

Lachswanderungen in der Aare

Radiotelemetrische Studie an abwandernden Smolts aus Wigger und Bünz

Dezember 2023

Autoren: Lisa Wilmsmeier, Biologin M.Sc., Nils Schölzel, Biologe M.Sc. & A. Peter, Dr. sc. nat. ETH

Projektpartner:

Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Sektion Jagd und Fischerei
Swisslos-Fonds der Kantone Aargau, Basel-Landschaft und Basel-Stadt

Durchführung der Studie

FishConsulting GmbH
Hagmattstrasse 7
4600 Olten
apeter@fishconsulting.ch

Kontaktperson Projektpartner

Corinne Schmid
Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Sektion Jagd und Fischerei
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau
corinne.schmid@ag.ch

Projektleitung

Dr. Armin Peter, FishConsulting GmbH, Olten

Zitierungsvorschlag

Wilmsmeier, L., N. Schölzel & A. Peter. 2023. Lachswanderungen in der Aare. Radiotelemetrische Studie an abwandernden Smolts aus Wigger und Bünz. Studie in Zusammenarbeit mit der Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau. 41 Seiten.

Hinweis

Für den Inhalt dieser Studie ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Fotos auf dem Titelblatt:

Fangstrecke an der Bünz
Radioantenne an der Aare
Junglachs (Parr) in der Wigger



1 Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund	3
1.1 Biologie und Gefährdung des Atlantischen Lachses	3
1.2 Der Lachs in der Schweiz	5
1.3 Ziele	7
2 Methoden	8
2.1 Untersuchungsperimeter	8
2.2 Radiotelemetrie	9
2.2.1 Herkunft, Markierung und Aussatz der Fische	9
2.2.2 Stationäres und mobiles Tracking	11
2.2.3 Datvalidierung	14
2.3 Wanderdistanzen und Überlebensraten	14
2.4 Wandergeschwindigkeiten	14
2.5 Umweltparameter	15
2.6 Detektionswahrscheinlichkeit der stationären Antennen	15
3 Resultate	16
3.1 Biometrische Daten der markierten Fische	16
3.2 Lachswanderung aus der Wigger	17
3.2.1 Abstieg aus der Wigger	17
3.2.2 Wanderung der Wiggerlachse in der Aare	17
3.3 Lachswanderung aus der Bünz	19
3.3.1 Abstieg aus der Bünz	19
3.3.2 Überlebensraten der Bünzlachse in der Aare	20
3.3.3 Wanderwege in der Aare	21
3.3.4 Wandergeschwindigkeiten in der Aare	24
3.3.5 Umweltparameter während der Wanderung in der Aare	26
3.3.6 Tageszeitliche Aktivitätsmuster	27
3.4 Detektionswahrscheinlichkeit der stationären Antennen	28
4 Diskussion	29
4.1 Markierte Lachse	29
4.2 Abstieg aus den Seitengewässern	29
4.3 Überlebensraten in der Aare	30
4.4 Wandergeschwindigkeiten	32
4.5 Tageszeit	33
4.6 Eignung der Radiotelemetrie zur Untersuchung der Lachswanderung	33
5 Zusammenfassung und Fazit	35
5.1 Zusammenfassung Projektgrundlagen und Methoden	35
5.2 Zusammenfassung Resultate	35
5.3 Fazit	36
6 Dank	38
7 Literatur	39
8 Anhang	41



1 Hintergrund

1.1 Biologie und Gefährdung des Atlantischen Lachses

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*, im Folgenden nur "Lachs") wandert als anadrome Fischart zwischen Fließgewässer und Meer. Geboren wird er im Fließgewässer, wo er in unseren Breitengraden meist ein bis drei Jahre verbleibt, bevor er dann im Frühling Richtung Nordsee abwandert. In Spanien, Frankreich, Südengland, New England und in der Schweiz (Kunz 2014; Peter 2015) wandern viele Lachse bereits nach einem Jahr ab. Mit zunehmendem Breitengrad sind sie bei der Abwanderung zwei bis vier Jahre alt. Für den Wechsel vom Süß- ins Salzwasser müssen die Jungfische grosse physiologische Anpassungen durchlaufen. Die adaptive Spezialisierung für flussabwärts gerichtete Wanderungen, den Eintritt ins Meerwasser sowie den marinen Aufenthalt (McCormick et al. 1998) wird Smoltifizierung genannt, die abwandernden Lachse selbst werden als Smolts bezeichnet. In der Regel verbleiben Lachse ein bis vier Jahre im Meer (Jonsson & Jonsson 2011), wo sie dank des guten Nahrungsangebotes schnell wachsen. Dann treten sie die Rückreise in ihr Geburtsgewässer an, um sich dort fortzupflanzen (*Homing*). Atlantische Lachse gelten als iteropar, d. h. sie können sich mehrmals fortpflanzen. Adulte Tiere, die die anstrengende Wanderung und das Laichgeschäft überlebt haben, wiederholen nach der Reproduktion ihre Abwanderung vom Fließgewässer ins Meer und wieder zurück.

