduktionserfolg hier offenbar gering (siehe auch Kap. 6.3).

Tab. 6.5: Nach Typus getrennte Fangzahlen absteigender *Salmo trutta* in der Leiblach.

	Bachforellen -Typ	Intermediärer Typ	Smolt-Typ
Obermützenbrugg (n=13)	53,8% (7)	38,5% (5)	7,7% (1)
Uh. Knochenmühle (n=14)	64,3% (9)	14,3% (2)	21,4% (3)
Bis 31.05.2013 abgewandert	-	-	2 Ind. (von 4)

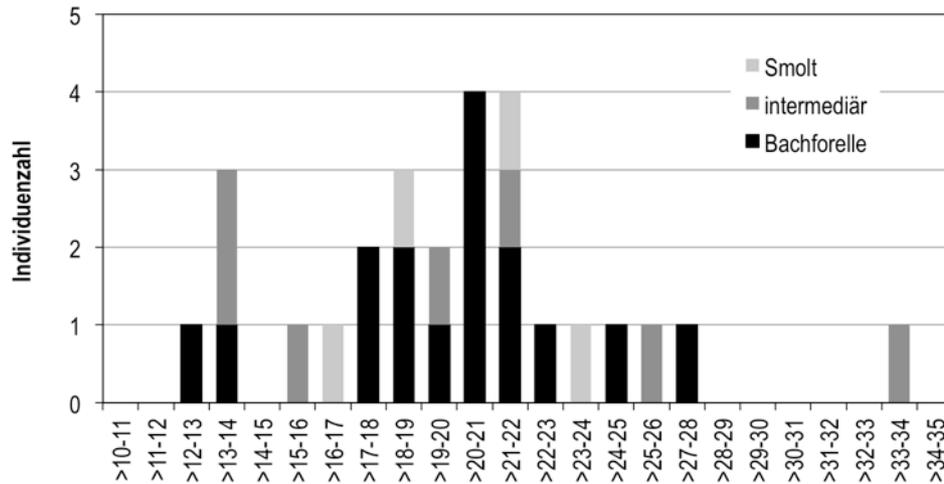


Abb. 6.38: Nach Typus getrennte Längenverteilung potenziell absteigender *Salmo trutta* in der Leiblach.

Die Detektionseinheit oberhalb des Sannwaldwehres war vom 22.03.2013 bis zum 31.05.2013 mit einer Unterbrechung vom 13. bis zum 17.05.2013 (Räumarbeiten ins Flussbett gefällener Weiden) in Betrieb. Das 100-jährliche Hochwasser mit Gipfel am 01./02.06.2013 mit 145 m³/s beendete den Versuch. Ein Wiederaufbau der zerstörten Antenne war danach nicht mehr möglich.

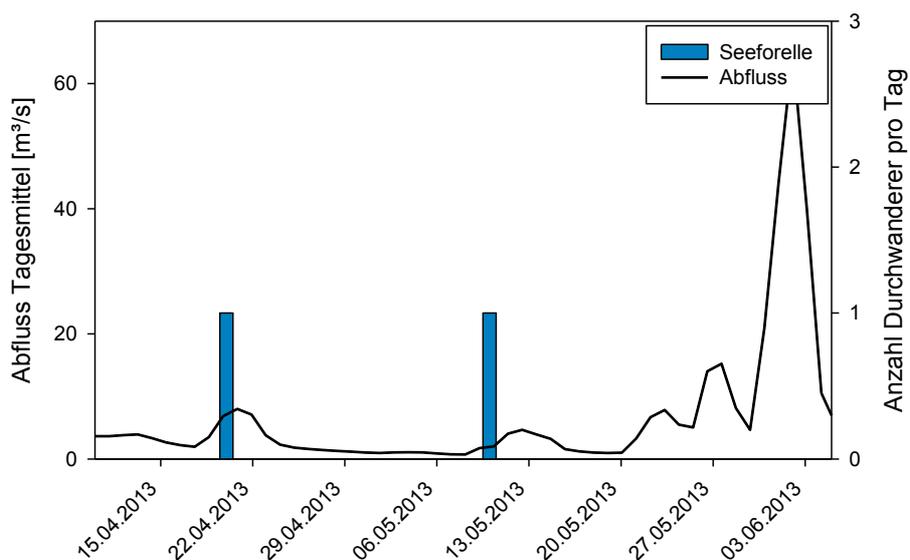


Abb. 6.39: Detektion von absteigenden Smolts in der Leiblach in Abhängigkeit vom Abfluss.

Insgesamt wurden zwei der 27 markierten Jungforellen beim Abstieg detektiert (7,4 %). Am 20.04.2013 und am 10.05.2013 wanderte jeweils eine Forelle des „Smolt-Typs“ (23,8 cm bzw. 18,1 cm) bei steigenden Wasserständen ab (Abb. 6.39). Beide waren unterhalb der Knochenmühle gefangen und markiert worden. Damit konnte die Hälfte der vorab als wahrscheinlich abwanderungswillig eingestuften Forellen auch erfasst werden. Obwohl nur sehr geringe Jungfischdichten ermittelt wurden (< 1 Ind. /100 m Strecke), lag der Anteil des „Smolt-Typs“ und des „intermediären Typs“ bei zusammen knapp 41 %.

6.5 Fazit

Die Leiblach weist ein pluvio-nivales Abflussregime auf, das jedoch – gegenüber Rotach und Argen – in den Jahren 2010 bis 2013 zwischen Mitte Februar und Mitte Mai die stabilsten Abflussverhältnisse aufwies. In der Leiblach bestätigte sich ein Zusammenhang des Seeforellen-Einstiegs mit Hochwasserabflüssen. Die Anzahl an einsteigenden adulten Seeforellen war mit 42 Individuen nach 3 Befischungen deutlich höher als es die bisherigen Laichfischfänge erwarten ließen. Ein hoher Anteil der eingewanderten Seeforellen konnte oberhalb des Sannwaldwehrs und auch im wichtigsten Zufluss der Leiblach, dem Rickenbach, festgestellt werden. Bei der Knochenmühle besteht ein natürliches Aufstiegshindernis, das bislang offensichtlich noch nicht als Wanderhindernis erfasst war (vgl. REY et al. 2009). Der Rickenbach spielt eine lokale Rolle für den Geschiebetransport in die Leiblach, weist jedoch für den Einstieg nach weniger als 300 Metern unüberwindbare Hindernisse auf. Insgesamt sind die potenziellen Laichflächen der Leiblach weniger und oft kleinräumiger als in anderen Zuflüssen. Auf vielen Flächen ist ein hoher Anteil an Feinsedimenten vorhanden, der bei den Brutboxenversuchen sicher für einige Ausfälle verantwortlich war. Substratumlagerungen können zu Gelegeverlusten führen, sie traten aber in geringerem Ausmaß auf als in Argen und Rotach. Die Jungfischdichten in der Leiblach sind als sehr gering einzustufen, der Anteil als „abwanderbereit“ klassifizierter Fische ist mit über 40 % aber hoch; zwei der vier besenderten klassischen Smolts wanderten in den See ab.

Neben der Verbesserung der Durchgängigkeit im Rickenbach erscheint die Behebung des Geschiebedefizits im Hauptfluss sowie die Behebung seiner abschnittsweise monotonen Gewässerbreite mit dadurch bedingtem, beschleunigtem Abfluss von zentraler Bedeutung (Gewässerentwicklungskonzept Leiblach, STERN 2012). Wie bei Rotach und Argen wäre es zur Förderung der Naturverlaichung sinnvoll, den gesamten Oberlauf der Leiblach für Seeforellen durchgängig zu gestalten. Ob hierfür auch das natürliche Hindernis bei der Knochenmühle zu umgehen ist, ist eine umweltpolitische Entscheidung. Es ist uns nicht bekannt, ob die Leiblach hier in früheren Zeiten durchgängig war oder nicht (möglicherweise wurde der Absturz auch durch Erosionsprozesse stark überhöht). Bis zu diesem Hindernis bestehen nur in zwei Zuflüssen potenzielle Laichgründe für Seeforellen: im Rickenbach und der Reisach. Weitere kleine Zuflüsse sind aufgrund des eingetieften Gewässerbettes der Leiblach für die Seeforelle nicht mehr erreichbar und in ihrer Dimension auch grenzwertig klein.

6.6 Empfehlungen

Die Leiblach ist auf ca. 12,9 km Länge bis zur Knochenmühle für Seeforellen durchwanderbar. In diesem Abschnitt besteht ein Geschiebedefizit und das Gewässerbett tieft sich immer weiter ein. In großen Bereichen sind die Ufer mit Blocksteinen gesichert. An den wenigen geeigneten Laicharealen kommt es aufgrund von Winterhochwassern zu Substratumlagerungen, die zumindest zu hohen Verlusten von naturverlaichten Gelegen führen dürften. Zudem bringt vor allem der Zufluss Rickenbach hohe Feinsedimentfrachten.

Empfohlene Maßnahmen:

- Weitere Verbesserung der Durchgängigkeit am Sannwaldwehr (kurzfristig: Öffnung des Rechsens, mittelfristig: Abflachung der Rampe vgl. GEK). Optimierung der Fischpassierbarkeit an der Pegelschwelle (F-km 0,95) bei Niederwasser
- Verbesserung der Hochwasserretention im Ober- und Mittellauf
- Behebung des Geschiebedefizits: Zulassen von Ufererosion (Remobilisierung von Geschiebequellen) und eigendynamische Gewässerentwicklung
- Untersuchung und ggf. Lösung der Feinsedimentproblematik
- Brutboxen-Versuche im Oberlauf des Rickenbachs und in der Reisach zur Abklärung des jeweiligen Reproduktionspotenzials
- Erstellung der ungehinderten Durchgängigkeit für einsteigende Seeforellen im Rickenbach
- Diskussion, ob und inwieweit das natürliche Aufstiegshindernis „Knochenmühle“ umgehbar gemacht werden sollte/könnte.

7 Ergebnisse Bregenzerach

Die Bregenzerach ist einer der wenigen Bodenseezuflüsse mit naturnahem Mündungsdelta, das aufgrund der Größe des Gewässers einen der imposantesten Uferabschnitte des Sees bildet (Abb. 7.1).



Abb. 7.1: Naturnaher Mündungsbereich der Bregenzerach in den Bodensee.



Abb. 7.3: Naturnaher Abschnitt im Mittellauf der Bregenzerach (F-km 13).



Abb. 7.4: Die Bregenzerach vor der Mündung bei Eistrieb am 7. Februar 2012 (F-km 1,85).



Abb. 7.2: Bregenzerach im Unterlauf bei Niederwasser im Spätherbst 2011.

Über die Menge und den Zug der Seeforellen in das System der Bregenzerach war bisher noch wenig bekannt. Laichfischfang hat nicht stattgefunden. Im gemeinsamen Werkskanal der Vorarlberger Kraftwerke AG (VKW, Kraftwerk Rieden) und Kraftwerke Schindler (Obere Fabrik, Liebenstein), der beim Wehr Kennelbach (F-km 7,1) ausgeleitet und bei F-km 3,6 zurück in die Bregenzerach mündet, finden allerdings alljährlich im Sommer Bestandsbergungen statt, wenn der Kanal wegen einer Betriebskontrolle und Instandsetzung entleert werden muss. Zumeist finden diese Befischungen Ende Juli, in manchen Jahren auch später im Jahr statt. Dabei wurden bisher stets sehr früh eingestiegene Seeforellen erfasst, eine Tatsache, die zusammen mit neuen Erkenntnissen den Schluss zulässt, dass sich Seeforellen fast über das gesamte Jahr hinweg im System der Bregenzerach aufhalten. Unsere Untersuchungen (inkl. Bestandsbergungen) fanden innerhalb von drei Jahren statt (2011 bis 2013).

Die vergleichbaren Fangzahlen aus dem VKW-Kanal (nur Juli) zeigen keine eindeutigen Trends; sie schwanken meist zwischen drei und 13 adulten Seeforellen. 1997, 2004 und 2005 waren es 23 bzw. 22, 2001 und 2013 sogar 34 bzw. 32 Individuen. Je später der Termin lag, umso höher war jeweils die Anzahl der angetroffenen Seeforellen: Die meisten Befischungen mit mehr als 10 Individuen fanden ab dem 24.07. statt (Ausnahme: 15.07.2013). Bei einer Bestandbergung am 26.04.2004 wurden allerdings auch schon einmal 12 Seeforellen gefangen; diese Befischung (und Befischungen im November) wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht in Abb. 7.5 aufgeführt.

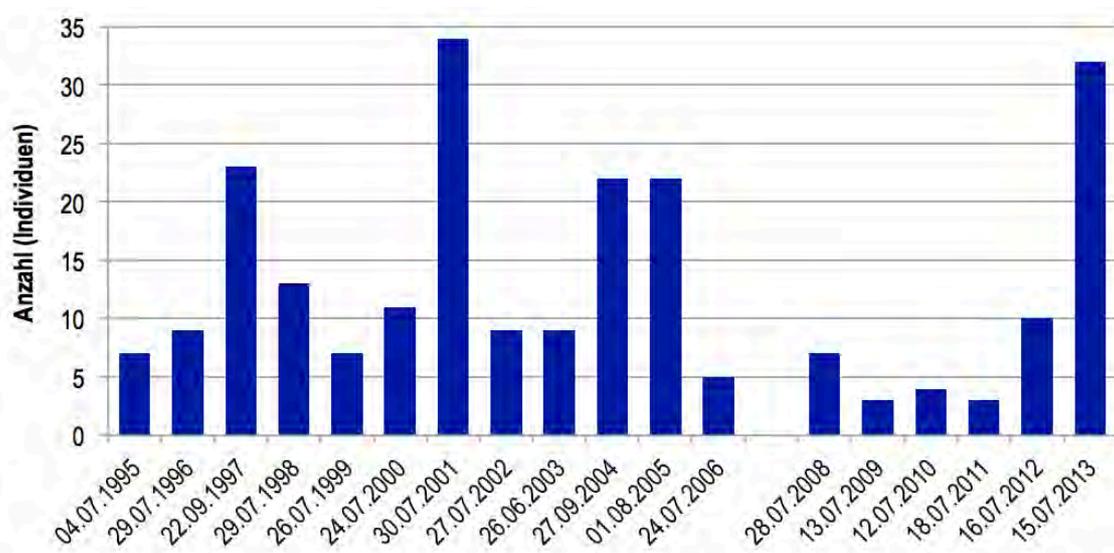


Abb. 7.5: Fangzahlen der Seeforellen im Werkskanal von Schindler und VKW. 2007 wurde nicht gefischt.

7.1 Hydrologie

7.1.1 Allgemeine Charakteristik

Die Bregenzerach hat ein Einzugsgebiet von 832 km², das sich über einen Höhengradienten von ca. 2400 m bis 395 m ü.NN. erstreckt. Das Abflussregime ist gemäßigt nival mit den höchsten Abflüssen im Mai. Der MQ (mittlerer Abfluss 1976-2009) am Pegel Kennelbach (F-km 7,5) liegt bei 46,3 m³/s. Lediglich an diesem Pegel sind Einflüsse von Winterniederschlägen im langjährigen Abflussregime in

geringem Maße erkennbar (Abb. 7.6 bis 7.8). Ein erster Anstieg der Abflüsse nach der Niederwasserperiode im Winter liegt als Reaktion auf die Schneeschmelze in mittleren Höhen Mitte März. Ende April schließt sich als Folge der Schneeschmelze in oberen, alpinen Lagen eine zweite Abflussspitze mit deutlich größeren Abflussmengen an. Das HQ₁₀ (statistisch zehnjährliches Hochwasser) liegt bei 940 m³/s, am 23.08.2005 wurde mit 1350 m³/s das letzte Mal ein fast hundertjähriges Hochwasser (HQ₁₀₀ = 1450 m³/s) erreicht. Das jährliche Niedrigwasser ist aufgrund des großen Höhengradienten im Einzugsgebiet in den Spätherbst beziehungsweise den frühen Winter verschoben (Abb. 7.6, 7.7). Das NQ (niedrigster Abfluss 1976 – 2009) liegt bei 1,1 m³/s.

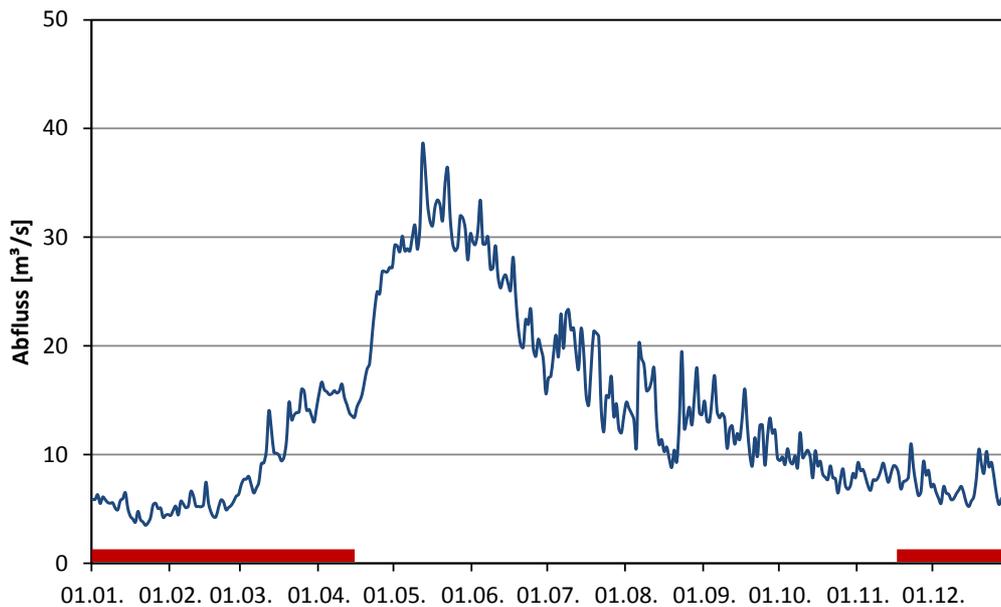


Abb. 7.6: Abflüsse der Bregenzerrach am Pegel Mellau, F-km 39,3 (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1976-2009). Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

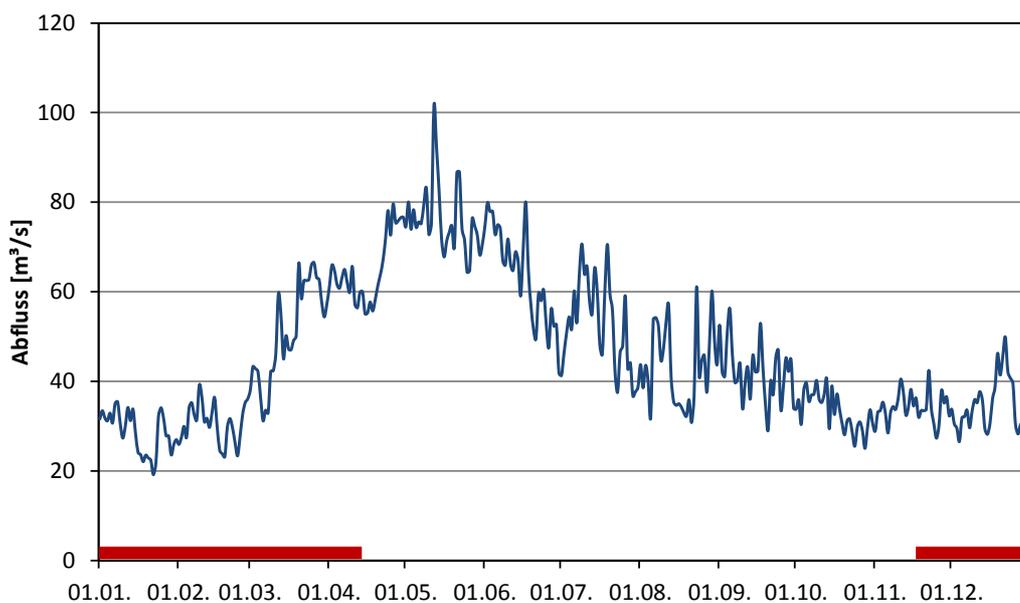


Abb. 7.7: Abflüsse der Bregenzerrach am Pegel Kennelbach (F-km 7,5) (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1976-2009). Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

7.1.2 Abflüsse im Untersuchungszeitraum

Die Bregenzerach zeigte in der Untersuchungsperiode im Winter niederschlagsbedingte, für ein nivales Einzugsgebiet eher untypische Hochwasserspitzen, die auch bei Mellau (F-km 39,3) noch auftraten (Abb. 7.8). Möglicherweise ändert sich das nivale Abflussregime derzeit klimabedingt zumindest im Unterlauf hin zu einem pluvio-nivalen. Die stabilsten Abflussbedingungen herrschten jeweils von Anfang Februar bis Mitte März, danach führt die Schneeschmelze zu eher moderaten Hochwassern (Abb. 7.8 bis 7.10). Ab Juni bis Anfang Oktober setzten niederschlagsbedingte Hochwasser ein, die regelmäßig die 300 m³/s überstiegen, das höchste Hochwasser im Untersuchungszeitraum ereignete sich am 02.06.2013 und übertraf mit 971,5 m³/s ein zehnjähriges Hochwasser. Diese Hochwasser führen zu großflächigen Veränderungen des Gewässerbettes. In diesem Zeitraum wurden die Seeforellen-Einsteiger detektiert. Ab Oktober beruhigt sich die Hochwassersituation allmählich. Brutboxen-Versuche fanden im Winter 2011/12 und 2012/13 statt, beide Zeiträume erschienen uns für die Verhältnisse in der Bregenzerach repräsentativ.

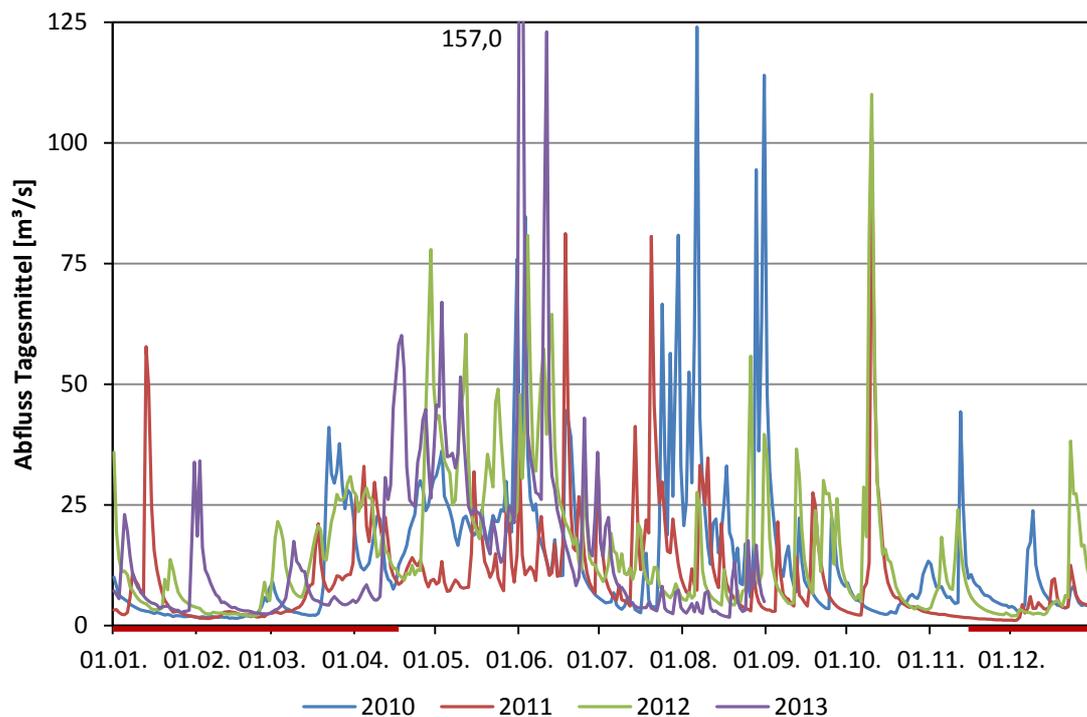


Abb. 7.8: Abfluss der Bregenzerach (Tagesmittel) am Pegel Mellau (F-km 39,3) für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

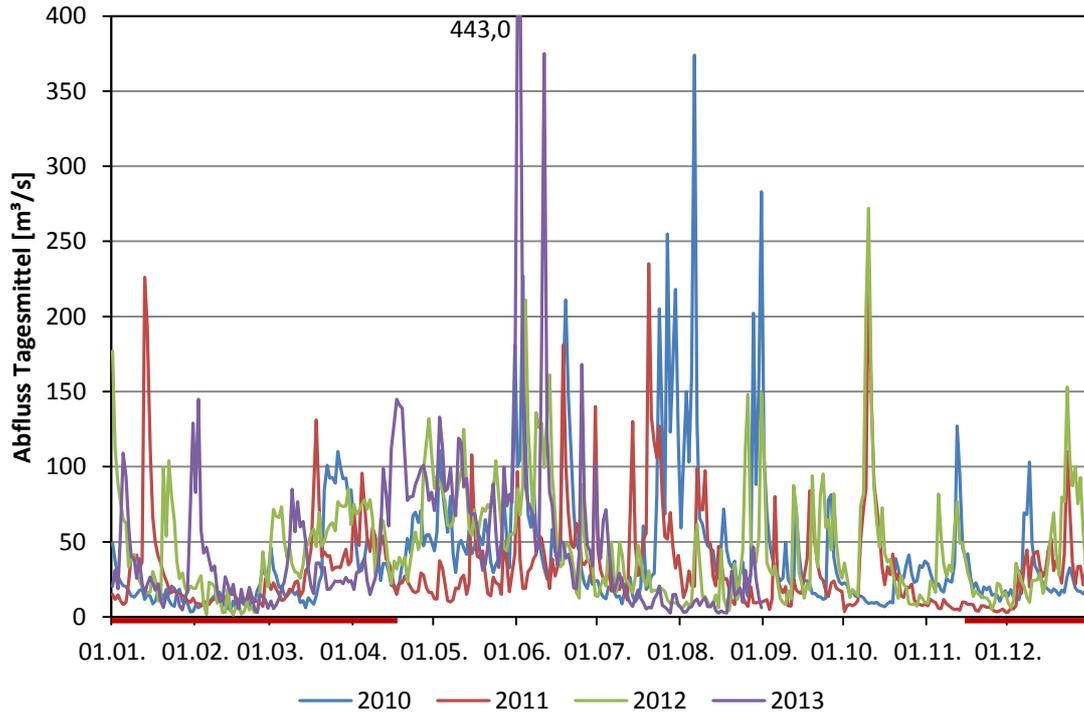


Abb. 7.9: Abfluss der Bregenzrach (Tagesmittel) am Pegel Bozenau (F-km 15,75) für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Periode der Larvalentwicklung der Seeforelle.

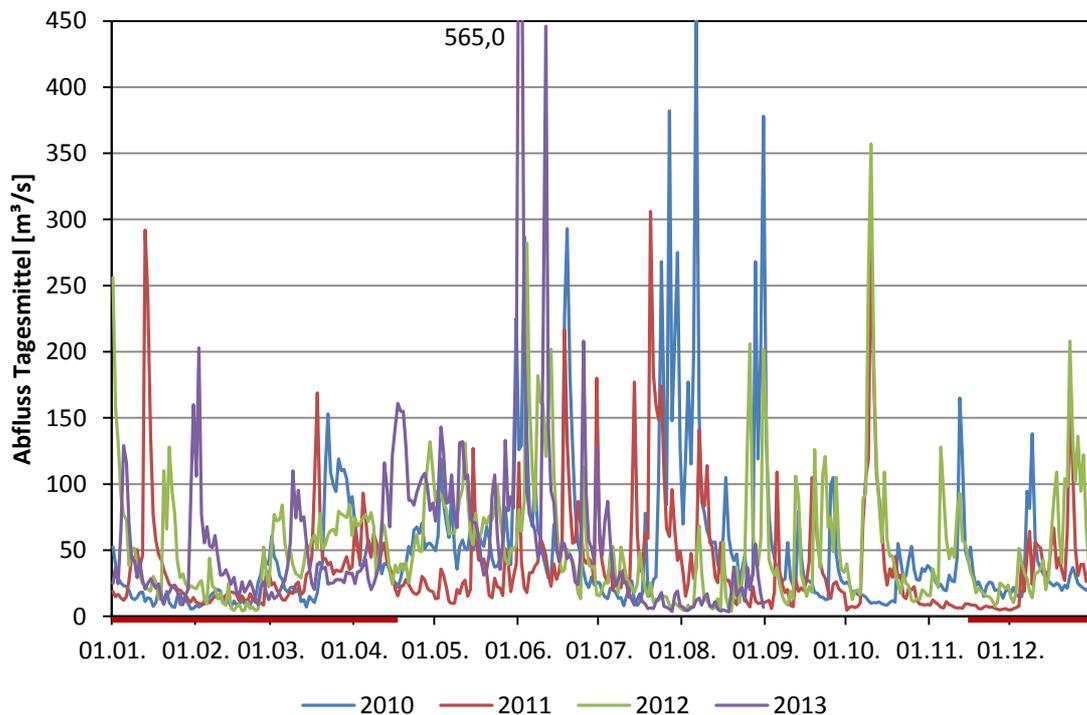


Abb. 7.10: Abfluss der Bregenzrach am Pegel Kennelbach (F-km 7,5; Tagesmittel) für die Jahre 2010 bis August 2013. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Periode der Larvalentwicklung der Seeforelle.

7.1.3 Hydrologisch bedingte Durchgängigkeitsstörungen

Durch die Wasserkraftnutzung an den Kraftwerkstufen Langenegg und Alberschwende in der Bregenzrach sowie an den Zuflüssen Weißbach und der ihr zufließenden Bolgenach entsteht im Unterlauf der

Bregenzerach ein starker und unregelmäßiger Schwallbetrieb. Dieser hat Auswirkungen auf die Systemdurchgängigkeit und die Reproduktion der Seeforellen. In der Ausleitungsstrecke im Mittellauf (F-km 34,7 bis F-km 17,2) und in der Ausleitungsstrecke des VKW-Kanals (F-km 7,1 – F-km 3,6) entstehen zusätzliche Durchgängigkeitsprobleme durch Niederwasser im Hauptfluss.

7.1.4 Temperaturregime

Die Wassertemperatur der Bregenzerach erreicht bereits im Mittellauf bei Mellau sommerliche Werte um knapp über 20° C, die sich bis Kennelbach um weitere ca. 3° C erhöhen. Kritisch sind insbesondere die Ausleitungsstrecken flussab Bezau (F-km 35,0) und flussab Kennelbach (F-km 7,1), wobei in letzterer Wassertemperaturen von bis zu 25° C erreicht werden (SCHOTZKO, schriftl. Mitt.), zumal diese weitgehend unbeschattet sind. Bei mehr als 20° C über längere Zeiten kann es zu negativen Auswirkungen für Kaltwasserfischarten kommen. Die Bachforelle beginnt bei 19° C die Nahrungsaufnahme einzustellen; in Gewässern, die regelmäßig über 20° C erreichen, etablieren sich keine selbst erhaltende Populationen mehr; der beginnende letale Temperaturbereich liegt je nach Akklimatisationszeit zwischen 21,5° C und 25° C. Die letale Maximaltemperatur liegt bei 28 – 30° C. (ELLIOTT 1994, KÜTTEL et al. 2002).

Im Winter treten in der Bregenzerach – vor allem innerhalb der Ausleitungsstrecken – Wassertemperaturen um den Gefrierpunkt regelmäßig auf. Dies könnte stellenweise den Bruterfolg beeinträchtigen.

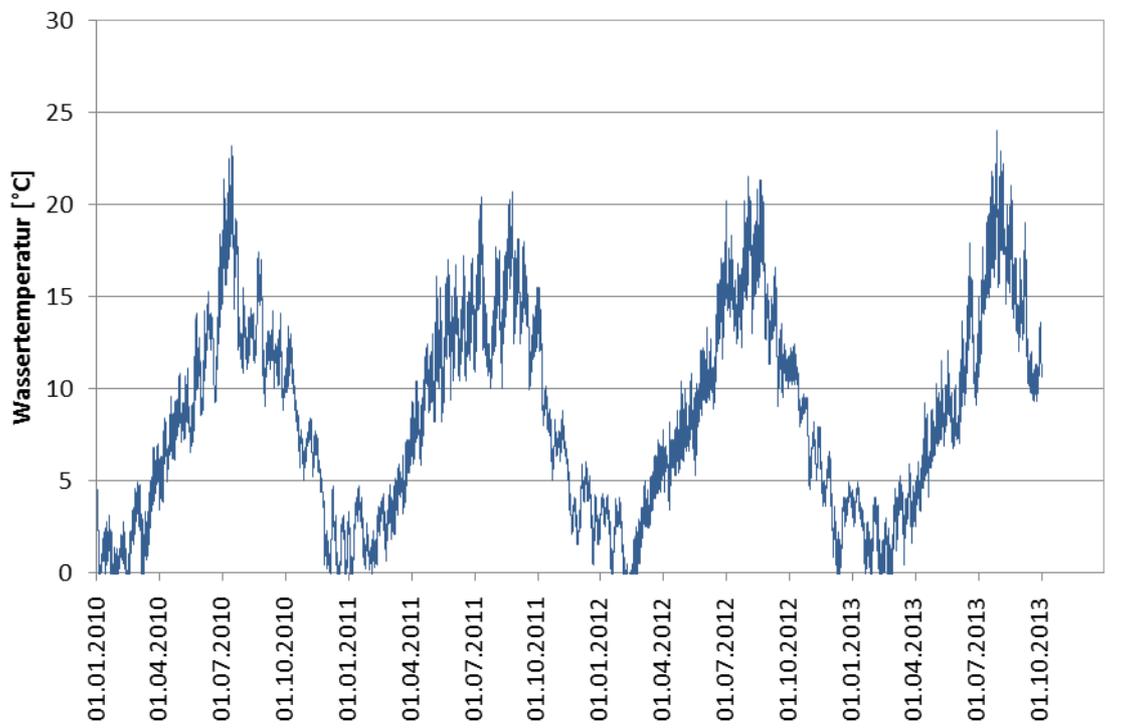


Abb. 7.11: Temperaturregime Bregenzerach am Pegel Kennelbach (F-km 7,5) für die Jahre 2010 bis 2013.

7.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

7.2.1 Methodische Probleme und Alternativprogramm

Wegen der Dimension der Bregenzerach, des Schwall-Sunk-Regimes und der ab Dezember 2011 auftretenden Hochwasserereignisse erwies sich der Einsatz des Fischwehrs als methodisch nicht beherrschbar. Schwall und höhere Abflüsse verhinderten oftmals die Wartung und den ordnungsgemäßen Betrieb der Reuse. Das Wehr war trotz historischer Niederwassersituation erst ab dem 26.11.2011 für lediglich 15 Tage fängig. Ab 5. Januar 2012 wurde das Wehr aufgrund erhöhter Abflüsse beschädigt. Fische konnten keine abgefangen werden. Es bleibt deshalb unklar, ob und wieviele Seeforellen in dieser Zeit aufgestiegen sind. Selbst für die Bregenzerach moderate Hochwasserereignisse (300 m³/s) führten zu stärkeren Beschädigungen am Wehr. Am 17.01.2012 wurden der Reusenkasten und ca. zwei Drittel des Wehrs geborgen. Danach verhinderte massive Vereisung der Ach im Februar den Ausbau (>1 m dicker Eispanzer an der Reuse); die Vereisung ging dann nahtlos in die Schneeschmelze mit hohen Abflüssen über. Erst im Sommer 2012 war der Abfluss wieder so niedrig, dass auch das restliche Fischwehr ausgebaut werden konnte.

Aufgrund der zu erwartenden Schwierigkeiten mit dem Fischwehr begannen wir mit Hilfe des Landesfischereizentrums und der Fischereivereine bereits ab dem Spätsommer 2011 ein Alternativprogramm mit Elektrobefischungen an den Blockrampen und Wehren in der Bregenzerach. Auf diese Befischungen gehen letztlich sämtliche Erkenntnisse zurück. Die Bregenzerach weist im Unterlauf bis zum Kennelbacher Wehr 3 steile (1:10) Sohlrampen aus Blocksteinen auf (F-km 1,2, 4,3 und 6,0). Diese boten sich für regelmäßige Befischungen an, die aufgrund des starken Schwall-Sunk-Regimes jedoch nur am Wochenende möglich waren. Für ein effizientes und gefahrenfreies Befischen wurde ein sehr geringer Abfluss benötigt (unter 20 m³/s), daher konnte der geplante 2-wöchige Turnus vor allem im September und Oktober nicht immer eingehalten werden.

7.2.2 Seeforelleneinwanderung

Der Aufstieg der Seeforellen in der Bregenzerach beginnt sehr früh im Jahr. Wie bereits einleitend beschrieben, wurden z.T. schon ab April noch silbern gefärbte, also erst kurz zuvor eingestiegene Seeforellen im VKW-Kanal nachgewiesen; im Juli findet man sie dort bereits regelmässig. Doch auch im November steigen noch neue Individuen ein.

Die Untersuchungen zum aktuellen Seeforellenprogramm fanden zwischen Februar 2011 und Ende 2012 statt (zuzgl. Teilnahme an der Bestandsbergung im VKW-Kanal im Juli 2013). Bei Elektrobefischungen im Jahr 2011 wurden an sieben Terminen 16 Seeforellen-Einsteiger gefangen, davon konnten 12 mit PIT-Tags besendert werden (Tab. 7.1). Da der Schwerpunkt der Markierungsversuche auf der Erforschung der Wanderstrecken lag, wurden auch sechs große, aus dem Bodensee eingestiegene Regenbogenforellen markiert.

Tab. 7.1: Befischungen und Fangzahlen in der Bregenzerach im Untersuchungsjahr 2011/12.

Datum	Strecke	Seeforelle	Regenbogenforelle	Bemerkungen/ Summen
18.07.2011	VKW-Kanal (F-km 3,6)	3 (4*)	1	*1 fragliche Seeforelle; noch keine PIT-Tag-Markierung
24.08.2011	Unterlauf bis Kennelbacher Wehr (F-km 7,1)	1		
04.09.2011	Unterlauf bis Kennelbacher Wehr	1	2	
25.09.2011	Unterlauf bis Kennelbacher Wehr	2	3	
23.10.2011	Unterlauf bis Kennelbacher Wehr	3**		**Davon ein Wiederfang
12.11.2011	Steilrampe Bozenau (F-km 16,55)	-		
12.11.2011	Wehr Egg (F-km 25,15)	2		frisch verlaichtes Paar
03.12.2011	VKW-Kanal	5		4 weitere beobachtet
Summe	Bregenzerach	16 (17)	6	PIT-Tag-markiert: 12 SF, 5 RF

Auch 2012 wurden von Mitte Juli bis Ende November fünf elektrische Befischungen durchgeführt. Am 17.11.2012 wurden die Kraftwerke am VKW-Kanal zur Haupteinstiegszeit der Seeforellen speziell für den Zweck des Seeforellenfangs im Rahmen des Projektes von den Kraftwerksbetreibern für wenige Stunden abgestellt, wodurch eine Befischung ermöglicht wurde (Tab. 7.2).

Tab. 7.2: Befischungen und Fangzahlen in der Bregenzerach im Untersuchungsjahr 2012/13.

Datum	Strecke	Seeforelle	Regenbogenforelle	Bemerkungen/ Summen
16.07.2012	VKW-Kanal	10	3	13
18.08.2012	Unterlauf bis Kennelbacher Wehr	1	1	2
06.10.2012	Kennelbacher Wehr	7*	3	10
17.11.2012	VKW-Kanal	30	2	32
24.11.2012	unterhalb Blockrampe Bozenau (F-km 16,55) und Egg (F-km 25,15), Unterläufe Rotach und Bereich Pegel Weißsach	0	1 Wiederfang (Pegel Weißsach)	0
Summe	Bregenzerach	48	9	57

* ein Rogner stammt aus dem Reusenfang an der Fischtreppe am Kennelbacher Wehr

Insgesamt wurden in beiden Untersuchungsperioden somit 64 Seeforellen-Einsteiger gefangen und 61 davon besendert (2011: 16, 2012: 48). Regenbogenforellen konnten insgesamt 14 besendert werden. 2013 kamen noch einmal 32 Seeforellen aus der Bestandsbergung des VKW-Kanals hinzu. Diese wurden nicht mehr besendert, aber mittels Pan-Jet (Alcyanblau) markiert.

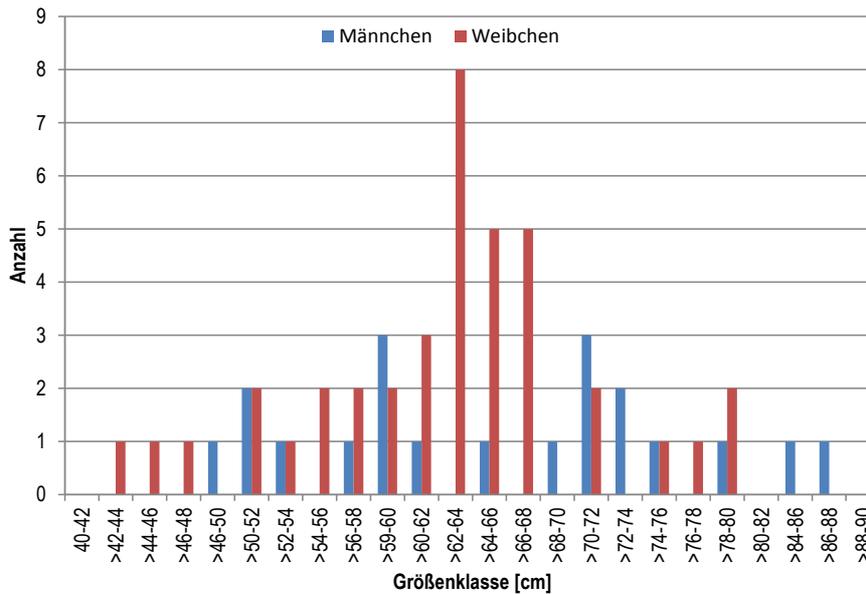


Abb. 7.12: Längenverteilung der in der Bregenzerach gefangenen Seeforellen.

Die Längenverteilung der insgesamt 64 Seeforellen-Einsteiger 2011/12 (20 Milchner, 43 Rogner) erstreckt sich von 42 cm bis 87 cm. Die meisten Rogner waren zwischen 60 und 68 cm lang (Abb. 7.12). Bei den Fischen über 70 cm liegt der Anteil der Milchner etwas höher. Fische über 60 cm Länge – also der Hauptteil im Fang – konnten den Beckenpass am Kennelbacher Wehr während unserer Untersuchungen nicht nachweislich überwinden (ein Exemplar von 72 cm Länge wurde allerdings im Fischpass selbst nachgewiesen, LUNARDON, schriftl. Mitt.). Die Zahl der Einsteiger in die Bregenzerach dürfte jährlich zwischen 50-150 Ind. schwanken.

7.2.3 PIT-Tag-Markierungen und Wiederfänge

PIT-Tag-Detektionen

Seit Herbst 2011 wurde allen behändigten Seeforellen-Einsteigern ein PIT-Tag eingesetzt. An der Bregenzerach war für den Detektor eine permanente Stromversorgung durch Anschlüsse der Kraftwerke Schindler (Detektor Fischtreppe Kennelbach, F-km 7,1) bzw. Alberschwende (Detektor Restwasserstrecke, F-km 17,65) möglich. Im oberstromigen Auslass der Fischaufstiegshilfe am Kennelbacher Wehr wurde am 24.08.2011 eine Kontaktschleife installiert, um den Aufstiegserfolg der markierten Seeforellen zu dokumentieren. Diese Antenne war bis zum Abbau am 17.08.2012 durchgehend in Betrieb. Im knapp einjährigen Betrieb wanderten 2011 nachweislich 4 Seeforellen über diese Fischtreppe des Kennelbacher Wehrs (davon zwei mit PIT-Tags).

Am 05.09.2011 konnte eine tags zuvor am Kennelbacher Wehr markierte Seeforelle (49,4 cm) die Fischtreppe überwinden. Am 15.12.2011 hat eine zweite besenderte Seeforelle die Fischtreppe im Kennelbacher Wehr passiert. Sie hielt sich von 0:16 bis 8:51 Uhr immer wieder im Bereich der Detektionsschleife auf. Es handelte sich um ein Weibchen, das am 23.10.2011 am Rücklauf des Kennelbacher Kanals in die Bregenzer Ach (F-km 3,8) gefangen worden war. Damals war es 46,5 cm lang

und genau 1,0 kg schwer. Es war oberhalb des Rücklaufes in die Bregenzer Ach wieder eingesetzt worden. Ein Paar unmarkierter Seeforellen konnte beim Wehr Egg gefangen werden, beide waren je 50 cm groß – die beiden dürften demnach ebenfalls den Fischpass am Kennelbacher Wehr überwunden haben.

Im Jahr 2012 wanderte bis zum Abbau der Schleife Mitte August 2012 kein besonderes Individuum über die Fischtreppe, obwohl sich zu diesem Zeitpunkt 10 markierte See- und 3 Regenbogenforellen im System unterhalb des Kennelbacher Wehrs befanden (aus der Befischung des VKW-Kanals am 16.07.2012).

Wiederfänge

Am 18.08.2012 konnte unterhalb des Kennelbacher Wehrs ein bereits besonderter Rogner wieder gefangen werden. Das 68,5 cm große, noch unreife, aber zwischenzeitlich umgefärbte Weibchen hatte binnen eines Monats knapp 12 % seines Körpergewichts verloren (16.07.2012: 3,40 kg, 24.8: 3,00 kg) – vermutlich aufgrund der Anstrengungen bei den vergeblichen Versuchen, das Kennelbacher Wehr zu überwinden (Abb. 7.13).

Ein anderes Weibchen (Abb. 7.14) wurde bereits ein Jahr zuvor binnen eines Monats (Sept./Okt. 2011) zwei Mal an der untersten Blockrampe zum Bodensee (Schwellwahr, F-km 2,1) gefangen. Ob der Fisch letztlich weiter aufgestiegen ist, konnte nicht mehr verfolgt werden.

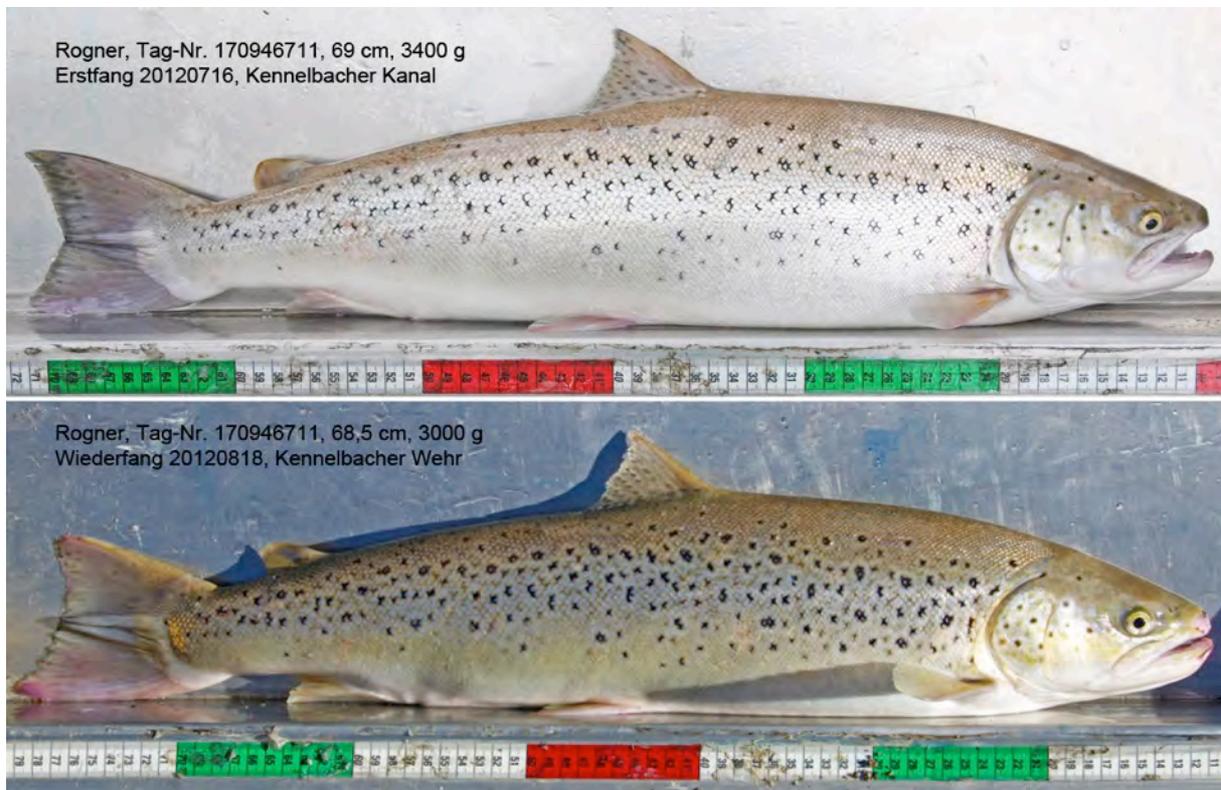


Abb. 7.13: Im Juli 2012 im VKW-Kanal gefangener und unterhalb des Kennelbacher Wehrs ausgesetzter Rogner. Das unreif verbliebene Weibchen konnte das Wehr via Fischtreppe nicht überwinden, färbte sich um und nahm in 5 Wochen um 400 g (-12 %) an Körpergewicht ab.



Abb. 7.14: Im September und Oktober 2011 unterhalb der untersten Blockrampe (Schwellwahr, F-km 2,1) in der Bregenzerach gefangener Rogner. Das Weibchen wanderte nicht über die Blockrampe und wurde nach über einem Monat an derselben Stelle wiedergefangen. Es zeigt einen Maxillarschaden („Hakenschaden“) und hatte sich zwischenzeitlich deutlich umgefärbt.

Nach dem Abbau der Antenne aus der FAH Kennelbach fanden vor Ort vom 26.09. – 10.10.2012 Reusenkontrollen durch Mitarbeiter des Landesfischereizentrums Vorarlberg statt. Eine dabei gefangene Seeforelle wurde am 06.10.2012 besendert und oberhalb des Wehrs entlassen. Am 22.11.2011 wurde beim Kraftwerk Alberschwende/ Bozenau eine weitere Kontaktschleife zur Detektion der auf- bzw. absteigenden Seeforellen installiert und in Betrieb genommen. Bis zur Notbergung der Antenne aufgrund massiver Vereisung (-27°C) am 05.02.2012 wurden keine der bis dahin vier besenderten und sich oberhalb Kennelbach aufhaltenden Forellen detektiert. Das oberhalb bei Egg am 12.11.2011 gefangene und besenderte Seeforellen-Pärchen konnte beim Abstieg ebenfalls nicht detektiert werden. Der entsprechende Rogner wurde dann aber rund 4,5 Monate später im Wehrkolk bei Egg von einem Angelfischer gefangen und entnommen (s.u.).

Wanderverhalten im Mittellauf der Bregenzerach

Da wir das Wehr in Kennelbach trotz FAH als selektiv wirkendes Hindernis identifizieren konnten (d.h., dass nicht alle Seeforellen die FAH überwinden können und Individuen $> 60\text{ cm}$ Länge offenbar nur sehr selten ins Oberwasser gelangen), wurden ab August 2012 alle markierten See- und Regenbogenforellen nach dem Fang oberhalb des Kennelbacher Wehrs ausgesetzt (Methode „catch and carry“), um ihr Wanderverhalten in der anschließenden Fließstrecke der Bregenzerach zu untersuchen. Die Antenneneinheit wurde ab dem 17.08.2012 wiederum am unteren Ende der Ausleitungsstrecke des Kraftwerks Alberschwende bei F-km 17,65 in Betrieb genommen. Der Betrieb fiel 2012 aufgrund von starken Hochwassern vom 26.08. bis 10.09. und vom 10. bis 17.10. aus. Die Reparaturen erfolgten

jedoch jeweils sofort, nachdem das Gewässer wieder zugänglich war. Bis zum 23.12.2012 verlief der Betrieb einwandfrei.

Insgesamt wurden im Herbst 2012 von uns 38 PIT-Tag-markierte See- und 6 Regenbogenforellen oberhalb des Kennelbacher Wehrs ausgesetzt. Die Distanz zwischen dem Kennelbacher Wehr und der Antenne beim Kraftwerk Alberschwende beträgt rund 10,5 km. Vier Seeforellen konnten dort detektiert werden (Abb. 7.16), eine fünfte wanderte die Bregenzerach zurück und von dort in die Goldach:

- Am 15.11.2012 wurde ein Rogner detektiert. Gefangen und markiert wurde er am 06.10.2012 unterhalb des Kennelbacher Wehrs (76,5 cm und 5,1 kg).
- Am 21.11.2012 stieg ein weiterer Rogner auf; er war am 17.11.2012 im VKW-Kanal gefangen worden (55,5 cm und 1,74 kg).
- Am 28.11.2012 wurde ein Milchner detektiert, gefangen und markiert wurde er am 17.11.2012 im VKW-Kanal (74,0 cm und 3,76 kg).
- Am 05.12.2012 wanderte ein Rogner über die Detektorschleife; er wurde am 17.11.2012 im VKW-Kanal gefangen und markiert (66,5 cm und 3,32 kg).
- Am 16.12.2012 wurde ein 2012 in der Bregenzerach markierter Milchner im Unterlauf der ca. 25 km entfernten Goldach registriert. Er war am 17.11.2012 im VKW- Kanal gefangen (63,3 cm und 3,68 kg; Abb. 7.15) und oberhalb des Wehrs in Kennelbach ausgesetzt worden.

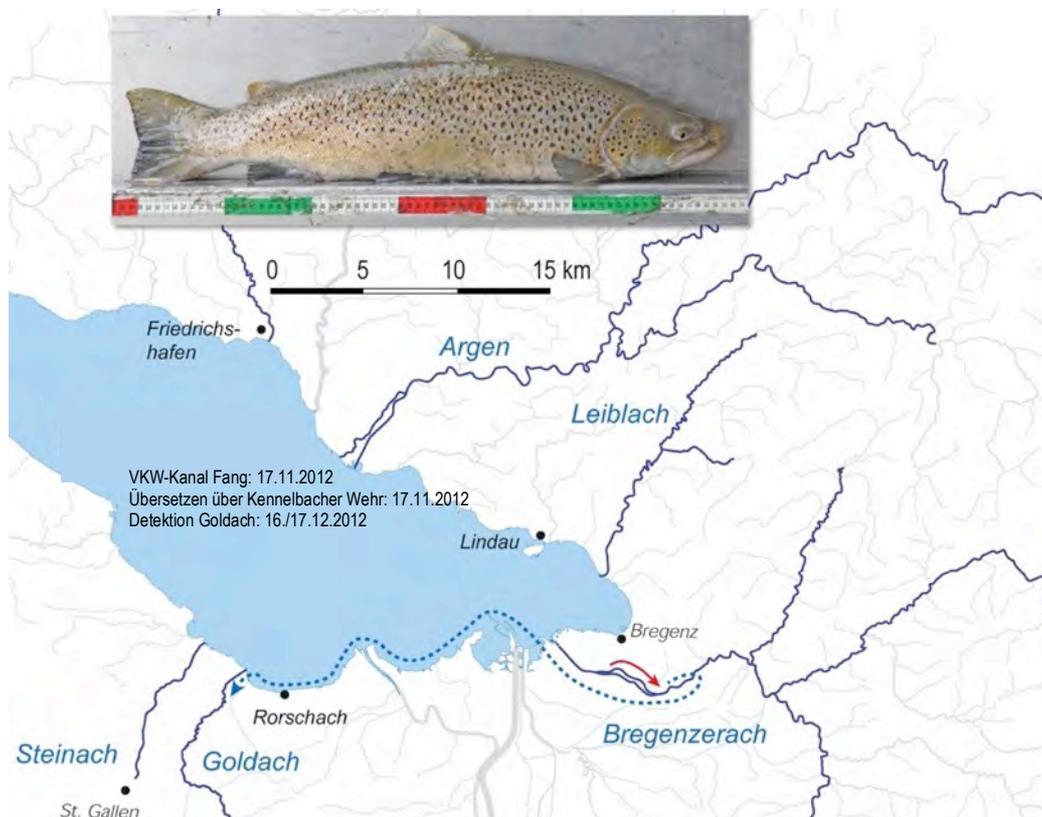


Abb. 7.15: Strayer aus der Bregenzerach mit Wiederfang in der Goldach.

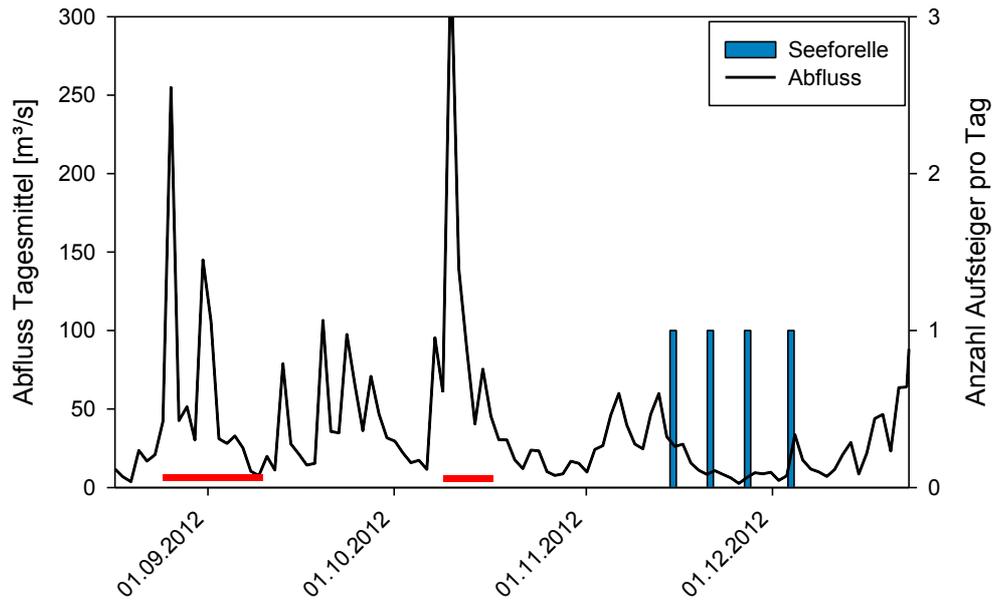


Abb. 7.16: Detektion der vier Seeforellen oberhalb des Kraftwerks Alberschwende in der Bregenzerach in Abhängigkeit vom Abfluss am Pegel Bozenau (Tagesmittel, F-km 15,75). Die Antenne fiel während der Hochwasser vom 26.08. bis 10.09. und vom 10. bis 17.10.2012 kurzzeitig aus (rote Balken). Die Fische wurden am 06.10. und 17.11.2012 markiert und oberhalb des Kennelbacher Wehrs ausgesetzt.

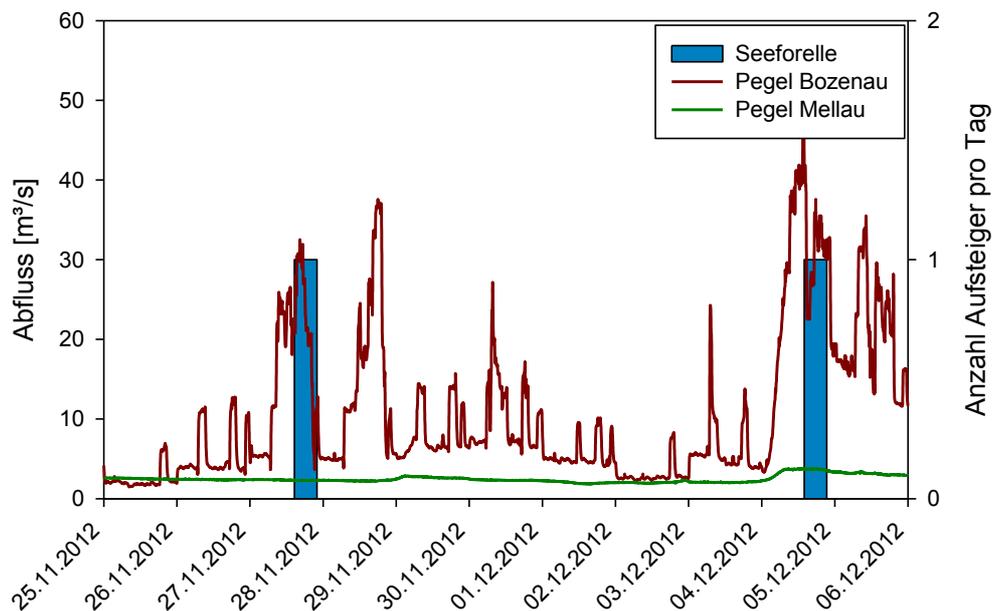


Abb. 7.17: Aufstieg zweier Seeforellen in die Ausleitungsstrecke KW Alberschwende (F-km 17,5) in Abhängigkeit vom Schwall-Sunk-Betrieb der Kraftwerke Langenegg und Alberschwende (F-km 17,2). Beide Fische wurden am 17.11.2012 markiert und oberhalb des Kennelbacher Wehrs (F-km 7,3) ausgesetzt.

Bei den beiden in Abb. 7.17 dargestellten Seeforellen-Detektionen zeigte sich, dass in der hydraulisch stark beeinflussten Achschlucht möglicherweise der Schwall als Trigger für eine weitere Aufwanderung der Seeforellen bis in die Ausleitungsstrecke wirkt.

Bei Kontrollbefischungen am 24.11.2012 im Mittellauf der Bregenzerach (unterhalb Steilrampe Bozenau, Egg, Weißbach, Rotach) konnten wir beim Pegel Weißbach (F-km 6,95) zudem eine der besonder-

ten Regenbogenforellen wiederfangen, die am 17.11.2012 markiert und oberhalb des Kennelbacher Wehrs ausgesetzt worden war. Der Fisch legte in den dazwischen liegenden sieben Tagen somit eine Strecke von rund 16,5 Kilometern zurück. Im Zuge der Befischungen an diesem Tag wurde auch eine frischtote Seeforelle (> 70 cm) oberhalb des Wehrs Egg in ca. 3 m Wassertiefe gefunden. Der Fisch konnte jedoch nicht geborgen und auf PIT-Tags überprüft werden.

Weitere Wiederfänge betreffen unter anderen zwei Seeforellen, die innerhalb eines Jahres ihren PIT-Tag verloren haben, aber aufgrund der Markierungen und der individuellen Zeichnungen wiedererkannt werden konnten. Eine der beiden lieferte besonders interessante Erkenntnisse:

- 1) Ein Rogner (Erstfang am 23.10.2011 an der Mündung des VKW-Kanals) passierte am 15.12.2011 die Detektorschleife in der Fischaufstiegshilfe des Kennelbacher Wehrs. Der Fisch laichte wohl oberhalb des Kennelbacher Wehrs und verlor dabei seinen Transponder. Danach muss er wieder über das Kennelbacher Wehr und die Rampen in den See abgewandert sein. Im darauffolgenden Jahr wurde er beim erneuten Aufstieg am 17.11.2012 im VKW-Kanal wiedergefangen und anhand seines Punktemusters identifiziert (Abb. 7.18). Der Fisch wuchs in 13 Monaten um 5 cm auf 51,5 cm Länge heran und nahm um 520 g auf 1520 g zu.
- 2) Ein Milchner wurde 2011 und 2012 jeweils im VKW-Kanal gefangen. Er verlor seinen PIT-Tag und wuchs innerhalb von knapp einem Jahr um knapp 6 cm auf 70,5 cm heran und nahm dabei um 1080 g auf 4080 g zu (Abb. 7.19).

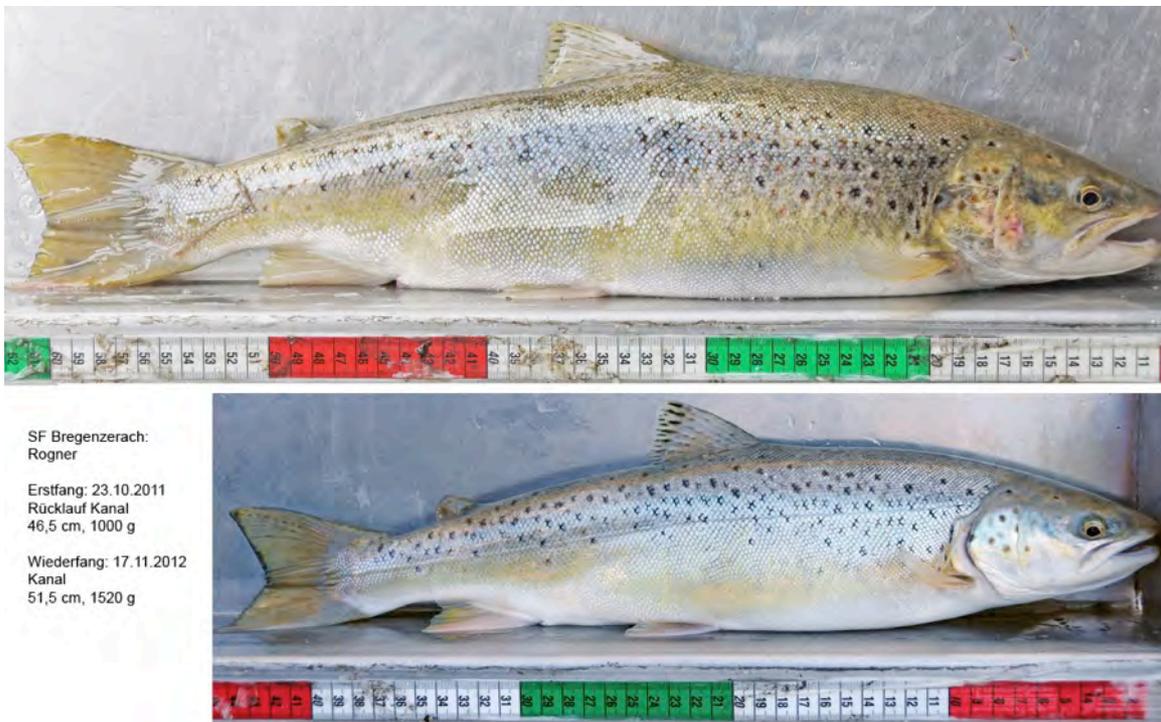


Abb. 7.18: Nach einem Jahr wiedergefangener Rogner aus der Bregenzerach. Unten: Erstfang; Oben: Wiederfang. Identifikation anhand des Punktemusters.

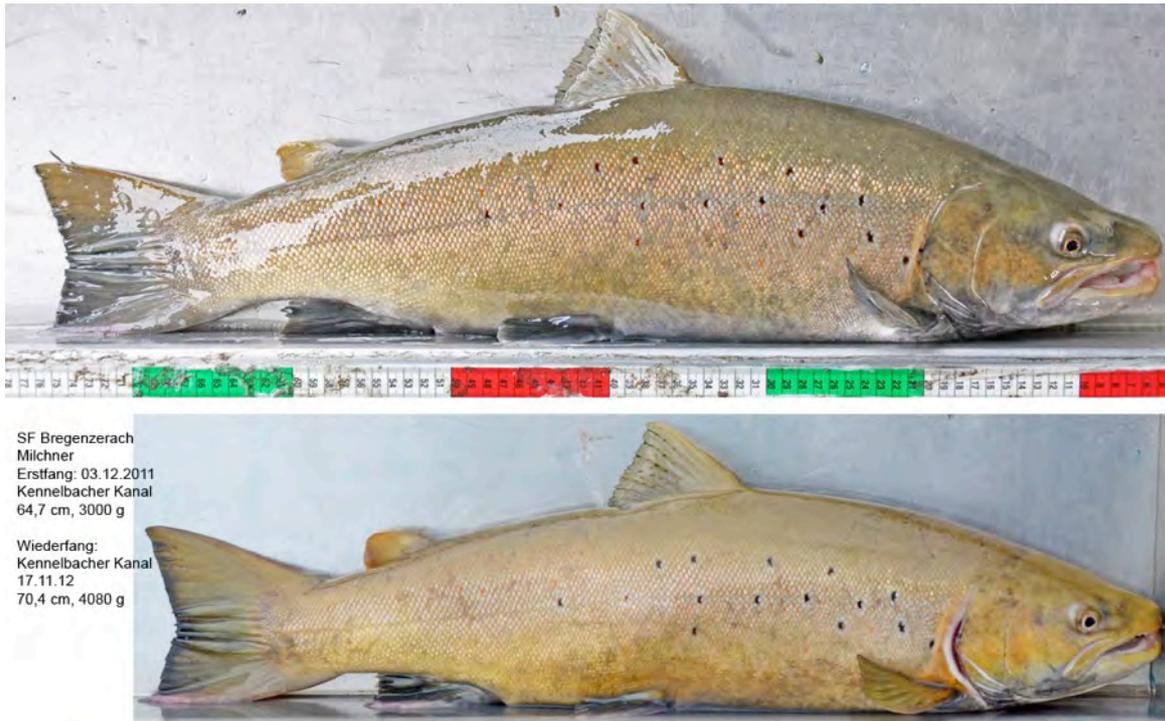


Abb. 7.19: Nach einem Jahr wiedergefangener Milchner aus der Bregenzerach.

- 3) Ein am 24. November 2011 bei Egg gefangener und markierter Seeforellen-Rogner wurde am 01.04.2012 an gleicher Stelle im Wehrkolk von einem Angelfischer gefangen und entnommen. Der 50 cm große und 1 kg schwere Fisch hielt sich nachweislich mind. 4,5 Monate in der Bregenzerach auf. Ein PIT-Tag-markierte Regenbogenforellen (49 cm; 1850 g), die am 06.10.2012 unterhalb des Kennelbacher Wehrs (F-km 7,3) gefangen und oberhalb wieder eingesetzt worden war, wurde nach über sechs Monaten am 21.04.2013 oberhalb des Wehrs in Egg bei F-km 25,7 von einem Angelfischer gefangen (Länge: 54 cm; Gewicht: 1700 g).

7.2.4 Kontinuums-Analysen

Die historische Verbreitung der Seeforelle in der Bregenzerach reichte von der Mündung bis zur Einmündung Dürrenbach bei F-km 40,7 am oberen Ortsende von Mellau (Anm.: unser oberster Brutbo-
xenversuch (Kap. 7.3.2) fand ca. 1 km oberhalb davon statt). In der Rotach kamen Seeforellen von ihrer Mündung in die Bregenzerach bis F-km 9,0 hinauf vor, in der Weißbach bis F-km 12,8 (jeweils Staatsgrenze).

Blockrampen als Hindernisse

Bei geringer Wasserführung wirken die 3 Blockrampen (Wuhre) im Unterlauf der Bregenzerach (F-km 2,1, 4,1 und 5,4) als mehr oder weniger starke Wanderhindernisse (Abb. 7.20, 7.27). Im Zuge des Projekts konnten deshalb auch an den Rampen anstehende Seeforellen abgefangen werden. Bis auf die unterste Rampe, das sog. „Schwellwuhr“, können diese Hindernisse – zumindest von grösseren Fischen – nur bei erhöhten Abflüssen oder bei Schwall überwunden werden. Das Schwellwuhr wirkt

sich dabei auf weniger schwimmstarke Fischarten als Vernetzungshindernis zwischen See und Bregenzerach aus. Zugleich wirken die Blockrampen aber auch als Sunkfallen. So wurde im Schwellwahr am 03.12.2011 eine tote Seeforelle gefunden, die bei Sunk in einem Restwasserloch zwischen Blöcken gestrandet und hier verendet war (Abb. 7.21). Der natürliche Sandsteinriegel bei der Eisenbahnbrücke (F-km 3,1) ist von Seeforellen auch bei Niederwasser weitgehend ungehindert passierbar.

Mündung des VKW-Kanals als attraktive Wander- und Reproduktionssackgasse

Direkt anschließend folgt jedoch mit der Rückleitung des VKW-Kanals bei F-km 3,6 ein hydraulisches Wanderhindernis. Der Triebwasserkanal besitzt vor allem bei Sunk in der Bregenzerach eine bei weitem stärkere Lockströmung als die Ausleitungsstrecke der Ach selbst (Abb. 7.22). Die Dotation der Bregenzerach beim Ausleitungsbauwerk am Wehr Kennelbach ist derzeit mit 1,3 m³/s von Oktober bis März festgelegt, die Konsenswassermenge im Kanal liegt um ein mehr als Zehnfaches darüber (14 m³/s). Dies erklärt, warum ein überwiegender Anteil aufsteigender Seeforellen dem Weg in den Kanal folgt und nicht weiter in die Bregenzerach aufsteigt.

In der Saison 2011 konnten im VKW-Kanal 11 der insgesamt 19 in der Bregenzerach nachgewiesenen Seeforellen (57,9 %) und im Jahr darauf 40 der 48 Seeforellen dort gefangen werden (83,3 %). Insgesamt stammen drei Viertel der im System nachgewiesenen Seeforellen aus dem Kanal. Auch 2013 bestätigte sich die ablenkende Wirkung des Kanals eindrucksvoll, als bei der Bestandsbergung im entleerten Kanal Mitte Juli 32 Seeforellen ausgefischt wurden. Der Kanal ist im untersten Abschnitt noch naturnah ausgeprägt. Er lässt aber aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten und der Kolmation des Substrats keine erfolgreiche Seeforellen-Reproduktion zu, obwohl im Rahmen unserer Untersuchungen sowohl 2011 als auch 2012 auch hier Laichversuche beobachtet wurden. Bei ehemals noch geringeren Abflussmengen soll der Kanal noch für die Reproduktion von Seeforellen geeignet gewesen sein (LUNARDON, pers. Mitt.). Zuletzt wurde die Ausbauwassermenge im Jahr 2004 von 12 m³/s auf 14 m³/s erhöht. Alles in allem ist der VKW-Kanal deshalb eine klare Aufstiegs- und Reproduktionssackgasse für das gesamte System der Bregenzerach.



Abb. 7.20: Blockrampen (Wuhre) bei F-km 4,1 während des historischen Niederwassers im Herbst 2011. Der Aufstiegsweg ist bei diesen Abflussverhältnissen für Fische nicht aufzufinden.



Abb. 7.21: Im Schwellwahr nahe der Mündung (F-km 2,1) bei Sunk gestrandete und verendete Seeforelle.



Abb. 7.22: Mündung des VKW-Kanals in die Bregenzerach (F-km 3,6). Wie man an der kontrastüberhöhten Sohlen-Aufnahme erkennt, ist die Lockströmung aus dem Kanal sowohl bei Sunk als auch meistens bei Schwallbetrieb Niederwasser stärker als diejenige in der Bregenzerach. Die Mündung wirkt somit als hydraulisches Hindernis für den weiteren Fische aufstieg in der Ach und erklärt die hohen Aufsteigerzahlen in den VKW-Kanal.

Eine deutliche Verringerung der Ausbauwassermenge im VKW-Kanal könnte den Aufstieg in die Bregenzerach für Seeforellen wieder attraktiver machen, zumindest bei höheren Basisabflüssen. Zudem wäre eine Einrichtung zur Verhinderung des Einstiegs der Seeforellen in den VKW-Kanal anzudenken (Fischscheuchanlage). Kurzfristig sollten jedoch zumindest im Herbst die laichbereiten Seeforellen aus dieser Sackgasse über das Wehr in Kennelbach transportiert werden (*catch and carry*).

Aufstiegs-Situation am Kennelbacher Wehr

Für die Seeforellen, die bei erhöhten Abflüssen in der Bregenzerach weiter wandern, besteht am Kennelbacher Wehr (F-km 7,1) noch immer ein selektives Hindernis. Die Lockströmung des Fischpasses am Kennelbacher Wehr wird meist von Strömungen in unmittelbarer Nähe überdeckt (Abb. 7.23). So ist bei Überwasser der Impuls sicher groß, über die darunter liegende Blockrampe 2 aufzusteigen, allerdings ist das direkt folgende Kennelbacher Streichwehr noch unüberwindbar. Die Entlastung aus der Ausleitung zum VKW-Kanal, die unmittelbar unterhalb der Fischtreppe in die Bregenzerach mündet, weist an dieser Stelle die stärkste Lockströmung auf und lenkt die aufsteigenden Fische schon vor der Fischtreppe ab. Oberhalb der sehr schwer überwindbaren, über ca. 2 m hohen Blockrampe 1 dieses Abzweigs wurden sieben der 16 Seeforellen gefangen, die im Gewässerabschnitt flussauf des VKW-Kanals bis zum Wehr Kennelbach gefangen wurden (43,8 %).



Abb. 7.23: Situation für aufstiegswillige Seeforellen am Kennelbacher Wehr (Schindlerwehr).

Insgesamt ist die Auffindbarkeit der Fischtreppe eingeschränkt. Sie konnte innerhalb der beiden Untersuchungsjahre im Rahmen unserer Untersuchungen nachweislich nur von fünf Seeforellen aus eigener Kraft passiert werden. Dies entspricht 26,6% der Fische, die nicht in den VKW-Kanal eingestiegen sind und weiter flussauf in der Bregenzerach festgestellt wurden bzw. nur ca. 7 % aller in der Bregenzerach gefangenen Seeforellen. Zudem ist die Fischtreppe – es handelt sich um einen Beckenpass mit Schlupfloch und Kronenloch – aufgrund ihrer Dimensionen als stark gröbenselektiv einzustufen (Abb. 7.24), so waren vier der Fische, welche die Treppe passieren konnten, jeweils 50 cm lang. Die fünfte aus der zeitweise installierten Fischreuse war 57,5 cm lang.

Aufstiegshindernisse im Mittellauf der Bregenzerach

Unterhalb der Steilrampe Bozenau (Abb. 7.25) konnten bei zwei Befischungen keine Seeforellen gefangen werden, allerdings sind hier dem Nachweis von Fischen in dem tiefen Tosbecken unterhalb der Rampe methodische Grenzen gesetzt. Die vier Detektionen im Restwasser oberhalb der Schwallrückgabe KW Langenegg sowie der Fang von 5 Seeforellen und einer Regenbogenforelle oberhalb von Egg (s.u.) zeigen aber, dass auch dieses Hindernis – sicherlich abflussabhängig – überwindbar ist.



Abb. 7.24: Oben: Seeforellen bis zu einer Größe von ca. 55 cm können die Fischtreppe nutzen. Größere Exemplare wie dieser über 9 kg schwere Milchner halten sich dagegen bis zu mehreren Monaten unterhalb des Wehres auf.

Links: Der veraltete, nur selektiv funktionsfähige Beckenpass am Wehr Kennelbach muss regelmässig geleert (Foto) und gewartet werden.

Außerhalb unseres Untersuchungsprogramms gelang am 14.10.2012 im Rahmen einer Elektrofischung durch den FV Mittelbregenzerwald bei Bersbuch (ca. 6,5 km oberhalb des Wehres in Egg) der Fang einer weiblichen Seeforelle (58,5 cm). In diesem Bereich wurde bereits am 13.04.2008 eine Seeforelle mit 50 cm von einem Angelfischer gefangen. Zusammen mit dem Angelfang der Regenbogenforelle ist belegt, dass die Wehre in Egg und bei Bersbuch (F-km 28,6), die mit Raugerinne-Beckenpässen ausgestattet sind, für größere Forellen passierbar sind. Das Wehr in Egg hat überdies keine Funktion mehr und sollte abgebaut werden (BERCHTHOLD, 2011).



Abb. 7.25: Steilrampe Bozenau mit Bootsgasse, ein Aufstiegshindernis kurz flussab der Schwallrückleitungen Alberschwende und Langenegg (F-km 16,7).



Abb. 7.26: Der Beckenpass am Wehr Egg (F-km 25,3) ist – vorausgesetzt, dass er nicht von Totholz verklaust ist und aufgefunden wird - auch für große Forellen passierbar.

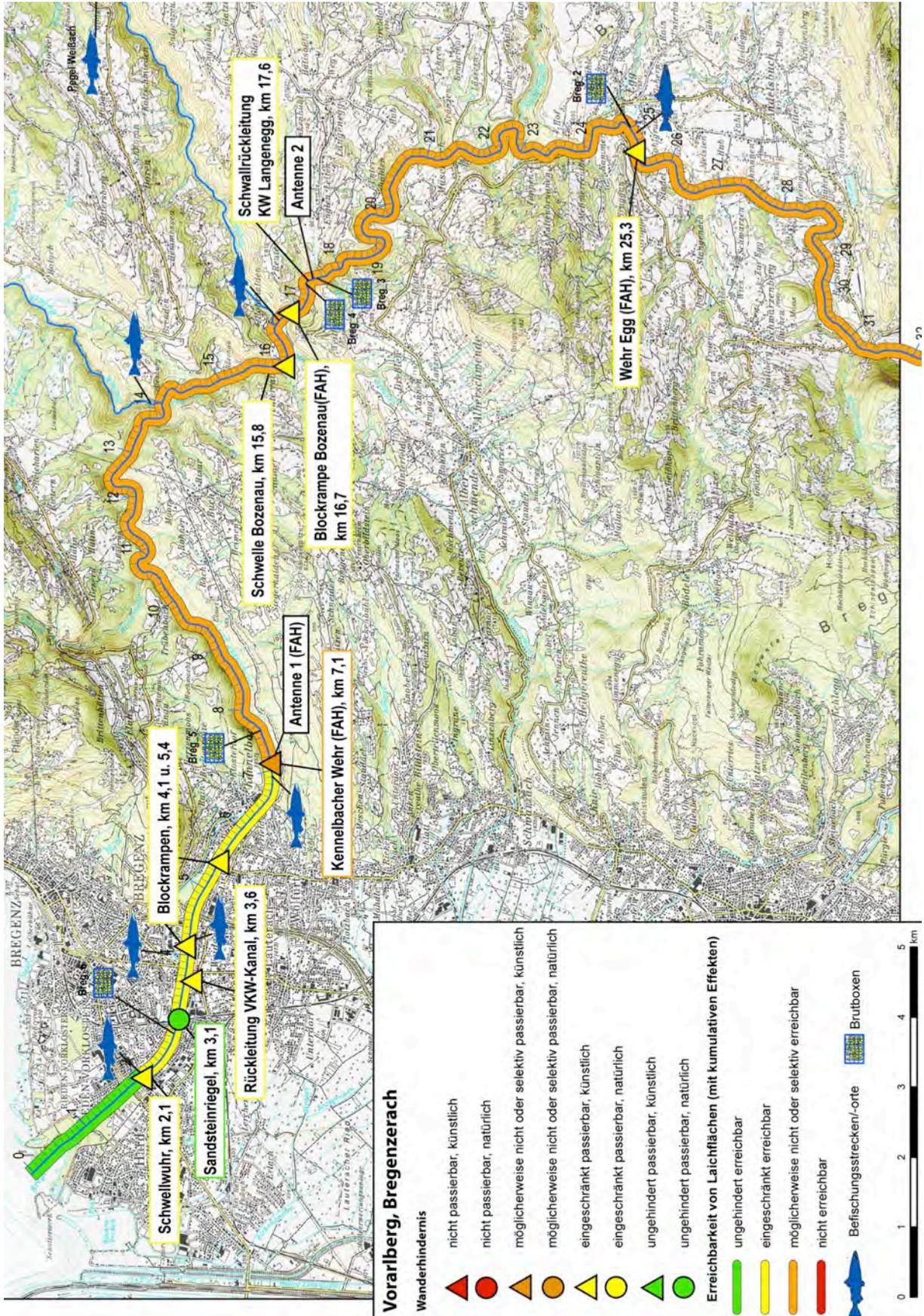


Abb. 7.27: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Flussabschnitte der Bregenzerach. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

7.3 Reproduktion und Habitatanalysen

7.3.1 Habitatanalysen

Im Februar 2011 wurden die potenziellen Laichflächen und deren Eignung für die Seeforellen-Reproduktion auf rund 27,5 km Flusslänge kartiert; die Zuflüsse konnten nicht berücksichtigt werden, obwohl sie für eine umfassende Betrachtung des Systems sicher von Bedeutung sind. „Geeignete“ und „möglicherweise geeignete“ Laichhabitats liegen in der Bregenzerach meist recht großflächig oberhalb von Rauschen (Gefällestrecken); diese Lage wäre generell prädestiniert für die Anlage von Forellenlaichgruben. Gerade im Bereich zwischen der Rotach-Mündung vor Bozenau und Egg sind zahlreiche potenzielle Laichflächen vorhanden.

Abschnitte im Unterlauf

Als möglicherweise zur Verlaichung geeignet wurden Bereiche unterhalb der Rückleitung des VKW-Kanals beurteilt. Dagegen wurde nahezu die gesamte Ausleitungsstrecke unterhalb des Kennelbacher Wehrs (F-km 7,3) aufgrund zu geringer Durchströmungen als nicht geeignet klassifiziert, obwohl eigentlich geeignete Substrate vorhanden wären. In der schwallbeeinflussten Strecke wurden die Laichsubstrate bei Sunk beurteilt, obwohl schwallbedingte Beeinträchtigungen relevant sind.

Bis in den Mittellauf der Bregenzerach wurden 21600 m² als potenzielles Laichsubstrat beurteilt (Abb. 7.28), davon entfallen 5700 m² auf geeignete und 15900 m² auf mögliche Laichflächen, die wie folgt von Seeforellen erreichbar sind (Tab. 7.3):

Tab. 7.3: Ergebnisse der Laichflächenkartierung in der Bregenzerach

Erreichbarkeit	Eignung als Laichhabitat	Anzahl	Fläche Laichsubstrat (m ²)
Ungehindert erreichbar	geeignet	0	-
	möglich	3	1100
Eingeschränkt erreichbar	geeignet	2	400
	möglich	2	100
Möglicherweise nicht erreichbar	geeignet	51	15500
	möglich	42	4500

Insgesamt weisen in der Bregenzerach über 21000 m² der kartierten Flächen potenzielles Laichsubstrat auf, was allerdings auch nur 1,6 % der entsprechenden Gerinnefläche entspricht:

Kartierte Länge (km)	Potenzielles Laichsubstrat (m ²)	Kartierte Fläche (m ²) - geschätzt	Anteil Laichsubstrat an Gesamtfläche - geschätzt
27,5	21600	1375000	1,6%

Die Dynamik der Kiesbänke bei Hochwassern konnte bei der einmaligen Kartierung nicht berücksichtigt werden.

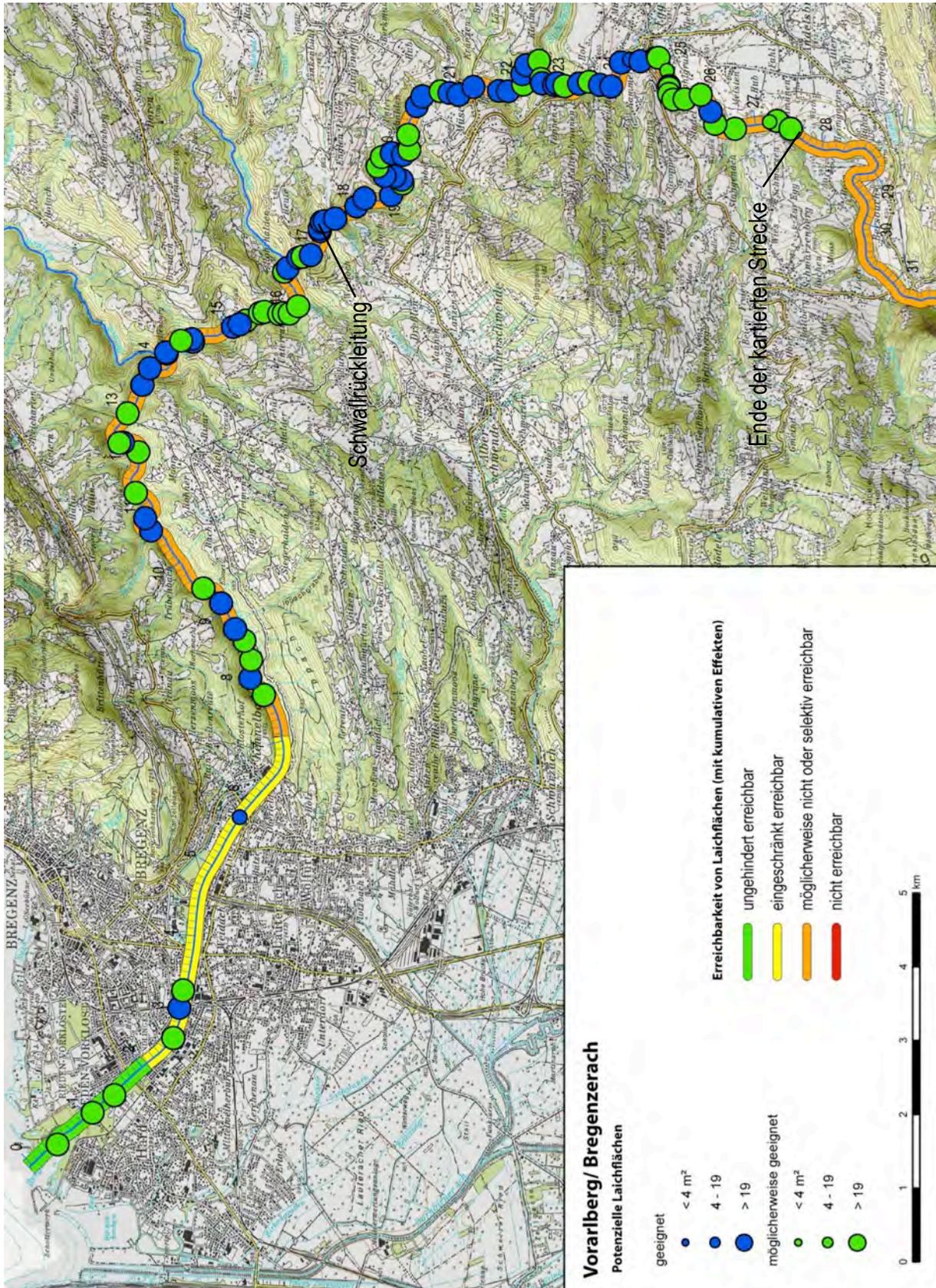


Abb. 7.28: Potenzielle Laichflächen in der Bregenzerach. Kartiert wurde bis F-km 27,5 (Andelsbuch). Farblich hinterlegt ist die Erreichbarkeit der Laichflächen.

7.3.2 Brutboxen-Versuche

In der Bregenzerach fanden im Winter 2011/12 und im Winter 2012/13 jeweils Versuche mit Seeforelleneiern im Augenpunktstadium statt. Im ersten Untersuchungswinter stammten diese von der Fischbrutanstalt Rorschach, im zweiten von der Fischbrutanstalt Nonnenhorn. Die Brutboxen-Versuche wurden an folgenden Probestellen durchgeführt (Tab. 7.4):

Tab. 7.4: Brutboxenversuche und Probestellen an der Bregenzerach

Probestellenkürzel	Koordinatengaben (WGS-84)	Beschreibung der Lage
Breg_1 (F-km 42)	47.346831° / 9.904010° bis 47.346803° / 9.902723°	Bregenzerach zwischen Mellau und Hirschau (Vollwasser)
Breg_2 (F-km 25,2)	47.429725° / 9.892640° bis 47.430485° / 9.893815°	Bregenzerach im Bereich Egg (Restwasser)
Breg_3 (F-km 17,65)	47.470136° / 9.863559° bis 47.470458° / 9.863415°	Bregenzerach direkt oberhalb der Rückleitung KW Alberschwende (Restwasser)
Breg_4 (F-km 17,45)	47.470959° / 9.862960° bis 47.470938° / 9.862227°	Bregenzerach direkt unterhalb der Rückleitung KW Alberschwende (ungedämpfter Schwall)
Breg_5 (F-km 7,6)	47.477708° / 9.779159° bis 47.476429° / 9.777588°	Bregenzerach oberhalb Kennelbacher Wehr (gedämpfter Schwall)
Breg_6 (F-km 2,85)	47.487073° / 9.722365° bis 47.487149° / 9.721935°	Bregenzerach in Bregenz Bereich Eisenbahnbrücke (gedämpfter Schwall)

Probestellen	Eityp	Expositionsdatum	Brutgefäße & Bestückung	Kontrollen
Breg_3, Breg_4	Augenpunkt	05.02.2012	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	11.03.2012 06.04.2012 27.04.2012 28.04.2012
Breg_1, Breg_2, Breg_5, Breg_6	Augenpunkt	20.01.2013	4 Brutröhrchen à 10 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	17.03.2013 31.03.2013 07.04.2013 15.07.2013*

*: zusätzliche Suche nach Loggern und Überresten von Brutgefäßen bzw. Markierungsstangen.