In der vorliegenden Studie wurde die Abwanderung von Smolts aus ihren Ursprungsgewässern und durch einen Abschnitt der Aare bis in den Rhein untersucht, weshalb hier noch etwas genauer auf diesen Lebensabschnitt der Lachse eingegangen wird. Damit die Smoltifizierung einsetzt, muss ein juveniler Lachs auf Umwelteinflüsse reagieren können. Dies ist ab einer Grösse von ungefähr 15 cm der Fall (Jonsson & Jonsson 2011). Morphologische Anpassungen sind offensichtlich: Ablagerungen von Guanin und Hypoxanthin in der Haut und in den Schuppen überdecken die Parrmarken (dunkle Flecken entlang der Seitenlinie) und resultieren in der für die Smolts typischen silbernen Farbe, welche vorwiegend zur Vermeidung von Prädatoren dient (McCormick et al. 1998). Auch die roten Punkte gehen verloren, dafür treten dunkle Flossenränder auf. Die Smolts wachsen mehr in der Länge als beim Gewicht, was in der Regel zu einem reduzierten Konditionsfaktor führt. Ende Winter/Frühling ist der Smolt bereit, die lange Abwanderung ins Meer anzutreten. Bei der Abwanderung legen die Lachse pro Tag in der Regel zwischen 5 – 60 km zurück (Lothian et al. 2017; Thorstad et al. 2012). Die Abwanderungsgeschwindigkeiten variieren zwischen unterschiedlichen Populationen, wobei der Abfluss eine entscheidende Rolle spielt. Imbert et al. (2013) beobachteten in der Allier Schwimmdistanzen von 5 – 106 km pro Tag. Aarestrup et al. (2002) wiesen für die wilden Lachse deutlich höhere Abwanderungsgeschwindigkeiten nach (13 – 23 km/Tag) als für Zuchtsmolts (2 – 6 km/Tag). Die Unterschiede zwischen den einzelnen Individuen sind allerdings in allen Studien sehr gross, im Bereich von Schwimmgeschwindigkeiten von weniger als 1 km/Tag bis 112 km/Tag. Zur natürlichen Mortalität von Smolts während ihrer Wanderung gibt es erst wenige Untersuchungen. Diese zeigen Werte von 0.77 % pro km in den Wanderungen in den Flüssen (Lothian et al. 2017). In den Ästuaren (Mündungsbereich der Flüsse ins Meer) sind jedoch mit deutlich höheren Mortalitäten zu rechnen (0.6 – 36 % pro km, Økland et al. (2006)). Der grösste Verlust kommt dabei vermutlich durch Prädation zustande. Um die Gefahr der Prädation zu verringern, wandern die Smolts meist nachts (Thorstad et al. 2012).

Wasserverschmutzung, Überfischung, die Begradigung der Fließgewässer, fehlende Konnektivität zwischen Haupt- und Seitengewässer und der dadurch entstehende Verlust von Lebensräumen führte wie bei vielen anderen Fischarten zu starken Bestandesrückgängen des Lachses. Als ausgesprochener Langdistanzwanderer wird der Lachs jedoch besonders stark durch den Bau von Wasserkraftwerken, welche die Durchgängigkeit der Gewässer massiv beeinträchtigen, beeinflusst. Diese blockieren oder verzögern einerseits die Wanderung der adulten Tiere in ihre Laichgewässer. Mit effizienten Fischaufstiegsanlagen kann die Durchgängigkeit flussaufwärts zumindest teilweise wieder hergestellt werden. Wasserkraftwerke stellen jedoch auch für die abwandernden Smolts ein Hindernis dar. In Stauräumen müssen sie langsam fließende Flussabschnitte passieren, die die Wanderzeit verlängern und die Gefahr von Prädation erhöhen (Havn et al. 2020). Die Kraftwerke selbst können bisher meist nur durch