Wassertemperatur und Abflusssituation

An den Probestellen in der Bregenzerach wurden zwei der vier exponierten Logger durch Hochwasser zerstört, weswegen über die Temperaturverläufe an den betroffenen Probestellen und vor allem über mögliche Unterschiede kaum Aussagen getroffen werden können. Im Anschluss an extreme Kältephasen waren die dokumentierten Temperaturwerte für die Ei-/Larvalentwicklung jedoch unbedenklich.

Im Untersuchungswinter 2011/12 wurden an der Probestelle Breg_3 (F-km 17,65) im Februar sehr niedrige Temperaturen um und teilweise unter 0° C aufgezeichnet (Abb. 7.29). Diese Extremwerte waren eine Gefahr für die exponierte Brut (Grundeisbildung) und haben mit Sicherheit einen verzögernden Einfluss auf die Eientwicklung gehabt.

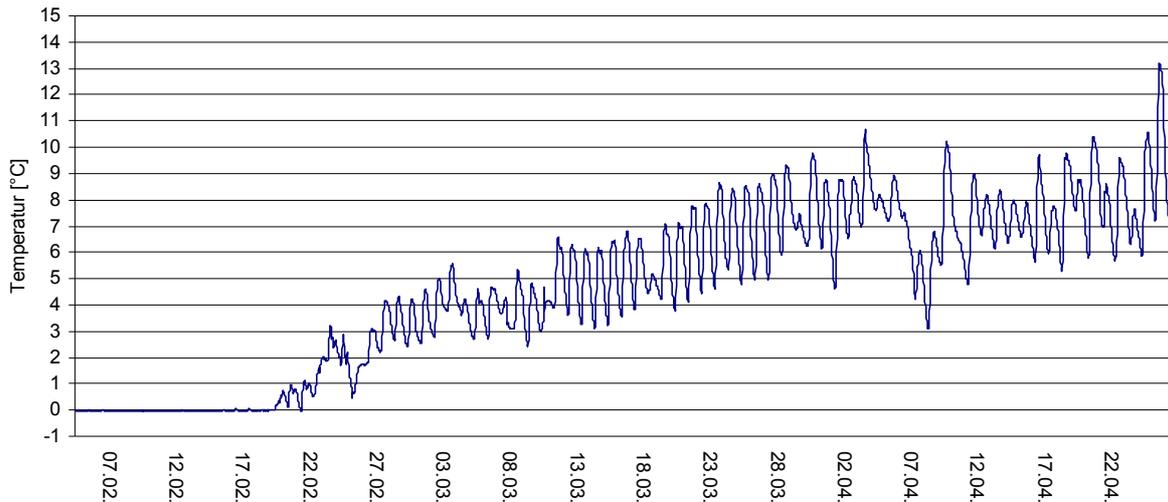


Abb. 7.29: Durch den Temperaturlogger aufgezeichneter Temperaturverlauf an der Probestelle Breg_3 (Ausleitungsstrecke oberhalb Rückleitung KW Alberschwende). Dargestellt 30-Minuten-Werte.

Auch im Untersuchungswinter 2012/13 haben beide eingesetzten Logger kritisch niedrige Wassertemperaturen aufgezeichnet. In der Ausleitungsstrecke in Egg (Breg_2) traten an mehreren Tagen im Januar und im Februar Temperaturen um 0° C auf. Im Bereich der Eisenbahnbrücke in Bregenz war diese Kältephase vor allem auf Anfang bis Mitte Februar beschränkt. Erwartungsgemäß waren die tageszeitlichen Temperaturschwankungen in der Ausleitungsstrecke (Breg_2) ausgeprägter als im schwallbeeinflussten Bereich (Breg_6).

Von den untersuchten Gewässern weist die Bregenzerach die stärkste hydrologische Beeinflussung durch Wasserkraftwerke auf. Unterhalb der Rückleitung des Kraftwerks Alberschwende (F-km 17,5) ist die Bregenzerach bis zur Mündung in den Bodensee schwallbeeinflusst. Oberhalb dieser Rückleitung und bis hinauf bis kurz unterhalb von Bezau (F-km 35) ist das Bett des Flusses eine zusammenhängende Ausleitungsstrecke. Weiter flussaufwärts folgt dann noch eine kurze und wasserreich verbliebene Ausleitungsstrecke von 630 m Länge, an deren oberem Ende (Mündung des Bizauerbachs, F-km 37) inzwischen eine flache Riegelrampe (1:38) errichtet wurde. Zusätzlich zu den zunehmend auftretenden Winterhochwassern sorgen die Feststoffbewirtschaftung der Speicherseen Bolgenach und Andelsbuch und der Schwallbetrieb für eine erhöhte Gewässertrübung und damit Feinsedimentbelastung und führen auch zu einer zumindest oberflächlichen Umlagerung von Kiessubstraten. An der Messstelle Kennelbach traten jeweils mindestens zu drei Zeitpunkten Tagesmittel über 100 m³/s auf. Aufgrund der Ergebnisse der Brutversuche kann davon ausgegangen werden, dass bereits solche für die Bregenzerach vergleichsweise geringen Abflüsse zu massiven Substratumlagerungen führen. Dieser Sachverhalt wird in der vergleichenden Beurteilung noch einmal behandelt.

7.3.3 Überlebensraten

Die Überlebensraten an den einzelnen Probestellen sind in Tab. 7.5 zusammengestellt. Die weitere Betrachtung erfolgt getrennt nach Probestellen.

Tab. 7.5: Zusammenstellung der Ergebnisse der Brutboxenversuche in der Bregenzerach.

Untersuchungswinter 2011/12 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (Breg_3 06.04.2012)	2. Kontrolle (Breg_3 27.04.2012)
Breg_3 (Exp. 05.02.2012)	3 Brutröhrchen	0 %	-
	1 Brutröhrchen	55 %	-
	1 Brutröhrchen	5 %	-
	1 Brutröhrchen	60 %	-
	1 WV-Box	100 %	-
	1 WV-Box	-	0 % (Verlust)
Breg_4 (Exp.05.02.2012)	6 Brutröhrchen 2 WV-Boxen	vermutlich 0 % (Verlust vor erster Kontrolle) (keine Kontrolle möglich!)	
Gesamtergebnis	2011/12	ca. 30 % (Breg_3)	
		0 % (Breg_4)	
Untersuchungswinter 2012/13 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (17.03.13 für Breg_1 und Breg_2 / Breg_5 und Breg_6 konnten trotz mehrerer Versuche (siehe Termine oben) nicht mehr kontrolliert werden)	2. Kontrolle
Breg_1 (Exp. 20.01.2013)	1 WV-Box	82,5 %	-
	1 WV-Box	77,5 %	-
	1 Brutröhrchen	30 %	-
	1 Brutröhrchen	70 %	-
	2 Brutröhrchen	100 %	-
Breg_2 (Exp. 20.01.2013)	2 WV-Boxen 4 Brutröhrchen	0 % (Verlust)	-
Breg_5 (Exp. 20.01.2013)	2 WV-Boxen 4 Brutröhrchen	vermutlich 0 % (Verlust vor erster Kontrolle) (keine Kontrolle möglich!)	
Breg_6 (Exp. 20.01.2013)	2 WV-Boxen 4 Brutröhrchen	vermutlich 0 % (Verlust vor erster Kontrolle) (keine Kontrolle möglich!)	
Gesamtergebnis	2012/13	0 % (Breg_2, Breg_5, Breg_6)	
		ca. 77 % (Breg_1)	

Breg_1 – Bregenzerach zwischen Mellau und Hirschau (Vollabfluss), F-km 42



Abb. 7.30: Blick flussaufwärts von der Stelle Breg_1 (F-km 42) aus.



Abb. 7.31: Probestelle Breg_1 mit Blickrichtung flussabwärts.

An der Probestelle Breg_1 (Abb. 7.30, Abb. 7.31) konnten beim Kontrolltermin am 17.03.2013 sämtliche Brutboxen wieder gefunden werden. Es wurden keine Substratumlagerungen festgestellt. In den geborgenen WV-Boxen konnten trotz hohem Feinmaterialeintrag, bei dem es sich allerdings überwiegend um anorganische, sandige Fraktionen handelte, hohe Überlebensraten festgestellt werden; so wurden in der einen WV-Box 22 Dottersacklarven und 11 lebende, kurz vor dem Schlupf stehende Eier dokumentiert, in der zweiten 23 geschlüpfte Larven und acht lebendige Eier.



Abb. 7.32: Am 17.03.2013 geborgenes Brutröhrchen von der Stelle Breg_1. In diesem Röhrchen befanden sich drei lebende Dottersacklarven, eine verendete Larve und fünf abgestorbene Eier.



Abb. 7.33: Nahaufnahme des Inhalts einer am 17.03.2013 geborgenen WV-Box von Breg_1. Neben lebenden Dottersacklarven und lockerem Feinsediment wurden auch lebende, noch nicht geschlüpfte Eier vorgefunden.

An dieser Probestelle wurden die mit Abstand höchsten Überlebensraten in der Bregenzerach festgestellt. In den Brutröhrchen wurden Überlebensraten von 30 % (Abb. 7.32), 70 % und zweimal 100 % dokumentiert. Insgesamt war in die Brutröhrchen verglichen mit den WV-Boxen auch weniger Feinsediment eingedrungen (Abb. 7.32 und 7.33). Dies dürfte zum einen daran liegen, dass diese Stelle in einem hydrologisch anthropogen unbeeinflussten Bereich liegt und zum anderen aber auch daran, dass sie sich soweit stromaufwärts befindet, dass die Gefahr von Umlagerungen durch Winterhochwasser im nivalen Einzugsgebiet relativ gering ist. So hat die hier exponierte Brut das Winterhochwasser vom 02.02.2013 überstanden, durch welches vermutlich alle anderen im Winter 2012/13 exponierten Brut-

gefäße verloren gegangen sind. Wir gehen deshalb davon aus, dass natürliche Seeforellenbrut in der Bregenzerach erst oberhalb der Kette von Ausleitungs- und Schwallstrecken (ca. ab Bizau, F-km 37 aufwärts) derzeit eine realistische Überlebenschance hat.

Breg_2 – Bregenzerach im Bereich Egg (Restwasser), F-km 25,0

An der Probestelle Breg_2 (Abb. 7.34 bis Abb. 7.36) konnten beim Kontrolltermin am 17.03.2013 trotz intensiver Nachsuche keine Brutgefäße mehr gefunden werden. Ein erhöhter Abfluss am 02.02.2013 führte offenbar zu massiven Substratumlagerungen. Da beim Kontrolltermin dann ein starker Bewuchs mit Algen (Abb. 7.37) und deutliche Versandungstendenzen festgestellt wurden, ist davon auszugehen, dass anschließend keine Umlagerungen des Kieskörpers mehr stattgefunden haben.



Abb. 7.34: Blick flussaufwärts von der Probestelle Breg_2 aus (F-km 25,0).



Abb. 7.35: Blick auf den Bereich der Probestelle Breg_2, in dem Brutgefäße exponiert wurden.



Abb. 7.36: Aufnahme des Substrats an der Probestelle Breg_2.



Abb. 7.37: Substratbeschaffenheit am 17.03.2013. Die Deckschicht ist sehr stark mit fädigen Algen bewachsen.

Natürliche Reproduktion von Seeforellen ist im Bereich der Probestelle Breg_2 unwahrscheinlich. Maßgeblich dafür ist die geringe Wasserführung der Ausleitungsstrecke, die u.a. zu starken Einlagerungen von Feinsediment führt und einen ungewöhnlich starken Algenbewuchs begünstigt.

Breg_3 – Bregenzerach oberhalb Rückleitung KW Alberschwende (Restwasser), F-km 17,65



Abb. 7.38: Probestelle Breg_3 mit Blickrichtung flussaufwärts (F-km 17,65).



Abb. 7.39: Probestelle Breg_3 mit Blickrichtung flussaufwärts.

Bei der Kontrolle am 06.04.2012 konnten an dieser Probestelle (Abb. 7.38, Abb. 7.39) sämtliche Brutgefäße wieder gefunden werden. In den Brutröhrchen wurden aber nur geringe Überlebensraten festgestellt. Bei der ersten geborgenen WV-Box wurde dagegen eine Überlebensrate von 100 % dokumentiert, weshalb die zweite WV-Box für eine weitere Kontrolle im Sediment belassen wurde. Insgesamt wurde am 06.04.2012 eine Gesamt-Überlebensrate bis zum Dottersackstadium von etwa 30 % festgestellt. Die Unterschiede zwischen den Brutgefäßen deuten auf kleinräumige Unterschiede in der Substrateignung hin. Bei allen Brutgefäßen wurde ein vergleichsweise starker Eintrag von Feinsediment beobachtet; zudem war die Deckschicht stellenweise stark veralgt (Abb. 7.40, Abb. 7.41). Aus diesen Gründen dürfte selbst bei angenommener Substratstabilität bis zum Emergenzstadium mit sehr hohen Verlustraten unter der Brut gerechnet werden.



Abb. 7.40: Starke Algenaufwuchsbildung (v.a Schlauchalgen der Gattung *Hydrurus*) am Expositionsstandort.



Abb. 7.41: Dieses Brutröhrchen wurde bis zur oberen Kappe freigelegt und von Algen bewachsen.

Beim zweiten Kontrolltermin am 27.04.2012 war die zweite WV-Box nicht mehr auffindbar. Das Substrat war nicht mehr so stark bewachsen wie am 06.04.2012. Daher gehen wir davon aus, dass eine Substratumlagerung stattgefunden hat; im betrachteten Zeitraum fiel jedoch kein ausgeprägtes Abflussereignis auf.

Letztendlich können für diese Probestelle keine endgültigen Aussagen getroffen werden. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Feinsedimentbelastung und die Aufwuchsproblematik im Bereich der Probestelle Breg_3 auch bei angenommener Substratstabilität über den gesamten Entwicklungszeitraum von Seeforelleneiern betrachtet zu einer hohen Verlustrate führen würden.

Breg_4 – Bregenzerach unterhalb Rückleitung KW Alberschwende (Schwall), F-km 17,45



Abb. 7.42: Blick auf die Probestelle Breg_4 in der Sunk-situation (Aufnahmeposition bei F-km 17, 6).



Abb. 7.43: Blick auf die Probestelle Breg_4 bei Schwall.

Die Probestelle Breg_4 (Abb. 7.42) konnte – abgesehen vom Zeitpunkt der Exposition der Brutboxen am 05.02.2012 – zu keinem anderen Kontrolltermin mehr erreicht werden. Am 11.03., 06.04., 27.04. und 28.04. 2012 herrschte Schwallbetrieb (Abb. 7.43). Aufgrund der massiven hydraulischen Belastung in der Schwall-situation fanden an der Probestelle Breg_4 Substratumlagerungen statt, die, wie sich bei einer späten Nachkontrolle zeigte, zum Verlust aller Brutgefäße und des Loggers geführt haben.

Breg_5 – Bregenzerach oberhalb Kennelbacher Wehr (gedämpfter Schwall), F-km 7,6



Abb. 7.44: Blick auf die Probestelle Breg_5, Fliessrichtung von links nach rechts (F-km 7,6).



Abb. 7.45: Blick flussabwärts von der Stelle Breg_5.

Auch an der Probestelle Breg_5 (Abb. 7.44, Abb. 7.45) war eine Kontrolle nach der Exposition aufgrund ungünstiger Wasserführungen nicht mehr möglich. Zwar ist der Schwall in diesem Bereich im Gegensatz zur Probestelle Breg_4 gedämpft, dennoch gehen wir davon aus, dass auch hier starke

Umlagerungen stattgefunden haben, einerseits durch Schwallspitzen, andererseits durch die im Versuchszeitraum beobachteten erhöhten Abflüsse.

Breg_6 – Bregenzerach Eisenbahnbrücke Bregenz (gedämpfter Schwall), F-km 2,85



Abb. 7.46: Probestelle Breg_6 mit Blickrichtung flussaufwärts (F-km 2,85).



Abb. 7.47: Breg_6 mit Blickrichtung flussabwärts.

Auch die Probestelle Breg_6 (F-km 2,85, Abb. 7.46, Abb. 7.47) war zu den Kontrollzeitpunkten aufgrund der Schwallssituation nicht mehr bewatbar. Auch für diesen Bereich gehen wir davon aus, dass Umlagerungen des lockeren Substrats stattgefunden haben (vgl. Breg_4 & Breg_5) und dass insgesamt allein durch die Schwallbelastung eine natürliche Fortpflanzung von Seeforellen sehr unwahrscheinlich ist.

7.3.4 Natürliche Reproduktion

Bei den Begehungen wurde im Februar 2011 eine große Laichgrube bei der Eisenbahnbrücke südlich Bregenz (nahe Breg_6 bei F-km 2,9, vgl. Abb. 7.46) festgestellt, die von einer Seeforelle stammen könnte. Auch in den naturnahen Abschnitten im Mittellauf konnten zahlreiche meist kleinere Forellenlaichgruben festgestellt werden. Die geringen Besatzzahlen, in Kombination mit regelmäßig feststellbaren Smolts und einer mittleren Zahl an Einsteigern, sprechen allerdings für das Vorhandensein einer eingeschränkten natürlichen Reproduktion. Ein Nachweis von naturverlaichten Brütlingen gelang im Zuge des Projektes allerdings nicht, auch weil keine systematischen Erhebungen hierzu stattfanden. In den Zuflüssen der Bregenzerach fanden keine Beurteilungen des Reproduktionspotenzials statt.

Jungfischhabitats sind vor allem im naturnahen Abschnitt der Bregenzerachschlucht kaum limitierend, zumal auch zahlreiche Zuflüsse gut angebunden sind. Die Wassertemperaturen im Sommer erreichen zwar gelegentlich bis zu 20°C, werden für die Jungfischentwicklung derzeit jedoch noch nicht als kritisch erachtet. Anders innerhalb der Ausleitungsstrecken: hier wurden bereits Temperaturen von über 25° C festgestellt (SCHOTZKO, schriftl. Mitt.). Im Mittelteil der Bregenzerach dürfte aber vor allem die Schwall-Sunk-Beeinflussung die geeigneten Standorte für junge Forellen limitieren.

7.3.5 Besatz

Nach offiziellen Angaben fand in der Bregenzerach und in ihren Zuflüssen lange kein und von 2004 bis 2005 nur geringer Besatz mit durchschnittlich 13600 jungen Seeforellen statt. Erst seit dem Jahr 2009 werden um die 100000 Brütlinge und Sömmerlinge besetzt (Abb. 7.48). Selbst die aktuellen Besatzfischzahlen sind für ein Gewässersystem dieser Größe als gering zu beurteilen. Die Besatzzahlen junger Bachforellen lagen für die Jahre 2010 bis 2012 zwischen 2000 und 14000 Individuen und für Regenbogenforellen bei 2000 bis 4000 Jungfischen. Diese Größenordnung kann auch als repräsentativ für die Vorjahre erachtet werden.

Auch die etwas höheren Besatzzahlen in den 1990er-Jahren (LUNARDON, schriftl. Mitt) – können die relativ vielen in den VKW-Kanal einsteigenden Seeforellen nicht allein erklären. Wir gehen daher auch deshalb für das Bregenzerachsystem von einer zusätzlichen begrenzten Naturverlaichung aus. Auch Strayer, die z.B. normalerweise in die benachbarte Alpenrheinmündung einsteigen würden, spielen wahrscheinlich eine Rolle. Sicher ist auch, dass es einen relativ hohen Prozentsatz an Mehrfach-Einsteigern geben dürfte. In diesem Zusammenhang wird es interessant sein, die Ergebnisse der genetischen Untersuchungen zu erfahren.

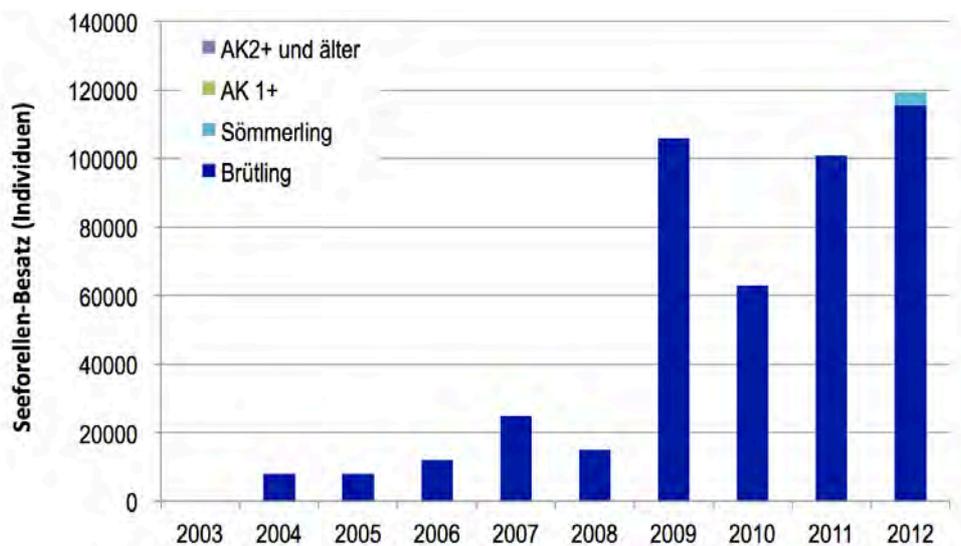


Abb. 7.48: Besatzzahlen von jungen Seeforellen in die Bregenzerach für die Jahre 2003 bis 2012.

7.4 Abwanderung

Im Zuge der Elektrobefischungen zur Erfassung der einwandernden Seeforellen in die Bregenzerach konnten vor allem bei den Herbstabfischungen mehrere silbern gefärbte Smolts (Abwanderer) gefangen bzw. beobachtet werden (Abb. 7.49 und 7.50), die zwischen 15 und 27 cm lang waren, jedoch wurden auch zwei (wahrscheinlich 2+-) Individuen mit 34 cm bzw. 35 cm Totallänge gefangen.

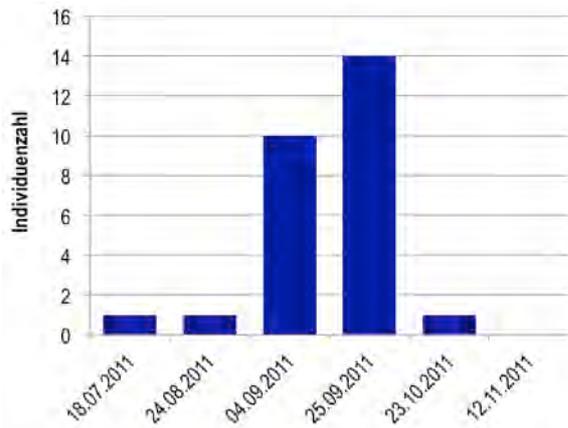


Abb. 7.49: Junge Forellen vom „Smolt-Typ“ in der Bregenzerach 2011 während sechs Befischungen unterhalb des Kennelbacher Wehrs.



Abb. 7.50: Typischer Seeforellen-Smolt aus der Bregenzerach. Solche Fische wurden im Herbst 2011 und 2012 gefangen.

Die ab September gefangenen Smolts wurden farbmarkiert. Da uns bei späteren Befischungen keine Wiederfänge, aber auch generell keine Smolt-Fänge glückten, gehen wir davon aus, dass der größte Teil dieser Fische im Herbst in den See abgewandert ist. 2012 konnten ab Ende August weitere Forellen vom „Smolt-Typ“ nachgewiesen werden.

Ob in der Bregenzerach, wie in den anderen Bodenseezuflüssen, auch im Frühjahr Smolts abwandern, bleibt unbekannt, da zu dieser Jahreszeit keine Befischungen stattgefunden haben. Der Abstieg über das Kennelbacher Wehr ist als problematisch einzustufen, da ohne Wehrüberlauf ein Großteil der Fische in den Werkskanal Richtung Turbinen schwimmen dürfte (Abb. 7.52). Bei Wehrüberlauf ist beim Abstieg über das Wehr aufgrund der Fallhöhe eine Verletzungsgefahr gegeben (Abb. 7.51).



Abb. 7.51: Ein Abstieg über das Kennelbacher Wehr bei Wehrüberlauf endet für die absteigenden Fische gefährlich - auf Blöcken und Betonplatten.



Abb. 7.52: Am Kennelbacher Wehr gibt es mehrere Abstiegswege für Smolts. Bei Niederwasser endet einer davon in den Turbinen der beiden Kraftwerke.

7.5 Fazit

Der Seeforellen-Einstieg in die Bregenzerach wurde in zwei Wintern (2010/2011 und 2011/12) untersucht, dabei waren die ermittelten Zahlen der Einstieger in beiden Jahren unterschiedlich hoch. Im intensiver bearbeiteten Jahr 2011 wurden bei sieben Befischungen nur 15 Individuen gefangen. Im Jahr 2012 waren es bei fünf Befischungen 48 Seeforellen, allein 30 Tiere davon stammten aus einer Abfischung des Triebwasserkanals VKW/Schindler. Bei einer Befischung des VKW-Kanals im Juli 2013 waren es wiederum 32 Seeforellen. Bei Berücksichtigung eines Einstiegs in mehreren Wellen – über das gesamte Jahr hinweg – führen uns diese Zahlen zu einer groben Schätzung der Einstiegerszahlen auf 50 bis 150 Seeforellen pro Jahr.

Die Bregenzerach war das einzige von uns untersuchte Gewässer mit nivalem Einzugsgebiet, dennoch traten in allen Winterhalbjahren Warmphasen mit niederschlagsbedingten Hochwassern auf. Trotz des zum Teil hohen Lebensraum-Potenzials bestehen aktuell starke Defizite, nicht nur während der Reproduktion, sondern bereits beim Einstieg. Bei geringer Wasserführung ist der VKW-Kanal durch seine starke Lockströmung eine Sackgasse für das System. Im Kanal kommt es zu sicher erfolglosen Laichversuchen. Die drei Blockrampen im Unterlauf der Bregenzerach sind wasserstandsbedingt nur eingeschränkt passierbar, in Kombination mit den täglichen Schwall-/Sunkereignissen können sie auch zur tödlichen Falle für auf- und absteigende Seeforellen werden. Der Fischpass am Kennelbacher Wehr stellt ein wesentliches Hindernis für Seeforellen dar und ist nur sehr eingeschränkt und dabei eher von kleineren Seeforellen überwindbar. Die PIT-Tag-Detektionen in der Fischtreppe und der sporadische Fang von Seeforellen im Mittel- und Oberlauf der Bregenzerach zeigten jedoch, dass ein Aufstieg – für Seeforellen meist kleiner als 60 cm – zumindest möglich ist. Möglicherweise können auch einzelne größere Exemplare den Fischpass springend überwinden.

See- und Regenbogenforellen, die nach dem Fang im Unterlauf und Kanal oberhalb des Kennelbacher Wehrs eingesetzt wurden, konnten im weiteren Verlauf der Bregenzerach bei Langenegg sowie bei Egg und Bersbuch nachgewiesen werden. Dem weiteren Aufstieg stehen noch die Restwassersituation unmittelbar flussab und die Wasserfassung Bezau selbst im Wege. Beide sollten bei geeigneten Wasserständen für die schwimmstarken Fische jedoch passierbar sein. Anschließend besteht kein weiteres nennenswertes Hindernis für den Aufstieg über die historischen Nachweise bis über Mellau hinaus (F-km 40). Auch die Zuflüsse könnten für die Reproduktion eine wichtige Rolle spielen, insbesondere Rotach und Weißbach, wie der Fang einer besenderten Regenbogenforelle beim Pegel Krumbach/Zwing in der Weißbach zeigt. Nach der Überwindung des Kennelbacher Wehrs stehen den Fischen somit viele potenzielle Reproduktionsmöglichkeiten offen. Die flussaufwärts folgenden Hindernisse (Steilrampe Bozenau, Wehr Egg, Wehr Bersbuch, Wasserfassung Bezau) sind weniger selektiv und zumindest abflussabhängig für adulte und auch große Seeforellen überwindbar. Ob der Zeitpunkt des Seeforelleneinstiegs vom See in die Bregenzerach selbst abflussabhängig ist, konnte mit Hilfe der gewonnen Informationen nicht belegt werden.

Die Brutboxenversuche ergaben, dass die natürliche Reproduktion in der Bregenzerach aufgrund hydrologischer Einschränkungen massiv beeinträchtigt ist. Nur im Oberlauf oberhalb der Ausleitung bei Bizau herrschten sehr gute Reproduktionsbedingungen – ein bezüglich der Nutzung des Oberlaufs als Reproduktionsabschnitt erfolgversprechendes Ergebnis. In der Ausleitungsstrecke bei Egg ist dagegen die Naturverlaichung wohl nicht erfolgreich, obwohl sie nachweislich stattfindet (Forellenlaichgruben). Bei Alberschwende ist sie bestenfalls sehr eingeschränkt möglich. Im stark von Schwall/Sunk-beeinflussten Abschnitt unterhalb der Rückleitung Langenegg ist ein Bruterfolg unmöglich, in schwallgedämpften Abschnitten zumindest sehr stark eingeschränkt.

Da auch in Zeiten mit geringem Besatz stets Seeforellen in die Bregenzerach eingestiegen sind, ist aber von einer eingeschränkten, natürlichen Reproduktion im System auszugehen. Regelmäßige Fänge von jungen Forellen vom „Smolt-Typ“ verdeutlichen, dass Nachwuchs in der Bregenzerach bis zum abwanderungsfähigen Fisch aufkommen kann.

7.6 Empfehlungen

In der Bregenzerach bestehen trotz der weitgehend naturnahen Morphologie im Mittellauf zahlreiche Defizite, die primär auf die Wasserkraftnutzung zurückzuführen sind. Diese betreffen vor allem die Durchgängigkeit, den Schwall-Sunk-Betrieb und die langen Ausleitungsstrecken mit zu geringer Wasserführung. Das nivale Abflussregime weist heute zahlreiche pluvio-nivale Charakteristika im Mittel- und Unterlauf auf. Dies bedeutet, dass Gelege künftig auch in der Bregenzerach mehr und mehr durch Winterhochwasser gefährdet sind.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erstellung der ungehinderten Durchgängigkeit für einsteigende Seeforellen. Am kritischsten sind die Lockströmung des VKW-Kanals und der nur sehr selektiv passierbare, weil zu klein dimensionierte Fischpass mit ungeeigneter Lockströmung am Kennelbacher Wehr. Doch auch die drei relativ steilen Blocksteinrampen im Unterlauf sind nur eingeschränkt passierbar. Flussauf des Kennelbacher Wehrs folgen weitere Hindernisse, die eine bessere Passierbarkeit aufweisen, wobei die Steilrampe bei Bozenau diesbezüglich am kritischsten zu beurteilen ist
- Fischschutzeinrichtungen am VKW-Kanal: Maßnahmen zur Verhinderung der Einwanderung von Seeforellen in den Triebwasserkanal VKW/Schindler – sowohl oberstromig als auch unterstromig
- Dämpfung des Schwall-Sunk-Regimes am KW Langenegg. Wasserstandsanstiegs- und insbesondere die Sunkgeschwindigkeiten sind zu reduzieren.
- Erhöhung der Mindestwasserabflüsse in allen Ausleitungsstrecken. Aufgrund von Feinsedimentfrachten, den fehlenden Fließgeschwindigkeiten und von Wassertemperaturproblemen

(im Winter Vereisung, im Sommer Erwärmung) erlauben diese Strecken den Seeforellen wahrscheinlich keine erfolgreiche Reproduktion

- Berücksichtigung des Oberlaufsystems der Bregenzerach als potenzielles Reproduktionsgebiet für die Seeforellen (Erreichbarkeit der Bregenzerach oberhalb Bizau, sowie Erreichbarkeit und Aufwertung diverser Zuflüsse des historischen Verbreitungsgebiets)
- Zulassen von eigendynamischen Prozessen im Oberlauf, weitere Revitalisierungen von begräbten Abschnitten, die die künftig ansteigende Gefahr durch Winterhochwasser reduzieren können
- Wiederherstellung der Bestockung des Gewässerrandstreifens entlang der Zuflüsse und am Hauptgewässer selbst.

8 Ergebnisse Goldach

Seit der Erfolgsgeschichte über die Rettung der Bodensee-Seeforelle Mitte der 1980er Jahre spielt die Goldach als Besatz- und Reproduktionsgewässer, aber auch als Gewässer für den Laichfischfang auf Seeforellen eine wichtige Rolle (REY et al. 2009). Bis 2010 waren nur die untersten 1,8 km der Goldach von Seeforellen erreichbar. Ende des Aufstiegs war der Betonsockel einer Straßenbrücke, die auf einem Sandsteinriegel oberhalb der sog. Chällebrugg stand.

Seit 2001 begleitet unser Büro mit Unterbrechung den Laichfischfang an der Goldach. Die Untersuchungen im Rahmen des Interreg-Projekts fanden über die gesamte Projektdauer hinweg statt (Sommer 2010 bis Sommer 2013). Die zentralen Fragen wurden in der Saison 2011/2012 untersucht.



Abb. 8.1: Mündung der Goldach bei Niederwasser.



Abb. 8.2: Mündung der Goldach bei anlaufendem Hochwasser.



Abb. 8.3: Unterlauf der Goldach bei Niederwasser.



Abb. 8.4: Naturnaher Abschnitt in der Goldach oberhalb Tübacher Brücke (F-km 1,7).



Abb. 8.5: Abschnitt aus dem Mittellauf der Goldach (F-km 4)



Abb. 8.6: Seeforellenbefischung unterhalb Felsriegel (F-km 2,2).

8.1 Hydrologie

8.1.1 Allgemeine Charakteristik

Die Goldach besitzt ein 50 km² großes Einzugsgebiet, das sich von ca. 1060 m bis 395 m ü.NN erstreckt. Das Abflussregime ist pluvio-nival geprägt und der MQ (mittlerer Abfluss 1961-2012) liegt bei 1,35 m³/s. Im Mittwinter gibt es nur eine geringe, niederschlagsgeprägte Abflussspitze. Ein größerer, länger andauernder Peak als Folge der Schneeschmelze tritt von Mitte März bis Ende Mai auf. Mit Ausnahme dieser Abflussspitzen zeigt die Goldach recht konstante hydrologische Bedingungen bei vergleichsweise geringen Abflussmengen (Abb. 8.7). Das HQ₁₀ (statistisch zehnjährliches Hochwasser) liegt bei 71 m³/s, der NQ (niedrigster Abfluss 1961-2012) mit 0,06 m³/s sehr tief. Niedrige Wasserstände in den Herbstmonaten behindern regelmäßig den Forellenein- und aufstieg.

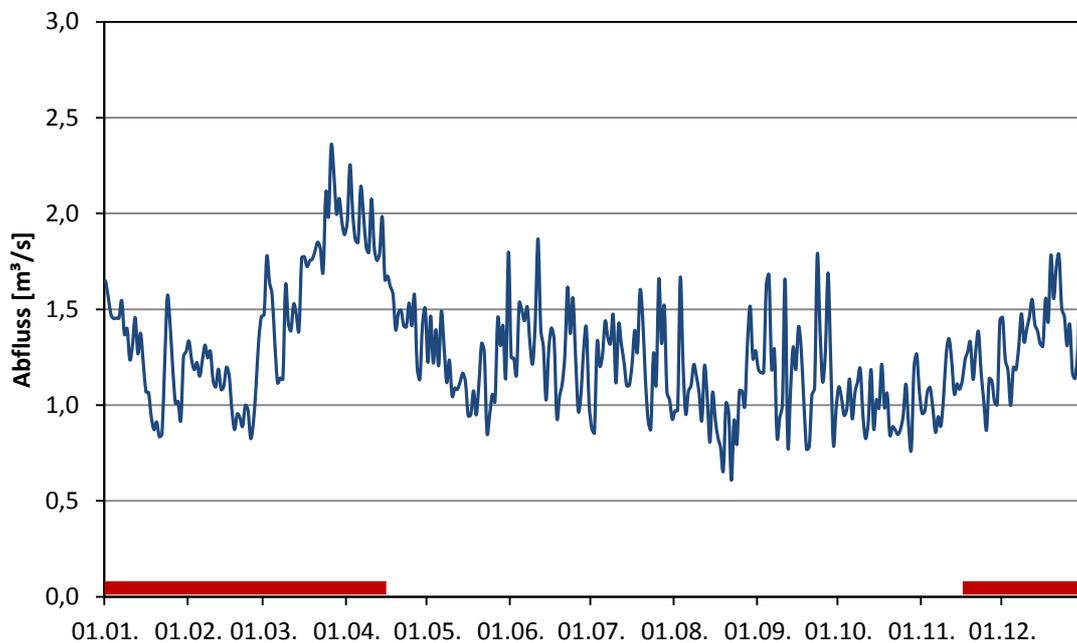


Abb. 8.7: Abflussregime der Goldach (Mittelwerte der Tagesmittel, Jahresreihe 1980-2009) von am Pegel Bleiche. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

8.1.2 Abflüsse im Untersuchungszeitraum

Der für die Untersuchungsjahre 2010 bis 2013 relevante Abfluss verdeutlicht, dass in der Goldach über das ganze Jahr hinweg immer wieder Hochwasser mit über 10 m³/s auftreten, die jedoch besonders in den Sommermonaten konzentriert sind (Abb. 8.8). Auch kleinere Hochwasser im Herbst und Winter werden von den Seeforellen bekanntermaßen zum Einstieg ins Laichgewässer genutzt; Laichfische werden deshalb bevorzugt auf Zeiten nach erfolgten Hochwasserabflüssen gelegt. Von Februar bis April bleibt der Abfluss normalerweise tief. Unsere Brutboxenversuche fanden ab dem Februar 2012 in einer Phase mit typischen Abflussgängen statt. Die Smoltabwanderung wurde von Mitte Mai bis September 2012 in einer Phase mit vergleichsweise niederen Hochwasserspitzen untersucht.

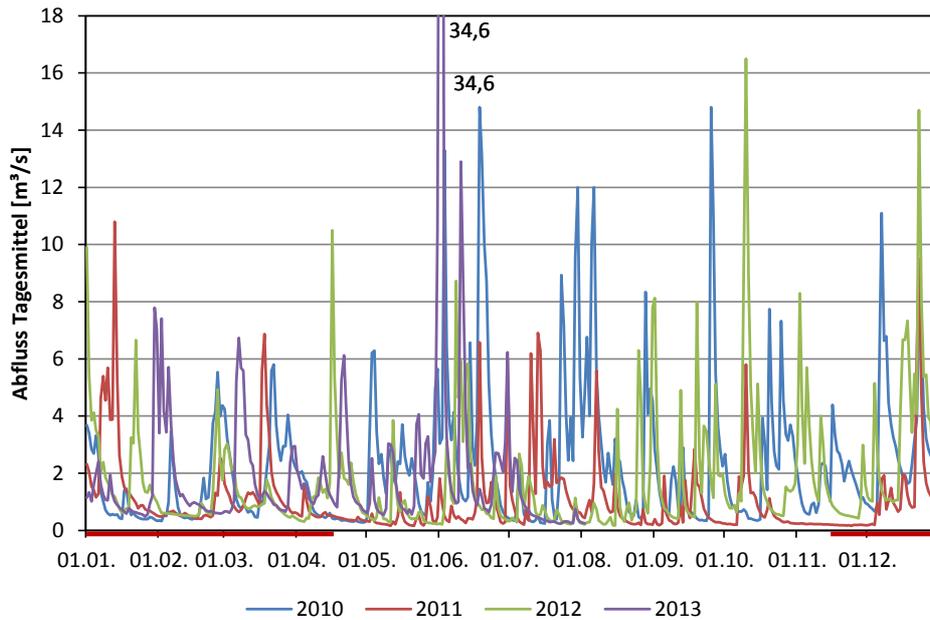


Abb. 8.8: Abfluss der Goldbach in den Jahren 2010 bis August 2013 am Pegel Bleiche. Rote Linie unter x-Achse = Reproduktionszeit und Larvalentwicklung der Seeforelle.

8.1.3 Temperaturregime

In der Goldbach treten unterhalb der Ausleitungsstrecke des KW Bruggmühle vor allem im August regelmäßig Wassertemperaturen um und über 25° C auf (Pegel Bleiche, F-km 0,65). Die ermittelten Temperaturbereiche führen wahrscheinlich zu Beeinträchtigungen von jungen Salmoniden. Möglicherweise führen sie in diesem Abschnitt sogar zu einer erhöhten Mortalität von Sömmerlingen und einer Abwanderung der Smolts bereits im Frühjahr. Im Winter werden regelmäßig Temperaturen um den Gefrierpunkt erreicht. Über den Temperaturverlauf in den naturnahen, schattigen Schluchtstrecken liegen leider keine Informationen vor.

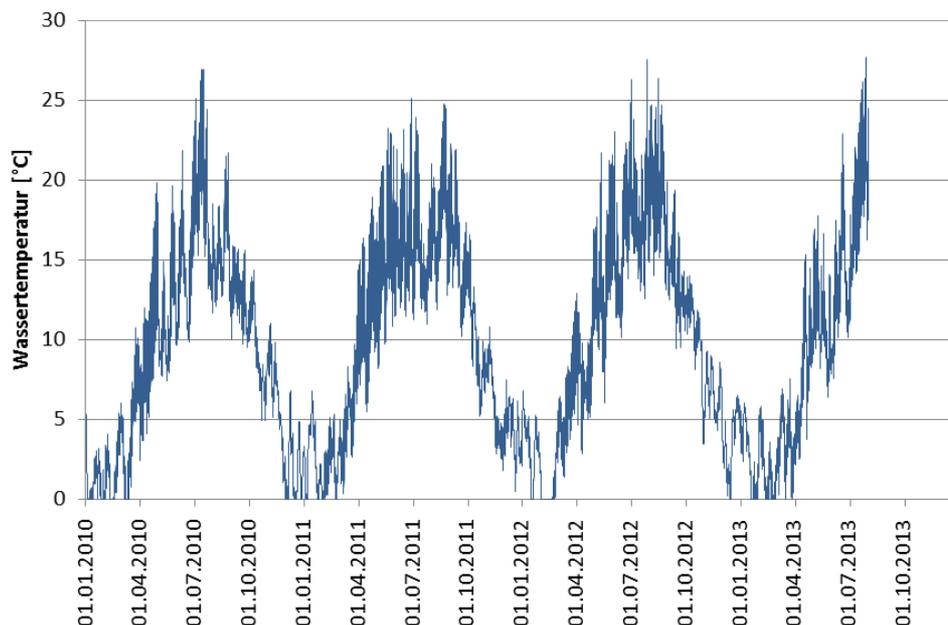


Abb. 8.9: Temperaturregime der Goldbach am Pegel Bleiche für die Jahre 2010 bis 2013.

8.2 Einwanderung und Kontinuumsanalysen

Seit dem Jahre 1989 fand in der Goldach regelmässig Seeforellen-Laichfischfang (ANJF Kanton St. Gallen) mit unterschiedlichem Aufwand statt. Die langjährige Entwicklung der Laichfischfangzahlen scheint dabei rückläufig – auch wenn man den unterschiedlichen Befischungsaufwand berücksichtigt (Abb. 8.10).

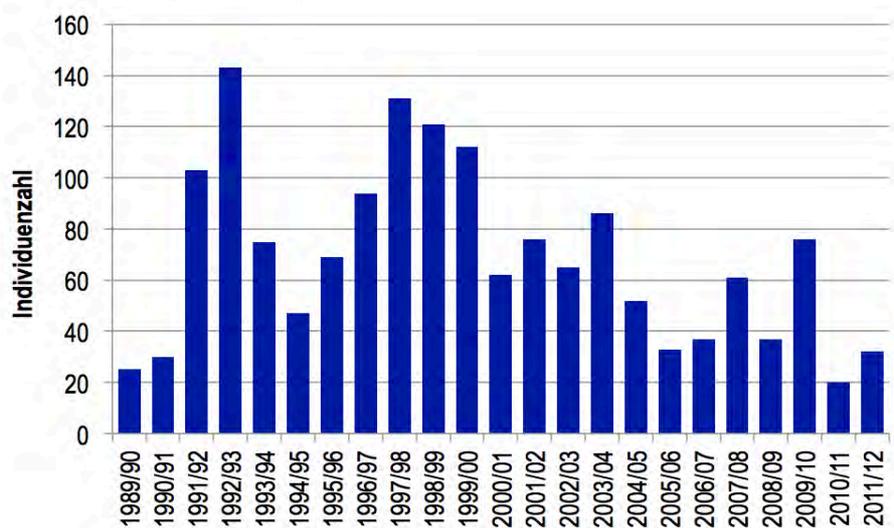


Abb. 8.10: Laichfischfangzahlen der Goldach. 2010/11 und 2011/12 wurde erst im Januar gefischt; der Befischungsaufwand zwischen den Jahren unterscheidet sich z.T. erheblich.

8.2.1 Einwanderung

Im Jahr 2012 wurden an drei Terminen Seeforellen-Einsteiger für die PIT-Tag-Markierung gefangen, allerdings gab es in der Saison kaum ausgeprägte Hochwasser. Nach einem ersten Hochwasser mit knapp $14 \text{ m}^3/\text{s}$ am 10.10. gelangen uns am 24.10. zahlreiche Seeforellenfänge. Anschließend gab es von Anfang bis Mitte November drei leicht erhöhte Abflüsse (jeweils zwischen 4 und $8 \text{ m}^3/\text{s}$). Eine Befischung am 23.11. erbrachte nur sieben Seeforellen. Nach zwei weiteren kleinen Abflusserhöhungen am 28.11. und 04.12. standen am 06.12. bei ablaufendem Hochwasser 19 der insgesamt 20 Seeforellen direkt am schwer überwindbaren Felsriegel bei F-km 2,20 an. Im Herbst 2012 konnten damit insgesamt 53 Seeforellen mit PIT-Tags versehen werden, die sich wie folgt verteilten (Tab. 8.1):

Tab. 8.1: Befischungen und Seeforellenganzahlen an der Goldach 2012/13.

Datum	Strecke	Seeforellen
24.10.2012	Tübacher Brücke bis Holzwand (F-km von 1,45 bis 2,00)	4
	Strecke unterhalb Felsriegel (F-km von 2,00 bis 2,2)	21
23.11.2012	Tübacher Brücke bis Holzwand (F-km von 1,45 bis 2,00)	3
	Strecke unterhalb Felsriegel (F-km von 2,00 bis 2,2)	4
06.12.2012	Strecke unterhalb Felsriegel (F-km von 2,00 bis 2,2)	20
	Oberwasserkanal Bruggmühle (abgehend bei F-km 2,75)	1
Summe 2012	Goldach	53

Mit einem größeren Hochwasser Ende Dezember 2012 wanderten nochmals ca. 40-50 Individuen in die Goldach bis zum Felsriegel ein, von denen mindestens 18 Paare (+ Sneaker) im Bereich der Chällebriegg laichten. Insgesamt waren die Fangzahlen 2012 zum langjährigen Vergleich aber geringer. Wir schätzen die Anzahl der Einsteiger für den Untersuchungszeitraum auf 150 bis 300 Tiere/Jahr.

Die insgesamt 134 Seeforellen (42 Milchner, 92 Rogner), die wir im Jahr zuvor beim Laichfischfang 2011/12 und im Herbst 2012 behändigen konnten, waren zwischen 40 und 88 cm lang. Wie auch in den anderen Flüssen war bei den Milchnern eine gleichmäßigere Längenverteilung erkennbar als bei den Rognern, allerdings waren in der Goldach zahlreiche Milchner im Längenbereich zwischen 50 und 60 cm eingestiegen. Die meisten Rogner waren 60 bis 75 cm lang (Abb. 8.11).

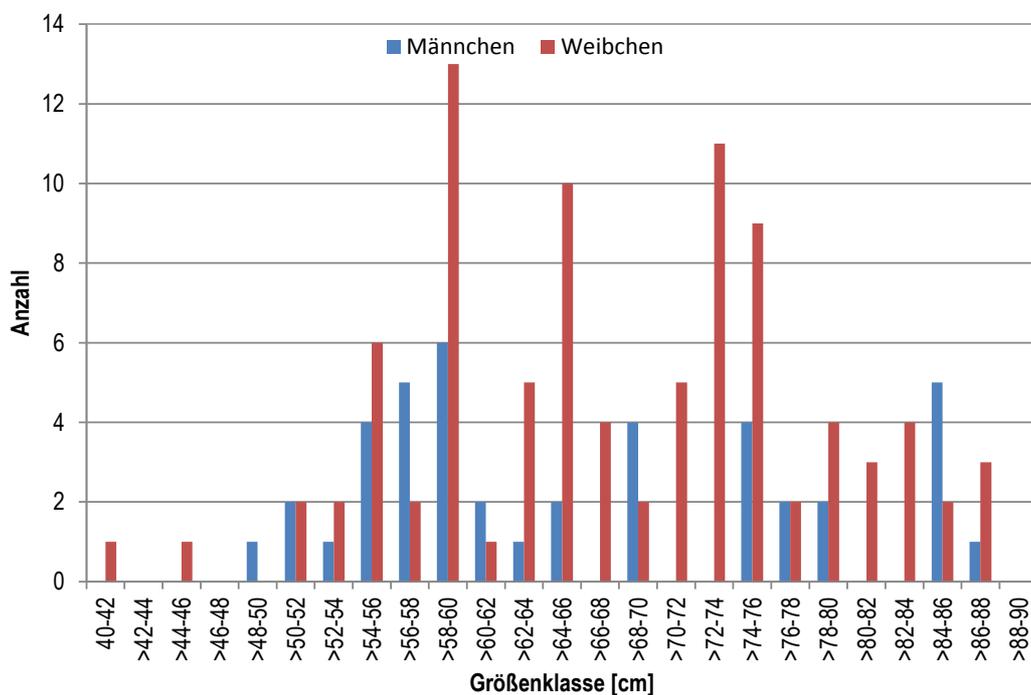


Abb. 8.11: Längenverteilung aller in der Goldach gefangener Seeforellen (Laichfischfang 2011/12 und Untersuchungen 2012).

Diese Ergebnisse decken sich weitestgehend mit den Längen-Anteils-Analysen des ANJF St. Gallen (KUGLER 2009), für die alle biometrierten Laichfische der Goldach der Jahre 1989 bis 2004 (n = 1171) herangezogen wurden. Die höchsten Anteilssummen beider Flüsse liegen bei Forellen zwischen 55 und 65 cm Länge (Abb. 8.12).



Abb. 8.12: Längen- Anteilsverteilung der in der Goldach im Rahmen der Laichfischfänge 1989 (1996) bis 2003 gefangenen Seeforellen (Quelle: M. Kugler, ANJF St. Gallen).

8.2.2 Beobachtungen, Detektionen und Wiederfänge

Unter- und Überwasserbeobachtungen

Eine zentrale Fragestellung, die mittels der PIT-Tag-Technologie für die Goldach beantwortet werden sollte, betraf die Überwindbarkeit des Felsriegels, der erst ab September 2010 teilweise überwindbar gestaltet wurde. In der Saison 2010/11 überwandten zwischen 16 und 30 und 2011/12 mindestens 20 Seeforellen dieses Hindernis (Abb. 8.13, 8.14). Noch oberhalb des Wehrs Bruggmühle konnten 2010/11 fünf laichende Paare dokumentiert, eines konnte von R. RIEDERER beim Ablichten gefilmt werden. Im Tosbecken unterhalb des Wehrs standen zeitweise 8-10 Laichfische, die im Rahmen von Tauchuntersuchungen (C. LOTT, M. WEBER) aber auch im Rahmen normaler Laichfischzählungen beobachtet werden konnten. Im selben Jahr wurde der Seeforellenaufstieg am Felsriegel filmisch festgehalten. Dabei konnten (in diesem Fall meist erfolglose) Aufstiegsversuche in einer durchschnittlichen Frequenz von 1 Forelle pro 9 Min nachgewiesen werden. Zur selben Zeit wurde in der Steinach an einer rund 50 cm hohen Sohlschwelle eine Aufstiegsfrequenz von 1 Forelle pro 5 Min gemessen (unveröff. Daten).

Funktionsausfälle der Antennen

Nach diesen Beobachtungen sollte 2012 der Anteil der Seeforellen-Einsteiger quantifiziert werden, der den Felsriegel überwindet, sowie die Zeit festgehalten werden, die eine Seeforelle zum Überwinden dieses Hindernisses benötigt. Hierfür wurde eine Antenne im und eine andere oberhalb des Hindernisses betrieben. Die Detektorschleife an der Bruggmühle oberhalb des Felsriegels (Abb. 8.15) war vom 20.09.2012 bis zum 20.02.2013 in Funktion, sie fiel aufgrund von Hochwasserschäden allerdings zwi-

schen dem 10. und 19.10.2012. aus. Die Detektorschleife im Felsriegel war vom 20.09.2012 und bis zum 28.11.2012 aktiv. Aufgrund technischer Schwierigkeiten (Totholzeintrag) musste diese später komplett entfernt werden.

Überwindung des Felsriegels

Obwohl wir 52 aufstiegsbereite Seeforellen mit PIT-Tags unterhalb des Riegels markiert hatten, überwand 2012/13 keines dieser besenderten Individuen den Felsriegel. Eine Kontrollbefischung am 06.12.2012 im Oberwasser des Felsriegels und im Oberwasserkanal der Bruggmühle erbrachte den Nachweis lediglich eines nicht markierten Rogners, der sogar im obersten Teil des Kraftwerkskanals abgelaicht hatte (Abb. 8.18); ein weiterer Seeforellen-Rogner wurde zusammen mit einem Bachforellen-Milchner beobachtet (Abb. 8.17); auch hier befand sich im Becken bereits eine Laichgrube. Eine zweite Kontrollbefischung am 08.01.2013 erbrachte keinen weiteren Nachweis von Aufsteigern im Restwasserabschnitt oberhalb des Felsriegels. Der Anteil der Seeforellen, die den Felsriegel 2012 überwandern, war demnach wesentlich geringer als in den beiden Jahre zuvor.

Rückwanderung der Laichfische

Die Antenne im Felsriegel wurde am 28.11.2012 an die Mündung der Goldach verlegt und war dort bis zum 20.02.2013 aktiv (Abb. 8.16). Somit konnte abgeklärt werden, wie lange die laichbereiten Seeforellen in der Goldach verbleiben und bei welchen Abflussbedingungen sie wieder abwandern.



Abb. 8.13: Eine der ersten Seeforellen, die den Felsriegel überwinden konnten (F-km 2,5) (3.11.2010).



Abb. 8.14: Seeforellenpaar unterhalb des Wehrs Bruggmühle (F-km 2,75) (3.11.2010).



Abb. 8.15: Position der Detektionsschleife oberhalb des Felsriegels (F-km 2,4).



Abb. 8.16: Position der Detektionsschleife in der Goldachmündung (F-km 0,25).



Abb. 8.17: Seeforellen-Rogner und Bachforellen-Milchner im Becken am Ausstieg des Fischpasses (F-km 2,75).



Abb. 8.18: Laichgrube oberhalb des Wehrs Bruggmühle im KW-Kanal (F-km 2,75).

Alle 25 Seeforellen aus der ersten Befischung am 24.10.2012 verließen nach dem Abbläichen die Goldach offensichtlich sehr schnell wieder Richtung Bodensee. Bei den Folgebefischungen am 23.11.2012 und 06.12.2012 konnte keines dieser Individuen wiedergefangen oder noch einmal oberhalb der Mündung detektiert werden (ab 28.11.2012 überwacht). Die meisten detektierten Fische nutzten dabei erhöhte Abflüsse zur Abwanderung in den See (Abb. 8.19).

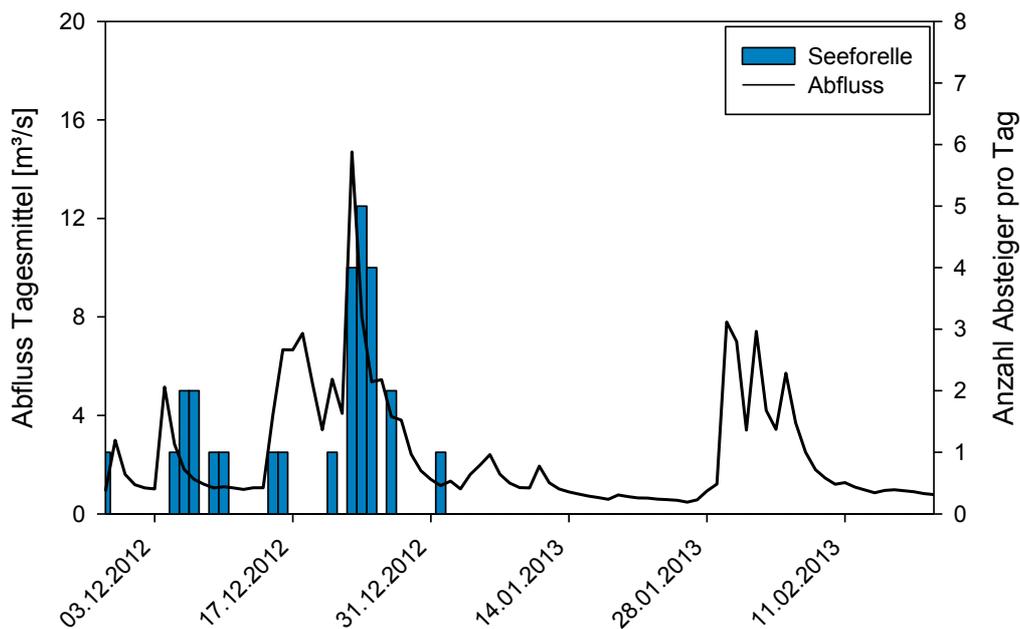


Abb. 8.19: Die Rückwanderung abgelaichter Seeforellen. Detektion oberhalb der Goldach-Mündung.

Ein Rogner (89 cm) wurde am 06.12.2012 vormittags verlaicht gefangen und wurde am selben Tag um 23:57 Uhr bereits 1,8 km flussabwärts in der Mündung detektiert. Ein weiterer reifer Rogner wanderte ebenfalls bereits am 07.12.2012 wieder in den See ab. Ob diese Seeforelle in der Zwischenzeit abgelaicht hatte, ist unbekannt (bei Rognern besteht die Gefahr des Verlusts des Transponders beim Laichvorgang). Die Ergebnisse zeigen, dass Seeforellen generell nur sehr kurz in der Goldach verweilen. Nur wenige unreife Individuen steigen vor Anfang Oktober ein und bleiben länger im System; zu diesen zählen unserer Einschätzung nach auch überwiegend jene Fische, die vermehrt den Felsriegel

und den Beckenpass am Wehr überwinden. Die meisten Fische scheinen dagegen bereits im See ihre Vorreife abzuwarten, bis erhöhte Abflüsse in der Goldach den Einstieg erleichtern. Danach wandern sie innerhalb eines bis weniger Tage in den Abschnitt unterhalb des Felsriegels ein, laichen ab und verlassen das System wieder bei höheren Abflüssen. Vergleichbare Beobachtungen konnten auch in der Steinach gemacht werden (FEHR, WERNER, REY, pers. Mitt.). Individuen, die in der Goldach sozusagen im Aufstiegs-gewässer „gefangen“ bleiben, weil die Rückkehr in den See durch Niederwasser erschwert oder verunmöglicht wurde, verpilzen in einem hohen Maße (vgl. Kap. 9.2.7).

Wiederfänge

Auch in der Goldach kam es während einer Saison zu Wiederfängen. Ein 89 cm langer Rogner, der am 23.11.2012 bei F-km 1,85 gefangen worden war, wurde 13 Tage später – abgelaicht – wiedergefangen (Abb. 8.20). Das Weibchen stand noch im selben Totholzversteck nahe einer großen Laichgrube. Es nahm in dieser Woche von 8,26 kg auf 6,14 kg ab (25,7 %). Ein weiterer Rogner verlor beim Ablai-chen 17,8 % seines Gewichts (7,4 kg auf 6,08 kg, Abb. 8.21). Dabei kann man von durchschnittlich 2100 bis 2400 Eiern pro kg Körpergewicht ausgehen (SCHOTZKO, FEHR, schriftl. Mitt.).

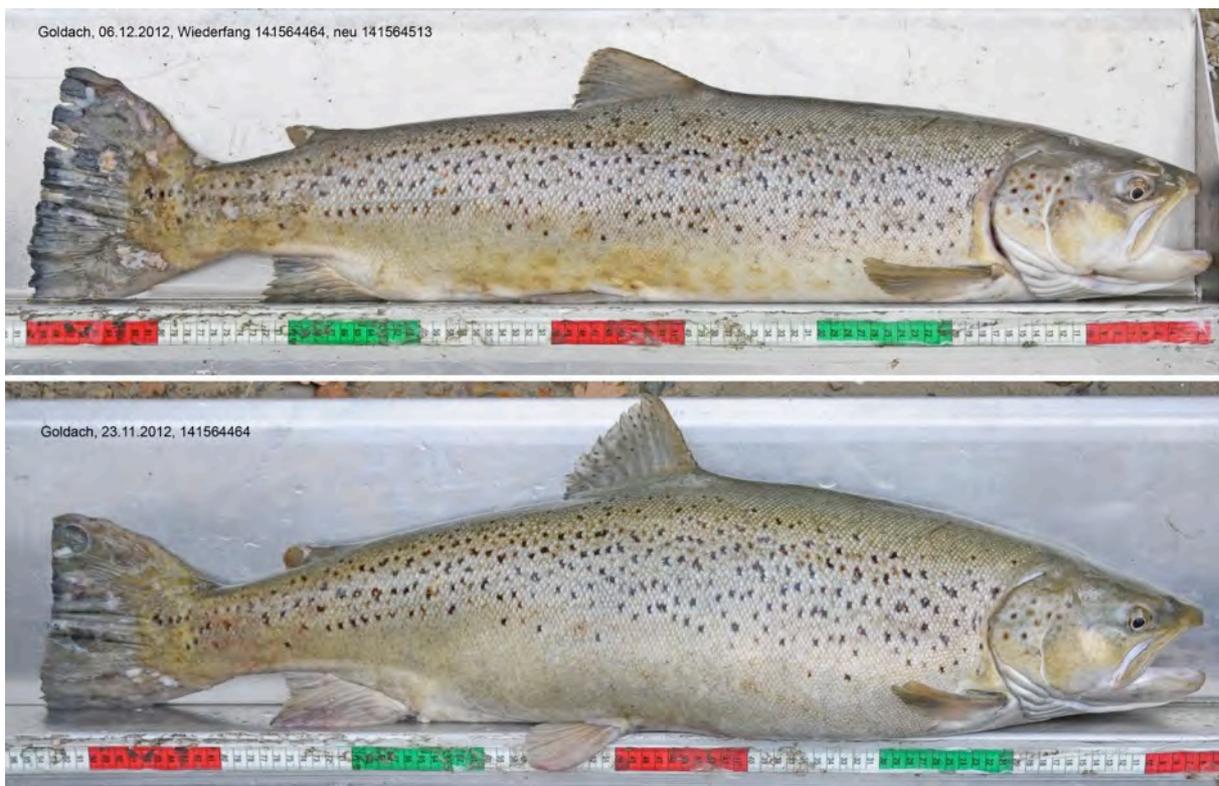


Abb. 8.20: Wiederfang eines Rogners aus der Goldach. Das Weibchen hatte zwischenzeitlich abgelaicht und stand noch immer in der Nähe seiner Laichgrube. Der Gewichtsverlust betrug mehr als 2 kg.

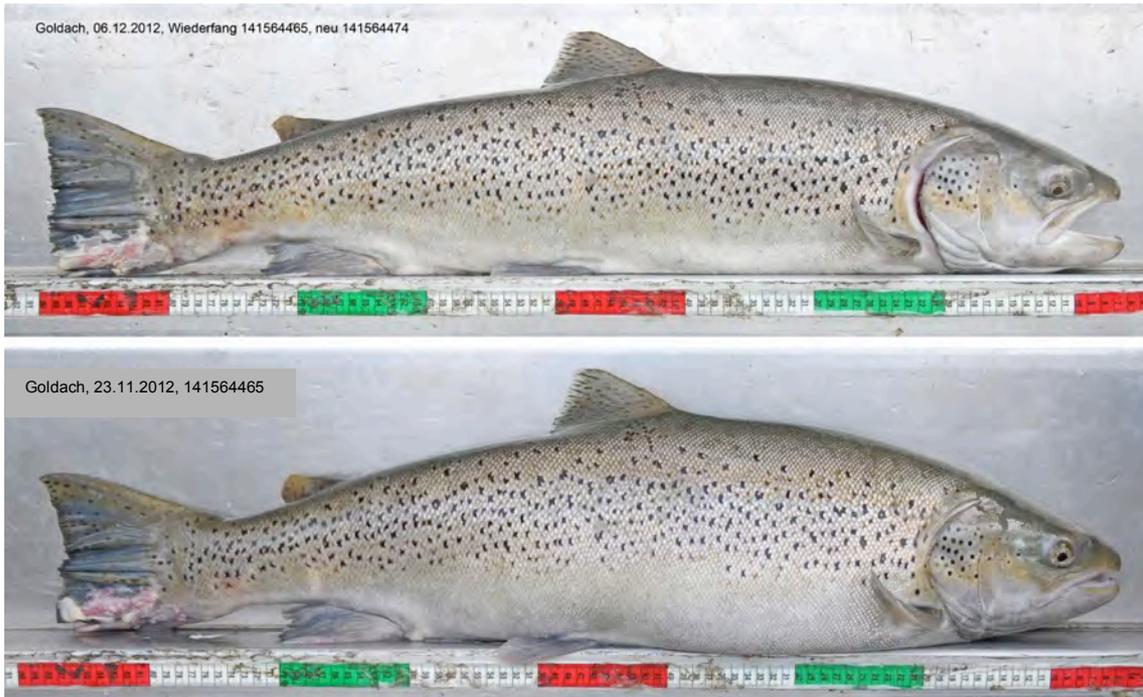


Abb. 8.21: Wiederfang eines Rogners aus der Goldach. Auch dieses Weibchen hatte zwischenzeitlich abgelaicht und dabei 1,4 kg abgenommen.

Detektion von Strayern

An der Antenne im Mündungsbereich der Goldach, die vom 28.11.2012 bis zum 20.02.2013 aktiv war, wurden auch zwei Seeforellen-Milchner detektiert, die wir zuvor in anderen Bodenseezuflüssen besendert hatten. Am 16.12.2012 wurde ein Milchner detektiert (63,3 cm und 3,68 kg), der am 17.11.2012 im Kennelbacher Kanal der Bregenzerach markiert worden war. Er legte die ca. 25 km Distanz innerhalb von 11 Tagen zurück (vgl. Kap. 7). Ein weiterer Milchner (69,0 cm; 4,70 kg) wurde am 13.12.2012 in der Leiblach gefangen, markiert und in die Fischbrutanstalt Nonnenhorn gebracht. Am 17.12.2012 wurde er knapp unterhalb des Sannwaldwehrs wieder in die Leiblach ausgesetzt. Am 23.12.2012 und 25.12.2012 wurde dieser Fisch dann in der Mündung der Goldach detektiert. Er hat den Weg aus der Leiblach bis zur Goldachmündung in weniger als 16 Tagen zurückgelegt (15 km direkte Strecke, über 25 km entlang des Ufers). Ob dieses Männchen innerhalb der beiden Tage noch einmal zur Reproduktion beitragen konnte, bleibt unklar. Allerdings legen die beiden Detektionen einen Aufstieg in die Goldach mit anschließendem Wiederabstieg in den See nahe (vgl. Kap. 6).

8.2.3 Kontinuumsanalysen

Der Unterlauf der Goldach weist – auch nach erfolgten Sanierungen – eine Reihe von Sohlschwellen und Rampen auf, die in extremen Niederwassersituationen noch immer als Hindernisse wirken dürften (Abb. 8.21). Allerdings ist zu solchen Zeiten der gesamte Fluss aufgrund geringer Wassertiefen kaum für Seeforellen passierbar. In Situationen, in denen Seeforellen in die Mündung einsteigen können, sind diese Rampen auch wieder ungehindert passierbar. Sie wurden daher nicht speziell als Hindernis klassifiziert. Die Wasserrückleitung des KW Bruggmühle (F-km 2,1) (Abb. 8.23) ist nicht als ein

hydraulisches Hindernis zu beurteilen. Die darüber liegende Restwasserstrecke wird durch den bereits oben angesprochenen natürlicher Felsriegel, der bis 2010 noch künstlich überbaut und unpassierbar war, in zwei Teilstrecken getrennt (Abb. 8.24 und 8.25). Im Herbst 2010 standen wir bei den Bauarbeiten bei der Abtragung der Betonschwelle am Felsriegel im Bereich der Bruggmühle beratend zur Seite und konnten zur selben Zeit den ersten Seeforellen-Aufstieg über den Felsriegel beobachten; bereits bei einem wegen der Bauarbeiten reduzierten Abfluss von 80 l/s versuchten die ersten Fische, noch erfolglos, das gesamte Hindernis zu überwinden. Bei einem Restwasserabfluss ca. 400 l/s gelang es dann den ersten fünf Seeforellen. Dabei schwammen die aufstiegswilligen Laichfische unter vermutlich sehr hohem Energieaufwand abschnittsweise über Abschnitte mit mehr als 15 % Gefälle durch ein nicht mehr als 5 cm tiefes Wasserpolster (Abb. 8.26, 8.27) des Felsriegels. Einzelne Fische waren danach so erschöpft, dass sie über eine Woche hinweg an derselben Stelle standen.



Abb. 8.22: Niederwasser im Unterlauf der Goldach macht auch mit Rampen sanierte Schwellen wieder zum Hindernis (F-km 0,6).



Abb. 8.23: Wasserrückleitung des KW Bruggmühle (F-km 2,1). Im Hintergrund der untere Teil der Restwasserstrecke mit dem Felsriegel.



Abb. 8.24: Felsriegel an der Bruggmühle (F-km 2,2); Situation im Jahr 2001, hier war damals das Ende des Seeforellenaufstiegs. Vielfach konnten Fische beobachtet werden, die auch dieses Hindernis zu überwinden versuchten.



Abb. 8.25: Felsriegel an der Bruggmühle (F-km 2,2); Situation im Jahr 2012. Der Aufstieg ist noch immer steil und schwer, viele Seeforellen können ihn aber schon in dieser Form überwinden.



Abb. 8.26: Seeforelle beim „Erklettern“ des obersten Abschnitts im Felsriegel; Abfluss ca. 400 l/s.



Abb. 8.27: Seeforelle überwindet die unterste Schwelle im Felsriegel; Abfluss ca. 4 m³/s.

Ergebnisse und Beobachtungen der Jahre 2010 bis 2013 belegen, dass der umgebaute Felsriegel zwar nachweislich von Seeforellen jeder Größe überwunden werden kann, also wahrscheinlich nicht grö- ßenselektiv wirkt, dass allerdings in Jahren mit einem hohen Seestand im Herbst deutlich mehr Auf- steiger das Hindernis überwinden als in Jahren, in denen die Fische erst spät in die Goldach einsteigen können. Das würde bedeuten, dass möglicherweise die Einstiegszeiten ins System eine Rolle dabei spielen, wieviele Seeforellen den Felsriegel überwinden. Diese Hypothese wurde auch durch die letzten Beobachtungen 2013 gestützt, wobei bei hohem seestand bereits im Oktober mindestens 11, bis Mitte November mehr als 20 Seeforellen oberhalb des Riegels nachgewiesen wurden. Diese Beobach- tungen und die Tatsache, dass keine weiteren Hindernisse eine kumulative Behinderung des Aufstiegs verursachen, brachten uns dazu, dem Felsriegel eine „eingeschränkte“ Überwindbarkeit zu attestieren (gelb in Abb. 8.30). Sicher ist, dass seine Überwindung eine der größten Kraftanstrengungen für Seeforellen im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees darstellt. Bei geringer Dotierung oder Niederwasser ist der Felsriegel und die oberhalb abschließende Restwasserstrecke allerdings „mögli- cherweise nicht passierbar“ (orange).

Der Einstieg in den Beckenpass am Wehr der Ausleitung Bruggmühle kann nach Hochwasserereig- nissen durch Kies verschüttet sein (Abb. 8.28). Der Einstieg selbst ist orthogonal zur Hauptströmung und somit auch nicht für alle Seeforellen problemlos aufzufinden. Bis zum natürlichen Aufstiegs- hindernis unterhalb St. Gallen ist die Goldach in der Folge – falls kein Niederwasser herrscht – rund fünf Kilometer frei durchwanderbar (Abb. 8.30). Ab der Rückleitung des Wassers für das KW Loch- mühle stellt die geringere Wassertiefe im Restwasser ein weiteres Problem für die Wanderung und Reproduktion dar.



Abb. 8.28: Der Einstieg zur Fischwanderhilfe am Wehr Mühlbrugg (F-km 2,75) ist schwer aufzufinden und nach Hochwasser manchmal mit Kies verschüttet .



Abb. 8.29: Der weitere Aufstieg in der Fischwanderhilfe funktioniert problemlos.

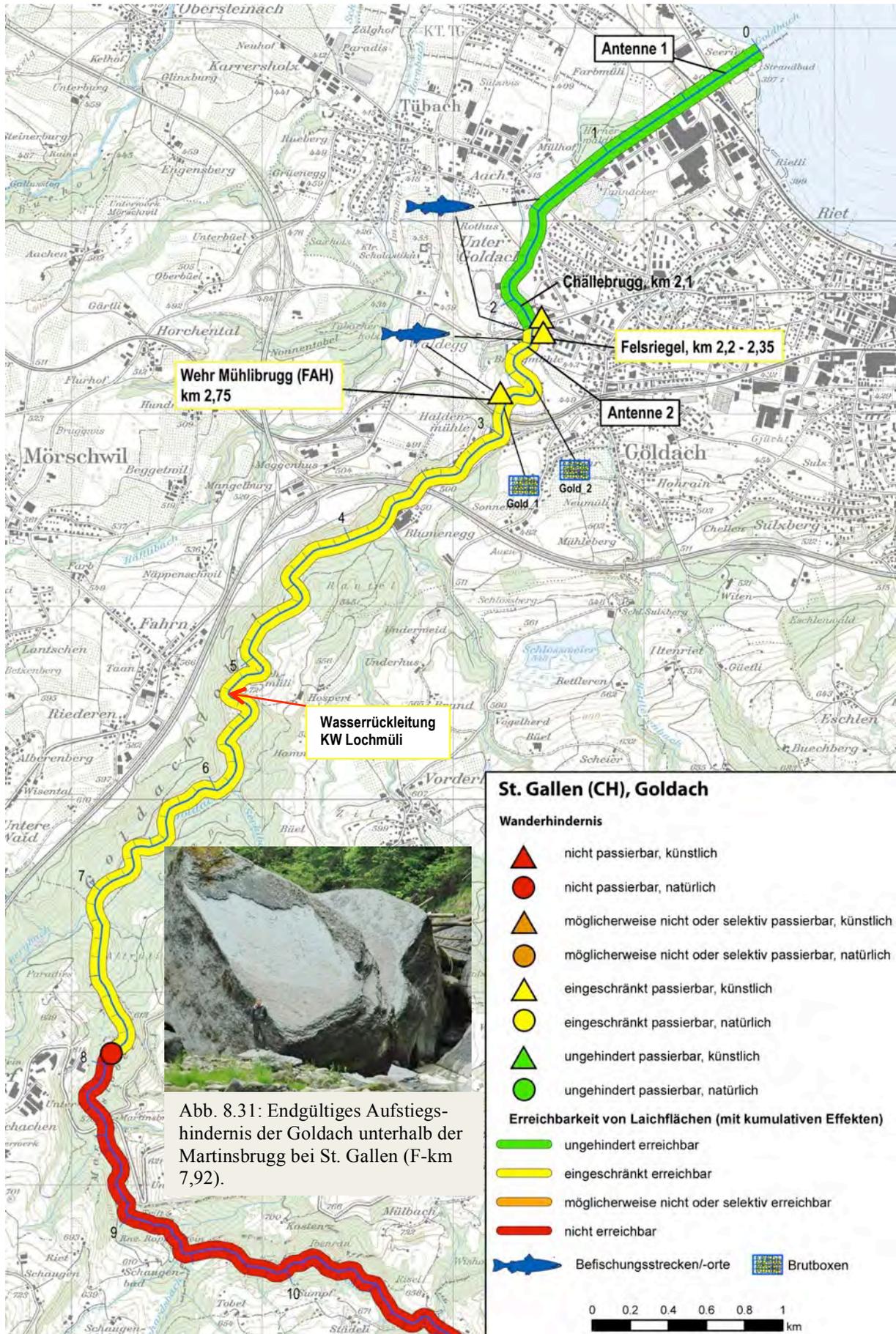


Abb. 8.31: Endgültiges Aufstiegs-
hindernis der Goldbach unterhalb der
Martinsbrugg bei St. Gallen (F-km
7,92).

Abb. 8.30: Wanderhindernisse und kumulierte Erreichbarkeit untersuchter Bachabschnitte der Goldbach. Wichtige Bezugspunkte, Lage der Antennen, Befischungsstrecken und Position der Brutboxenversuche.

8.3 Reproduktion und Habitatanalysen

8.3.1 Habitatanalysen

Im Mai und Juli 2012 konnten die potenziellen Seeforellen-Laichgebiete in der Goldach bis zum finalen Aufstiegshindernis auf Höhe von St. Gallen kartiert werden (insgesamt 7,9 km Flusslänge), dabei wurden 1600 m² als potenzielle Laichflächen beurteilt (Abb. 8.31). Im Vergleich zu den größeren Zuflüssen sind die potenziellen Laichgründe meist auf wenige Quadratmeter beschränkt. Allerdings gibt es im gesamten Verlauf der Goldach Laichmöglichkeiten. Von den potenziellen Laichflächen wurden 240 m² als geeignete und 1340 m² als mögliche Laichflächen beurteilt, die wie folgt von Seeforellen erreichbar sind (Tab. 8.2):

Tab. 8.2: Ergebnisse der Laichflächenkartierung in der Goldach

Erreichbarkeit	Eignung als Laichhabitat	Anzahl	Fläche Laichsubstrat (m ²)
Ungehindert erreichbar	geeignet	14	200
	möglich	33	450
Eingeschränkt erreichbar	geeignet	11	40
	möglich	66	900

Insgesamt könnten in der Goldach theoretisch 1,6% der Sohlfläche als Laichhabitat genutzt werden:

Kartierte Länge (km)	Potenzielles Laichsubstrat (m ²)	Kartierte Fläche (m ²) - geschätzt	Anteil Laichsubstrat an Gesamtfläche - geschätzt
7,9	1600	46200	3,4%

Zur Beurteilung der Qualität der potenziellen Laichgründe siehe Kap. 8.3.2.

8.3.2 Brutboxenversuche

In der Goldach fanden im Winter 2011/12 Versuche mit Seeforelleneiern im Augenpunktstadium statt, die aus der Fischbrutanstalt Rorschach stammten. Die Expositionsstellen für die Brutboxen befanden sich zum einen im neu erreichbaren Abschnitt oberhalb der Ausleitung sowie im Restwasser des KW Bruggmühle. Auf Versuche im unteren Abschnitt der Goldach (unterhalb der Wasserrückleitung) wurde verzichtet, da hier die Naturverlaichung bekanntermassen sehr gut funktioniert (Tab. 8.3).

Tab. 8.3: Brutboxenversuche und Probestellen an der Goldach.

Probestellenkürzel	Koordinatenangaben (WGS-84)	Beschreibung der Lage
Gold_1 (F-km 2,87)	47.473583° / 9.458889° bis 47.473938° / 9.459198°	Goldach oberhalb Ausleitungswehr Bruggmühle
Gold_2 (F-km 2,68)	47.474218° / 9.460925° bis 47.474729° / 9.460354°	Goldach unterhalb Ausleitungswehr Bruggmühle (Restwasser)

Probestellen	Eityp	Expositionsdatum	Brutgefäße & Bestückung	Kontrollen
Gold_1 Gold_2	AE	04.02.2012	6 Brutröhrchen à 20 Eier 2 WV-Boxen à 40 Eier	11.03.2012 06.04.2012 27.04.2012

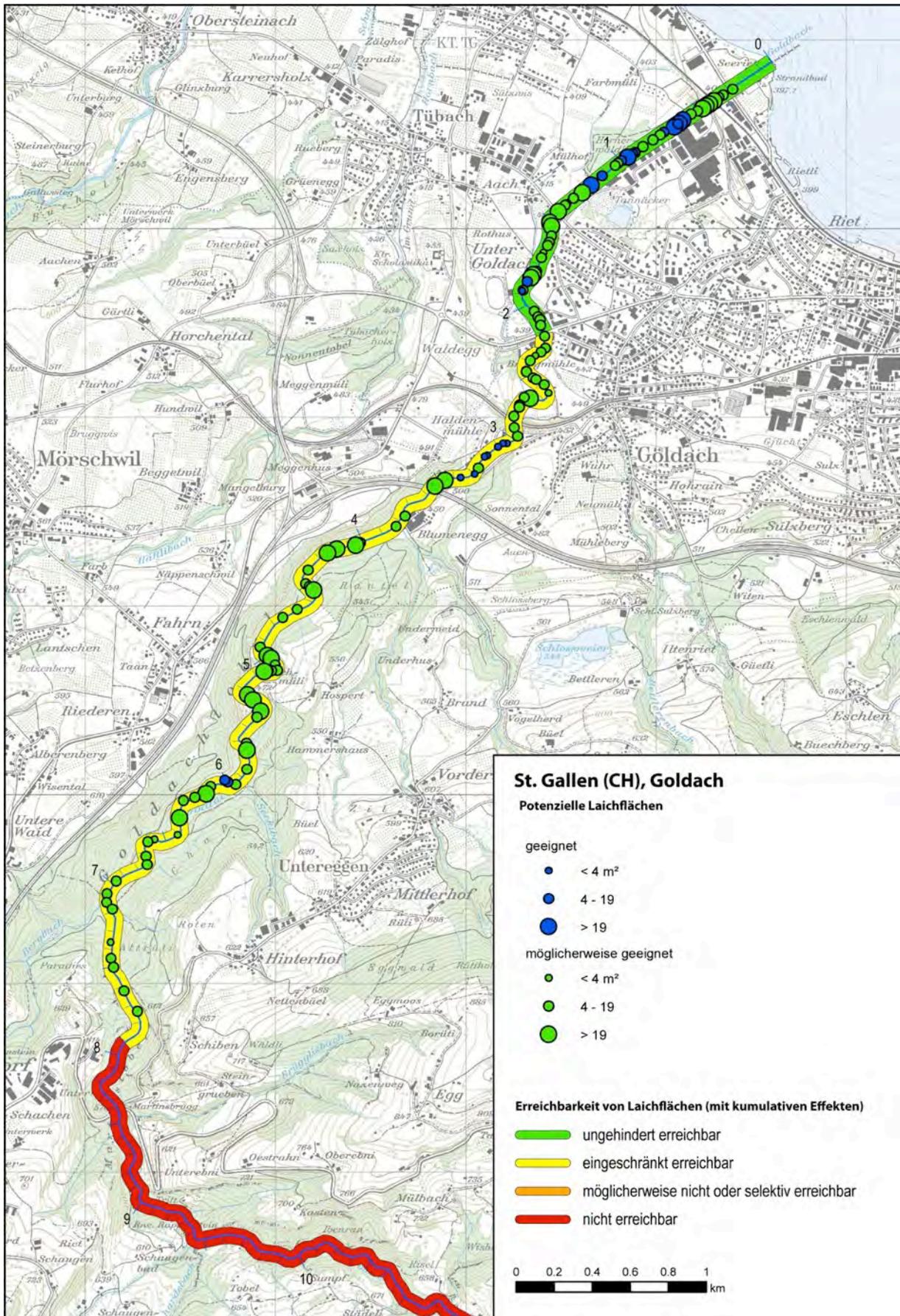


Abb. 8.31: Potenzielle Laichgründe in der Goldach. Farbige hinterlegt ist die Erreichbarkeit der Laichflächen.

8.3.3 Wassertemperatur und Abflusssituation

Im Untersuchungszeitraum wurden an der Probestelle Gold_1 bis zum 17. Februar sehr niedrige Temperaturen um 0° C aufgezeichnet (Abb. 8.32). Diese Extremwerte stellten eine Gefahr für die exponierte Brut dar (vgl. Kap. 2.1.3) und haben mit Sicherheit einen verzögernden Einfluss auf die Eientwicklung gehabt, insbesondere an der Probestelle Gold_2 in der Restwasserstrecke. Im Anschluss an diese Kältephase waren die Temperaturwerte für die Ei-/Larvalentwicklung dagegen wieder optimal.

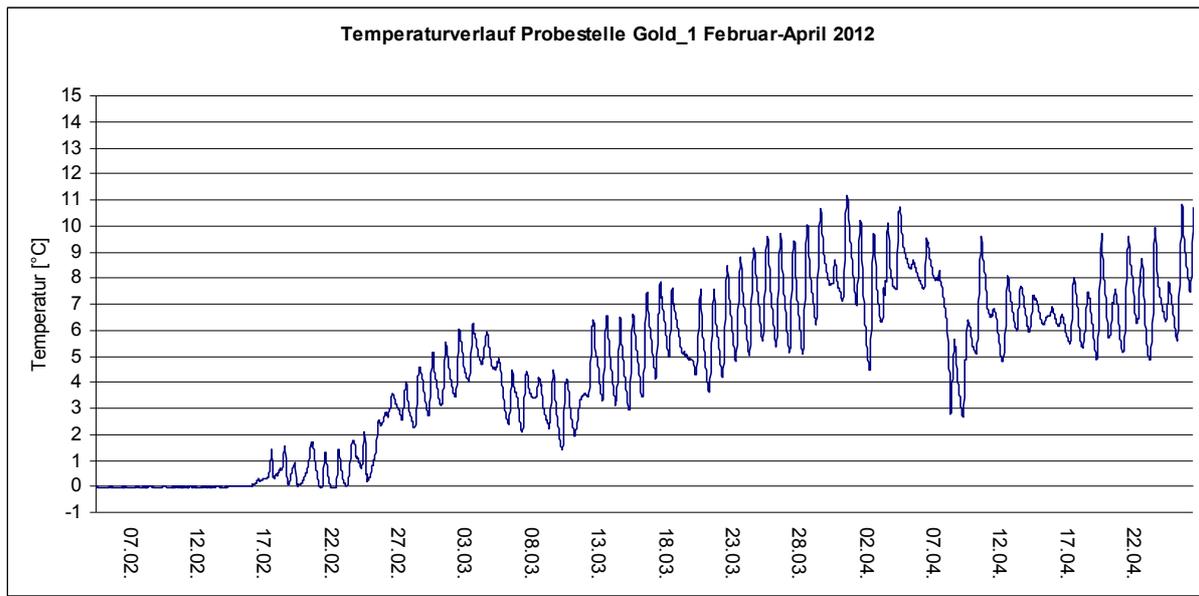


Abb. 8.32: Durch den Temperaturlogger aufgezeichneter Temperaturverlauf an der Probestelle Gold_1 (oberhalb Ausleitungwehr Bruggmühle). Dargestellt sind 30-Minuten-Werte.

Im Versuchszeitraum vom 04.02. bis 27.04.2012 herrschte zunächst ein relativ gleichmäßiger Abfluss. Am 16.04.2012 trat jedoch ein Hochwasserereignis (Tagesmittel um die 10 m³/s) auf. Dieses führte auch zu starken Substratumlagerungen. Insgesamt war die Abflusssituation im Untersuchungszeitraum aber typisch für die Goldach.

8.3.4 Überlebensraten

Die Überlebensraten an den einzelnen Probestellen sind in Tab. 8.4 zusammengestellt. Die beiden Probestellen Gold_1 und Gold_2 unterschieden sich aufgrund der Wasserkraftnutzung deutlich in der Abflusscharakteristik und damit auch im Eintrag von Feinsedimenten. Die weitere Betrachtung erfolgt getrennt nach Probestellen.

Tab. 8.4: Zusammenstellung der Brutversuchsergebnisse im Gewässersystem Goldach.

Goldach – Untersuchungswinter 2011/12 – Verwendung von Augenpunkteiern			
Stelle	Brutgefäße	Überlebensraten (Schicksal der Brutgefäße)	
		1. Kontrolle (11.03.2012)	2. Kontrolle (06.04.2012; 27.04.2012)
Gold_1 (F-km 2,87) (Exposition am 04.02.2012)	1 Brutröhrchen	95 %	-
	1 Brutröhrchen	90 %	-
	1 Brutröhrchen	100 %	-
	1 WV-Box	100 %	-
	3 Brutröhrchen	-	0 % (Verlust)
	1 WV-Box	-	0 % (Verlust)
Gold_2 (F-km 2,68) (Exposition am 04.02.2012)	2 Brutröhrchen	70 %	-
	1 Brutröhrchen	95 %	-
	1 WV-Box	92,5 %	-
	1 Brutröhrchen	-	5 %
	1 Brutröhrchen	-	70 %
	1 Brutröhrchen	-	0 %
	1 WV-Box	-	100 %
Gesamtergebnis		ca. 55 %	

Gold_1 – Goldach oberhalb Wehr Bruggmühle, F-km 2,85

Die zum ersten Kontrolltermin an der Stelle Gold_1 (Abb. 8.33, Abb. 8.34) geborgenen Brutgefäße wiesen einen geringen Feinstoffanteil auf, welcher zu einem hohen Anteil aus Sand bestand (Abb. 8.36). Die Überlebensraten waren mit durchschnittlich über 95 % sehr hoch (Abb. 8.35). Bis zum zweiten Kontrolltermin am 27.04.2012 hatten hier jedoch Umlagerungsprozesse in der Hauptrinne stattgefunden, sodass die verbliebenen Brutgefäße nicht mehr wiedergefunden wurden und die Brut vor der Emergenz vernichtet wurde. Die beobachteten Umlagerungsprozesse sind auf ein Hochwasser am 16.04.2012 zurückzuführen und waren insgesamt weniger stark ausgeprägt als die in den anderen Projektgewässern beobachteten.



Abb. 8.33: Bereich der Probestelle Gold_1 (F-km 2,85) am 04.02.2012. Blickrichtung flussaufwärts.



Abb. 8.34: Derselbe Aufnahmestandort mit Blickrichtung flussabwärts.

Wir gehen davon aus, dass die Goldach in hydrologisch unbeeinflussten Bereichen wie an der Stelle Gold_1 gute Fortpflanzungsbedingungen für Seeforellen aufweist, sofern keine besonders ausgepräg-

ten Winterhochwasser auftreten. Weiterhin haben nach unserer Einschätzung große Teile der natürlichen Forellenbrut das Hochwasser vom 16.04.2012 bzw. sämtliche erhöhten Abflussspitzen in der Fortpflanzungsperiode 2011/12 überlebt.



Abb. 8.35: Blick in die am 06.04.2012 an der Probestelle Gold_1 geborgene WV-Box: Lebende Dottersacklarven.



Abb. 8.36: Am 06.04.2012 an der Stelle Gold_1 geborgene Röhrchen zeigten Sandeinträge. Feinere Fraktionen von Feinsedimenten waren praktisch nicht vorhanden.

Gold_2 – Goldach unterhalb Wehr Bruggmühle, F-km 2,68

An der Stelle Gold_2 (Abb. 8.37, Abb. 8.38) war zu beiden Kontrollzeitpunkten eine geringe Gerinnebenetzung festzustellen. Die Wassertiefen über den exponierten Brutgefäßen waren sehr gering (Abb. 8.39, Abb. 8.40). Die geborgenen Brutgefäße wiesen bereits zum ersten Kontrolltermin eine deutliche Verschlammung auf (Abb. 8.41 bis 8.44). Beim zweiten Kontrolltermin waren die Einträge von Feinstoffen (Schlamm und Schluff) in die Brutboxen zwar massiv, dennoch konnten auch hier noch vergleichsweise hohe Überlebensraten festgestellt werden; möglicherweise handelte es sich auch hier vor allem um anorganische Feststoffe, die nicht zu Sauerstoffzehrung führten. Das Hochwasser vom 16.04.2012 führte in der Ausleitungsstrecke zu keinen entscheidenden Substratumlagerungen.



Abb. 8.37: Probestelle Gold_2 (F-km 2,68) am Tag der Exposition der Brutgefäße.



Abb. 8.38: Probestelle Gold_2 am 11.03.2012, während besonders niedrigem Abfluss in der Restwasserstrecke.