die Turbinen oder über die Wehre passiert werden. Dabei besteht eine erhöhte Verletzungsgefahr durch die Turbinen (direkter Kontakt, Druckunterschiede) sowie den Aufprall im Wehrkolk, begleitet von einem erhöhten Prädationsrisiko direkt nach der Kraftwerkspassage. Schutzeinrichtungen und sichere Abwanderkorridore (Bypässe) sind insbesondere an grossen Anlagen bisher nur selten vorhanden. Auch wenn die Mortalität der Smolts an einzelnen Kraftwerken gering ist, kann der kumulative Effekt mehrerer Passagen bei Kraftwerksketten, wie sie an der Aare oder dem Rhein zu finden sind, insgesamt zu erheblichen Verlusten führen. Bei einer Kraftwerkskette mit acht Anlagen in Schweden betrug die Gesamtmortalität von *Salmo salar*-Smolts beispielsweise 84 %. Davon werden 8 % dem Verlust in freifliessenden Strecken zugeschrieben, 76 % den Kraftwerken (Mortalität in Reservoirs und bei der Passage; Abbildung 1, Norrgård et al. (2013)). Nyqvist et al. (2017) untersuchten die Wanderung von *Salmo salar*-Smolts über drei Kraftwerksstufen hinweg am Winooski River (USA). Von 81 markierten Fischen initiierten 50 (61.7 %) eine Wanderung flussabwärts. Nur 10 % dieser Fische erreichten ihr Ziel in einem See 50 km und drei Staustufen weiter flussabwärts. Zwischen Zuchtfischen, und solchen, die als Brütlinge im Gewässer ausgesetzt wurden, stellten sie keinen Unterschied im Wandererfolg fest.

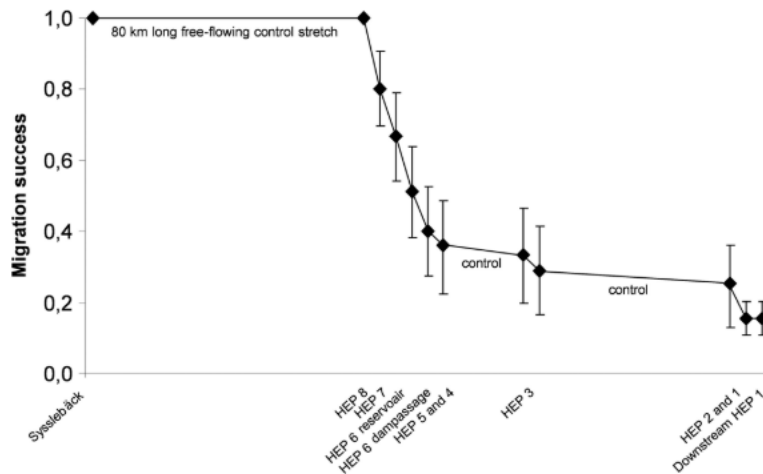


Abbildung 1: Geschätzte Überlebensrate entlang eines 180 km langen Untersuchungsabschnitts mit acht Kraftwerken. Fehlerbalken zeigen die 95%-Konfidenzintervalle. HEP = Wasserkraftwerk. Aus Norrgård et al. (2013)



1.2 Der Lachs in der Schweiz

Früher wanderten zahlreiche Atlantische Lachse aus der Nordsee bis zu ihren Laichplätzen im Rhein-Aare-Einzugsgebiet. Der Bau der grossen Flusskraftwerke an Rhein, Aare, Limmat, Reuss etc. führte zu einer Fragmentierung der grossen Flusssysteme. Da effiziente Aufwanderhilfen nur an wenigen Kraftwerken vorhanden waren, wurden so auch die Wanderungen der anadromen Fischarten blockiert. Mit dem Bau des Kraftwerkes Beznau 1902/03 verschwand der Lachs aus dem System der Aare (Peter et al. 2010). Die Fertigstellung des Kraftwerkes Kembs unterhalb von Basel 1932 bedeutete schliesslich das Ende des Lachses in schweizerischen Gewässern (Abbildung 2).