Zwischen den einzelnen Brutgefäßen bestanden auffällige Unterschiede in den Überlebensraten, die auf unterschiedlich hohe Sedimenteinträge an den Mikrostandorten zurückzuführen sein dürften. Trotz der teilweise hohen Überlebensraten ist aus folgenden Gründen davon auszugehen, dass die Fortpflanzungsbedingungen für Seeforellen in der Restwasserstrecke bei der derzeitigen Abflusssituation ungünstig sind:

- Im Winter fallen große Teile der Kieskörper trocken oder sind nur noch minimal benetzt. Eier und Larven können daher leicht austrocknen oder einfrieren. Die Anlage von später trockenfallenden Laichgruben konnte beobachtet werden.
- Der Feinsedimenteintrag in das Substrat ist hoch, wodurch der Wasseraustausch mit der fließenden Welle behindert wird und Sauerstoffmangelsituationen auftreten können.
- Grüne Eier bzw. Naturbrut verweilen deutlich länger im Kiessediment als die hier verwendeten Augenpunkteier (mindestens ca. 7 Wochen). Es erscheint fraglich, ob Naturbrut abseits von günstigen Mikrostandorten bis zur Emergenz überlebensfähig ist.



Abb. 8.39: Blick flussabwärts von der Stelle Gold_2 aus. Das Restwassergerinne ist kaum benetzt.



Abb. 8.40: Gerade noch benetzter Standort einer an der Stelle Gold_2 exponierten WV-Box (roter Pfeil).



Abb. 8.41: WV-Box während der Bergung am 06.04.2012. Feinsedimentablagerungen sind deutlich zu sehen (Unterwasseraufnahme).



Abb. 8.42: Unterwasseraufnahme von der Bergung eines Brutröhrchens am 27.04.2012. Der Kieskörper rund um dieses Röhrchen war stark mit Feinsedimenten zugesetzt.



Abb. 8.43: Blick in die am 06.04.2012 geborgene WV-Box.: Auf dem eingetragenen Feinsediment sind lebende Dottersacklarven zu sehen.

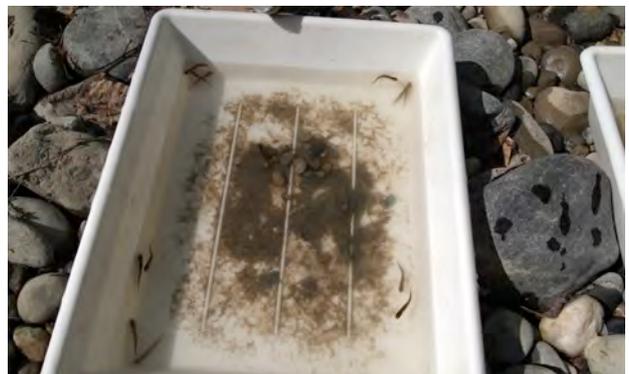


Abb. 8.44: Lebende Larven im Emergenzstadium aus einem am 27.04.2012 geborgenen Brutröhrchen.

8.3.5 Natürliche Reproduktion

Laichaktivitäten

Die natürliche Reproduktion der Seeforellen in der Goldach kann seit über 25 Jahren vor allem im Bereich der Chällebrugg unterhalb des Felsriegels beobachtet werden. Hier war bis 2010 das Ende des Seeforellenaufstiegs. Viele der alljährlich einwandernden Laichfische kämpften hier um die wenigen Kiesflächen, in die sie ihre Eier ablegen konnten (Abb. 8.47). Laichaktivitäten finden heute auch – wenn auch noch in geringerem Ausmaß – oberhalb des Felsriegels und des Wehrs Bruggmühle statt. Wenn erst wenige Männchen diese Hindernisse überwunden haben, kommt es zu Paarungen mit den standorttreuen Bachforellen (vgl. Abb. 8.17). Der oberste Nachweis für Naturverlaichung bei Blumenegg (F-km 3,75) stammt aus dem November 2013. Eine systematische Laichgrubenkartierung wurde bisher nur im Jahr 2010 durchgeführt (Abb. 8.45). Dabei fanden sich 28 Laichgruben unterhalb des Felsriegels, 7 Laichgruben (orange Punkte) zwischen Felsriegel und Wehr sowie 5 Laichgruben oberhalb des Wehrs. In den Folgejahren fanden wir oberhalb des Felsriegels nie mehr als 5, dafür auf Höhe der Chällebrugg bis zu 20 Laichgruben (vgl. Abb. 8.46, 8.47, 8.52, 8.53).

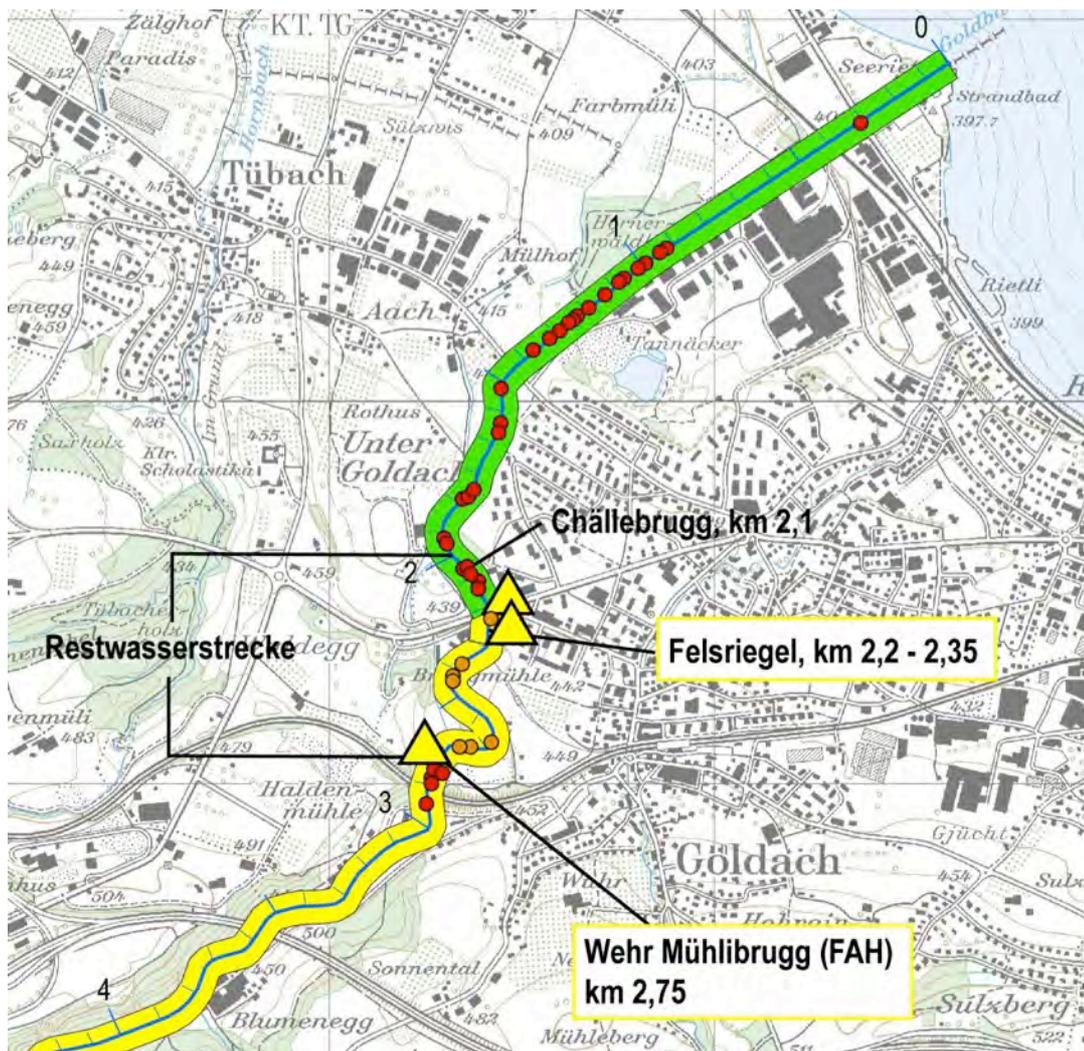


Abb. 8.45: Ergebnis der Laichgrubenkartierung an der Goldach am 04.12.2010.



Abb. 8.46: Laichaktivitäten im Becken unterhalb des Felsriegels.



Abb. 8.47: Kämpfende Männchen (Aufnahme 2001) unterhalb der Chällebrugg.



Abb. 8.48: Satellitenmännchen (Sneakers) spielen offenbar eine wichtige Rolle beim Seeforellenlaich in der Goldach.



Abb. 8.49: Laichgrube im Restwasser zwischen Felsriegel und Wehr.

Erfolg der Naturverlaichung

Im Abschnitt zwischen Tübacher Brücke (F-km 1,5) und Wehr Bruggmühle konnten wir im Mai 2012 eine Untersuchung des Schlupferfolgs der Naturverlaichung durchführen, da in diesem Abschnitt kein Brütlingsbesatz stattfindet und auch in anderen Goldachabschnitten zu diesem Zeitpunkt noch nicht besetzt worden war. In der Restwasserstrecke oberhalb des Felsriegels lag das natürliche Brütlingsaufkommen bei lediglich 1,2 Ind. pro 100 m Strecke. In den Vorjahren war die Dichte der Brütlinge hier noch deutlich höher (F. FEHR, pers. Mitt.), bei einer zuvor allerdings auch deutlich intensiveren Laichaktivität (12 Laichgruben oh- Felsriegel im Winter 2010, Abb. 8.47). Die geringen Brütlingszahlen im Testzeitraum zwei Jahre später können demnach sowohl auf geringere Reproduktionsaktivität, als auch auf Feinsedimenteinträge und/oder schlechte Durchströmung des Kieskörpers zurückge-

führt werden, die bei den unzureichenden Dotierwassermengen in der Restwasserstrecke herrschen. Die lokal geringen Schlupfraten bei den dortigen Brutboxen (Kap. 8.3.4) legen diesen Schluss nahe.

Im Vollabfluss unterhalb der Rückleitung bis zur Kantonsstraßenbrücke (750 m Länge) konnte das natürliche Brütlingaufkommen dann allerdings auf durchschnittlich 1000 Brütlinge pro 100 m hochgerechnet werden (maximal > 2500 Brütlinge/100 m) (Abb. 8.50, 8.51). Zum Fangzeitpunkt am 31.05.2012 waren die naturverlaichten Fischchen zwischen 3,9 und 6,6 cm lang.



Abb. 8.50: Im Schwarm stehende Brütlinge/Vorsommerlinge aus Naturverlaichung im Goldach-Unterlauf.



Abb. 8.51: Nachweis von Seeforellenbrütlingen/ Vorsommerlingen aus Naturverlaichung im Elektrofang.

Problem Geschiebedefizit

Unterhalb des Felsriegels besteht in manchen Jahren ein starkes Geschiebedefizit in der Restwasserstrecke. Die Seeforellen laichen dann bei erhöhten Abflüssen eher am Rand des Gewässerbetts (Abb. 8.53). Gehen die Abflüsse im Verlauf des Winters wieder auf normal niedrige Werte zurück, dann fallen solche Bereich trocken und die Eier bzw. Brut verendet.

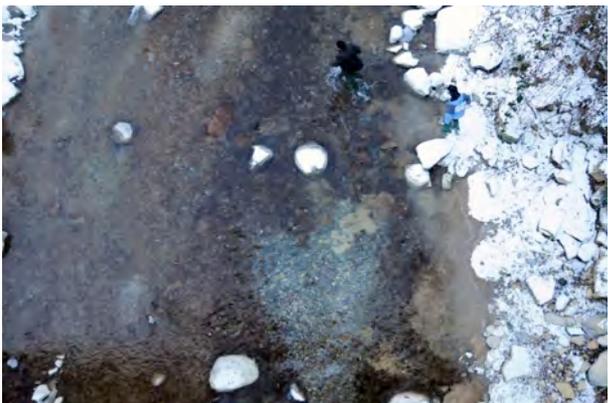


Abb. 8.52: Laichgruben oberhalb der Chällebrugg im Winter 2011/2012; in diesem Jahr liegt viel Geschiebe im Restwasserabschnitt, die Seeforellen konnten in Bachmitte und am Rand ablaichen.



Abb. 8.53: Laichgruben oberhalb der Chällebrugg im Winter 2012/2013; Geschiebemangel und höhere Abflüsse zwingen die Seeforellen, vermehrt am Bachrand zu laichen, der in der Folge trockengefallen ist. Gelbe Ovale = Laichgruben.

8.3.6 Besatz

In der Goldach findet im von Seeforellen einfach erreichbaren Abschnitt bis zur Chällebrugg von St. Galler Seite kein Besatz mehr statt. Von Thurgauer Seite werden allerdings seit 2009 alljährlich 10.000 Vorsömmerlinge in den untersten Goldachabschnitt eingesetzt. Der Oberlauf der Goldach wird nach wie vor vom ANJF St. Gallen mit Seeforellen besetzt. Die Besatzzahlen schwankten in den letzten 10 Jahren zwischen ca. 26.000 und 126.000 Brütlingen und Vorsömmerlingen. In den letzten Jahren lagen die Besatzzahlen beider Kantone im Schnitt knapp unter 50.000 Individuen (Abb. 8.54).

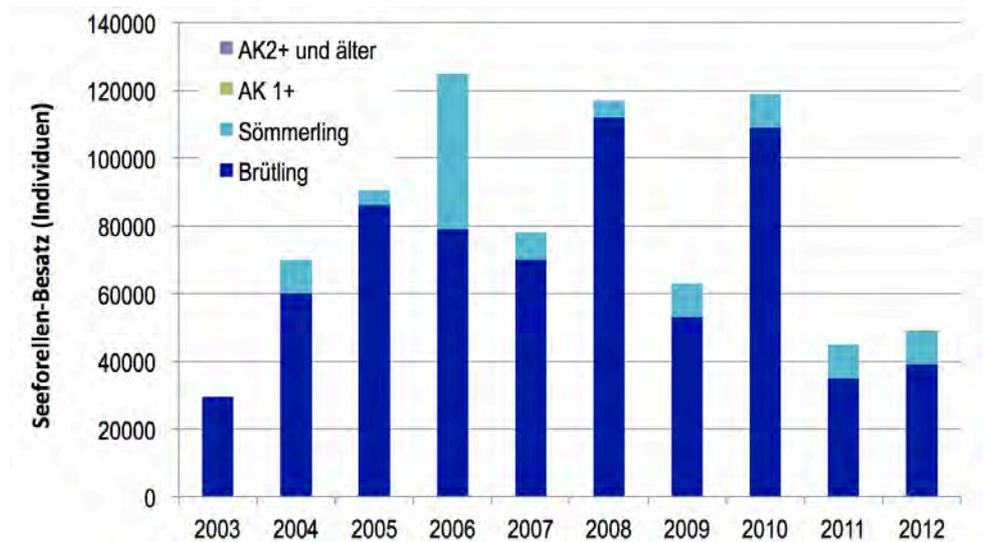


Abb. 8.54: Seeforellenbesatz im Einzugsgebiet der Goldach.

8.4 Abwanderung

Zur Erfassung der Smoltabwanderung wurden zwei Antennen im Bereich der Mündung aufgebaut, die vom 14.05. bis zum 10.09.2012 betrieben wurden. Weitere Erkenntnisse stammten aus der Detektionsschleife oberhalb des Felsriegels.

An zwei Befischungsterminen (14.05. und 31.05.2012) wurden aus der Goldach insgesamt 100 Jungforellen gefangen, davon wurden 97 Individuen mit PIT-Tags markiert und einem Typ zugeordnet (siehe Abb. 8.55).

In der Restwasserstrecke um die Bruggmühle wurden am 14.05.2012 22 Forellen zwischen 13,1 und 24,2 cm Länge bei rücklaufendem Hochwasser markiert. Bei einer zweiten Markierungskampagne am 31.05.2012 wurden weitere 75 Forellen markiert (Kantonsstraßenbrücke bis zum Felsriegel).

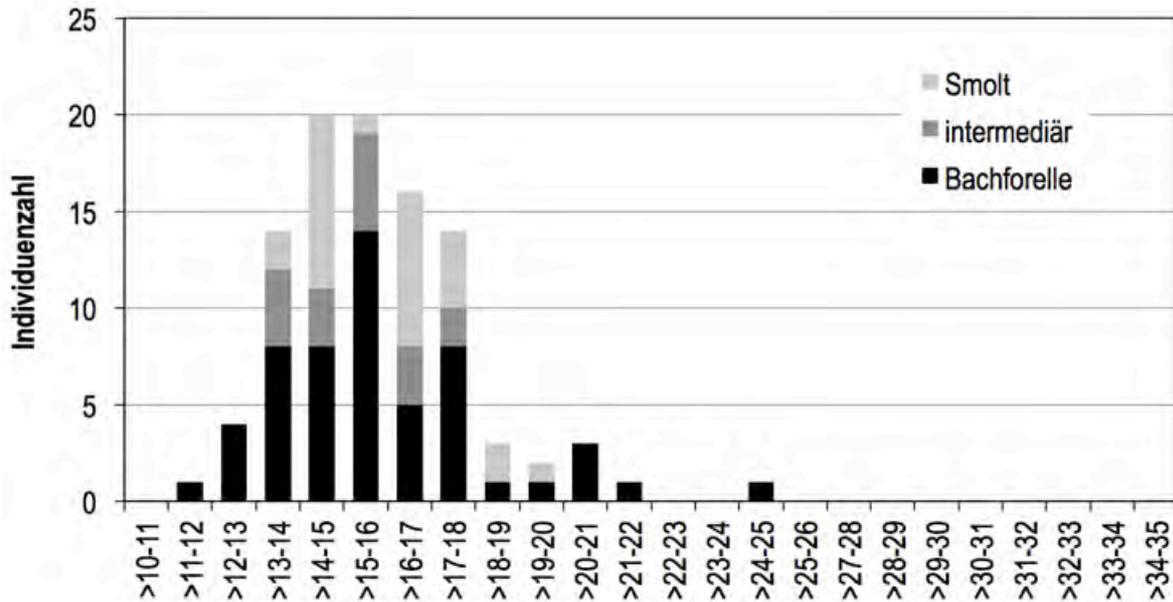


Abb. 8.55: Nach Typ getrennte Längenverteilung der im Mai 2012 mit PIT-Tags markierten, potenziell abwandernden Forellen (*Salmo trutta*) in der Goldach.

In der Goldach ist der Typ „Bachforelle“ mit insgesamt 55 % am Gesamtfang dominant. Am 14.05.2012 war jedoch der Anteil des Typus „Smolt“ mit 68 % des Fangs am höchsten, bei der Befischung zwei Wochen später am 31.05.2012 war deren Anteil im Fang jedoch auf 16 % deutlich zurückgegangen. Da sich der Abschnitt wieder mit Jungforellen „aufgefüllt“ hat, haben wir am 14.05.2012 in der Restwasserstrecke möglicherweise Smolts während der Abwanderung gefangen, die ursprünglich aus dem Besatz im Oberlauf der Goldach stammten. Sieben dieser Fische wanderten bereits in den beiden Folgetagen in den See, bis zur zweiten Befischung am 31.05.2012 wurden bereits 13 der 15 zuvor markierten Smolts an der Mündung detektiert.

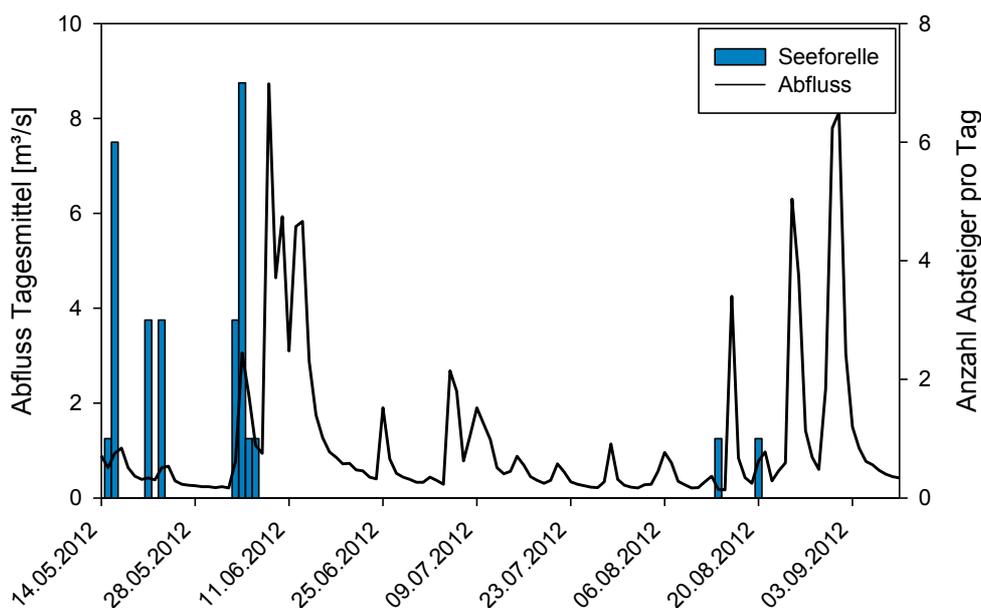


Abb. 8.56: Abwanderung juveniler Seeforellen aus der Goldach. Ergebnisse der PIT-Tag-Detektionen Frühjahr bis Herbst 2012

Insgesamt wurden 26 juvenile Forellen beim Abstieg detektiert (Abb. 8.56). Über zwei Drittel (69 %) aller abgewanderten Jungfische gehörten zum Typus „Smolt“, obwohl dieser am Gesamtfang weniger als ein Drittel (23 %) ausmachte. Weitere 23 % der in den See gewanderten Forellen gehörten zum Typ „intermediär“ und nur 8 % zum Typ „Bachforelle“. Ob sich diese Fische vor der Abwanderung noch umgefärbt haben, ist nicht bekannt. Der Großteil der Fische wanderte sehr schnell im Mai und Anfang Juni bei erhöhten Abflüssen ab. Zwei junge Forellen stiegen auch noch Mitte August ab.

Dass die Umfärbung zu silbernen Smolts offenbar eine Prädisposition für das Leben im See ist, wird durch folgende Betrachtung gestützt: Von insgesamt 27 Smolts wurden 18 bei der Wanderung in den See detektiert (67 %); vom Typus „Bachforelle“ wanderten jedoch nur zwei (4 % aller 53 Individuen) in den See. Demgegenüber betrafen sieben von neun Nachweisen oberhalb des Felsriegels den Typ „Bachforelle“, was auf eine hohe Standorttreue deutet (siehe Tab. 8.5).

Tab. 8.5: Gesamtfangzahlen und Detektionen von jungen Forellen in der Goldach.

	Typ Bachforelle			Typ intermediär			Typ Smolt		
	Anzahl	Detektion		Anzahl	Detektion		Anzahl	Detektion	
		Gesamtfang	oh. Felsriegel		Mündung	Gesamtfang		oh. Felsriegel	Mündung
14.05.12	7	1	0	0	0	7	15	0	13
31.05.12	46	5	2	17	1	6	12	1	5
Summe	53	7	2	17	1	6	27	1	18

Zwei juvenile Forellen stiegen nach dem Fang nachweislich über den Felsriegel auf. Besonders erwähnenswert ist der Weg einer Forelle vom intermediären Typ, die am 31.05.2012 unterhalb des Felsriegels mit einer Länge von 15,3 cm besendert wurde. Der Fisch wanderte danach in den See ab und wurde zwischen 05.06.2012 und 06.07.2012 mehrfach im Bereich der Mündung detektiert. Offensichtlich kehrte der Fisch mit einem kleineren Hochwasser in die Goldach zurück, und wurde dann am 28.11.2012 oberhalb des Felsriegels detektiert. Möglicherweise ist dies auch ein Indiz für das vermutete Phänomen des „Mitwanderns“ unreifer Individuen mit den Laichfischen.

Die Untersuchung der abwandernden Goldach-Forellen hat somit die Beobachtung bestätigt, dass sich Individuen, die in den See wandern, zuvor zu einem hohen Prozentsatz bereits an ihrer silbernen Färbung erkennen lassen. Ebenso sind ortstreue Individuen zu einem hohen Anteil dem optisch davon eindeutig unterscheidbaren Typ „Bachforelle“ zuzuordnen.

8.5 Fazit

Die Goldach zeigt ein pluvio-nivales Abflussregime. Im Mittwinter gibt es dennoch nur eine geringe, niederschlagsgeprägte Abflussspitze; über das Jahr hinweg ist der Abfluss recht gleichmäßig. Ein länger andauernder Abflusspeak tritt als Folge der Schneeschmelze von Mitte März bis Ende Mai auf. Es zeigt sich eine deutlich Abhängigkeit des Seeforellen-Einstiegs von hohen Abflüssen. In Zeiten mit niedrigem Abfluss steigen auch im Spätherbst kaum oder keine Seeforellen ein. Nahezu alle besen-

dernten Einsteiger waren laichbereit und verweilten nur kurz im Gewässer. Der natürliche Felsriegel ist für kleine und große Seeforellen zwar überwindbar, allerdings abflussabhängig nur selektiv und von Jahr zu Jahr in verschiedenem Ausmaß.

In der Goldach ist das natürliche Brütlingvorkommen im Vollabfluss unterhalb der Wasserrückleitung des KW Bruggmühle hoch, obwohl die potenziell verfügbaren Laichflächen im Vergleich zu Argen und Bregenzerach verschwindend klein sind. Offensichtlich wird das vorhandene Potenzial in der Goldach aber gut genutzt.

Die Brutboxenversuche und das Aufkommen der Naturbrut zeigten, dass die Reproduktionsbedingungen und Überlebensraten in der Goldach abseits der Restwasserstrecke sehr gut sind, dass jedoch in der Gerinnemitte auch Substratumlagerungen stattfinden, die zu Gelegeverlusten führen. In der Restwasserstrecke können Laichgruben trockenfallen und/oder das Substrat kann stark verschlammen. Unterhalb des Felsriegels besteht in manchen Jahren ein Geschiebedefizit, vor allem in der kurzen aber viel „besuchten“ Restwasserstrecke unterhalb der Chällebrugg, weswegen die Fische auf weniger geeignete Laichflächen zurückgreifen oder nahe des Gewässerrands laichen, der später trockenfallen und/oder einfrieren kann.

Die Untersuchung der Abwanderung der Smolts in der Goldach erbrachte, dass der Anteil abwandernder Fische an den juvenilen Forellen erwartungsgemäß hoch ist. Dabei kann auch ein gewisser Anteil aus dem Besatz im Oberlauf des Gewässersystems stammen. Die Untersuchung zeigte, dass mindestens 27% aller besetzten Jungforellen in den See abwanderten und dass diese überwiegend dem optisch gut erkennbaren Smolt-Typ zugeordnet werden können.

Der 2010/11 durchgängig gemachte Felsriegel bildet von Jahr zu Jahr ein in unterschiedlichem Maß wirkendes Aufstiegshindernis, das aus mehreren, auch einzeln schwer überwindbaren Stufen besteht. Dennoch wirkt er nicht selektiv auf unterschiedliche Fischgrößen. Offenbar wird er bevorzugt durch früh aufsteigende Seeforellen überwunden; Späteinsteiger scheinen die Anstrengung zu scheuen und verbleiben eher in den Abschnitten unterhalb des Riegels. Damit spielt höchstwahrscheinlich der Wasserstand des Bodensees im Herbst beim Aufstieg der Seeforellen über den Felsriegel hinaus eine entscheidende Rolle. Da die Seeforellen, die einmal die Hindernisse überwunden haben, im Mittellauf der Goldach auf zahlreiche potenzielle Laichgründe treffen, dürfte die Frage nach dem Überwinden (ob und wenn ja, unter welchen Bedingungen) für den Seeforellenbestand der Goldach nicht unerheblich sein. Solange diese Räume für die Naturverlaichung nicht oder kaum genutzt werden, muss auch die Frage nach weiteren Besatzmaßnahmen noch offen bleiben.

8.6 Empfehlungen

In der Goldach funktioniert die Naturverlaichung meistens gut. Auch wenn Winterhochwasser in der Haupttrinne zu Substratumlagerungen führen, bleibt ein Teil des Substrates weitgehend intakt. Vermutlich aufgrund des kleinen Einzugsgebietes und der ausgedehnten Auenbereiche im Mittellauf haben

diese Hochwasser weniger Wucht. Innerhalb der Ausleitungsstrecke der Bruggmühle ist der Feinstoffanteil erhöht und der Geschiebetransport defizitär.

Möglicherweise sind die Seeforellen-Bestände in der Goldach leicht rückläufig.

Empfohlene Maßnahmen:

- Erhöhung des Restwasserabflusses in der Ausleitungsstrecke Bruggmühle in der Laich- und Brutentwicklungszeit (Oktober bis April)
- Zu prüfen: Restwasserabflusses in der Ausleitungsstrecke Städeli (Achmühle) – Lochmühle; generelle Erhöhung oder Erhöhung in der Laich- und Brutentwicklungszeit (Oktober bis April)
- In Jahren mit niedrigem Seewasserspiegel: Abfangen der Laichfische unterhalb des Felsriegel und Übersetzen in den Bereich oberhalb des Wehrs Bruggmühle (*catch and carry*)
- Geschieberückhalt im Bereich unterhalb der Chällebrugg (Restwasserbereich)
- Verbesserung der Gewässerstruktur / Morphologie im Goldach-Unterlauf
- Verbesserung der Leitströmung am Eingang des Beckenpasses am Wehr Bruggmühle
- Überprüfung des Trends der Aufsteigerzahlen und des natürlichen Brütlingaufkommens vor dem Hintergrund abnehmender Besatzzahlen
- Abklärung, warum der Aufstieg am Felsriegel von Jahr zu Jahr stark schwankt
- Besatzkoordination im Unterlauf (SG, TG).

9 Flussübergreifende Betrachtungen

9.1 Hydrologie der Untersuchungsgewässer

9.1.1 Wasserführung, Abflussmengen

Aufgrund der langen Entwicklungszeit von Salmonideneiern im Gewässersubstrat müssen die Laichgebiete der Seeforellen für eine erfolgreiche Reproduktion über das gesamte Winterhalbjahr hinweg geeignete Abfluss-, Substrat- und Temperaturbedingungen aufweisen. Bodenseezuflüsse und ihre Einzugsgebiete (Oberläufe und Zuflüsse) sind prinzipiell als Seeforellengewässer geeignet, wenn möglichst wenig Winterhochwasser die Eientwicklung stören, wenn die Gelege auch durch hohe Abflüsse nicht ausgegraben werden oder wenn der Kieskörper mit den Eiern nicht durch Feinmaterial verstopft wird. Viele Oberläufe und Zuflüsse sind deswegen für einen regelmäßigen Bruterfolg besser geeignet als der Mittel- und Unterlauf der Zuflüsse.

Charakter der Einzugsgebiete

Vier der fünf hier untersuchten Untersuchungsgewässer haben ein pluvio-nivales Einzugsgebiet mit alljährlich auftretenden Winterhochwassern. Lediglich das Einzugsgebiet der Bregenzerach weist noch einen weitgehend nivalen Charakter auf, der sich aber mehr und mehr in Richtung eines pluvio-nivalen Systems bewegt. Wegen des Klimawandels werden sich die Lufttemperaturen vor allem zu Beginn des Winters erhöhen (KLIWA 2009). Niederschlag, der bislang meist als Schnee im mittleren und oberen Einzugsgebiet liegen blieb, wird künftig bis über 1000 m Höhe vermehrt als Regen niedergehen. Bereits im Untersuchungszeitraum konnten wir regelmäßige Winterhochwasser im Mittel- und Unterlauf feststellen. Diese früher selteneren Ereignisse scheinen heute vermehrt aufzutreten und gerade im Unterlauf eine erfolgreiche Seeforellen-Reproduktion zu erschweren.

Bei den Abflüssen von Rotach, Argen, Leiblach und Goldach bestehen vor allem bezüglich der Dauer, Frequenz und Stärke der winterlichen Hochwasser auffällige Unterschiede. Im Bodenseegebiet besteht von Westen kommend zu den Alpen hin ein ausgeprägtes Niederschlagsgefälle, wobei die meisten Niederschläge im Allgäu und in Vorarlberg niedergehen (BERAN & SIEBEGGER, 1987; GÜDE, H., REY, P. & J. ORTLEPP, 2010). Weitere Unterschiede bestehen bezüglich der Naturnähe und Pufferkapazität des Einzugsgebietes, deren landwirtschaftlicher Nutzung und der Siedlungsnutzung (IGKB 2004).

Die Rotach zeigt im Vergleich zur weiter östlich gelegenen Argen oft weniger ausgeprägte Abflussspitzen (z.B. Mitte Januar 2011), die bereits heute in manchen Jahren in dem von Seeforellen bereits erreichbaren Mittellauf zu erfolgreicherer Seeforellen-Reproduktion führen können. Die Argen hingegen wird im für Seeforellen heute nutzbaren Abschnitt von sehr starken, geschiebemobilisierenden Winterhochwassern beeinflusst. In beiden Flüssen ist die derzeit noch stabilste Abflussphase zwischen Mitte Februar bis Anfang Mai. Dieses Zeitfenster mit stabileren Abfluss-Bedingungen verschiebt sich

laufend nach hinten, da sich im Zuge des Klimawandels aktuell vor allem die Temperaturen von November bis Januar erhöhen.

Die Leiblach zeigt ein ähnliches Abflussregime, allerdings ist ihr Einzugsgebiet etwas stärker nival geprägt und am Nordrand der Alpen auch bewaldeter. Die Schmelzwasserphase im Frühjahr ist ausgeprägter und länger als jene der weiter westlich gelegenen Bodenseezuflüsse; auch scheinen die Winterhochwasser weniger stark. Die Leiblach ist derzeit natürlicherweise nur bis in den Mittellauf durchgängig; ob das derzeit gegebene natürliche Wanderhindernis (Schwelle an der Knochenmühle) in historischer Zeit für Seeforellen zumindest eingeschränkt passierbar war, ist unbekannt.

Die Goldach zeigt über das Jahr hinweg ein recht konstantes Abflussregime mit nur geringen Hochwasserspitzen. Möglicherweise puffert das weitgehend bewaldete und naturnahe Einzugsgebiet mit großen Auenbereichen im Mittellauf die winterlichen Hochwasser so weit ab, dass die Reproduktion der Seeforellen auch im Unterlauf erfolgreich ist. Mit entscheidend für die Auswirkungen der Hochwasser auf die Reproduktion bzw. Umlagerungen von Kiesbänken scheint das spezifische Ausmaß des Hochwassers, also die Schleppkraft im jeweiligen Gerinne zu sein.

Im Rahmen der aktuellen Studie wurde durch die Brutboxenversuche belegt, dass eine Zerstörung von Gelegen durch natürliche Hochwasser insbesondere im Unterlauf der Hauptgewässer stattfindet. Deshalb erscheint eine Einbeziehung der Oberläufe in die Brutboxenuntersuchungen und natürlich auch in die künftige Maßnahmenplanung zielführend. Die Erreichbarkeit vorausgesetzt, ist hier ein großes Potenzial zu erwarten.

Vergleich mit der Steinach

Die Steinach, die wir in Zusammenarbeit mit dem ANJF St. Gallen im Rahmen eines weiteren Seeforellen-Programms untersuchen durften, weist trotz ihrer nur 1,5 km weit durchgängigen Strecke mit geschätzten 300 bis 550 Einwanderern/a neben dem Alpenrhein den größten Seeforellen-Bestand eines direkten Bodensee-Zuflusses auf (unveröff. Daten). Dieser wird intensiv für den Laichfischfang durch den Kanton St. Gallen genutzt. Trotz erheblicher morphologischer Defizite im Unterlauf funktioniert hier auch die Naturverlaichung in großem Umfang. Die Steinach entspringt im Stadtgebiet von St. Gallen und fließt durch die weitgehend natürliche, bewaldete Steinachschlucht, die über weite Strecken durch Bach-Auen begleitet wird. Hochwasser im Winter sind in der Regel eher selten und lösen keine massiven Geschiebeumlagerungen aus. Der langjährige Abfluss der Steinach zeigt keinen pluvio-nivalen Einfluss, er erscheint im Jahresverlauf weitgehend gleichbleibend. Hydrologisch ist die Steinach somit eher mit einem Zufluss oder Oberlauf eines großen Gewässers vergleichbar.

Fazit zur Wasserführung

Die regelmäßig strukturierenden Winterhochwasser in Kombination mit Prognosen des Klimawandels (KLIWA 2009) deuten darauf hin, dass künftig Seitengewässer und Flussoberläufe eine zunehmend wichtigere Rolle für die Seeforellen-Reproduktion spielen werden. Hier können sich Hochwasser noch

nicht so stark akkumulieren. Ausgedehnte Auenbereiche oder naturnahe Einzugsgebiete (Bewaldung, Moorböden, Riedgebiete) fangen dort stärkere Niederschlagsereignisse ab. In intensiv genutzten Gebieten werden die Hochwasser dagegen durch Entwässerung, Flächenversiegelung und mangelnde Retention konzentriert. Flussaufweitungen und Öffnung von Pufferräumen (fließende Retention) könnten die bestehenden Defizite lindern. In grossen Bodenseezuflüssen wie der Argen, die noch viele zusammenhängende naturnahe Abschnitte aufweist, ist es sicher zielführend, das Einzugsgebiet mit Oberläufen und Zuflüssen für die Seeforelle uneingeschränkt erreichbar zu machen. Als Wanderkorridore hin zu geeigneten Laichgebieten eignen sich allerdings auch hydromorphologisch beeinträchtigte Gewässerabschnitte, sofern sie keine Migrationshindernisse aufweisen (Beispiel Argen, Bregenzerach, Alpenrhein).

9.2 Einwanderung

Im Zuge des Projekts wurden aufgrund der Untersuchungsergebnisse die aktuellen Einsteigerzahlen für Seeforellen in den untersuchten Zuflüssen für die Jahre 2010 bis 2012 abgeschätzt. Hierfür wurden die Befischbarkeit der einzelnen Gewässer, die Anzahl ihrer selektiven Hindernisse und die Abflussabhängigkeit des Aufstiegs berücksichtigt. Die Zahlen werden mit jenen der Steinach und des Alpenrheins verglichen, die aus dem Laichfischfang langjährig dokumentiert sind. Die Steinach wurde parallel zum Interreg-Programm im Rahmen weiterer Fragestellungen untersucht und kann daher als Referenzgewässer herangezogen werden.

Man muss davon ausgehen, dass die Einsteigerzahlen in die Seeforellengewässer von Jahr zu Jahr um den Faktor 2 bis 3 schwanken können (Tab. 9.3). Gründe sind u.a. unterschiedliche Überlebensraten der zugrundeliegenden Jungfischjahrgänge, aber auch hydrologische Einschränkungen bei der Entwicklung im Laich- bzw. Jungfischgewässer sowie beim Einstieg selbst (Seewasserstand, Überwindbarkeit seichter Stellen in der Mündung usw.). Nachdem eine Erfassung konkreter Einsteigerzahlen mittels Fischwehr nicht gelang, wurden Zahlen ermittelt, die auf einer datengestützten Expertenabschätzung beruhen. Folgende Kriterien liegen den Abschätzungen in der Tab. 9.3 zugrunde: Fangzahlen, Anzahl der Befischungen, befischte Strecken, Zahl und Ort der Wiederfänge, Zahl der detektierten Individuen, Aufenthaltszeiten in den Gewässern (soweit bekannt) und Einstiegszeiten außerhalb der Befischungskampagnen, beobachtete Individuen, gemeldete Anglerfänge und weitere Beobachtungen (z.B. Laichgrubenfunde ohne beobachtete Laichfische).

Bezogen auf das Einzugsgebiet – als Maß für die Größe des Gewässers – sind die Einsteigerzahlen von Goldach und Steinach bei weitem die höchsten im Bodensee-Einzugsgebiet, gefolgt von der Leiblach. Die großen Gewässer Alpenrhein und Bregenzerach sind bezüglich der Einsteigerzahlen pro km² EZG miteinander vergleichbar, liegen aber deutlich unter den Werten der drei bereits genannten Flüsse. Die Rotach liegt im Bereich der Angaben für Alpenrhein und Bregenzerach. Die Argen weist die geringsten Einsteigerzahlen auf, sowohl absolut als auch bezogen auf das Einzugsgebiet.

Tab. 9.3: Einsteigerzahlen (Abschätzungen auf Basis bisheriger Fänge und Wiederfänge sowie Beobachtungen) von Seeforellen-Laichfischen in den Programmgewässern sowie den Referenzgewässern Steinach und Alpenrhein (2010 bis 2013).

	Rotach	Argen*	Leiblach	Bregenzerach*	Goldach	Steinach	Alpenrhein**
Einsteiger	20-50	10-30	100-250	50-150	100-300	300-550	500-2000
Einzugsgebiet (km ²)	132	639	102	830	50	24	6120
Einsteiger/ km ² EZG	0,15 bis 0,38	0,02 bis 0,05	0,98 bis 2,45	0,06 bis 0,18	2 bis 6	12,5 bis 22,9	0,08 bis 0,33
Erreichbare Strecke	7,6 km	47 bzw. 30 km (OA)	13,1 km	7,1 km; danach 45 km eingeschränkt	2,15 km; danach 5,8 km eingeschr.	1,8 km	145 km (Vorderrhein)
Einsteiger/ km erreichbarer Strecke	2,7 bis 6,8	0,2 bis 1	7,8 bis 19,4	6,9 bis 20,8 (1,0 bis 2,9)	46,5 bis 139,5 (13,1 bis 39,2)	166,7 bis 305,6	3,4 bis 13,8

*) aufgrund der Größe des Gewässers und des Einzugsgebietes mit höherer Unsicherheit behaftet **) Videozählungen im Fischpass

Auf Basis dieser Abschätzungen und den aktuellen Informationen, die uns von weiteren Bodenseezuflüssen erreichten, konnte die in Abb. 9.1 aufgeführte Abschätzung erfolgen.

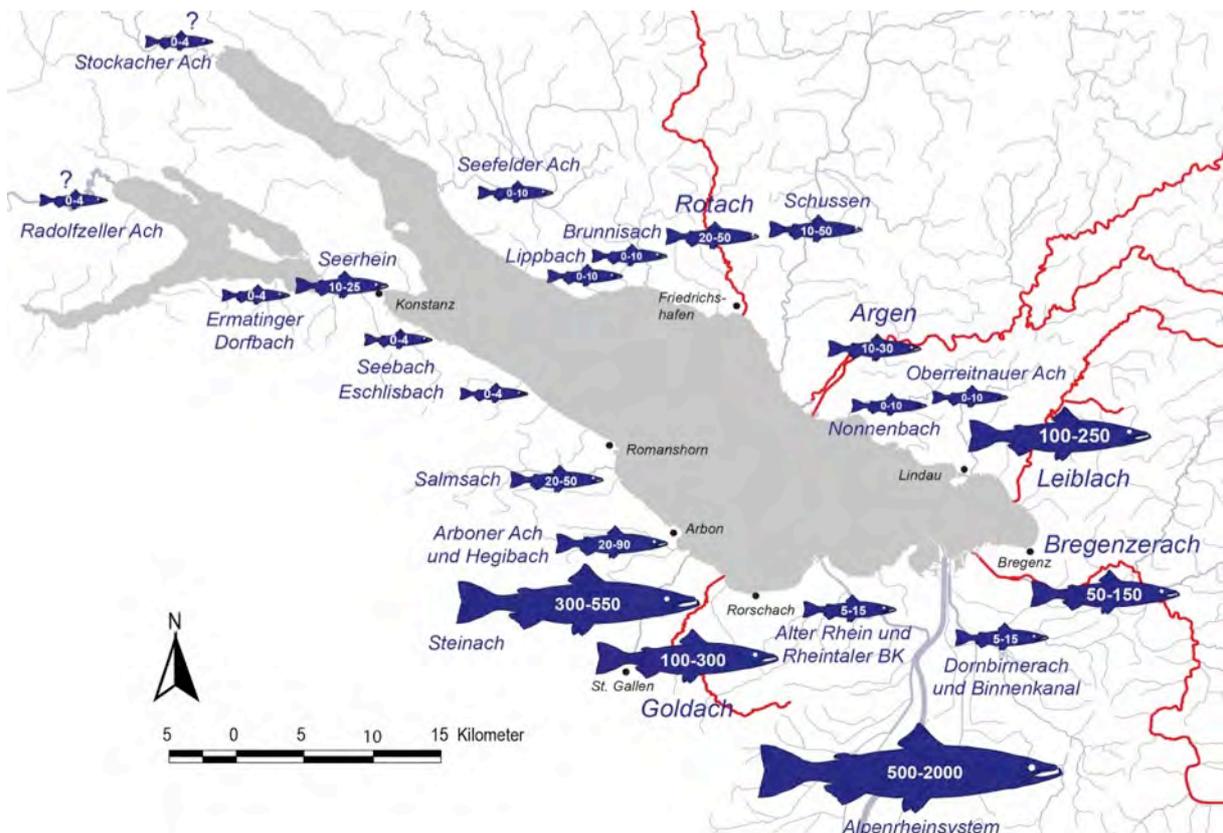


Abb. 9.1: Abschätzung der Einsteigerzahlen in die Seeforellengewässer des Bodensee-Einzugsgebiets (Quelle: aktuelles Programm, Informationen der Fischereifachstellen, Grundlagenbericht Seeforelle, IBKF 2009).

Berücksichtigt man auch den Alpenrhein, so konnten bisher in allen Monaten adulte Seeforellen oder eindeutige Aufsteiger in den Bodenseezuflüssen nachgewiesen werden. Die Haupteinstiegszeit lag in den Programmgewässern zwischen Mitte Oktober und Ende Dezember. In den Monaten Februar bis April wurden nur vereinzelte Fische nachgewiesen oder gemeldet, bei denen es sich bis auf einen Fall

um noch im Gewässer verbliebene Individuen handelte; am 12.04.2012 konnten an der Steinach bei rücklaufendem Hochwasser drei silberne und deshalb wahrscheinlich frisch aus dem See eingestiegene adulte Seeforellen gefangen werden (unveröff. Daten). Aus dem VKW-Kanal sind selbst aus dem April und Juni bereits Einsteigerzahlen um 10 Individuen belegt. Weitere Überlegungen zur Einstiegs- und Laichzeit folgen unter Kap. 9.4.1.

9.2.1 Wanderbedingungen und tageszeitliche Aktivität

In den von uns betrachteten Gewässern sind bezüglich des Einstiegs von Seeforellen zwei Strategien unterscheidbar:

- Hochwassergepulster Einstieg in kleinere Bodensee-Zuflüsse
- Weitgehend abflussunabhängiger Einstieg in größere Bodensee-Zuflüsse

Kleinere Seeforellengewässer

In Rotach, Leiblach und Goldach (sowie in die Steinach) steigen die Seeforellen bei erhöhten Abflüssen meist zwischen Oktober und Dezember ein, ausnahmsweise auch noch im Januar oder schon Ende September. Während Normal- oder gar Niederwasserabfluss sind diese Flüsse für die großen Wanderfische kaum oder nicht passierbar. Auch spielt der Seestand beim Einstieg offenbar eine entscheidende Rolle: Ist dieser hoch, können die Seeforellen schon früh im Herbst und über längere Zeit hinweg ein- und absteigen. Ist er niedrig, müssen sie vor der Mündung auf ein Hochwasser warten, bevor sie einwandern können. Auch der Einstieg in weitere kleinere Gewässer, wie die verschiedenen direkten Bodenseezuflüsse in Abb. 9.1 oder Zuflüsse zweiter Ordnung, deren Mündungsbereiche aufgrund des eingetragenen Geschiebes oft sehr flach sind, ist im Zusammenhang mit Seestand und Abfluss zu betrachten. Für die Goldach konnte darüber hinaus belegt werden, dass verschiedenen Gruppen von Seeforellen weitgehend laichbereit einsteigen und dass zumindest die Milchner innerhalb weniger Tage wieder in den See zurückkehren.

Große Seeforellengewässer

In der Bregenzerach erfolgt der Seeforellen-Einstieg vom See in den Fluss wahrscheinlich weitgehend unabhängig davon, ob darin normale oder erhöhte Abflüsse herrschen. Im Gegensatz zu kleinen Seeforellengewässern scheint hier – ähnlich wie im Alpenrhein – kein Zusammenhang zwischen Einsteigerzahlen und höherem Seestand zu bestehen. Während der regelmäßigen Befischungen wurden auch frische Einsteiger (zu erkennen an der silbernen Färbung, bei einigen Tieren auch am Befall mit Karpfenläusen aus dem See) gefangen, auch wenn Wochen zuvor keine höheren Abflüsse mehr auftraten. Inwiefern auch der Schwall-Sunk-Betrieb der Kraftwerke einen Wanderimpuls vom See ins Gewässer auslöst, bleibt unklar. Es konnte allerdings nachgewiesen werden, dass einmal in den Mittellauf der Bregenzerach aufgestiegene Seeforellen offenbar den Schwall als Impuls zur Weiterwanderung nutzen (Abb. 7.17). Eine bei Sunk gestrandete Seeforelle im Schwellwahr nahe der Mündung lieferte ebenfalls ein Indiz hierfür, sie ist möglicherweise kurz vor Sunkbeginn in die Block-

rampe eingeschwommen und hat diese nicht mehr ganz überwinden können. Andererseits zeigen die Untersuchungen am Alpenrhein (MENDEZ 2007), dass die Seeforellen signifikant höhere Distanzen bei Sunkabfluss zurücklegen – ausreichende Wassertiefe vorausgesetzt.

Die Fangzahlen in der Argen waren sehr gering, ein Zusammenhang zwischen Abfluss und Einstieg der Laichfische konnte aufgrund dieser unzureichenden Datenbasis nicht genauer untersucht werden. In der Oberen Argen wanderten beide detektierten Seeforellen jedoch bei Hochwasser. Auch in der Unteren Argen ist es großen Forellen nur bei Hochwasser möglich, die Ausleitungsstrecken (z.B. bei Kernaten) zu überwinden. Dass dies möglich ist, zeigt der Fang eines Rogners bei Neumühle. Abseits von erhöhten Abflüssen besitzt der Mühlkanal, der eine Sackgasse für den Aufstieg der Seeforellen darstellt, eine attraktivere Lockströmung als die Argen selbst. Neben den aktuellen Untersuchungen bestätigen auch die langjährigen Beobachtungen der Fischereiforschungsstelle (RÖSCH, pers. Mitt) und der Fischzucht Langenargen (DOSSOW, pers. Mitt) die Einschätzung, dass in die Hauptmündung der Argen weniger Seeforellen einsteigen als in den Mühlkanal. Ursache dafür ist die deutlich stärkere Leitströmung, die der Mühlkanal unter normalen Abflussverhältnissen gegenüber der Argen aufweist.

Generelle Erkenntnisse

Durch die PIT-Tag-Detektionen konnte nachgewiesen werden, dass die Ein- und Abwanderungen der Laichfische bevorzugt bei erhöhten Abflüssen stattfinden, der Aufstieg findet oft bei ansteigendem Hochwasser statt. Die tageszeitliche Aktivität während der Wanderung ist vor allem in den ersten Nachtstunden von 22 bis 24 Uhr erhöht und wieder in den späten Nacht- und frühen Morgenstunden. Dieses Ergebnis bestätigen auch die Untersuchungen von MENDEZ (2007) am Alpenrhein – hier legten die Seeforellen im Mittel die 4-fache Wanderdistanz während der Nacht zurück. Die geringste Wanderaktivität fand nachmittags statt (Abb. 9.2), wobei auch da erhöhte Abflüsse genutzt wurden. Auch die Smolts zeigen bei ihrer Abwanderung ein sehr ähnliches Aktivitätsmuster.

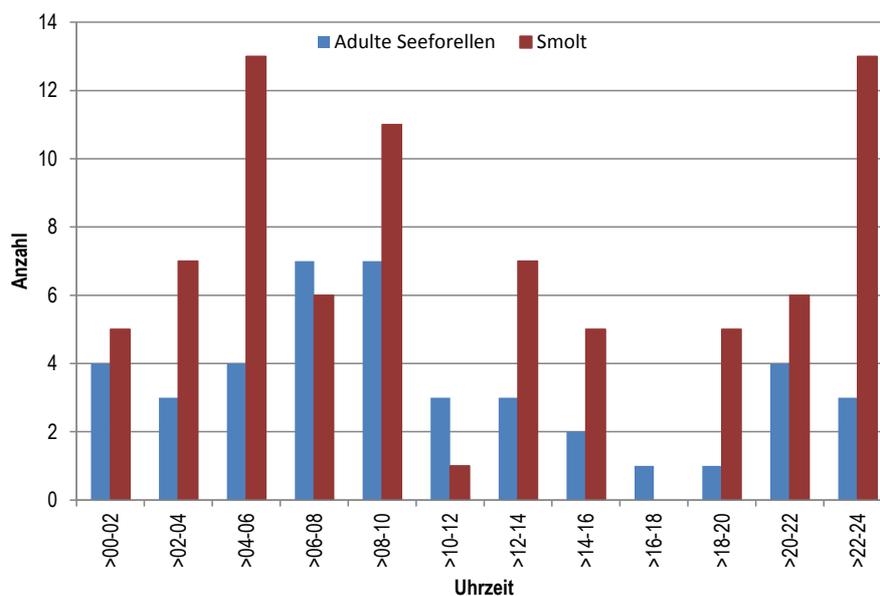


Abb. 9.2: Tageszeitliche Wanderaktivität nach PIT-Tag-Detektionen für adulte Seeforellen und Smolts.

9.2.2 Wanderstrecken und –geschwindigkeiten

Bei Normalabfluss in der Goldach konnten Fluchtgeschwindigkeiten adulter Seeforellen berechnet werden, die über kurze Strecken bei rund 20 km/h lagen (ca. 5 m/s). Hinweise auf mittlere Wandergeschwindigkeiten ergaben sich aus PIT-Tag-Detektionen und Wiederfängen. Bei diesen Angaben handelt es sich um Mindestwerte, da die Startzeit der Wanderung nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann, sondern der Zeitpunkt des Freilassens verwendet werden musste. Die maximal ermittelten Wandergeschwindigkeiten aus den jeweiligen Flüssen sind Tab. 9.4 zu entnehmen.

Tab. 9.4: Maximale, ermittelte Wandergeschwindigkeiten von Seeforellen sowie einer Regenbogenforelle.

Fluss	Wanderstrecke	Dauer	Geschwindigkeit	Bemerkung
Argen	20,8 km	8 d	2,6 km/d	Falls Wanderung ab Hochwasserbeginn: 4 km/d
Leiblach	ca. 20 km*	6 d	ca. 3,3 km/d	* Strayer; Mittelwert aus kürzester Strecke und Uferweg
Bregenzerach	10 km	4 d	2,5 km/d	
Bregenzerach	17,5 km	7 d	2,5 km/d	Regenbogenforelle
Goldach	1,8 km	10 h	4,3 km/d	Abwanderung

Die mittleren Wandergeschwindigkeiten liegen erstaunlich oft um die 2,5 km pro Tag, wobei in zwei Fällen Wanderungen von 4 km pro Tag wahrscheinlicher erscheinen. CAVIEZEL (2006) stellte mittels telemetrischen Untersuchungen an Seeforellen im Alpenrhein eine mittlere Wandergeschwindigkeit von 5 km/Tag fest. Als Maximalgeschwindigkeit beim Laichaufstieg im Alpenrhein gibt MENDEZ (2007) 16 km pro Tag für einen Seeforellenmilchner an. In der Argen begann das Hochwasser, mit dem die Seeforellen aufwanderten, 5 Tage vor der Detektion, somit wäre die Wandergeschwindigkeit bei 4 km/d gelegen. Bei der Abwanderung konnten in der Goldach Geschwindigkeiten von mindestens 4,3 km/d ermittelt werden. Sollte die Wanderung ab der Dämmerung begonnen haben, ergäben sich im letzteren Fall Abwanderungsgeschwindigkeiten von etwa 8,5 km/d.

Die längste dokumentierte Wanderstrecke im Rahmen unseres Programms lag bei 47 km; der entsprechende Rogner stand am finalen Aufstiegshindernis in der Unteren Argen an. In der Bregenzerach gelang außerhalb unserer Erhebungen ein Nachweis bei Bersbuch (ca. 30,5 km). In der Leiblach konnten die Aufsteiger im Bereich der finalen Aufstiegshindernisse festgestellt werden; in der Goldach ist der letzte Nachweis kurz oberhalb des Fischweges, noch ca. 5 km unterhalb des finalen Hindernisses. Hier fanden allerdings keine weiteren Befischungen in der freien Strecke statt.

Aus dem Alpenrhein und seinem Einzugsgebiet sind Wanderdistanzen von Seeforellen bis zu 147 km bekannt (oberhalb Zusammenfluss von Vorderrhein und Medelserrhein; KLUNZIKER 1881, zitiert in SCHULZ 1994). Ob auch heute noch diese Aufstiegsmöglichkeit gegeben ist, müsste allerdings noch einmal untersucht werden. In jedem Fall werden alljährlich in der Reuse der FAH Tavanasa bis über 20 aufsteigende Seeforellen abgefangen und im Oberwasser wieder entlassen (TOMASCHETT, pers. Mitt.). Die im Rahmen des Programms dokumentierten Wanderwege liegen also bei Weitem nicht am Limit der Leistungsfähigkeiten der Seeforellen.

Längerfristige Wandergeschwindigkeiten bei Pazifischen Lachsen liegen bei 1 m/s (BROWN & GEIST, 2002). Regenbogenforellen mit 40 cm Länge können aerob 45 min mit Geschwindigkeiten von ca. 0,5 m/s schwimmen (WILSON & EGGINGTON, 1994). MENDEZ (2007) ermittelte bei aufsteigenden Seeforellen im Alpenrhein eine mittlere Wandergeschwindigkeit von 1,8 bis 7,1 km pro Tag über eine Zeitdauer von 6 bis 34 Tagen. Bei Seeforellen in Norwegen wurden Wandergeschwindigkeiten von 0,1 bis 4,2 km pro Tag beobachtet (RUSTADBAKKEN et al. 2004). Die von uns ermittelten Wandergeschwindigkeiten von 2,5 bis 4 km pro Tag deuten an, dass die Fische immer wieder rasten und nicht permanent wandern. In den kurzen Gewässern wie Goldach, Steinach, aber auch Leiblach und Rotach erreichen sie jedoch sicher innerhalb von einem oder zwei Tagen geeignete Laichgründe. In Argon und Bregenzerach sind die Einwanderungen offensichtlich etappiert.

9.2.3 Homing und Strayer

Wie beim Lachs nachgewiesen, so wird auch für die Seeforelle angenommen, dass sie ihr Geburtsgewässer am spezifischen Geruch erkennen kann und dadurch wieder zu ihrem Geburtsort zurückkehrt (LEGGETT 1977, HASLER & SCHOLZ 1983, DITTMAN & QUINN 1996, NEVITT & DITTMAN 1999, HINO et al. 2009, UEDA 2011, UEDA 2012). Demnach wird also auch für Seeforellen eine geruchliche Prägung auf ihr Heimatgewässer postuliert. Auch spielen beim Aufsuchen des Reproduktionsgewässers von Artgenossen ausgeschiedene Substanzen (Hormone, Pheromone) eine wichtige Rolle (GROOT ET AL. 1986, MOORE & SCOTT 1991, COURTENAY et al. 1997, 2001). Evolutionsbiologisch wichtig sind auch Individuen, die neue Gewässer erforschen – sogenannte Strayer (QUINN 1993, HENDRY et al. 2004). Durch unsere Untersuchungen haben wir folgende weitere Indizien erhalten:

- In der Goldach konnte eine junge Forelle vom „intermediären Typ“ detektiert werden, die im Jahr ihrer Abwanderung in den See im November wieder in die Goldach zurück und dort bis oberhalb des Felsriegels aufstieg.
- Beim Aufstieg der adulten Seeforellen werden bei Befischungen regelmäßig unreife Individuen festgestellt, die mit aus dem See aufsteigen. Auch können in der Goldach und der Steinach fast ebenso viele junge „Begleitforellen“ beim Überwinden der Hindernisse beobachtet werden wie einsteigende Laichfische. Ob dies auf eine Beteiligung am Laichgeschäft als sog. „Satellitenmännchen“ oder „Sneaker“ hindeutet oder andere Gründe hat, ist noch unbekannt.
- In der Goldach wurden im Herbst 2012 zwei männliche Strayer aus anderen Gewässern (Bregenzerach und Leiblach) festgestellt, die jeweils im selben Herbst noch ein zweites Gewässer aufsuchten. In den Jahren 2011 und 2012 wurden (ohne Goldach) 110 Seeforellen mit PIT-Tags versehen, wovon insgesamt 16 Individuen wieder detektiert wurden (14,5%). Zwei dieser 16 detektierten Individuen waren Strayer (12,5%). Die Wahrscheinlichkeit, gleich zwei dieser Fische zu detektieren, die in derselben Laichsaison über den See schwimmen und das Gewässer wechseln, ist statistisch sehr gering. Dies deutet daraufhin, dass dieses Phäno-

men eine eventuell bedeutende Strategie zumindest von Milchnern sein könnte. Die Detektionsschleife in der Mündung der Goldach war die einzige Stelle, an der Strayer detektierbar waren, da sich die anderen Antennen im Ober- oder Mittellauf der Gewässer befanden oder andere Zuflüsse gar nicht untersucht wurden. Zudem wurde die Antenne in der Goldach nicht die gesamte Saison über betrieben (vom 28.11.2012 bis zum 20.02.2013).

- Ein Straying zwischen verschiedenen Jahren und Einstiegsgewässern konnte allerdings bisher noch nicht nachgewiesen werden. So wurden in den Jahren 1994 bis 2004 in Goldach und Steinach rund 1300 adulte Seeforellen mit Spaghettimarken markiert – 1000 aus der Goldach und ca. 370 aus der Steinach. Von diesen Tieren wurde kein einziges Tier beim Einsiteg in ein anderes Laichgewässer gemeldet.

Das so genannte „Straying“ kann für eine Population selektiv von Vorteil sein, um räumliche und zeitliche Variationen in der Habitatqualität auszugleichen, neue Habitate zu besiedeln, Inzuchteffekte und dichteabhängige Konkurrenz zwischen Verwandten zu verringern (QUINN 1993, HENDRY et al. 2004). KEEFER & CAUDILL (2012). Zusammenfassend dient das Straying innerhalb einer Saison populationsbiologisch zur Maximierung von Reproduktionschancen einer Art. Genauere Aussagen dazu darf man sich von der geplanten genetischen Untersuchung der Gewebeproben aus dem Interreg-Programm erwarten.

9.2.4 Anteil der Wiederfänge

Rogner verlaichen während der Eiablage oft die applizierten PIT-Tags, somit sind diese nur vor der Reproduktion und kaum mehr bei der Abwanderung und beim Wiedereinstieg detektierbar. Bei Milchnern können PIT-Tags ausnahmsweise vor dem Verheilen der Wunde verloren gehen (ein dokumentierter Fall in unseren Untersuchungen), sie sind ansonsten über ihre gesamte Lebensphase detektierbar.

Je nach Fragestellung und Gewässergröße variierten die Detektionsraten (Tab. 9.5). In manchen Gewässern versuchten wir, die Überwindbarkeit von Hindernissen abzuschätzen, was aufgrund der Selektivität schon zu geringeren Detektionswahrscheinlichkeiten führt. So konnten oberhalb des Felsriegels in der Goldach keine besondern Seeforellen festgestellt werden, da keine dieser Individuen 2012 weiter aufgestiegen sind. In der Fischtreppe bei Kennelbach wurden 2 von 22 möglichen Individuen (9,1 %) detektiert. Am KW Langenegg wurden von 42 Seeforellen, die sich oberhalb des Kennelbacher Wehrs aufhielten, vier detektiert (9,5 %), was hinsichtlich der mehr als 16 km dazwischen liegender Fließstrecke mit potenziellem Laichsubstrat ein nicht geringer Anteil ist. Inklusiv der Wiederfänge lag der Gesamtanteil von wiedergefundenen Seeforellen in der Bregenzerach bei 11,1 %. In den kleinen Gewässern Goldach und Steinach (unveröff. Daten) konnte ein sehr hoher Anteil der Abwanderer (adulte und juvenile Forellen) detektiert werden, obwohl Rogner nur detektierbar waren, wenn sie nach dem Verlaichen (noch einmal) besendert wurden. Insgesamt konnte

im Projekt ein Anteil von 25 % der markierten Seeforellen mindestens ein weiteres Mal festgestellt werden (Tab. 9.5), was für die Effizienz der Methode spricht.

Tab. 9.5: Detektionen adulter Seeforellen. Mehrfachdetektionen werden als ein Nachweis gewertet.

Fluss	PIT-Tag-markierte Ind.	Detektierte u. wieder-gefangene Ind.	Anteil	Bemerkung
Rotach*	1	1	100%	*ausschließlich Abwanderung
Argen	9	2	22,2%	
Leiblach	37	6	16,2%	Inkl. 1 Strayer
Bregenzerach	63	7	11,1%	Inkl. 1 Strayer; Einschränkung: Fischtreppe selektierend
Goldach*	53	25	47,2%	*ausschließlich Abwanderung
Summe	163	41	25,2%	

9.2.5 Geschlechterverhältnis

Die Geschlechterverhältnisse waren in unseren Projektgewässern deutlich zu den Rognern hin verschoben (Tab. 9.6).

Tab. 9.6: Geschlechterverhältnisse adulter Seeforellen im Bodensee-Einzugsgebiet.

Fluss	Milchner	Rogner	Summe	Verhältnis M: R	Bemerkung
Rotach	28	50	78	1 : 1,79	Laichfischfang (Angaben mit Differenzierung der Geschlechter)
Argen	3	9	12	1 : 3,00	2010 und 2011
Leiblach	16	26	42	1 : 1,63	2012
Bregenzerach	20	43	63	1 : 2,15	2011 und 2012
Goldach	42	92	134	1 : 2,19	2011 und 2012
Summe	109	220	329	1 : 2,02	
Steinach	283	239	522	1 : 0,84	Laichfischfang 2010-2012
Alpenrhein			3.526	1 : 1,42	Domat/Ems 2000-2006 (MICHEL, 2009)
Alpenrhein			589	1 : 1,66	Domat/Ems 2007-2012 (MICHEL, 2013)

Im Mittel kamen zwei Rogner auf einen Milchner, wobei das Verhältnis von 1:1,63 (Leiblach) bis 1:3,00 (Argen) variierte. Auch im Alpenrhein überwiegt – ohne Ausnahme – jedes Jahr die Zahl der aufsteigenden Weibchen jene der Männchen um 10-30% (MICHEL, 2009). Die Steinach ist das einzige Laichgewässer, in dem Milchner bisher häufiger auftraten als Rogner (1:0,84).

Das ungleiche Geschlechterverhältnis bei den Laichtieren wurde auch in anderen Schweizer Gewässern außerhalb des Bodenseeeinzugsgebiets beobachtet und ist ein extrem weit verbreitetes Phänomen bei den see- und meerwandernden Forellen. Es trifft u.a. auf allen Seezuflüssen zum Zürichsee, Greifensee und Pfäffikersee zu, auf die Zuflüsse zum Walensee, Neuenburgersee und Genfersee (HERTIG, pers. Mitt.). Das Verhältnis Weibchen-Männchen kann insgesamt grob mit 2:1 veranschlagt werden, auch wenn es in denselben Gewässern von Jahr zu Jahr variieren kann und mal in einem Einzeljahr mehr Männchen als Weibchen festgestellt werden können. Norwegische Arbeitsgruppen (Lit: ##) haben auch abwandernde *Salmo-trutta*-Smolts auf ihr Geschlecht untersucht und festgestellt, dass das Geschlechterverhältnis unter diesen ebenfalls zu Gunsten der Weibchen ausfällt.

Damit scheint belegt, dass vermehrt männliche Nachkommen von migrierenden Forellen resident bleiben, es sei denn, es wachsen – genetisch determiniert oder durch Mortalität gesteuert – weniger männliche als weibliche Seeforellen heran. HERTIG (pers. Mitt.) vermutet, dass sich eine Abwanderung für Weibchen mehr lohnt, da sie als grosse rückkehrende Laichtiere viel mehr Eier produzieren als residente Weibchen vom Typ Bachforelle. Demgegenüber vermag auch ein kleines residentes Männchen vergleichsweise viele Eier zu befruchten, was eine Abwanderung weniger zwingend macht. Diese Einschätzung setzt allerdings voraus, dass keine genetische Festlegung der *Salmo-trutta*-Population zu einem Lebensraum-Typ (Bach- oder Seeforelle) existiert.

Folgt man dieser Argumentation, dann ist immer nur in Gewässern mit einem sehr dichten Smolt-Vorkommen ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis zu erwarten, weil hier auf beide Geschlechter – nach den Prinzipien der Dichteregulierung – ein vergleichbarer Emigrationsdruck wirkt (HERTIG, pers. Mitt.). Auf die Steinach könnte dieses Szenario zutreffen; hier besteht sowohl ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis bei den Laichfischen, als auch eine stets sehr hohe Smolt-Dichte im Frühjahr (unveröff. Daten).

9.2.6 Fischdimensionen

Im Rahmen des Projekts und der zeitgleich erfolgten Seeforellen-Untersuchungen an der Steinach (unveröff. Daten) wurden zwischen 2010 und 2013 717 Seeforellen vermessen und gewogen. Die Längen-Gewichts-Korrelation (Abb. 9.3) deckt sich dabei weitestgehend mit derjenigen stationärer Bachforellen ($y = 0,0100x^{2,9916}$). Diesbezüglich gab es interessanterweise keine erkennbare geschlechterspezifischen Unterschiede (Abb. 9.4).

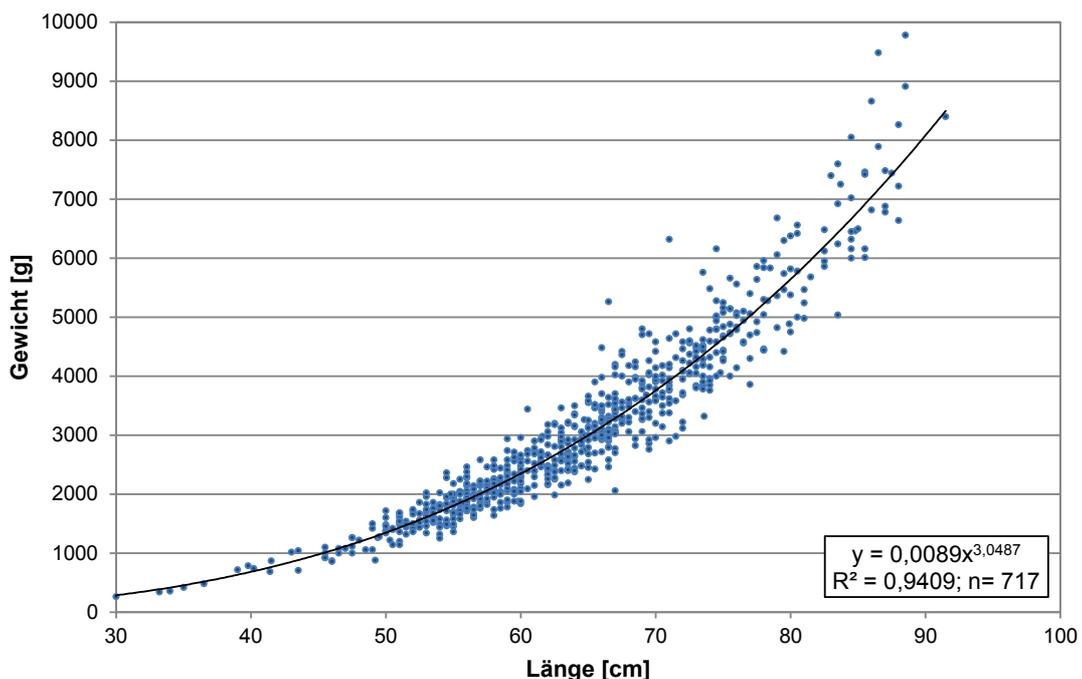


Abb. 9.3: Längen-Gewichtskorrelation aller 210 bis 2013 biometrierten Seeforellen (inkl. Programm Steinach (unveröff. Daten)).

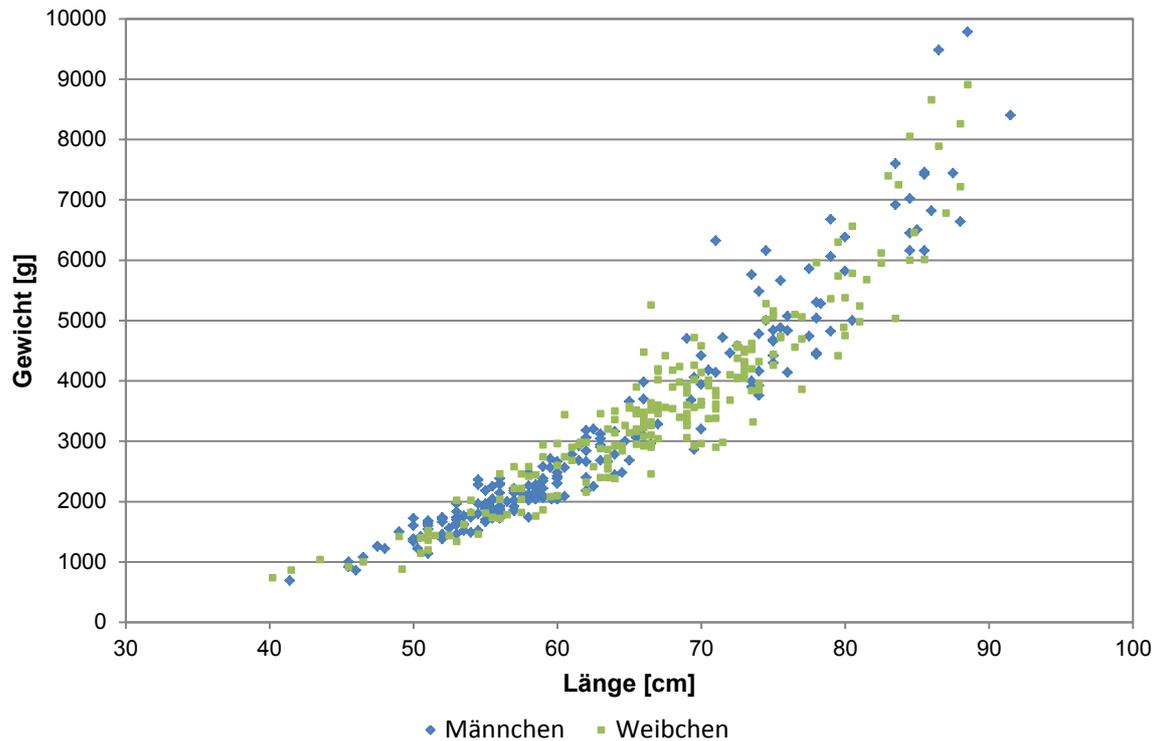


Abb. 9.4: Längen-Gewichtsrelation der behändigten und biometrierten Seeforellen mit Geschlechterbestimmung.

Bezüglich der Körperbreite bestehen - in Abhängigkeit von der Gesamtlänge - Unterschiede zwischen den Geschlechtern und dem Reproduktionsstatus der Weibchen. Die breitesten Fische waren große, unverlaichte Rogner und sehr große Milchner. Im Mittel sind Rogner mit Laich breiter als Milchner. Nach dem Laichen sind die Weibchen dann erwartungsgemäß schlanker als die Milchner (Abb. 9.5).

Nach unseren Beobachtungen sind große Milchner deutlich hochrückiger als gleich große Rogner (Abb. 9.6). Bei einer nach Bodenseezufluss getrennten Betrachtung der Körperverhältnisse fällt auf, dass besonders in der Leiblach gefangene Seeforellen tendenziell ein höheres Verhältnis von Körperhöhe zu Länge besitzen als jene der weiteren Zuflüsse, die sich untereinander eher sehr ähnlich sind (Abb. 9.7). Bezüglich der weiteren Körperverhältnisse ergaben sich keine flussspezifischen Charakteristika. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu bemerken, dass diese beobachteten Trends noch nicht durch statistische Berechnungen bestätigt wurden.

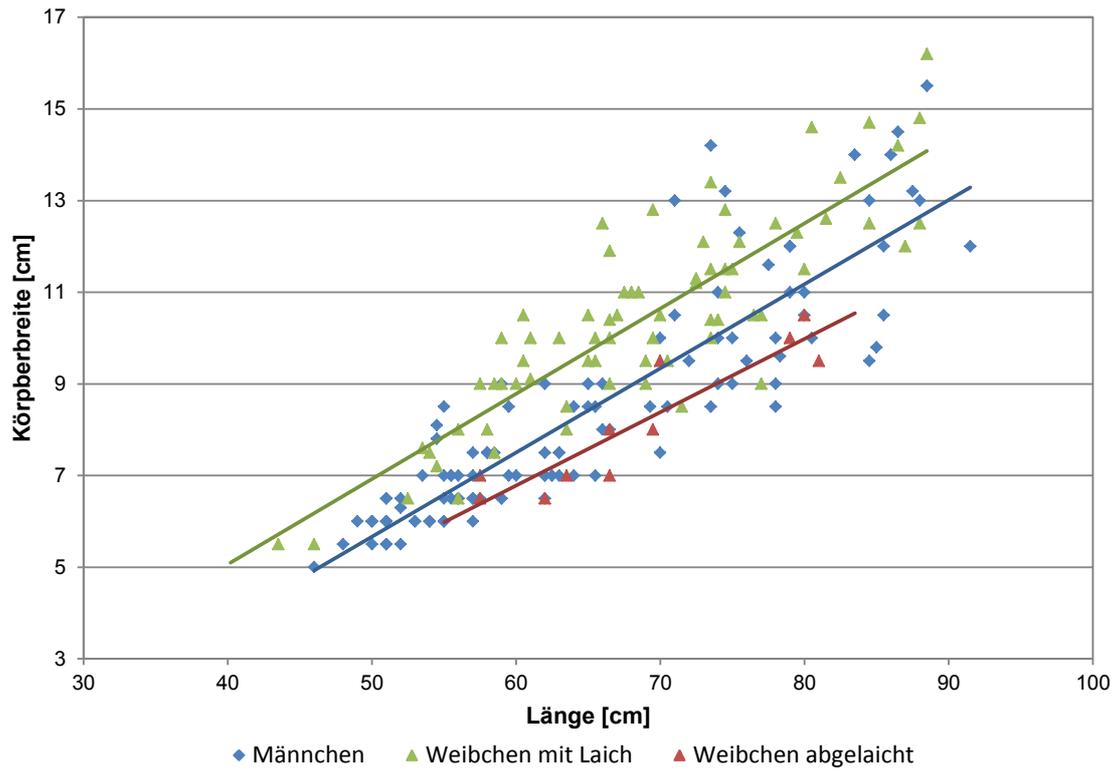


Abb. 9.5: Geschlechter- und reifeabhängiger Zusammenhang zwischen Körperbreite und Gesamtlänge der behändigten Seeforellen. Linien = Trendangaben.

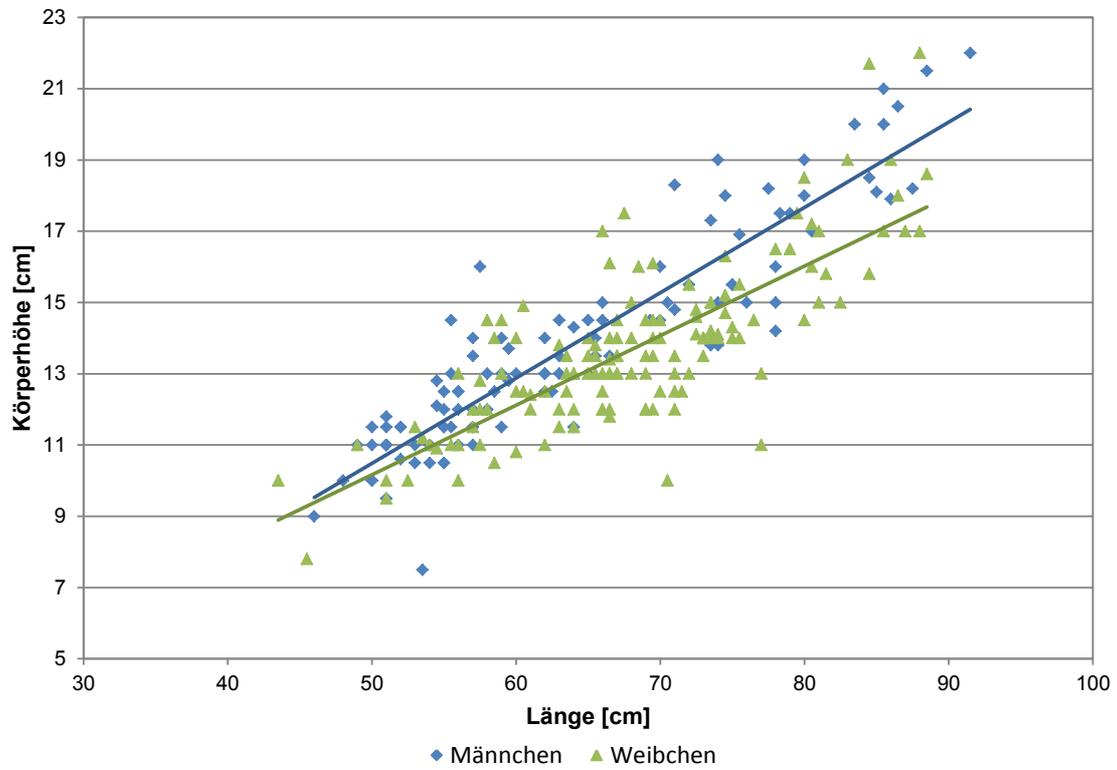


Abb. 9.6: Geschlechterabhängiger Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Gesamtlänge der Seeforellen. Linien = Trendangaben.

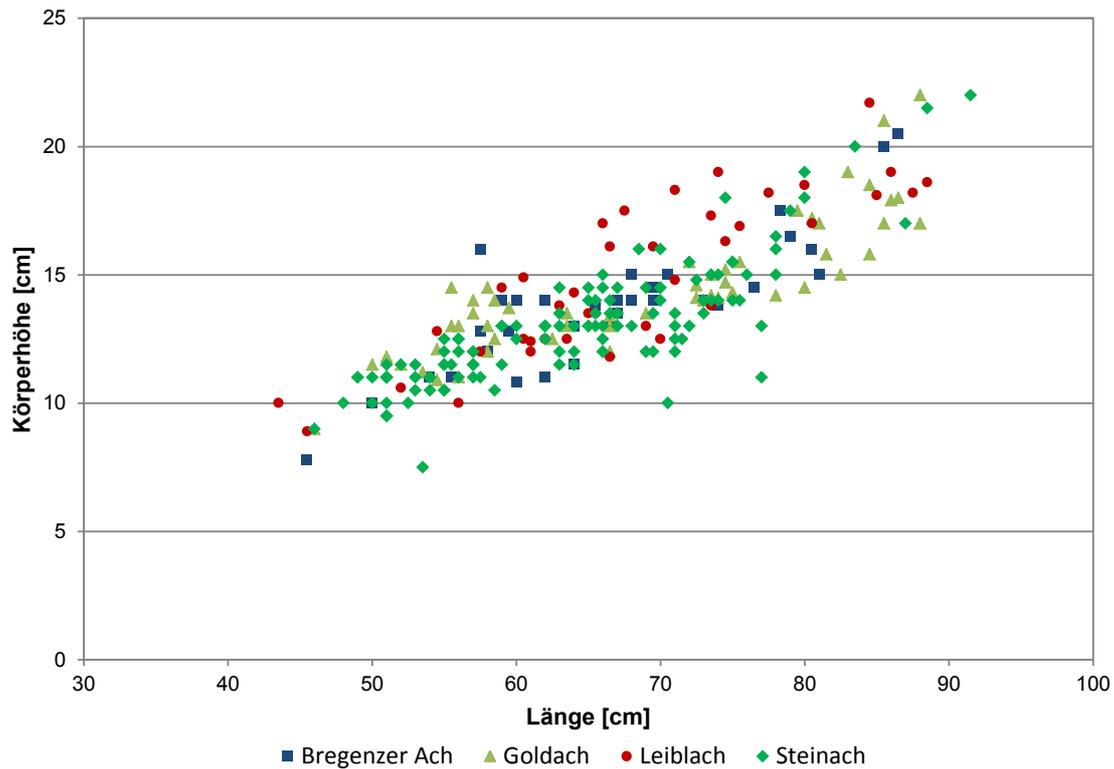


Abb. 9.7: Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Gesamtlänge der Seeforellen - getrennt nach verschiedenen Bodenseezuflüssen (inkl. Vergleichsgewässer Steinach).

Die Maxima der gemessenen Körperdimensionen wurden nach Geschlechtern getrennt zusammengestellt, wobei diese Maximalwerte pro Geschlecht jeweils zwei Individuen betreffen (Tab. 9.7 und Abb. 9.8 und 9.9).

Tab. 9.7: Dimensionen und Größenverhältnisse der größten im Programm und im Referenzgewässer Steinach gefangenen Seeforellen 2010-2013. Gelb hinterlegt: höchste Werte der jeweiligen Rubrik.

Geschlecht	Länge (L)	Höhe (H)	Breite (B)	Gewicht	QL:H	QL:B	Korpulenz*
Milchner	91,5	22,0	12,0	8,4 kg	24 %	13,1 %	1,11
Milchner	88,5	21,5	15,5	9,8 kg	24,3 %	17,5 %	1,44
Rogner	88,5	18,6	16,2	8,9 kg	21 %	18,3 %	1,31
Rogner	88,0	22,0	12,5	8,3 kg	25 %	14,2 %	1,22

*Korpulenzfaktor = Konditionsindex ohne Berücksichtigung der Laichreife.

Bei diesen biometrischen Daten ist anzumerken, dass bei Fischen außerhalb des Wassers keine präzisen Angaben über die Körperdicke (Breite) gemacht werden können, da die Tiere entweder seitlich oder auf dem Bauch (siehe Abb. 9.8) aufliegen. Der Fehler wird umso größer, je korpulenter die Fische sind und ist bei reifen Weibchen besonders groß. Filmaufnahmen aufsteigender Seeforellen (LOTT, REY 2012) belegen andererseits deutlich, dass auch voluminöse Rogner unter Wasser keineswegs eine schmale, hochrückige Form annehmen, wie etwa ein Fisch, der auf der Seite liegt (vgl. auch Abb. 9.10).

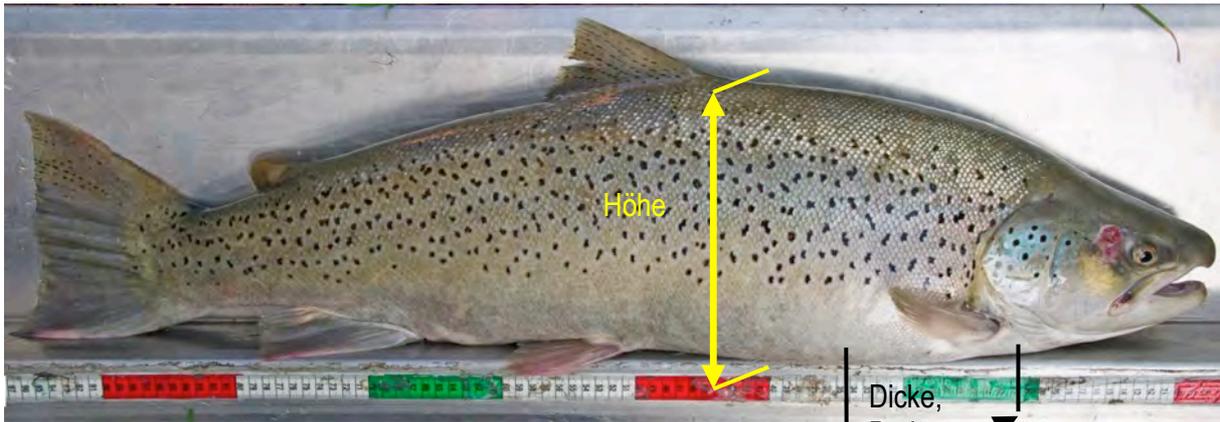


Abb. 9.8: Bei den gefangenen Seeforellen gemessene Körperdimensionen. Hier bei einem der größten Rogner aus der Leiblach.



Abb. 9.9: Im Rahmen des Laichfischfangs an der Steinach gefangene Milchner um und über 90 cm Länge.

Für die Dimensionierung von Fischwanderhilfen werden für Großsalmoniden nach dem Merkblatt der DWA (Gelbdruck 2010) für die Dimensionierung von Fischaufstiegshilfen folgende Werte empfohlen: Beckenlänge 3 m x Beckenbreite 2,25 m und eine Schlitzweite von 30 cm bei einer Wassertiefe von 0,5 m. Hierbei könnte sich vor allem die Schlitzweite als limitierend herausstellen, da davon ausgegangen wird, dass als Bemessungsgrundlage der Mindestschlitzweite für den ungehinderter Aufstieg die dreifache Körperdicke heranzuziehen ist. Bei den Lachsen beträgt die Körperdicke als Faustformel 10 % der Körperlänge. Im österreichischen Leitfaden für die Bemessung von Fischmigrationshilfen (BMLFUW 2012) wird bei der Seeforelle die Körperbreite mit 12 % der Fischlänge angenommen. Nach unseren Messungen liegen maximale Werte bei Seeforellen-Rognern und großen Milchnern zwischen 13% und 18,3 % der Körperlänge (Tab. 9.8). Somit sind die primär für Lachse entwickelten Angaben im DWA-Leitfaden nicht unmittelbar auf die Seeforelle übertragbar.

9.2.7 Kondition, Schädigungen und Krankheiten

Die Konditionsindices bzw. die Korpulenz der Einsteiger lagen in den einzelnen Gewässern zwischen 1,06 und 1,44 (vgl. Tab. 9.7). Bei verlaichten Rognern sinkt der Wert rasch auf 0,8 bis 0,9.

Pilzbefall bei Seeforellen-Laichfischen

Im Zuge unserer Untersuchungen fielen uns zahlreiche Schädigungen und Krankheiten der erwachsenen Seeforellen auf. Die häufigste Krankheit war Ulzerative Dermalnekrose (UDN) mit sekundärem Pilzbefall (durch *Saprolegnia*). Die Ursachen für diese Erkrankung sind weitgehend unbekannt, sie tritt jedoch bei laichbereiten Salmoniden auf, insbesondere bei Milchnern (BAUR et al., 2010). Man vermutet einen Zusammenhang mit der hormonellen Umstellung und ungünstigen Umweltbedingungen. Die Krankheit kann in Abhängigkeit des sekundären Pilzbefalls zur Mortalität führen, aber am Ende der Laichzeit im Seewasser auch wieder vollständig abheilen (Abb. 9.10).

Die Befallsraten der Seeforellen schwankten je nach Bodenseezufluss zwischen 0 % und 12,5 %. Die höchsten Befallsraten traten in der Goldach auf (12,5%), in der Argen wurde bei den insgesamt gefangenen 12 Fischen gar kein Befall festgestellt (Tab. 9.8). In der Steinach waren die Befallsraten ähnlich hoch wie in der Goldach, hier wurde ein Zusammenhang mit dem hohen Anteil von geklärten Abwässern vermutet (unveröff. Daten).



Abb. 9.10: Stark verpilzter (*Saprolegnia*) Rogner im Restwasserabschnitt der Goldach.

Tab. 9.8: Befallsraten mit UDN und Verpilzung in den Projektgewässern und in der Steinach (unveröff. Daten).

Fluss	Befallsrate (UDN mit Verpilzung)	Stichprobengröße
Argen	0%	12
Bregenzerach	7,9%	63
Goldach	12,5%	104
Leiblach	7,1%	42
Steinach	14,2%	212

Interessant in diesem Zusammenhang ist die Beobachtung, dass die Verpilzungsrate der Seeforellen in direktem Zusammenhang mit der Aufenthaltsdauer in ihrem Laichgewässer stehen dürfte. So waren der Anteil der von Pilzbefall geschädigten und z.T. daran verendeten Tiere 2010/2011 wesentlich höher als danach. Zumindest in der Goldach und der Steinach hatten die abgelaichten Seeforellen nur geringe Chancen – entkräftet wie sie waren – bei den damals während und nach dem Laich andauernden Niedrigwasserverhältnissen den Weg zurück in den See zu finden. 2011, ein Jahr später bei der historischen Niederwassersituation im Herbst, konnten die Fische lange nicht in Goldach und Steinach einwandern, danach änderte sich die Abflusssituation schlagartig und die Forellen erledigten ihr Laichgeschäft innert weniger Wochen und stiegen kurz danach in den See ab. Hierbei verpilzte nur ein verschwindend geringer Prozentsatz der Tiere.