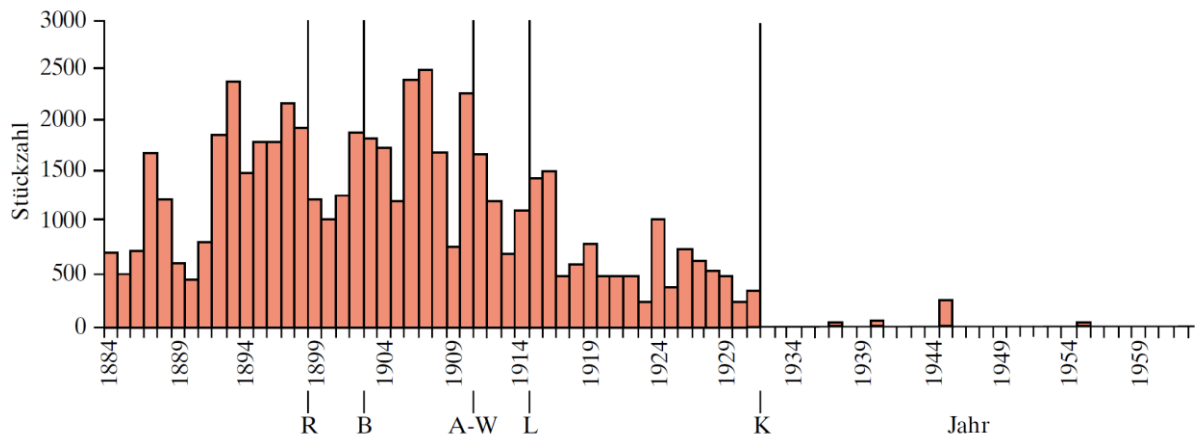


Abbildung 2: Lachsfänge in der Schweiz (Peter et al. 2010, aus Müller 1992). Die vertikalen Striche bezeichnen die Inbetriebnahme der Kraftwerke Rheinfelden (R), Beznau (B), Augst-Wyhlen (A-W), Laufenburg (L) und Kembs (K, unterhalb von Basel). Die kriegsbedingte Zerstörung am Kraftwerk Kembs ermöglichte 1945 nochmals einigen Hundert Lachsen den Aufstieg in die Schweiz.

Heute gilt der Atlantische Lachs in der Schweiz als ausgestorben (Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF), Stand 01.01.2021) und gleichzeitig als national prioritäre Art (BAFU 2019). Die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), in der auch die Schweiz vertreten ist, hat sich die Rückkehr des Lachses in den Hochrhein bis zum Jahr 2020 zum Ziel gesetzt (Dönni et al. 2016). Dazu setzen die Rheinanstösser ein internationales Wiederansiedlungsprogramm zur Aufwertung des Lebensraums und ein Besatzprogramm mit Junglachsen um. Seit zirka der 1980er Jahre werden geeignete Gewässer im Raum Basel mit jungen Lachsen besetzt. In den letzten Jahren wurden einige Aare-zuflüsse im Kanton Aargau ebenfalls in das Besatzprogramm mit Junglachsen einbezogen. Die Wiederansiedlungsmassnahmen sollen mit intensiven Wirkungskontrollen überprüft werden, unter anderem mit der Bestimmung der Mortalitätsraten der Lachssmolts beim Abstieg (Vonlanthen et al. 2020).

Zur Ökologie der jungen Lachse in schweizerischen Fließgewässern wurden ausführliche Arbeiten im Möhlinbach (Kt. AG) durchgeführt (Kunz 2014; Peter 2015). In diesen Studien wurden die ökologischen Ansprüche der Lachse in einem direkten Rheinzuffluss untersucht. Zudem wurden das Abwanderverhalten und der exakte Zeitpunkt der Abwanderung aus dem Seitengewässer erfasst. Anhand von markierten Junglachsen konnte aufgezeigt werden, dass die Smolts zwischen November und Mai aus dem Seitengewässer Richtung Rhein abwandern. Verglichen mit der Literatur ist diese Abwanderungsdauer als relativ lange zu bezeichnen (i. d. R. während drei bis sieben Wochen zwischen April und Juli (Thorstad et al. 2012)). Der Schwerpunkt der Abwanderung im Möhlinbach lag zwischen Ende Februar und Ende April. Die Wassertemperatur und der Abfluss spielten eine Schlüsselrolle für das Abwanderungsgeschehen. Die Smolts wandern in der Regel bei erhöhter Wasserführung, vor allem bei absteigender Abflussmenge nach einem Hochwasser und bei einer Wassertemperatur von mindestens 6 °C ab.