Sonstige Schädigungen

Kopf- und Schnauzenverletzungen (Abb. 9.11) traten vor allem in der Goldach, in der Steinach und im VKW-Kanal der Bregenzerach auf. Aufgrund von Beobachtungen (v.a. in der Steinach, unveröff. Daten) gehen wir davon aus, dass sich die Seeforellen beim Überspringen von Hindernissen verletzt haben. Eine ebenfalls immer wiederkehrende Verletzung (knapp 3% der untersuchten adulten Seeforellen) war der Abriss einer Maxillare, was primär durch Angelfischerei im See verursacht sein dürfte (Abb. 9.12). Alle weiteren Verletzungen und Schädigungen traten sporadisch auf, so dass eine flussgebietsbezogene Auswertung aus statistischen Gründen nicht sinnvoll war. Weitere Verletzungen entstanden durch Schiffsschrauben, evtl. auch durch Kraftwerksturbinen (Abb. 9.13). Deren Anteil lag aber deutlich unter 1%.

Besonders in der Leiblach zeigten einige Seeforellen verkümmerte Brustflossen, die wahrscheinlich auf Haltungsschäden aus der Fischzucht (Besatzfische) zurückzuführen sind (Abb. 9.14); insgesamt lag der Anteil von Seeforellen mit verkümmerten Brustflossen über alle Gewässer bei 2,2 %. Wirbelsäulendeformationen und äußere Verletzungen durch fischfressende Vögel wurden bei Seeforellen nicht festgestellt, einzelne Fische waren auf einem Auge erblindet.

Bei frisch aus dem See aufgestiegenen Seeforellen (ca. 5 %) fielen in allen Bodenseezuflüssen gelegentliche Parasitierungen mit Fischegeln (*Piscicola* spp. und *Hemiclepsis* spp.) und Karpfenläusen *Argulus foliaceus* auf (Abb. 9.15). Die Intensität des Befalls, also die Anzahl dieser Parasiten pro Fisch, war allerdings gering, sodass dadurch keinerlei Beeinträchtigung der Wirtsfische bestand.

Im Rahmen von Befischungen zur Hauptlaichzeit konnte an einem hohen Anteil der Milchner und Rogner Verletzungen am Bauch und den Flossen festgestellt werden, die sich die Tiere beim Aufwandern über seichte Gewässerabschnitte, beim Schlagen der Laichgruben und beim Laichakt zuziehen (Abb. 9.17). Viele Fische wiesen auch Kratz- und Bissspuren von Artgenossen auf, die auf Revierkämpfe zurückzuführen sind (Abb. 9.16)



Abb. 9.11: Verletzungen am Kopf und Maul ziehen sich die Seeforellen durch gescheiterte Sprungversuche zu (Sprung gegen das Hindernis, Zurückfallen auf Steine und Platten).



Abb. 9.12: „Echsenmaul“-Forellen, ein meist durch ausgerissene Angelhaken verursachter Abriss des Maxillarknochens mit späterer Vernarbung.



Abb. 9.13: Vernarbte großflächige Verletzungen belegen die große Regenerationsfähigkeit der Seeforellen.

Abb. 9.14: Verkrüppelte Brustflossen an Seeforellen aus der Leiblach.



Abb. 9.15: Karpfenlaus an Seeforelle aus der Bregenzerach.

Abb. 9.16: Kratzspuren aus Revierkämpfen.



Abb. 9.17: Abrieb-Verletzungen durch das Überschwimmen seichter Gewässerabschnitte oder das Schlagen von Laichgruben.

9.2.8 Zuwachsraten und Gewichtsverlust von Wiederfängen

Die von KUGLER (2009) ermittelten Wachstumsraten für Forellen aus der Goldach sind bereits in Kap. 8.2.1 aufgeführt. Im Rahmen unseres Programms konnten ebenfalls diesbezügliche Informationen gewonnen werden. In der Bregenzerach gelangen uns zwei Wiederfänge nach jeweils einem Jahr, die Aufschluss über die Wachstumsraten im See geben. Ein Milchner wuchs binnen eines Jahres um 5,7 cm auf 70,5 cm heran und nahm um 1080 g (26,5 %) auf 4,08 kg zu (vgl. Abb. 7.19). Ein kleinerer Rogner nahm in der gleichen Zeit um 520 g auf 1,52 kg zu (34,2 %). Gleichzeitig wuchs der Fisch um 4,5 cm auf 51,5 cm (vgl. Abb. 7.19).

Bei den Wiederfängen innerhalb desselben Jahres konnten wir oft eine Reduktion des Gewichts feststellen. Rogner, die vor und nach dem Abblachen gefangen wurden, zeigten erwartungsgemäß einen erheblichen Gewichtsverlust, der jedoch primär auf das Gewicht der abgelaichten Eier zurückzuführen ist. So wurden in der Goldach innerhalb von 13 Tagen zwei Rogner wiedergefangen, die zwischenzeitlich abgelaicht hatten (vgl. Abb. 8.23, 8.25, 6.11):

- Ein Rogner mit 84,5 cm Länge nahm von 7,4 kg auf 6,08 kg ab (17,8 %)
- Ein Rogner mit 89,0 cm Länge nahm von 8,26 kg auf 6,14 kg ab (25,7 %).
- In der Leiblach konnten wir einen 84,5 cm langen und 8,05 kg schweren Rogner wiedergefangen, der vom 18.10. bis zum 13.12.2012 sogar 2,3 kg seines Körpergewichts verloren hatte (29 % Gewichtsverlust). Neben dem Laich dürfte der Fisch – im Gegensatz zu den Fischen in der Goldach – bereits stark an seinen Reserven gezehrt haben.

Dass Seeforellen bei der Aufwanderung in die Bodenseezuflüssen ihre Reserven aufbrauchen, konnte an weiteren Fischen belegt werden:

- Ein im Argenkanal gefangener Milchner (53 cm) stieg, nachdem wir ihn oberhalb des Fischwehrs ausgesetzt hatten, ca. 20 km in die Obere Argen auf, wo er am schwer passierbaren

Hindernis bei Föhlschmitt anstand. Innerhalb von 6 Wochen nahm er um 220 g auf 1,61 kg ab (12 % Gewichtsverlust) (Abb. 5.18).

- In der Bregenzerach wurde ein Rogner während des Sommers zweimal gefangen. Er war bei beiden Fangterminen noch nicht laichreif. Beim ersten Fang (16.07.2012) wog der 69 cm lange Fische aus dem VKW-Kanal 3400 g. Am 18.08.2012 wurde er mit 3000 g unterhalb des Kennelbacher Wehrs wiedergefangen, was, ohne abzulaichen, einem Gewichtsverlust von knapp 12 % innerhalb eines Monats entspricht (Abb. 7.14).

Beide Fische dürften beim erfolglosen Versuch, das jeweils nur sehr selektiv überwindbare Wehr zu passieren, so viel Energie verbraucht haben, dass dies nicht nur Auswirkungen auf ihre eigene Kondition, sondern vor allem im Falle des Rogners auch auf die des Nachwuchses haben dürfte, da zu erwarten ist, dass auch die Energiereserven der Eier darunter leiden.

Eine Studie am Alpenrhein ergab ebenfalls Gewichtsverluste zwischen 7,9 und 12 % bei den Tieren, die die 90 km lange Strecke vom Bodensee bis zum Kraftwerk Reichenau zurückgelegt hatten (MENDEZ 2007).

9.3 Kontinuumsanalysen

Die vorliegenden Untersuchungen zeigten, dass aufgrund der Hydrologie, so auch bei der Betrachtung der Durchgängigkeit den Gewässeroberläufen und Zuflüssen eine besondere Rolle bei der Reproduktion und dem Überleben des Seeforellen-Nachwuchses zukommt. Im Mittel- und Unterlauf können Abflussspitzen gravierende Umlagerungsprozesse auslösen, die eine erfolgreiche Reproduktion unmöglich machen. Angesichts der im Zuge des Klimawandels immer stärker werdenden Winterniederschläge bei gleichzeitigem Anstieg der Schneefallgrenzen (KLIWA, 2009) wird sich diese Problematik künftig noch verstärken. Selbst in der nival geprägten Bregenzerach ist diese Tendenz bereits erkennbar. Dementsprechend kommt der linearen und lateralen Durchgängigkeit der Gewässer für die Erhaltung der Bodensee-Seeforelle eine zentrale Bedeutung zu – dies zwar in erster Linie flussauf für den Aufstieg der adulten Tiere, aber schließlich auch flussab für die wieder abwandernden Laicher und die Smolts.

In einigen untersuchten Bodenseezuflüssen bestehen noch erhebliche Defizite bezüglich ihrer Durchgängigkeit. Dabei ist das Kontinuum der Bregenzerach derzeit wohl noch am stärksten beeinträchtigt. Hier sind durch die bestehenden frühen Wanderhindernisse (nur stark eingeschränkt bzw. selektiv überwindbare Blockrampen und Fischwanderhilfen, Ausleitungsstrecken, z.T. in Kombination mit einem vergleichsweise hoch dotierten Kraftwerkskanal sowie Schwall und Sunk) die potenziellen Laichflächen kaum erreichbar. Insgesamt besitzt die Bregenzerach jedoch das höchste Potenzial an gut geeigneten Laichflächen.

In der Rotach sind diese Defizite vor allem bezüglich der Smoltabwanderung noch verstärkt vorhanden; an zwei flussauf stark eingeschränkt oder nicht passierbaren Wehren im Mittellauf sind Umgehungsgerinne geplant.

An der Argen leitet der Mühlkanal mit seiner vom Fluss getrennten eigenständigen Mündung in den See offensichtlich zahlreiche Einsteiger ab, bevor diese in die Argen einsteigen können. Und obwohl die Argen bereits auf einer Länge von 47 km durchgängig ist, genügen die derzeitigen Wanderstrecken noch nicht für eine erfolgreiche Naturverlaichung. Vor allem die Oberläufe der Oberen und der Unteren Argen stellen hierfür ein Potential dar und müssen erreichbar gemacht werden. Ob sich auch weitere Zuflüsse als Reproduktionsgewässer eignen, müsste überprüft werden. Leiblach und Goldach sind für die Seeforelle weitgehend durchgängig, hier bestehen selektive bzw. absolute Wanderhindernisse an natürlichen Grenzen (Tab. 9.9).

Tab. 9.9: Durchgängigkeit in den Projektgewässern. Grün hinterlegt = kein Defizit; gelb hinterlegt = geringes Defizit; orange hinterlegt = Defizit mit bedingtem Handlungsbedarf; rot hinterlegt = Defizit mit hohem Handlungsbedarf.

	Rotach	Argen	Leiblach	Bregenzerach	Goldach
Durchgängigkeit für Einsteiger	Migrationsbarriere im Mittellauf	Migrationsbarrieren im Unter- bzw. Mittellauf der Zuflüsse. Lockströmung Mühlkanal	natürliches Hindernis im Mittellauf; Sannwaldwehr eingeschränkt passierbar	VKW-Kanal und Kennelbacher Wehr sehr selektiv	natürliches Hindernis limitierend
Durchgängigkeit für Smolts	Hindernisse im Mittel- und Unterlauf kritisch	Ableitung Mühlkanal; Hindernisse im Oberlauf kritisch	weitgehend unproblematisch	Ableitung VKW-Kanal, Fallhöhe Kennelbacher Wehr ev. problematisch	weitgehend unproblematisch

9.4 Reproduktion und Habitatanalysen

9.4.1 Laichzeit und Aufenthaltsdauer

Nach unseren Fangdaten können sich Seeforellen von mindestens Juli bis April in den untersuchten Zuflüssen aufhalten, die Haupteinstiegszeit liegt zwischen Oktober und Dezember. Die Hauptlaichzeit ist zwischen Mitte November und Ende Dezember, doch auch Mitte Januar konnten wir noch zahlreiche laichbereite Seeforellen in der Goldach nachweisen. Die ersten Seeforellen-Rogner sind jedoch bereits Anfang Oktober fast reif (06.10.; Bregenzerach). Der früheste bereits verlaichte Rogner wurde am 24. Oktober 2012 in der Goldach gefangen. Zahlreiche Rogner werden noch Ende Januar/Anfang Februar gestreift; sie stammen aus dem Seefang der Berufsfischer (F. FEHR; pers. Mitt.). Noch am 15.02.2011 konnten wir überdies in der Goldach zwei frisch verlaichte Rogner zusammen mit einem Milchner dokumentieren. Somit kann sich die Laichzeit der Bodensee-Seeforellen bis über vier Monate hinausziehen, was bei den unterschiedlichen Wassertemperaturen natürlich auch erhebliche Auswirkungen auf die Entwicklungszeit hat. Möglicherweise bestehen hier auch noch zwischen den einzelnen Flüssen Unterschiede, die sich aufgrund unserer Daten jedoch nicht erkennen lassen.

Die Aufenthaltsdauer einzelner Seeforellen im Gewässer variiert von wenigen Tagen bis hin zu mehreren Monaten und unterscheidet sich deutlich zwischen den Gewässern (Tab. 9.10). Die längsten Aufenthaltsdauern von jeweils mindestens 3 Monaten wurden in den beiden längsten Zuflüssen Bregenzerach und Argen nachgewiesen. In der Leiblach verblieben mehrere Fische zwischen 4 und 6 Wochen im System, der längste Aufenthalt lag bei 8 Wochen. Im kleinsten Zufluss, der Goldach, hielten sich die Seeforellen meist nur sehr kurz auf (ca. 1 Woche); die längste Verweildauer lag bei 4 Wochen. Milchner scheinen oft nur kurz in den Zuflüssen zu verweilen, allerdings konnte in der Argen auch ein Tier nachgewiesen werden, das mindestens drei Monate im System blieb. Unreife Rogner verweilen bis zur Laichreife teilweise 2 Monate im jeweiligen Fluss.

Tab. 9.10: Nachgewiesene Mindestaufenthaltsdauern in den verschiedenen Zuflüssen.

	Argen	Leiblach	Bregenzerach	Goldach
Längste Aufenthaltsdauer	> 12 Wochen	> 8 Wochen	> 18 Wochen (Regenbogenforelle: ca. 30 Wochen)	4 Wochen
Kürzeste Aufenthaltsdauer	-	1 Woche (Strayer)	4 Wochen (Strayer)	> 1 Tag

9.4.2 Unterschiedliche Entwicklungszeiten des Laichs

Der Temperaturverlauf in den einzelnen Projektgewässern unterscheidet sich erkennbar, daher ist auch die Entwicklungsdauer verschieden, welche die Seeforelleneier bis zum Schlupf bzw. bis zur Emergenz aus dem Kiessubstrat benötigen. Die Entwicklungsdauer ist zur Einschätzung des natürlichen Reproduktionspotenzials wichtig, da sich das Risiko für die Brut mit der Entwicklungsdauer erhöht. Bis zum Erreichen der Emergenz der Brütlinge aus dem Sohlsubstrat benötigen Seeforellen rund 800 Tagesgrade, in denen geeignete Entwicklungsbedingungen vorherrschen müssen. D.h. in diesen Zeiträumen darf es weder zu massiven Substratumlagerungen noch zu kritisch hohen Einträgen von Feinsediment kommen. Nach dem Schlupf (ca. 440 – 500 Tagesgrade) können sich Dottersacklarven aktiv bewegen; sie dringen zunächst meist tiefer in den Kieskörper ein (HELAND, 1999). Demnach besteht ab diesem Zeitpunkt für die Brut eher eine Chance, Substratumlagerungen in den oberen 10 -20 cm des Kieskörpers zu überstehen. Weiterhin ist denkbar, dass Dottersacklarven durch ihre Bewegungsfähigkeit im Kiessubstrat besonders ungünstigen Mikrohabitaten ausweichen können.

Nach unseren Abschätzungen benötigen Seeforelleneier in den betrachteten Gewässern ca. 96-157 Tage bis zum Erreichen von 500 Tagesgraden und ca. 126-199 Tage bis zum Erreichen des Emergenzstadiums (800 Tagesgrade; Abb. 9.18). In das Nordufer des Bodensees mündende Gewässer (Argensystem, Rotach) sowie die thermisch deutlich belastete Steinach (unveröff. Daten) scheinen die kürzesten Entwicklungszeiträume aufzuweisen. Die Bregenzerach weist die mit Abstand längsten Entwicklungszeiten auf, gefolgt von Leiblach und Goldach.

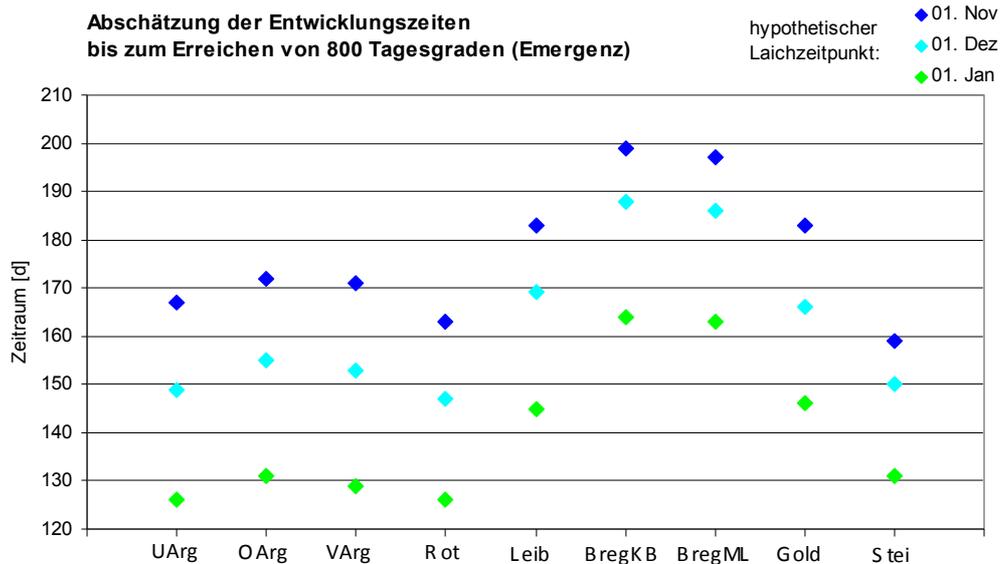


Abb. 9.18: Darstellung geschätzter Entwicklungszeiten bis zum Erreichen von 800 Tagesgraden für die einzelnen Gewässer unter der Annahme dreier verschiedener Laichzeitpunkte. (UArg: Untere Argen; OArg: Obere Argen; VArg: Vereinigte Argen; Rot: Rotach; Leib: Leiblach; BregKB: Bregenzerach Messstation Kennelbach; BregML: Bregenzerach Messstation Mellau; Gold: Goldach (Vollwasser); Stei: Steinach).

Je später Seeforellen ablaichen, umso schneller entwickelt sich der Nachwuchs. Wir gehen davon aus, dass Seeforellen vor dem 01. November allenfalls vereinzelt Laichaktivitäten zeigen. Insbesondere für die Bregenzerach sind aufgrund der Nachweise von zahlreichen Einsteigern ab Juli jedoch auch frühere Laichzeitpunkte denkbar. Ein früherer Zeitpunkt würde hier allerdings nur einen deutlich verkürzenden Effekt auf das Erreichen von 500 Tagesgraden haben, jedoch lediglich zu einer geringen Verkürzung der Entwicklungszeit bis zur Emergenz führen. Bei einem hypothetischen Laichzeitpunkt am 01. Oktober werden nach ca. 77 Tagen (Kennelbach) bzw. ca. 95 Tagen (Mellau) die 500 Tagesgrade erreicht, 800 Tagesgrade jedoch erst nach ca. 190 Tagen (Kennelbach) bzw. ca. 189 (Mellau). In jedem Fall hat also auch der Laichzeitpunkt einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklungszeiten in den Gewässern.

9.4.3 Bestehende Defizite für die Reproduktion

Risikofaktoren für die Reproduktion

Im Zuge der Habitatflächenkartierung und Brutboxenversuche wurden zahlreiche Risikofaktoren für die Seeforellen-Reproduktion ermittelt, die sich innerhalb der bislang erreichbaren Flussstrecke befanden (Tab. 9.11). In den untersuchten Abschnitten der meisten Projektgewässer lagern erhöhte Abflüsse im Winter die Kiesbänke um und vernichten dabei See- und Bachforellenbrut. Diese Problematik scheint vor allem in der Bregenzerach und im System der Argen am ausgeprägtesten zu sein. Aber auch in den untersuchten Bereichen der Rotach, der Leiblach und etwas schwächer. Auch in der Goldach können erhöhte Abflüsse im Winter in seltenen Fällen zu hohen Verlusten bis hin zum Totalausfall der Brut führen. Für die Verluste durch Winterhochwasser scheinen die Natürlichkeit des Einzugsgebietes sowie das Vorhandensein von natürlichen Auensystemen eine Rolle zu spielen. In

Gebieten, in denen Winterhochwasser nicht oder mit geringeren Amplituden auftreten, sinkt die Gefahr von Substratumlagerungen deutlich – dies ist vermutlich der Grund für die funktionierende Naturverlaichung in Goldach und Steinach. Beide Gewässer entsprechen in ihrer Charakteristik und bezüglich der Größe des Einzugsgebiets eher Zuflüssen größerer Flüsse (Flussordnungszahl 3 an der Mündung zum See).

Die Gefahr von Winterhochwassern muss aus diesem Grund zumindest teilweise auch auf anthropogene Einflüsse zurückgeführt werden: Oberflächenversiegelung, Entwaldung, Trockenlegung von Feuchtgebieten und landwirtschaftliche Nutzung in den Einzugsgebieten sowie der lineare Gewässer-ausbau haben zu einer Verstärkung der Hochwasserwellen in den Flüssen geführt. Die Abflussanstiege entwickeln sich schneller und die Abflussspitzen sind höher als im unbeeinflussten Zustand. Hinzu kommt der Einfluss des Klimawandels, durch den sich in Zukunft sowohl die Häufigkeit als auch das Ausmaß von Winterhochwassern weiter erhöhen kann. Zusammenfassend ist demnach davon auszugehen, dass Seeforellen in den Gewässern des Bodensee-Einzugsgebiets ursprünglich erheblich bessere Fortpflanzungsbedingungen als heute vorgefunden haben, obwohl seit Mitte der 1980er-Jahr (Beginn des ersten Seeforellenprogramms) bereits viele Massnahmen zur Verbesserung der Situation beigetragen haben. Die Oberläufe und Zuflüsse hatten vermutlich auch historisch einen höheren Stellenwert für die Reproduktion als bisher angenommen – und ihre Bedeutung wird in Zukunft weiter zunehmen. Flussaufwärts liegende Bereiche und kleinere Zuflüsse bergen insgesamt eine geringere Gefahr, von hochwasserbedingten Umlagerungen betroffen zu sein. Hier beeinflussen eher die lateralen Einträge (Uferabbrüche, Murgänge) den Fortpflanzungserfolg. Je weiter Seeforellen daher während der Laichwanderung aufsteigen können, je mehr Flusslänge und je mehr Zuflüsse erreichbar sind, desto geringer sind vermutlich die Risiken von Gesamtverlusten in der natürlichen Fortpflanzung.

Weiterhin legen die Brutversuchsergebnisse nahe, dass hydrologisch stark veränderte Gewässerabschnitte, insbesondere Schwall-/Sunkstrecken, aber auch ausgeprägte Ausleitungs-/Restwasserstrecken mit sehr geringem Abfluss ungeeignete Fortpflanzungsbedingungen für Seeforellen aufweisen. Zudem führt die Feinsedimentfracht, die in manchen Gewässern auch viele sauerstoffzehrende Stoffe enthalten kann (organische, partikuläre Einträge aus Kläranlagen und Regenrückhaltebecken), in einigen Gewässern zu Abdeckungen und Verstopfungen (Kolmationen) des Laichsubstrats. Auch gehen wir davon aus, dass die beobachteten Sedimentansammlungen in den Brutboxen nicht methodisch bedingt sind. Untersuchungen haben gezeigt, dass mit Kies gefüllte Whitlock-Vibert-Boxen nicht mehr Feinsediment akkumulieren, als dies im umgebende Kiesbett natürlicherweise geschieht (GARRETT & BENNETT 1996).

Tab. 9.11: Risikofaktoren und Abschätzung der Chancen für die natürliche Reproduktion der Seeforellen in den Programmgewässern.

	Rotach	Argen	Leiblach	Bregenzerach	Goldach
Verlust durch Substratumlagerung (Winterhochwasser)	hohes Risiko	sehr hohes Risiko	hohes Risiko	Risiko vorhanden	geringes Risiko
Geschiebedefizit	-	Obere und Untere Argen	hoch	-	lokal unterhalb Felsriegel
Verlust wegen zu geringer Wasserführung	Risiko vorhanden	-	-	-	Risiko vorhanden
Ausleitungsstrecken zur Reproduktion nutzbar?	-	Laichgrubenanlage möglich, Überleben unwahrscheinlich	-	Laichgrubenanlage möglich, Überleben unwahrscheinlich	Reproduktion erschwert, Überleben erschwert
Verlust durch Schwallbetrieb	nein	nein	nein	sehr hohes Risiko	nein
Beeinträchtigung durch Wasserqualität	lokal möglich	nein	nein	nein	nein
Beeinträchtigung durch zu geringe Wassertemperatur	nein	nein	kaum	möglich	kaum
Verlust durch Feinstoffeintrag	sehr hohes Risiko	Risiko vorhanden	hohes Risiko	in Ausleitungsstrecken Risiko	in der Restwasserstrecke Risiko
Natürliche Reproduktion	in manchen Jahren	in Ausnahmefällen und lokal	in manchen Jahren und lokal	in manchen Jahren und lokal	abseits der Restwasserstrecke gut

Fast alle Risikofaktoren aus obiger Tabelle verbessern sich in den Oberläufen, lediglich die Gefahr durch geringe Wasserführung erhöht sich. In der Bregenzerach überstanden die exponierten Seeforelleneier allerdings auch Wassertemperaturen um 0° C über einen längeren Zeitraum.

Eignung der Gewässersohle als Laichfläche

Zwischen den einzelnen Projektgewässern besteht ein großer Unterschied in den Dimensionen der potenziell geeigneten Laichflächen, die erwartungsgemäß in den kleinen Projektgewässern geringer sind (Abb. 9.19) als in den großen. Der relative Flächenanteil des Laichsubstrats im natürlichen Verbreitungsgebiet der Seeforelle zeigte diese Unterschiede zwischen der Größe des Gewässers nicht mehr: Argen 4,6 %, Goldach 3,4 %, Bregenzerach 1,6 % (nur Unter- und Mittellauf) und Leiblach 0,8 %. Vor allem in der Leiblach ist der reduzierte Anteil auf ein starkes Geschiebedefizit zurückzuführen. Bezüglich der Erreichbarkeit der potenziellen Laichflächen bestehen flussspezifisch große Unterschiede. In der Bregenzerach ist der Anteil eingeschränkt erreichbarer Laichflächen eigentlich deutlich größer, da wir rund 20 Flusskilometer bis zur natürlichen Aufstiegs Grenze nicht kartiert haben. In der Goldach wirkt der natürliche Felsriegel nach ca. 40 % der erreichbaren Strecke als Einschränkung (Abb. 9.20).

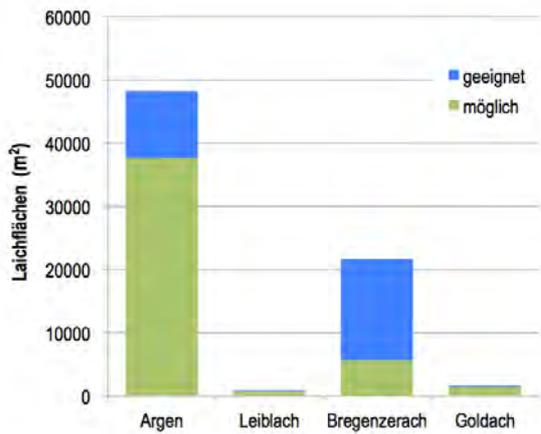


Abb. 9.19: Qualität der kartierten Laichflächen (m²) in den Projektgewässern.

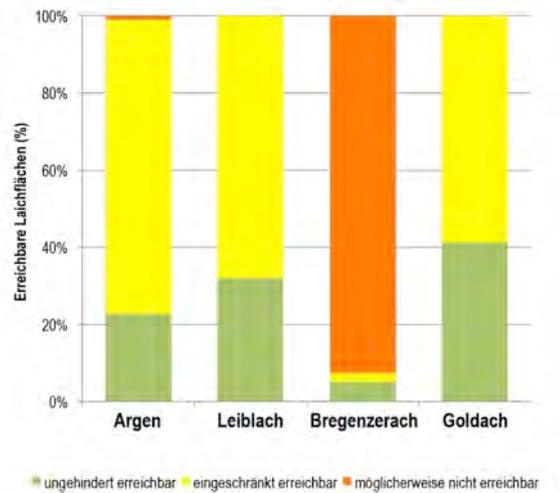


Abb. 9.20: Anteil der Erreichbarkeit von potenziellen Laichflächen in den Projektgewässern (bezogen auf kartierte Flussabschnitte).

9.4.4 Natürliche Reproduktion und Besatz

Aus den Brutboxen-Versuchen wurde ersichtlich, dass die natürliche Reproduktion lediglich in einem der untersuchten Projektgewässer sicher funktioniert, der Goldach. Bei ihr handelt es sich zugleich um das Programmgewässer mit dem kleinsten Einzugsgebiet. Auch in der benachbarten Steinach, die wir aufgrund ihres hohen Seeforellenaufkommens für das Programm mehrfach als Referenz herangezogen haben und die ein noch kleineres Einzugsgebiet besitzt, sind trotz struktureller Defizite und einem recht hohen Feinstoffanteil geeignete Reproduktionsbedingungen vorhanden. Da in beiden dieser Flüsse zumindest in den von Seeforellen erreichbaren Abschnitten und vor den Terminen der Kontrollbefischungen auch innerhalb anderer Abschnitte kein Brütlingsbesatz stattfand, stammen die von uns ermittelten Brütlingdichten (Tab. 9.12) zweifellos aus der Naturverlaichung. In der Leiblach und der Rotach konnten wir bei den Jungfischbefischungen im Frühjahr keine Brütlinge feststellen – obwohl uns auch dort eine erfolgreiche natürliche Reproduktion in geringem Maße möglich erscheint. In der Argen und der Bregenzerach wurde zu den entsprechenden Jahreszeiten nicht gefischt, ein Aufkommen von naturverlaichten, jungen Seeforellen ist jedoch höchstens in kleinen Abschnitten der Bregenzerach und den erreichbaren Strecken ihrer Zuflüsse zu erwarten.

Tab. 9.12: Reproduktionserfolg (Brütlingaufkommen, Überlebensraten der Eier) im Vergleich zum Besatz in den Programmgewässern.

	Rotach	Argen	Leiblach	Bregenzerach	Goldach	Steinach
Brütlinge pro 100 m (Naturverlaichung)	0 Ind.	n. erf.	0 Ind.	n. erf.	>1000 Ind.	>1000 Ind.
Überlebensrate Brutversuche in % (Augenpunkt/ grüne Eier)	65* / 0	0 %; Unt. Arg. lokal 15 %	50 / 0	0 % Schwall; 0-30 % RW; 77 % Vollabfluss	>50 %	>50%
Besatzzahlen (2008-2012) pro km ² EZG	680	310	2.560	100	1.600	2080

* Hydrologisch untypischer Winter ohne Hochwasser

Anmerkung zur Tab. 9.12: Die Besatzzahlen sind insofern nicht unmittelbar vergleichbar, da in der Schweiz zumeist tatsächlich Brütlingsbesatz gemacht wird, während in Vorarlberg die Fische 2 Monate später – vorgestreckt - erst mit 3-5 cm ausgesetzt werden (inwieweit dann möglicherweise der Aspekt der Prägung auf das Heimatgewässer eine Rolle spielt, ist nicht bekannt).

Ab April findet in den Gewässern Besatz statt, der auch in den Flüssen ohne oder mit nur geringer Naturverlaichung zu einem Seeforellen-Jungfischbestand führt. Die Unterschiede in den Besatzdichten zwischen den Gewässern und sogar einzelnen Gewässerabschnitten sind zum Teil erheblich. Die höchsten Besatzfischdichten bezogen auf die Größe des Einzugsgebiet werden in die Leiblach besetzt (2560 Ind. pro km EZG), gefolgt von der Goldach in ihrem Oberlauf. Deren Besatzfischdichten sind mit denen der Steinach im Oberlauf vergleichbar (ANJF, St. Gallen, schriftl. Mitt). Die Rotach befindet sich bezüglich der Besatzfischdichten im Mittelfeld, die geringsten Besatzdichten sind in der Bregenzerach zu verzeichnen – natürlich auch aufgrund des vergleichsweise großen Einzugsgebietes, das nur zu einem Teil zum historischen Verbreitungsgebiet der Seeforelle zählt.

Aus unseren Untersuchungen zur Reproduktion ist ersichtlich, dass die Rekrutierung von jungen Seeforellen außer in der Goldach in allen Projektgewässern vom Besatz abhängig ist. Inwieweit man daraus schliessen muss, dass Besatz – und dieser mit dem genetisch geeignetsten Stamm – weiterhin eine entscheidende Rolle für die Arterhaltung und natürlich auch für die fischereiliche Nutzung der Seeforelle spielt, sollte dringend diskutiert werden, wenn die Ergebnisse der noch ausstehenden genetischen Analysen der Universität Konstanz vorliegen.

9.5 Abwanderung

Die Besatzdichten spiegeln sich allerdings nicht in den auf unseren Befischungstrecken ermittelten Jungfischdichten wider; so sind in der Leiblach trotz der höchsten Besatzdichten die geringsten Jungfischdichten ermittelt worden. Besonders niedrige Jungfischdichten konnten wir auch in der Argen und im schwallbeeinflussten Bereich der Bregenzerach feststellen. In der Goldach, Steinach und Rotach lagen die im Frühjahr ermittelten Jungfischdichten um 15-20 Ind. pro 100 m Flussstrecke deutlich höher. Die Ausleitungsstrecke des KW Alberschwende in der Bregenzerach wurde im Herbst bei Egg befischt; diese wies mit 25 Ind. pro 100 m Strecke die höchste Jungfischdichte auf, wobei hier zweifellos der Typ Bachforelle dominierte.

Vor dem Hintergrund, dass auch von den Nachkommen eines reinen Seeforellenpaars ein Teil als Bachforellen im Gewässer verbleiben kann, ist die Jungfischdichte entscheidend für die absolute Zahl der Seeforellen-Smolts, die in den See absteigt. Der Anteil des Smolt-Typs in einem Jahrgang ist jedoch nicht konstant; auch bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Projektgewässern. Sie variierten zwischen 3,1 % in der Rotach und 28 % in der Goldach. In der Steinach lag deren Anteil gar bei 55 % (unveröff. Daten). Die ermittelten Abwanderungsraten decken sich sodann weitgehend mit dem Anteil des Smolt-Typs. In der Argen und der Bregenzerach wurden keine systematischen Untersuchungen hierzu durchgeführt, dennoch gelangen uns im Herbst Beobachtungen hierzu. So fanden wir in der Argen den Smolt-Typ im Mühlkanal mit bis zu 14,8 % Anteil. In der Bregenzerach variierte

der Anteil von 0 % (Ausleitungsstrecke Egg) bis > 60 % im Unterlauf, wobei die absoluten Fangzahlen hier gering waren. Die aus unseren Untersuchungen abgeleiteten Abschätzungen der Anzahl an abwandernden Jungfischen (Smolts) pro Fluss-km zeigen eine recht gute Korrelation zu den von uns ermittelten Einsteigern pro km² EZG (Faktor 0,1; Tab. 9.13):

Tab. 9.13: Verschiedene Kenngrößen im Zusammenhang mit Besatz und Reproduktion der Seeforellen in den Programmgewässern (zuzgl. Steinach).

	Rotach	Argen	Leiblach	Bregenzerach	Goldach	Steinach
Besatzzahlen (2008-2012) pro km ² EZG	680	310	2.560	100	1.600	2080
Jungfischdichten (AK1+) pro 100 m Strecke	20	< 1 (Hauptfluss) < 5 (Kanal)	< 1	< 5 (Bozenau und Unterlauf) 25 (RW Egg)	15	20
Anteil Smolt-Typus im Frühjahr	3,1 %	k.A.	14,8 %	k.A.	28 %	55 %
Abwanderung (% aller markierter Fische)	1 %	k.A.	7,4 %	k.A.	26,8 %	57 %
Geschätzte Abwanderer pro km	2	<1	<1	bis zu > 5	ca. 50	> 100
Max. erreichbare Strecke (km); (eingeschränkt erreichbar)	7,4	47	13 (nat.)	7,2 (52)	7,6 (nat.)	1,8
Einsteiger/ km erreichbarer Strecke (max.)	5	0,6	15	14 (2)	90 (25)	235
Ermittelte Einsteiger/ km ² EZG	0,2	0,03	1,7	0,1	4	17

In den Flüssen Argen und Goldach bestehen Defizite bezüglich der Jungfischdichten, die kaum auf Defizite des Habitatangebots zurückzuführen sind; möglicherweise spielen hier neben starken Hochwassern im Sommer auch warme Sommerwassertemperaturen und damit verbundene Krankheiten wie PKD inzwischen eine entscheidende Rolle. Die geringen Forellen-Bestände im Unterlauf der Bregenzerach sind wahrscheinlich primär auf zwei Faktoren zurückzuführen: Eine große Rolle spielt sicher der erhebliche Schwall durch die Rückleitung des KW Langenegg. Daneben ist aber auch die sommerliche Wassertemperatur – vor allem in der Ausleitungsstrecke unterhalb des Kennelbacher Wehrs, die fast keine „kühleren“ Refugien aufweist - aufzuführen. In der Ausleitungsstrecke oberhalb der Schwallrückleitung sind dagegen die Dichten von Forellen wesentlich höher. Dass in der Rotach trotz relativ hoher Jungfischdichten nur wenige Seeforellen in den See abwandern, ist auf den ersten Blick verwunderlich. Durch erste genetische Analysen gibt es jedoch Hinweise darauf, dass sich die Besatzfische der Rotach vermehrt zu standorttreuen Bachforellen entwickeln und sich genetisch deutlich von den Bodensee-Seeforellen anderer Zuflüsse unterscheiden (BEHRMANN-GODEL, pers. Mitt.).

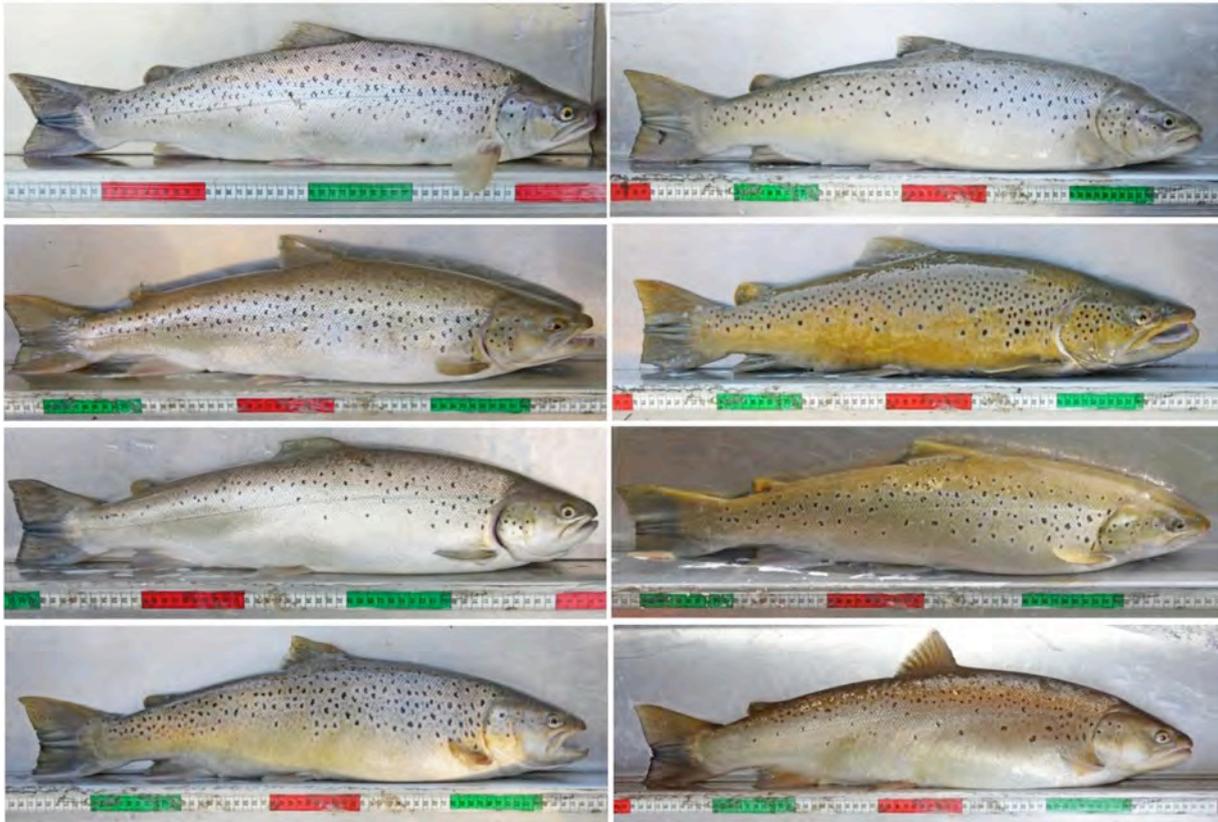
Nachtrag: Im Zuge des Fischmonitorings Alpenrhein konnten von uns am 14.09.2013 im Bereich der Auen Bonaduz und Rhäzüns zahlreiche Seeforellen-Smolts gefangen werden (ca. 10 Ind. / 100 m), die in beiden Gebieten jeweils bis zu 50 % der gefangenen *Salmo trutta* ausmachten (WERNER, pers. Mitt.). Dies deutet trotz starker Schwall-/Sunk-Belastung auf lokal geeignete Lebensbedingungen in den natürlichen Auen des Hinterrheins hin.

9.6 Typologie der Bodensee-Seeforellen

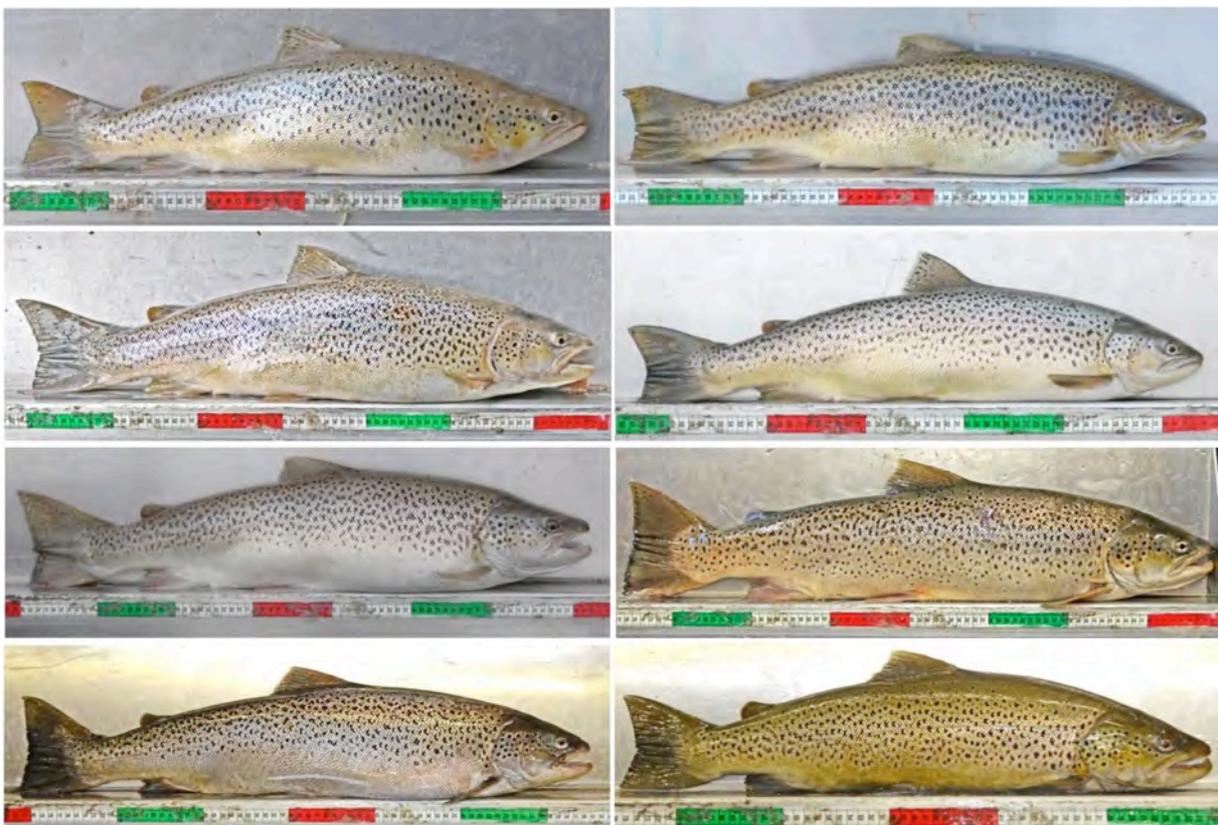
Alle im Rahmen der vorliegenden Studie gefangenen Seeforellen und weitere Tiere aus den Laichfischfängen der Steinach wurden fotografisch dokumentiert. Auf diese Weise entstand ein Individuenkatalog, der zu unterschiedlichen Zwecken herangezogen werden konnte:

- zur genaueren Typisierung der Form und des Punktemusters der Fische; die Formen der Fische ändern sich mit Alter und Laichreife; die Punktemuster bleiben erhalten, lediglich die Abstände zwischen den Punkten und die Größe der Punkte verändern sich;
- zur Wiedererkennung bei Wiederfang nicht markierter Individuen oder Individuen, die ihren Transponder verloren haben (Beispiel VKW-Kanal, Wiederfang eines Rogners, der den PIT-Tag abgelaicht hatte);
- zur Unterscheidung der relativen Dimensionen von Rognern und Milchnern;
- zur Dokumentation von Schädigungen, Vernarbungen, Verpilzungen, Parasitierungen u.a.;
- zur möglichen Verwendung (Phänotyp) im Zusammenhang mit den noch ausstehenden genetischen Analysen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie leistete dieser Katalog schon mehrfach gute Dienste. Dabei wurden seine Einsatzmöglichkeiten allerdings erst in sehr geringem Umfang genutzt. Bei Betrachtung der Unterschiede in Färbung und Form der verschiedenen Seeforellen lässt sich auch eine grobe Typisierung durchführen (Abb. 9.21). Da auch die individuelle Pigmentierung genetisch determiniert ist, könnte eine Typisierung irgendwann auch zur optischen Unterscheidung verschiedener Seeforellen-Stocks führen. Ein solcher Zusammenhang von Phänotyp und Genotyp wurde bisher allerdings noch nicht untersucht. Dies soll erstmals in Zusammenschau mit den Ergebnissen der genetischen Untersuchungen an der Universität Konstanz versucht werden. Dazu wird der Typenkatalog entsprechend aufbereitet.



a) Seeforellentyp 1: spärliche, oft weiß umrahmte, meist runde Punkte.



b) Seeforellentyp 2: dicht, kantig, kreuzförmig oder sichelförmig gepunktet.