Zu den Überlebenschancen der abwandernden Smolts wurden in der Schweiz bisher keine Untersuchungen durchgeführt. Für die hier ausgesetzten Lachse bestehen viele Hindernisse auf dem Weg in die Nordsee. Auf der Abwanderung von der Schweiz bis ins Meer legen die Lachse ab der Aaremündung bis in die Nordsee rund 935 km zurück. Dabei müssen sie (je nach Aussatzgewässer) bis zu 17 Kraftwerksstufen im Rhein passieren. Für Lachse, die in den Seitengewässern der Aare ausgesetzt werden, kommen bis zu sieben weitere Stautufen hinzu (Abbildung 3). Dabei kann es sowohl bei der eigentlichen Kraftwerkspassage (via Turbinen oder Wehre) als auch im Stauraum (Prädation) zu erheblichen Verlusten kommen. Es ist deshalb nicht bekannt, ob die hier ausgesetzten Fische in der Lage sind, die verschiedenen Kraftwerksstufen inkl. deren Stauräume zu passieren und bis in den Rhein, geschweige denn in die Nordsee, zu gelangen. Dies wäre jedoch eine zwingende Voraussetzung für eine erfolgreiche Wiederansiedelung des Lachses mit den bisher durchgeführten Besatzmassnahmen.

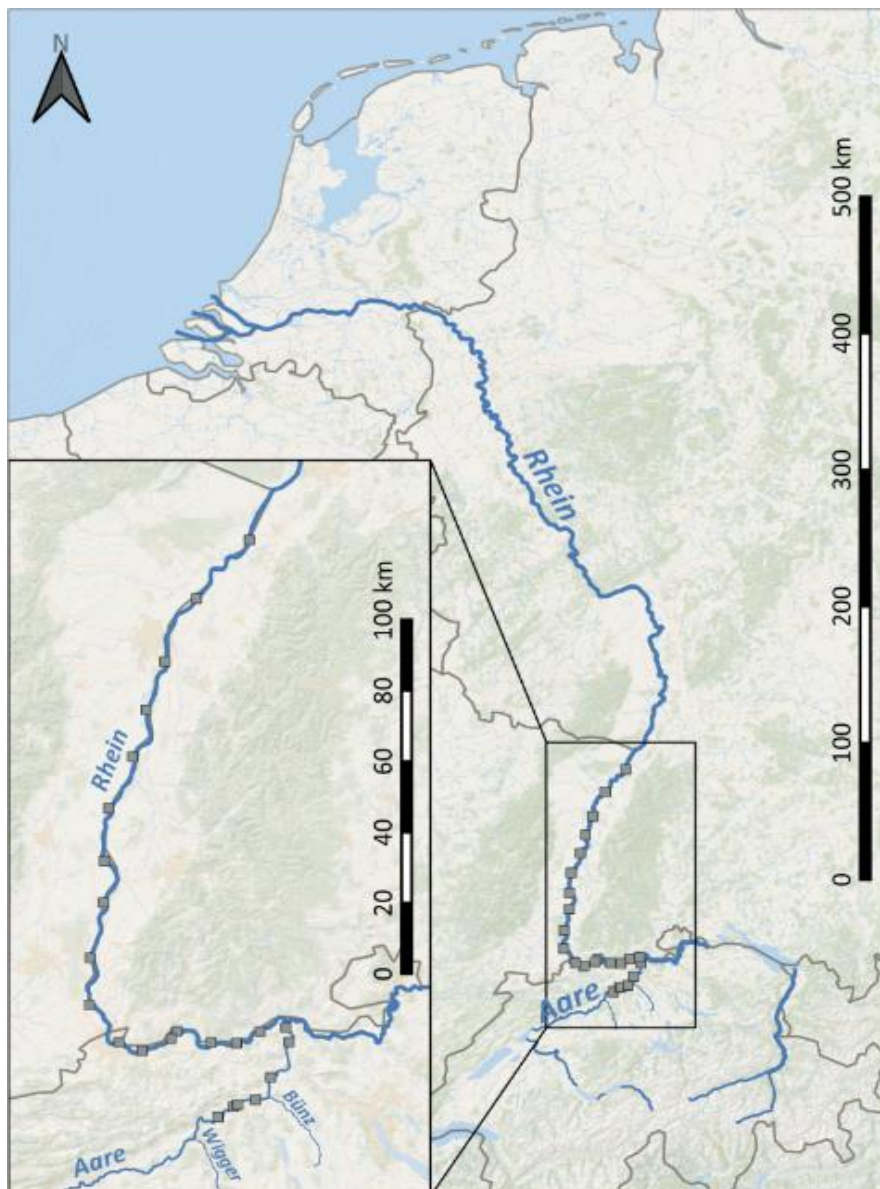


Abbildung 3: Weg der Lachswanderung von der Aare via Rhein in die Nordsee. Graue Quadrate = Kraftwerksstufen



1.3 Ziele

Um die vorhandenen Wissenslücken zu reduzieren hat die FishConsulting GmbH (in Zusammenarbeit mit den Kantonen Aargau, Basel-Landschaft und Basel-Stadt) ein Projekt vorgeschlagen, welches die Abwanderungen der Lachssmolts aus Zuflüssen der Aare dokumentiert. Junglachse (Smolts) aus der Wigger wurden kurz vor ihrer Abwanderung mit Radiosendern markiert und anhand von mehreren Detektierstationen entlang der Aare auf ihrem Weg in den Rhein erfasst. Da 2021 in der Wigger nur sehr wenige Smolts gefangen werden konnten, wurde das Projekt ein Jahr später auf die Bünz ausgeweitet. Neben den in der Bünz gefangenen Smolts («semi-wilde» Fische) wurden hier auch Zuchtfische ausgesetzt (s. Kapitel 2.2.1). Somit sind Daten von zwei verschiedenen Gewässern und Herkünften vorhanden.

Folgende Parameter werden für die Lachssmolts erhoben:

- Wanderdistanz bzw. -erfolg
 - Wie viele der markierten Smolts verlassen die Seitenbäche?
 - Wie weit gelangen die Smolts in der Aare?
 - Wie viele Smolts erreichen den Rhein?
- Wanderwege beim Durchschwimmen der ersten Staustrecke in der Aare KW Gösgen (Wiggerlachse) bzw. KW Wildegg-Brugg (Bünzlachse)
 - Wie viele Smolts wandern durch welchen Korridor (Kraftwerkskanal vs. Restwasserstrecke)?
- Abstiegszeit und Wandergeschwindigkeit
 - In welchem Zeitraum wandern die Fische aus den Seitenbächen in die Aare?
 - Wie lange dauert die Wanderung bis zum Rhein?
 - Wie hoch sind die Wandergeschwindigkeiten in verschiedenen Gewässerabschnitten (nur Lachse aus der Bünz)?
- Umweltfaktoren
 - Bei welchem Abfluss und welcher Temperatur beginnen die Smolts die Wanderung (nur Bünz)?
 - Bei welchem Abfluss und welcher Temperatur wandern die Smolts in der Aare (nur Bünz)?
 - Zu welcher Tageszeit wandern die Smolts?
- Unterschiede zwischen semi-wilden und Zuchtfischen (nur Bünz)

Gibt es zwischen den beiden Gruppen Unterschiede in ...

 - ... dem Anteil der aus dem Seitengewässer abwandernden Fischen?
 - ... dem Zeitpunkt des Abwanderns aus dem Seitengewässer?
 - ... dem Wandererfolg in der Aare?
 - ... der Wandergeschwindigkeit insgesamt und in den einzelnen Abschnitten?

Zudem wird die Detektionswahrscheinlichkeit der einzelnen Radiotelemetriestationen ausgewiesen.