Abb. 9.21 a: Unterschiedliche Punktemustertypen der laichreifen Seeforellen in den Bodenseezuflüssen.



c) Seeforellentyp 3: dicht und verschiedenartig schwarz und rot gepunktet.



d) Seeforellentyp 4: sehr spärlich, ausschließlich schwarz gepunktet.

Abb. 9.21 b: Unterschiedliche Punktemustertypen der laichreifen Seeforellen in den Bodenseezuflüssen.

9.7 Empfehlungen

Die im Rahmen des Programms dazugewonnenen Erkenntnisse führen zur Festlegung mehrerer klarer Entwicklungsziele für die Arterhaltung der Seeforelle in den Bodenseezuflüssen. Aus einer Priorisierung des Handlungsbedarfs können flussspezifische Maßnahmen abgeleitet werden:

- Herstellung der vollständigen Durchgängigkeit der Seeforellengewässer im Bodensee-Einzugsgebiet bis zu den natürlichen Grenzen in den Oberläufen beginnend ab der Mündung in den See. Diese Forderung schließt auch die fischgängige Anbindung und Durchwanderbarkeit von Zuflüssen mit ein.
- Bestehende Fischwanderhilfen sind einer erweiterten Funktionsprüfung zu unterziehen. Bei der Reaktivierung funktionsunfähiger oder selektiv wirkender Fischwanderhilfen und beim Neubau von FWHs ist auf die Körper-Dimensionen der Seeforellen Rücksicht zu nehmen.
- Für absteigende Laichfische und Smolts muss ein gefahrloser Abstieg an allen Wasserkraftanlagen und sonstigen künstlichen Querbauwerken sichergestellt werden. Dabei sind insbesondere auch Fischschutzanlagen im Bereich der Triebwasserausleitungen vorzusehen und Verletzungsgefahren unterhalb von Wehren und Abstürzen zu beseitigen.
- Belastungsquellen, die einen hohen, insbesondere organischen Feststoffeintrag ins Gewässer verursachen und damit Reproduktionsflächen entwerten können, müssen lokalisiert und weitestgehend beseitigt werden. Der Eintrag geklärter Abwässer aus Kläranlagen, die Überlastung von Kläranlagen und der niederschlagsbedingte Überlauf von Mischkanalisationen und Regenrückhaltebecken müssen optimiert werden.
- Der Besatz mit Brütlingen und vorgestreckten Fischen in den Zuflüssen muss fortgeführt und optimiert werden. Derzeit sind solche Besatzmaßnahmen für die Erhaltung der Population bzw. der Teilpopulationen zwingend notwendig, da die natürliche Reproduktion in den meisten Gewässern allenfalls eingeschränkt funktioniert. Dies wird aller Voraussicht nach auch mittelfristig noch so bleiben. Allerdings wird bei Fortführung der Bemühungen zur Arterhaltung in den Zuflüssen der Anteil von Jungfischen aus Naturverlaichung mehr und mehr steigen müssen. In jedem Fall sollten Besatzmaßnahmen in den Bodenseezuflüssen optimiert werden, zumindest was die Herkunft der Elterntiere, die Abstimmung der Besatzdichte mit den gewässerstrukturellen Gegebenheiten, die Auswahl der Besatzgewässer bzw. –abschnitte und das Alter der Besatzfische (Stichwort: Prägung) betrifft. Diesbezüglich sind auch noch die Ergebnisse des Genetikberichts abzuwarten.
- Effekte von hydrologischen Beeinträchtigungen müssen deutlich reduziert werden. Die beiden größten Bodensee-Zuflüsse, der Alpenrhein und die Bregenzerach sind bis in die Mündungsbereiche hinein schwallbeeinflusst. Diese Konsequenz energiewirtschaftlicher Nutzung von Speicheranlagen verschlechtert in den betroffenen Abschnitten massiv die gewässerökologi-

schen Gegebenheiten und damit auf jeden Fall auch die Fortpflanzungsbedingungen für Seeforellen. Beides trifft auch für die meisten Ausleitungsstrecken (Restwasserstrecken) mit unzureichender Dotation zu. Hier ist neben der eingeschränkten Durchwanderbarkeit für die adulten Fische eine unverhältnismäßige sommerliche Temperaturerhöhung zu beobachten, die dazu führt, dass Jungfische hier keine geeigneten Lebensbedingungen vorfinden.

- Im Hinblick auf die Fracht an Feinsedimenten und die Temperatureffekte ist auf die Bedeutung des Gewässerrandstreifens und dessen Bestockung hinzuweisen. Dies gilt für das gesamte Einzugsgebiet und insbesondere auch für die kleineren Zubringer der großen Seeforellengewässer.
- Vor allem Winterhochwasser gefährden durch Substratumlagerungen die Laichgruben und die Entwicklung der Brut. Aufweitungen, Revitalisierungen und Retentionsräume, die den Hochwassern ihre Energie nehmen, führen zu besseren Reproduktionschancen für die Seeforelle und alle anderen kieslaichenden Fischarten.
- Auch die Zubringer der großen Flüsse sollten auf ihr Reproduktionspotenzial mittel Brutboxenversuchen hin untersucht werden, um darauf aufbauend eine Priorisierung der die bezüglich notwendigen Maßnahmen (Erreichbarkeit, Morphologie, etc.) erstellen zu können.
- Die natürliche Fortpflanzung von Bach- und Seeforellen in den Bodenseezuflüssen sollte in den kommenden Jahren genauer dokumentiert werden. Hierfür ist eine Absprache mit den Fischereipächtern bzw. der jeweiligen Fischereiverwaltung notwendig, damit zum Zeitpunkt von Kontrollbefischungen noch kein Besatz mit Brütlingen getätigt worden ist. Derartige Kontrollen sind von großer Bedeutung, da Brutversuche natürliche Fortpflanzungsbedingungen nicht vollständig nachvollziehen können.

10 Literatur:

- AASERUDE R.G., ORSBORN J.F. (1985): New concepts in fish ladder design.- Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Final Project Report, Pullman.
- ACOLAS, M.-L., LABONNE, J., BAGLINIÈRE, J. L. & J. M. ROSSEL (2012): The role of body size versus growth on the decision to migrate: a case study with *Salmo trutta*. *Naturwissenschaften* 99:11-21. American Fisheries Society 118: 463-473.
- BECKER, A., MÜRLE, U. & ORTLEPP, J. (2009): Künstliche Laichplätze für Bachforellen in der Würm. Untersuchung im Auftrag des Anglervereins Würmtal e.V. unter Projektleitung des Regierungspräsidiums Karlsruhe. 48 Seiten.
- BECKER, A., MÜRLE, U. & ORTLEPP, J. (2010): Wanderfischmonitoring Teil VII – Eignung von ausgewählten Kiesflächen in der Alb zur natürlichen Reproduktion von Lachsen. Untersuchung im Auftrag des Landesfischereiverbands Baden e.V.. 48 Seiten.
- BECKER, A., MÜRLE, U. & ORTLEPP, J. (in Arbeit): Murg im Abschnitt Weisenbach-Forbach – Abschätzung des aktuellen Reproduktionspotenzials für Lachse. Untersuchung im Auftrag des Landesfischereiverbands Baden e.V.
- BERCHTHOLD, 2011: „Lebensader Bregenzerach – von Schoppernau nach Egg“ Phase I (Bestandsaufnahme).
- BERNATCHEZ, L. (2001): The evolutionary history of Brown trout (*Salmo trutta* L.) inferred from phylogeographic, nested clade, and mismatch analyses of Mitochondrial DNA variation. *Evolution* 55(2):351-379.
- BERNATCHEZ, L., GUYOMARD, R., BONHOMME, F. (1992): DNA sequence variation of the mitochondrial control region among geographically and morphologically remote European brown trout *Salmo trutta* populations. *Molecular Ecology* 1: 161–173.
- BLASEL K. (2003): Funktionskontrollen an Fischaufstiegshilfen in Baden-Württemberg. Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Langenargen.
- BLASEL K. (2000): Untersuchungen zur Besiedlungsmöglichkeit der Argen für Fische nach der Errichtung von Rauhen Rampen.
- BOHL M. (2005): Zur Ökologie der Seeforelle und Wielenbacher Erfahrungen mit ihr und der Bachforelle. *Fischer und Teichwirt*, 2005: 46-48.
- BOHL M. (2006) : Weiterer Beitrag zur Seeforelle und frühere Untersuchungen der Wielenbacher Versuchsanlage. *Fischer und Teichwirt*, 5-7.
- BROWN, R.S. & D.R. GEIST (2002): Determination of Swimming Speeds and Energetic Demands of Upriver Migrating Fall Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the Klickitat River, Pacific Northwest National Laboratory – 13975.
- BÜTTIKER B., MATTHEY G. (1983) : Die Seeforelle des Genfersees. Schriftenreihe Fischerei, 41: 129-140, BUWAL, Bern.
- BÜTTIKER B., MATTHEY G. (1986): Migration de la truite lacustre (*Salmo trutta lacustris* L.) dans le Léman et ses affluents. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 48 (2): 153-160.
- BÜTTIKER B., MATTHEY G., BEL J., DURAND P. (1987): The age and growth of adult Lake Geneva trout (*Salmo trutta lacustris* L.) caught from 1964 to 1974 for mark-and-recapture experiments. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 49 (3): 316-328.
- BUGERT, R. M., G. W. MENDEL & P. R. SEIDEL (1997): Adult returns of subyearling and yearling fall Chinook salmon released from a Snake River hatchery or transported downstream. *North American Journal of Fisheries Management* 17:638-651.
- BUWAL/ BWG (Hrsg.), Der Schweizer Bevollmächtigte für die Bodenseefischerei [1991]: Aufstiegsgewässer für die Seeforellen des Bodensee-Obersees (Schweiz); IBK; unveröff. Aktennotiz, Bern, 14 S.
- CAMPBELL, J. S. (1977): Spawning characteristics of brown trout and sea trout *Salmo trutta* L.
- CAVIEZEL, R. (2006): Reproduktion der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit an der Eawag, ETH Zürich, 76 S.

- CHAPMAN, D., C. CARLSON, D. WEITKAMP, G. MATTHEWS, J. STEVENSON & M. MILLER (1997): Homing in sockeye and Chinook salmon transported around part of the smolt migration route in the Columbia River. *North American Journal of Fisheries Management* 17:101-113.
- CHARLES, K., GUYOMARD, R., HOYHEIM, B., OMBREDANE, D., BAGLINIERE, J. L. (2005): Lack of genetic differentiation between anadromous and resident sympatric brown trout (*Salmo trutta*) in a Normandy population. *Aquat Living Resour* 18:65–69.
- CHARLES, K., ROUSSEL, J.-M., LEBEL, J.-M., BAGLINIÈRE, J.-L. (2006): Genetic differentiation between anadromous and freshwater resident brown trout (*Salmo trutta* L.): insights obtained from stable isotope analysis. *Ecology of Freshwater Fish* 2006: 15: 255–263.
- COURTENAY, S. C., T. P. QUINN, H. M. C. DUPUIS, C. GROOT & P. A. LARKIN (1997): Factors affecting the recognition of population-specific odours by juvenile coho salmon. *Journal of Fish Biology* 50:1042-1060.
- COURTENAY, S. C., T. P. QUINN, H. M. C. DUPUIS, C. GROOT & P. A. LARKIN (2001): Discrimination of family-specific odours by juvenile coho salmon: roles of learning and odour concentration. *Journal of Fish Biology* 58:107-125.
- CRISP, D. T. (2000): *Trout and Salmon: Ecology, Conservation and Rehabilitation*.
- DITTMAN, A. H., & T. P. QUINN (1996): Homing in Pacific salmon: mechanisms and ecological basis. *Journal of Experimental Biology* 199:83-91.
- DUBLING, U., BERG, R. (2001): Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (Hrsg.): *Fische in Baden-Württemberg. Hinweise zur Verbreitung und Gefährdung der freilebenden Neunaugen und Fische*. 2. Auflage. S. 176.
- DUBLING, U. (2005): *Fischfaunistische Referenzen für die Fließgewässerbewertung nach WRRL in Baden-Württemberg*.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (HRSG.); ADAM, B., BOSSE, R., DUMONT, U., GÖHL, CH., GÖRLACH, J., HEIMERL, ST., KALUSA, B., KRÜGER, F., REDEKER, M., SCHWEVERS, U., SELLEHEIM, P. (2010): *Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung*. Entwurf. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), DWA-M 509, 286 S. **Gelbdruck**
- EBERSTALLER, J., HAIDVOGL, G. (1997): *Gewässer- und fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung mit Schwerpunkt Fischökologie*. Studie zuhanden der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA).
- EBERSTALLER, J. (EZB) (2008): *Fischökologisches Monitoring gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie in Vorarlberg, September 2007*. Studie im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung (Bregenz) und des Lebensministeriums Wien. 61 S.
- EBERSTALLER et al. (2012) IRKA (Hrsg.): *D6 – Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile*.
- EBERSTALLER, J., ZAUNER, G., FRANGEZ, C., WERNER, S. & REY, P. (2013): *Fischökologische Bestandsaufnahme Alpenrhein 2013*, Studie im Auftrag der Fischereifachstellen am Alpenrhein. In Vorbereitung.
- EBERSTALLER et al. , EAWAG, BOKU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007): *Fischökologische Bestandsaufnahme Alpenrhein 2005*, Studie im Auftrag der Fischereifachstellen am Alpenrhein. 99 S.
- EICHERT, R & U. STRAUS (1990a): *Querbauwerke in den baden-württembergischen Zuflüssen des Bodensee-Obersees. Teil I: Die Argen*.
- EICHERT R., STRAUS U. (1990b): *Querbauwerke in baden-württembergischen Zuflüssen des Bodensee-Obersees. Teil 2: Brunnisach, Lipach, Rotach, Schussen*. Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Langenargen
- EICHERT R., STRAUS U. (1990c): *Querbauwerke in baden-württembergischen Zuflüssen des Bodensee-Überlinger Sees. Teil 3: Seefelder Aach, Salemer Aach, Deggenhauser Aach, Riedbach/Auenbach, Stockacher Aach, Mahlsprüer Aach*. Fischereiforschungsstelle des Landes Baden-Württemberg, Langenargen.
- ELLIOT, J. M. (1994): *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Oxford University Press., 298 pp.
- FERGUSON, A. & MASON, F. M. (1981): Allozyme evidence for reproductively isolated sympatric populations of brown trout *Salmo trutta* L. in Lough Malvin, Ireland. *Journal of Fish Biology*, 18: 629-642.

- FERGUSON, A. & TAGGART, J. B. (1991): Genetic differentiation among the sympatric brown trout (*Salmo trutta*) populations of Lough Melvin, Ireland. *Biological Journal of the Linnean Society*, 43: 221-237.
- Fishing News Books, Blackwell Science.
- FORSETH, T., NAESJE, T. F., JONSSON, B., HARSAKER, K. (1999): Juvenile migration in brown trout: a consequence of energetic state. *J. Anim Ecol* 68:783–793.
- FROST, W. E. & BROWN, M. E. (1967): *The Trout*. Collins St. James Place, London. 286 pp.
- GARCIA DE LEANIZ, C., FLEMING, I. A., EINUM, S., VERSPOOR, E., JORDAN, G. R., CONSUEGRA, S., AUBIN HORTH, N., LAJUS, D., LETCHER, B. H., YOUNGSON, A. F., WEBB, A., VOLLESTAD, L. A., VILLANUEVA, B., FERGUSON, A., QUINN, T. P. (2007): A critical review of adaptative genetic variation in Atlantic salmon: implications for conservation. *Biol Rev* 82:173–211.
- GARRETT, J. W., BENNETT, D. H. (1996): Evaluation of fine sediment intrusion into Whitlock-Vibert boxes. *North American Journal of Fisheries Management* 16, 448-452.
- GEBLER R.-J., MICHEL M. (2004): Fischweg KW Reichenau am Alpenrhein. Schlüsselfunktion für die Bodensee-Seeforelle. Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.
- GRIMALDI E., NÜMANN W. (1972) : The future of salmonid communities in the European subalpine lakes. *Journal of the Fisheries Research Board Canada*, 29: 931-936.
- GROOT, C., T. P. QUINN & T. J. HARA (1986): Responses of migrating adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) to population-specific odors. *Canadian Journal of Zoology* 64:926-932.
- GÜDE, H, REY, P. & J. ORTLEPP (2010), LUBW (Hrsg.): Die Schussen, Bilanz der Belastung eines Bodenseezuflusses. Entwicklung, gegenwärtiger Zustand und Zukunftsperspektiven für die Schussen aus wirtschaftlicher Sicht. Karlsruhe, 105 S.
- GUNNERØD, T. B., N. A. HVIDSTEN & T. G. HEGGBERGET (1988): Open sea releases of Atlantic salmon smolts, *Salmo salar*, in central Norway, 1973-83. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55:1340-1345.
- GUYOMARD, R. (1991): *La truite, biologie et écologie*. Collection Hydrobiologie et Aquaculture. Inra Edition, Paris, France.
- GUYOMARD, R., GREVISSE, G., OURY, F. X. & DAVAINÉ, P. (1984): Evolution de la variabilité génétiques. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41: 1024-1029.
- HAAKH E. (1932): Die Seeforelle. *Schweizerische Fischereizeitung*, 1932:7
- HAEMPEL O. (1930): *Fischereibiologie der Alpenseen*. Die Binnengewässer, 10, Stuttgart
- HANSEN, L. P., & B. JONSSON (1991): The effect of timing of Atlantic salmon smolt and post-smolt release on the distribution of adult return. *Aquaculture* 98:61-67.
- HASLER, A. D. & A. T. SCHOLZ (1983): *Olfactory imprinting and homing in salmon*. Springer-Verlag, Berlin.
- HEGGBERGET, T. G., N. A. HVIDSTEN, T. B. GUNNERØD & P. I. MØKKELGJERD (1991): Distribution of adult recaptures from hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts released in and off-shore of the River Surna, western Norway. *Aquaculture* 98:89-96.
- HELAND, M. (1999): Social organization and territoriality in brown trout juveniles during ontogeny. 115-143 pp In “Biology and Ecology of the Brown and Sea trout.” (1999) Bagliniere, J. L. & Maisse, G. (eds.). Springer, Berlin etc. & Praxis Publishing Ltd., Cichester.
- HENDRY, A. P., V. CASTRIC, M. T. KINNISON & T. P. QUINN (2004): The evolution of philopatry and dispersal: homing versus straying in salmonids. Pages 52-91 in A. P. Hendry and S. C Stearns, editors. *Evolution Illuminated: Salmon and Their Relatives*. Oxford University Press, New York.
- HEUSCHMANN O. (1955): Ein Beitrag zum Wachstum der Seeforelle (*Salmo lacustris* L.). *Allgemeine Fischerei-Zeitung*, Sonderdruck, 2 Seiten.
- HINDAR, K., JONSSON, B., RYMAN, N. & STÄHL, G. (1991): Genetic relationships among landlocked, resident and anadromous brown trout *Salmo trutta*. *Heredity* 66: 83–91.
- HINO, H., N. G. MILES, H. BANDO & H. UEDA (2009): Molecular biological research on olfactory chemoreception in fishes. *Journal of Fish Biology* 75:945-959.
- HOCHLEITHNER M. (1989): Die Situation der Seeforelle (*Salmo trutta* f. *lacustris* L.) in österreichischen Seen. *Österreichs Fischerei*, 42: 15-21

- HONSIG-ERLENBURG W.; STEINER V.; FRIEDL T. (1998): Die Seeforelle des Weissensees (Kärnten, Österreich) - mögliche Ursachen ihres Aussterbens. Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie, 1: 75-85.
- HONSIG-ERLENBURG, W., STEINER, V., FRIEDL, T., SCHOTZKO, N. (1998): Die Seeforelle des Weißensees (Kärnten, Österreich) – mögliche Ursachen ihres Aussterbens. Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie 1: 75–85.
- INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE IGKB (HRSG.); HYDRA, BÜRO REY (2004): Der Bodensee; Zustand – Fakten – Perspektiven. Bregenz, 177 S. ISBN 3-902290-04-8.
- INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF) (1999): Die Rettung der Bodensee-Seeforelle : eine Erfolgsstory . Hrsg.: Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei (IBKF), 6 S.
- INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF)(2007); WAGNER, B., LÖFFLER, H., KINDLE, T., KLEIN, M. & STAUB, E.: Bodenseefischerei Geschichte-Biologie und Ökologie-Bewirtschaftung. Thorbecke Verlag, Sigmaringen.
- INTERNATIONALE BEVOLLMÄCHTIGTENKONFERENZ FÜR DIE BODENSEEFISCHEREI (IBKF)(2013); Gesamtbericht zur Fischerei im Bodensee-Obersee 2012; http://www.ibkf.org/fileadmin/_migrated/content_uploads/IBKF-2013_Gesamtbericht_Fangjahr-2012.pdf.
- JONSSON, B. & JONSSON, N. (1993): Partial migration: niche shift versus sexual maturation in fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 3: 348-365.
- JUNGWIRTH, M., HAIDVOGEL, G., MOOG, O., MUHAR, S. & SCHMUTZ, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien.
- KEEFER, M. L., C. C. CAUDILL, C. A. PEERY, AND S. R. LEE (2008): Transporting juvenile salmonids around dams impairs adult migration. Ecological Applications 18:1888-1900.
- KINDLE T. (1984): Die Bodensee-Seeforelle : Probleme und Problemlösungen. Österreichs Fischerei, 271-307.
- KINDLE T., AMANN E. (1984): Literaturzusammenstellung über Fischtreppe und Fischwege. Internationale Bevollmächtigten-Konferenz für die Bodenseefischerei, Vaduz, 1983.
- KLUNZINGER C.B. (1885): Über Bach- und Seeforellen. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 41: 266-288.
- KLEMENTSEN, A., AMUNDSEN, P.-A., DEMPSON, J. B., JONSSON, B., JONSSON, N., O'CONNELL, M. F. & MORTENSEN, E. (2003): Atlantic Salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecology of Freshwater Fish, 12: 1-59.
- KONDRATIEFF M.C., MYRICK C.A. (2005): Two adjustable waterfalls for evaluating fish jumping performance. Transactions of the American Fisheries Society 134: 503–508.
- KOLDER W. (1970): Die Fischfauna des Piburger Sees. Acta hydrobiologica, 12: 329-355.
- KONDRATIEFF M.C., MYRICK C.A. (2006): How high can brook trout jump? A laboratory evaluation of brook trout jumping performance. Transactions of the American Fisheries Society 135: 361–370, 2006.
- KOTTELAT, M. (1997): European freshwater fishes. An heuristic checklist of the freshwater fishes of Europe (exclusive of former USSR), with an introduction for non-systematists and comments on nomenclature and conservation. Biologia, Bratislava, 52/Suppl. 5: 1–271.
- KOTTELAT, M. & FREYHOF, J. (2007): Handbook of European Freshwater Fishes, Cornol : Publications Kottelat.
- LAHNSTEINER, F., JAGSCH, A. (2003): Der Genotyp rezenter österreichischer *Salmo trutta*-Populationen im Vergleich zu Populationen des 19. Jahrhunderts, basierend auf RFLP von mtDNA. Österreichs Fischerei 56: 268–274.
- LAHNSTEINER, F., JAGSCH, A., JÄGER, P. (2003): Unterschiede im Phänotyp von Bachforellen und Seeforellen aus rezenten Wildpopulationen, aus Wildpopulationen des 19. Jahrhunderts und aus Zuchten. Österreichs Fischerei 56: 298–306.
- LAURITZEN D.V., HERTEL F., GORDON M.S. (2000): Kinematics of salmon leaping up waterfalls. American Zoologist 40(6):1098.
- LAURITZEN D.V., HERTEL F., GORDON M.S. (2005): A kinematic examination of wild sockeye salmon jumping up natural waterfalls. Journal of Fish Biology, 67: 1010–1020.

- LAURITZEN D.V., HERTEL F.S., JORDAN L.K., GORDON M.S. (2010): Salmon jumping: behavior, kinematics and optimal conditions, with possible implications for fish passageway design. *Bioinspiration & Biomimetics* 5(3):035006.
- LEGGETT, W. C. (1977): The ecology of fish migrations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 8:285-308.
- LÖFFLER H. (1990): Der beste Bodenseefisch: Die Seeforelle. *Leben am See : das Jahrbuch des Bodenseekreises*, 7 (1989/90): 57-61. - Tett nang : Senn.
- LFU (2005): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern – Teil 1, Grundlagen
- LFU (2005): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern – Teil 2, Umgebungsgewässer und fischpassierte Querbauwerke.
- MCMEEL, O., HOEY, E. & FERGUSON, A. (1997): LDH-5* variation in brown trout, *Salmo trutta*, and relationship to longevity and phylogeography in NW Europe. Book of abstracts of the "Ninth international congress of european ichthyologists". Edited by P. G. Bianco. University of Naples.
- MENDEZ, R. (2007): Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit an der Eawag, ETH Zürich, 70 S.
- MÖBIUS P., FOSS P. (2004): Rettungsaktion für die Bodensee-Seeforelle : Mitglieder des Angelsportvereins Friedrichshafen leisten Hilfestellung bei der Zuwanderung der Bodensee-Seeforelle in die Rotach. *Leben am See : das Jahrbuch des Bodenseekreises*, 21 (2004): 250-257. - Tett nang : Senn.
- MOORE, A. & A. P. SCOTT (1991): Testosterone is a potent odorant in precocious male Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr. *Philosophical transactions of the Royal Society B* 332:241-244.
- MORINVILLE, G. R. & RASMUSSEN, J. B. (2006): Does life-history variability in salmonids affect habitat use by juveniles? A comparison among streams open and closed to anadromy. *Journal of Animal Ecology*, 75: 693-704.
- MORINVILLE, G. R., RASMUSSEN, J. B. (2003): Early juvenile bioenergetic differences between anadromous and resident brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can J Fish Aquat Sci* 60:401–410.
- NEVITT, G. & A. DITTMAN (1999): A new model for olfactory imprinting in salmon. *Integrative Biology* 1:215-223.
- NORDENG, H. (1983): Solution to the "char problem" based on Arctic char (*Salvelinus alpinus*).
- NÜMANN W. (1953): Artanalyse und Wachstumsuntersuchungen an *Salmo lacustris* und *Salmo carpio*. *Archiv für Hydrologie*, 3 (4).
- NÜMANN W. (1959): Die "Umwandlung" von markierten Bachforellen in Seeforellen im Bodensee. *Institut für Seenforschung, Langenargen / Mitteilungen* 8.
- NÜMANN, W. (1967): Markierungsversuche an Bach- und Regenbogenforellen im Bodensee, als Beitrag zur systematischen Eingliederung von Forellen. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 29: 269–283.
- NÜMANN W. (1982): The Bodensee: effect of exploitation and eutrophication on salmonid communities. *Journal of the Fisheries Research Board Canada*, 22: 833-874.
- OMBREDANE, D., FONTENELLE, G., OHRESSER, H. & S. ROCHEPEAU (1987): Le franchissement d'obstacles par les salmonidés migrants adultes. Analyse du comportement de saut pour un meilleur aménagement. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (1987) 305 : 67-80 / DOI: 10.1051/kmae:1987009.
- O'NEAL, S. L. & J. A. STANFORD (2011): Partial migration in a robust brown trout population of a Patagonian river. *Trans Am Fish Soc* 140:623–635.
- ØKLAND, F., JONSSON, B., JENSEN, A. J., HANSEN, L. P. (1993): Is there a threshold size regulating seaward migration of brown trout and Atlantic salmon? *J Fish Biol* 42:541–550.
- PEARSON W.H., MUELLER R.P., SARGEANT S.L., MAY C.W. (2005): Evaluation of Juvenile Salmon Leaping Ability and Behavior at an Experimental Culvert Test Bed. Final Report June 2005; Prepared for: Washington State Department of Transportation WSDOT Agreement No. GCA2677, Battelle Pacific Northwest Division, Richland, WA 99352; PNWD-3539.
- PEDROLI J.C. (1983): Die Seeforellenfischerei im Neuenburgersee. *Schriftenreihe Fischerei*, 41: 106-112, BUWAL, Bern.
- PETER A. (2004): Die Seeforelle im Alpenrhein - ist ihre Rückwanderung in den Bodensee wieder möglich? *Bündner Fischer*, 07: 48-51.

- POWERS P.D., ORSBORN J.F. (1985): Analysis of barriers to upstream migration. Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Final Project Report, Pullman.
- POWERS P.D., ORSBORN J.F. (1985): Analysis of Barriers to Upstream Fish Migration: An Investigation of the Physical and Biological Conditions Affecting Fish Passage Success at Culverts and Waterfalls. Bonneville Power Administration (BPA) Report .
- QUINN, T. P. (1993): A review of homing and straying of wild and hatchery-produced salmon. *Fisheries Research* 18:29-44.
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN (2008): Bewirtschaftungsplan Alpenrhein/Bodensee (Baden-Württemberg) gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) Stand 12/2008. Tübingen. 186 S.
- REINARZ, R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns. Literaturstudie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Referat 57 / Gewässerökologie.
- REISER D.W., PEACOCK R.T. (1985): A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments. Pages 423–432 in F.W. OLSON, R.G. WHITE, and R.H. HAMRE editors. Symposium on small hydropower and fisheries. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- REISER D.W., HUANG C., BECK S., GAGNER M., JEANES E. (2006): Defining flow windows for upstream passage of adult anadromous salmonids at cascades and falls. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 668-679.
- REY, P., BECKER, A. & J. ORTLEPP, (IBKF Hrsg.)(2009): Lebensraum für die Bodensee-Seeforelle – Grundlagenbericht für nationale Maßnahmenprogramm. Bericht zu Händen der Koordinationsgruppe Wasserrahmenrichtlinie Alpenrhein/Bodensee, vertreten durch das Amt der Vorarlberger Landesregierung; 112 S.
- RIPPIMANN U. (1983): Die Seeforellenfischerei im Vierwaldstättersee. *Schriftenreihe Fischerei*, 41: 113-128, BUWAL, Bern.
- RIPPIMANN U.C. (1987): Biologie und Bewirtschaftung der Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) des Vierwaldstättersees unter besonderer Berücksichtigung der ernerischen Gewässer. Dissertation, ETH-Zürich, 325 S.
- RÖSCH R. (1995): Argenwehre und Seeforelle. In: *Kressbronner Jahrbuch : Beiträge aus Geschichte und Gegenwart*, 1994/95 (1995): 32-34. Kressbronn : Gemeinschaft.
- ROFF, D. A. (1996): The evolution of threshold traits in animals. *Q Rev Biol* 71:3–35.
- ROULE L. (1919): Über die Laichwanderung der Seeforelle (*Salmo fario lacustris* L.). *Naturwissenschaften*, 07 (2): 32.
- RUHLÉ C. (1983): Seeforellenprobleme im Bodensee und dessen Zuflüssen. *Schriftenreihe Fischerei*, 41: 91-105, BUWAL, Bern.
- RUHLÉ C. ET AL. (1983): Die Bodensee-Seeforelle: Probleme und Problemlösungen. IBK-Konferenz f. Fischerei im Bodensee Obersee (IBK 1983, Top 4.1).
- RUHLÉ C. (1984): Die Bodensee-Seeforelle. *Österreichs Fischerei*, 37: 272-307.
- RUHLÉ C. (1987): Schutzprobleme bei der Bodensee-Seeforelle. *Terra plana : Vierteljahreszeitschr. für Kultur, Geschichte, Tourismus u. Wirtschaft*, 1987 (4): 28-30 . Mels : Terra Plana.
- RUHLÉ C. (1999): Vom Problemfisch zum Motivationsträger : die Bodensee-Seeforelle (*Salmo trutta f. lacustris* L.). *Berichte der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg*, 26 (1999): 173-188.
- RUHLÉ C. ET AL. (1983): Die Bodensee-Seeforelle: Probleme und Problemlösungen. IBK-Konferenz f. Fischerei im Bodensee Obersee (IBK 1983, Top 4.1).
- RUHLÉ C., KINDLE T. (1993): Wissenswertes über die Seeforelle. In: *Bodenseefischerei – Geschichte, Biologie und Ökologie, Bewirtschaftung*. Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen. 172 S.
- RUHLÉ. C., G. ACKERMANN, R. BERG, T. KINDLE, R. KISTLER, M. KLEIN, M. KONRAD, H. LÖFFLER, M. MICHEL, B. WAGNER (2005): Die Seeforelle im Bodensee und seinen Zuflüssen: Biologie und Management. *Österreichs Fischerei*. 58/2005, S. 230-262.
- RUHLÉ C.; DEUFEL J.; KEIZ G.; KINDLE T.; KLEIN M.; LÖFFLER H.; WAGNER B. (1984): Die Bodensee-Seeforelle - Probleme und Problemlösungen. *Österreichs Fischerei*, 37: 272-307.

- RUSTADBAKKEN, A., L'ABÉE-LUND, J. H., ARNEKLEIV, J. V., KRAABØL, M. (2004): Reproductive migration of brown trout in a small Norwegian river studied by telemetry. *Journal of Fish Biology* 64, 2-15.
- SANFORD, C. P. J. (1990): The phylogenetic relationship of salmonid fishes. *Bulletin of the British Museum of Natural History, Zoology* 56: 145–153.
- SCHINDLER O., WAGLER E. (1936): Zur Biologie der Seeforelle (*Trutta lacustris* L.) . *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 33: 327-356.
- SCHMID W.; LÖFFLER H.; SIEGER W. (2000): Durchwanderbarkeit der drei großen rauen Rampen in der Argen bei Langenargen - Telemetrische Untersuchungen an Forellen. *Wasserwirtschaft*, 90: 542-547.
- SCHMID W. (1999): Telemetrische Untersuchungen an Seeforellen (*Salmo trutta* f. *lacustris*) zur Durchwanderbarkeit der Argen mit besonderer Berücksichtigung der drei großen rauen Rampen bei Langenargen. [Bibliothek FFS, Langenargen].
- SCHOLL A., GEIGER W. (1976): Zum Artproblem bei See- und Bachforellen: ein biochemisch-genetischer Vergleich. *Revue suisse de Zoologie*, 82 (4): 976-980.
- SCHUBERT, M. (2010): Einfluss standorttypischer abiotischer Faktoren auf die Brut ausgewählter rheophiler Fischarten (Tierversuch Nr. 211-2531-30/01); vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigten Dissertation. Eingereicht am 16.11.2009; genehmigt am 02.02.2010. 117 S und Anhänge.
- SCHULZ, U. (1994): Untersuchungen zur Oekologie der Seeforelle (*Salmo trutta* f. *lacustris*) im Bodensee. Konstanz: Hartung-Gorre.
- SCHULZ, U.; BERG R. (1987): Erste Ergebnisse telemetrischer Untersuchungen zum Wanderverhalten der Seeforelle (*Salmo trutta* forma *lacustris*) im Bodensee. *Österreichs Fischerei*, 40: 295-302.
- SCHULZ, U. (1989): Telemetrische Untersuchungen zum Wanderverhalten der Seeforelle (*Salmo trutta* forma *lacustris*) im Bodensee. [Bibliothek FFS, Langenargen].
- SCHULZ, U. (1992): Seeforellen-Laichfischerei im Alpenrhein bei Domat/Ems. [Bibliothek FFS, Langenargen].
- SCHULZ, U., BERG R. (1992): Movements of ultrasonically tagged brown trout (*Sulmo trutta* L.) in Lake Constance.- *Journal of Fish Biology*, 40 (6): 909–917. doi:10.1111/j.1095-8649.1992.tb02636.x.
- SCHULZ, U. (1995): Untersuchungen zur Biologie und zum Wanderverhalten der Bodensee-Seeforelle. Die Abwanderung der Jungfische aus den Zuflüssen. Neues Fischereigesetz - Bodenseefischerei. Berichte vom Eidg. Fortbildungskurs für Fischereiaufseher vom 24.-26. August 1994 in Rorschach. *Mitteilungen zur Fischerei* 55: 73-87, BUWAL, Bern.
- SCHULZ, U. (1995): Untersuchungen zur Ökologie der Seeforelle (*Salmo trutta* f. *lacustris* L.) im Bodensee. Hartung-Gorre, Konstanzer Dissertationen 456.
- 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.
- SOLAZZI, M. F., T. E. NICKELSON & S. L. JOHNSON (1991): Survival, contribution, and return of hatchery coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) released into freshwater, estuarine, and marine environments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:248-253.
- STERN, S. (2012): Gewässerentwicklungskonzept Leiblach; Für das Grenzgewässer zwischen Österreich und Deutschland - Fl.-km 0,00 bis Einmündung Rickenbach Fl.-km 10,90).
- STUART T.A. (1962): The leaping behavior of salmon and trout at falls and obstructions. Her Majesty's Stationery Office, *Freshwater and Salmon Fisheries Research Paper* 28, Edinburgh.
- SUSNIK, S., KNIZHIN, I., SNOJ, A. & WEISS, S. (2006): Genetic and morphological characterization of a Lake Ohrid endemic, *Salmo* (*Acantholingua*) *ohridanus* with a comparison to sympatric *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, 68: 2-23.
- SYMONS P.E.K. (1978): Leaping behavior of juvenile coho and Atlantic salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 35: 907-909.
- TROTTER, P. (1989): Coastal cutthroat trout: a life history compendium. *Transactions of the American Fisheries Society*. Volume 118, Issue 5, 1989

- UEDA, H. (2011): Physiological mechanism of homing migration in Pacific salmon from behavioral to molecular to biological approaches. *General and Comparative Endocrinology* 170:222-232.
- UEDA, H. (2012): Physiological mechanisms of imprinting and homing migration in Pacific salmon *Oncorhynchus* spp. *Journal of Fish Biology*.
- UHDE, M. A.C. (2009): Rechtliche und fachliche Aspekte der Forderung nach einer ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Argen unter besonderer Berücksichtigung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Diplomarbeit Fachhochschule Kehl, 116 S. + Anhang.
- WAGNER B., RUHLÉ C. (1995): Artenschutz am Beispiel der Bodensee-Seeforelle : Bilanz einer 15jährigen Anstrengung. *Fischen + Jagen*, 1995 (6): 7-11.
- WILSON, R.W. & S. EGGINGTON (1994): Assessment of maximum sustainable swimming performance in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. exp. Biol.* 192, 299-305.
- WOOTON, R. J. (1990): Growth. In: Wooton, R. J. (editor). *Ecology of teleost fishes*, Vol. 24, Fish and Fisheries series. Kluwer, London. pp 117-159.

11 Anhang:

11.1 Befischungen in den einzelnen Projektgewässern

Gewässer	Datum	Befischungsstrecke	Fließ-km Hauptfluss (Streckenlänge ca.)
Rotach	17.03.2011	Bunkhofen bis Wehr Hammerstatt	7,1 bis 7,6 (500 m)
	17.06.2011	Bunkhofen bis Wehr Hammerstatt	7,1 bis 7,6 (500 m)
Argen	28.10.2010	Untere Blockrampen - Rampe 1	1,10-1,30 (200 m)
		Untere Blockrampen - Rampe 2	1,75 – 1,80 (50 m)
		Untere Blockrampen - Rampe 3	2,55 – 2,60 (50 m)
		Mühlkanal	vor KW, ca. 750 m oh. Mdg (10 m)
		Hiltensweiler (OA)	29,35 – 29,45 (100 m)
		Föhlschmitten (OA)	26,95 – 27,05 (100 m)
		Pflegelberg (UA)	1,00 – 1,20 (100 m)
		Beutelsau (UA)	15,00 – 15,15 (150 m)
		Neumühle (UA)	23,00 – 23,15; 23,45 – 23,50 (200 m)
	03.12.2010	Neumühle (UA)	23,00 – 23,15; 23,45 – 23,50 (200 m)
		Neumühle - Werkskanal	23,00 (40 m)
		Pflegelberg (UA)	1,00 – 1,20 (100 m)
		Hiltensweiler (OA)	29,35 – 29,45 (100 m)
	13.09.2011	Pflegelberg (UA)	1,00 – 1,20 (100 m)
		Neumühle (UA)	23,00 – 23,15; 23,45 – 23,50 (200 m)
		Neumühle - Werkskanal	23,00 (40 m)
		Föhlschmitten (OA) (inkl. Fischpass)	26,95 – 27,10 (150 m)
	02.12.2011	Hiltensweiler (OA)	29,35 – 29,45 (100 m)
		Mühlkanal	vor KW, ca. 750 m oh. Mdg (10 m).
	16.01.2012	Mühlkanal	vor KW, ca. 750 m oh. Mdg (10 m)
Hiltensweiler (OA)		29,35 – 29,45 (100 m)	
Föhlschmitten (OA)		26,95 – 27,05 (100 m)	
Bregenzerach	18.07.2011	VKW-Kanal (inkl. Mündungsbereich und Tunnel)	3,60 (620 m)
	24.08.2011	Mündungswuhr	2,00 – 2,10 (100 m)
		Mittleres Wuhr	4,00 – 4,08 (80 m)
		Rücklauf VKW-Kanal	3,60 (ca. 50 m)
		Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
		Kennelbacher Wehr Fischpass & oberes Becken	7,10 (130 m)
	04.09.2011	Mündungswuhr	2,00 – 2,10 (100 m)
		Mittleres Wuhr	4,00 – 4,08 (80 m)
		Rücklauf VKW-Kanal	3,60 (ca. 50 m)
		Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
	25.09.2011	Mündungswuhr	2,00 – 2,10 (100 m)
		Rücklauf VKW-Kanal	3,60 (ca. 50 m)
		Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
	23.10.2011	Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
		Mündungswuhr	2,00 – 2,10 (100 m)

Bregenzzerach		Rücklauf VKW-Kanal	3,60 (ca. 50 m)
		Mittleres Wuhr	4,00 – 4,08 (80 m)
	20.11.2011	Steilrampe Bozenau	16,55 – 16,75 (200 m)
		Egg, Abschnitt uh. Wehranlage	25,15 – 25,30 (150)
	03.12.2011	VKW-Kanal (inkl. Mündungsbereich und Tunnel)	3,60 (620 m)
	16.07.2012	VKW-Kanal (inkl. Mündungsbereich und Tunnel)	3,60 (620 m)
	18.08.2012	Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
	06.10.2012	Mündungswuhr	2,00 – 2,10 (100 m)
		Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
	17.11.2012	Kennelbacher Wehr	7,00 – 7,10 (100 m)
	24.11.2012	Rotach	14,00 (150 m Länge)
		Fischpass Egg	25,30 (35 m)
		Egg, Abschnitt uh. Wehranlage	25,15 – 25,30 (150)
		Steilrampe Bozenau	16,55 – 16,75 (200 m)
		Weissach	6,95 (Weißach)(80 m)
15.07.2013	VKW-Kanal (inkl. Mündungsbereich und Tunnel)	3,60 (620 m)	
Leiblach	18.10.2012	Untere Zollbrücke	0,70 – 0,90 (200 m)
		Brücke Oberhochstegstraße bis Sannwaldwehr	2,55 – 3,35 (800 m)
	15.11.2012	Rickenbach	bei km 10,85 (350 m)
		Bereich Reisachmündung	7,25 – 7,60 (500 m)
		Knochenmühle	11,90 – 13,10 (1200 m)
	13.12.2012	Brücke Oberhochstegstraße bis Sannwaldwehr	2,55 – 3,35 (800 m)
	10.04.2013	Obermützenbrugg	18,55 – 18,70 (150 m)
		Knochenmühle	11,90 – 13,10 (1200 m)
Goldach	12.01.2011	Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
	15.02.2011	Restwasser (oh. Felsriegel bis Wehr Bruggmühle)	2,45 – 2,75 (300 m)
	10.01.2012	Kieswerk bis Brücke Tübach	1,15 – 1,45 (300 m)
		Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
	14.05.2012	Tübacher Brücke bis Holzwand	1,45 – 1,80 (350 m)
		Restwasser (oh. Felsriegel bis Wehr Bruggmühle)	2,45 – 2,75 (300 m)
	31.05.2012	Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
	24.10.2012	Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
		Restwasser (oh. Felsriegel bis Wehr Bruggmühle)	2,45 – 2,75 (300 m)
		Tübacher Brücke bis Holzwand	1,45 – 1,80 (350 m)
	23.11.2012	Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
	06.12.2012	Oberwasserkanal Bruggmühle	Bei 2,75 (175 m)
		Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)
08.12.2012	Strecke unterhalb Felsriegel	1,85 – 2,20 (350 m)	

11.2 Dank

Für die unermüdliche Hilfe bei der Durchführung unserer Arbeiten, vor allem bei den Elektrobefischungen sowie der Kontrolle und Wartung der dynamischen Fischwehre und der PIT-Tag-Antennen danken wir in besonderem Maße folgenden Personen und Institutionen:

Rotach, Argen:

Christian Wenzel, Manuel Konrad, Matthias Bopp, Thomas Stauderer, Olaf Mittmann, Helmut Maier

Weitere Helfer der Angelsportvereine Friedrichshafen und Langenargen

Leiblach,

Martin Eberle, Gertl Pfeiffer, Max Langer, Sebastian Martin, Benedikt Correns, Gerhard Violand

Bregenzerach:

Nikolaus Schotzko, Alban Lunardon, Günter Profanter, Albert Pfattner, Markus Ivanovic, Roland Zach, Heinz Zudrell, Helmut Vetter, Gerhard Violand

Weitere Helfer der Angelsportvereine Bregenz, Bregenzerwald und Hard

Goldach:

Michael Kugler, Fredi Fehr, Jörg Schweizer, Christoph Birrer, Thomas Stauderer, Olaf Mittmann