2 Methoden

2.1 Untersuchungsperimeter

Der Untersuchungsperimeter erstreckte sich vom Fang- bzw. Aussatzzort der markierten Fische in den Zuflüssen Wigger und Bünz bis zur Mündung der Aare in den Rhein. Sowohl die Wigger als auch die Bünz sind rechtsufrige Zuflüsse zur Aare im Kanton Aargau. Die **Wigger** mündet bei Aarburg in die Aare. Der revitalisierte Abschnitt, in dem die Lachsbrütlinge ausgesetzt und später die Smolts gefangen wurden, liegt etwa 750 m oberhalb der Mündung. Er bietet eine relativ hohe Breiten- und Tiefenvarianz, jedoch durch die weitaus fehlende Uferbestockung eher wenig Fischunterstände. Im weiteren Perimeter ist die Ökomorphologie des Gewässers stark beeinträchtigt. Zudem handelt es sich um eine Restwasserstrecke, die sich im Sommer stark erwärmen kann. Die **Bünz** liegt ca. 30 km weiter flussabwärts. Sie mündet bei Wildegg in den Aabach, welcher nach weiteren 230 m in die Aare fliesst. Im langjährigen Mittel beträgt das Mittelwasser (Q_{182}) der Bünz $1.19 \text{ m}^3/\text{s}^1$, die Wassertemperatur $11.6 \text{ }^\circ\text{C}^2$ (Messstation Othmarsingen, BUVALG Kanton Aargau). Die Maximalwerte liegen in der Regel um $22 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Der ökomorphologische Zustand im weiteren Perimeter des Fang- und Aussatzzortes der Lachse in der Bünz ist wenig bis stark beeinträchtigt. Die Uferbestockung ist hier etwas dichter als an der Wigger.



Abbildung 4: Fangstrecken der Smolts an der Wigger bei Aarburg (links) und der Bünz bei Möriken (rechts)

Der mittlere Abfluss der Aare beträgt im Bereich des Untersuchungsperimeters $313 \text{ m}^3/\text{s}^3$ (Messstation Brugg, BAFU). Mit einem mittleren Gefälle von 0.9 ‰ zwischen dem Bielersee und der Mündung in den Rhein bei Koblenz, gehört dieser Abschnitt der Aare zur Barbenregion (Epipotamal). Der Lebensraum der Aare ist anthropogen stark beeinträchtigt. Die ersten grossen Korrekturen an der Aare wurden in der Mitte des 19. Jahrhundert durchgeführt. Dabei wurde der Fluss vielerorts stark begradigt und die Uferzonen reduziert und verbaut. Die Durchgängigkeit der Aare wurde erstmals durch den Bau des KW Rüchlig bei Aarau im Jahre 1882 beeinträchtigt. In kurzer Zeit wurden daraufhin weitere Kraftwerke gebaut. Heute ist die Fließstrecke der Aare zwischen der Mündung in den Rhein und der Bünz durch drei, zwischen Rhein und Wigger durch sieben Wasserkraftwerke geprägt (Abbildung 7 und Abbildung 8). Die Standorte der Detektierstationen zur Registrierung abwandernder Fische werden in Kapitel 2.2.2 beschrieben.

¹ Periode 1977 – 2022

² Periode 2005 – 2021

³ Periode 1935 - 2019



2.2 Radiotelemetrie

Alle Lachssmolts wurden mit einem individuellen Radiosender (Nanotag, LOTEK Wireless Inc., Canada) versehen. Diese aktiven Tags senden alle paar Sekunden einen individuellen Code aus, welcher von fest installierten (stationären) oder mobilen Antennen empfangen und auf einem Empfangsgerät gespeichert werden. Die Lebensdauer der Sender ist begrenzt und abhängig von der Grösse der Batterie und dem gewählten Sendeintervall (Details s. folgendes Kapitel).

2.2.1 Herkunft, Markierung und Aussatz der Fische

Sowohl in der Wigger als auch in der Bünz wurden Lachse, die durch die Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau im Frühsommer als Brütlinge ausgesetzt worden waren, mittels Elektrofischerei gefangen. Diese Fische werden in Folge als "semi-wild" bezeichnet. In der Wigger wurden in der Strecke von der ARA Aarburg bis zur Bernstrasse (1'000 m), in der Bünz in der Strecke bei Möriken, Roossmatten (400 m) jeweils die für Junglachse geeigneten Habitate befishet. Da in der Wigger 2021 nur sehr wenige semi-wilde Fische gefangen werden konnten, wurden für den Projektteil in der Bünz zusätzlich Zuchtfische aus einer Fischzucht im Elsass (Obenheim) organisiert ("Zuchtfische"). Die Fische wurden in der Fischzucht des Kantons Basel-Landschaft zwischengehäлтert und von dort direkt an die Bünz transportiert.



Abbildung 5: In der Bünz ausgesetzter semi-wilder Lachssmolt (oben) und Lachssmolt aus der Fischzucht (unten)



Alle Fische wurden für die Biometrie und Markierung am Gewässer in belüfteten Becken gehältert und einzeln in einem Narkosebecken mit 2-Phenoxyethanol (0.25 ml/l) bis zur Anästhesiestufe 5 (Verlust der Reflexreaktionsfähigkeit) betäubt. Von jedem Individuum wurden das Gewicht und die Totallänge erhoben und beidseitige Fotos erstellt. Anhand des Fotos wurde später der Grad der Smoltifizierung jedes Fisches gem. Tabelle 1 bestimmt.

Tabelle 1: Einteilung der Smoltifizierung in verschiedene Stadien

Stadium	Beschreibung
1	Fisch weist deutliche Parr-Marken (vertikale dunkle Bänder auf den Flanken) auf
2	Parr-Marken weniger gut sichtbar, silbrige Färbung der Flanken hat eingesetzt
3	Fisch fast oder völlig silbrig, mit dunklen Flossen, stromlinienförmig

Für die Markierung wurden die Radiosender NTF-2-1 (0.3 g, Sendeintervall 10 s, Lebensdauer min. 56 Tage) und NTF-3-2 (0.57 g, Sendeintervall 7 s, Lebensdauer min. 100 Tage) verwendet. Bei der Markierung wurde darauf geachtet, dass das Gewicht des Radiosenders maximal 2 % des Körpergewichtes des Smolts betrug. Die Operation erfolgte unter Versorgung der Kiemen mit Frischwasser via einen Schlauch auf einem Operationstisch. Ein ca. 10 – 15 mm langer Schnitt (je nach Grösse des Radiosenders) mit dem Skalpell auf der medio-ventralen Linie zwischen den Brust- und Bauchflossen öffnete die Bauchhöhle. Anschliessend wurde mit einer Kanüle die Haut durchstochen. Über diese Kanüle wurde die Antenne des Radiosenders eingezogen und anschliessend der Sender in der Bauchhöhle des Fisches platziert. Der Schnitt wurde mit 1 – 2 Stichen und einem sterilen Seidenfaden (*braided silk sutures*, Ethicon) geschlossen. Anschliessend wurden die Fische in ein Becken mit belüftetem Frischwasser gesetzt und bis zum Aussatz überwacht. Der Aussatz erfolgte nach einer Erholungszeit von mindestens einer Stunde in der Nähe des Markierstandortes (Wigger 2'634'879/1'240157, Abbildung 7; Bünz 2'656'304/1'251318, Abbildung 8). Insgesamt wurden in der Wigger acht semi-wilde, in der Bünz 46 semi-wilde und 31 Zuchtfische markiert (Tabelle 2). Bis zum Aussatz der Fische gab es keine Verluste durch den Fang, die Hälterung oder die Markierung.



Abbildung 6: Radiomarkierung (Nanotag, NTF-3-2) mit Antenne (Gewicht: 0.57 g)

Tabelle 2: Anzahl markierter Lachse pro Gewässer, Datum und Herkunft

Gewässer	Datum	Herkunft	Anzahl Fische	Total Fische
Wigger	11.03.2021	Semi-wild	4	8
	11.11.2021	Semi-wild	4	
Bünz	14.03.2022	Semi-wild	46	77
	15.03.2022	Zucht	31	



2.2.2 Stationäres und mobiles Tracking

Die Wanderbewegungen der Lachse wurden primär anhand von stationär installierten Empfangsgeräten beobachtet. Die Detektierstationen bestanden jeweils aus einer oder mehreren Antennen (3- oder 5-Element-YAGI-Antennen), die mit einem Empfangsgerät (SRX 800D, Lotek Wireless Inc., Canada) verbunden waren. Über eine GPS-Antenne wurde die interne Uhr der Empfangsgeräte synchronisiert. Sowohl bei der Wigger als auch bei der Bünz befand sich die erste Detektierstation bei der Mündung des Aussatzgewässers in die Aare. Bei der ersten Staustufe flussabwärts wurden die Antennen so installiert, dass unter Umständen eine Unterscheidung der Wanderkorridore (Kraftwerkskanal oder Restwasserstrecke) möglich war. Weitere Stationen im Verlauf der Aare zeichneten auf, welche Fische wie weit wanderten. Für den Projektteil Bünz wurden dazu zusätzliche Detektierstationen installiert. Die unterste Station befand sich bei beiden Projektteilen an der Mündung in den Rhein. Zusätzlich wurden die jeweils aareaufwärts der Seitenbäche liegenden Stationen aus anderen Projekten der FishConsulting GmbH auf allfällige Detektionen flussaufwärts schwimmender Fische geprüft. Eine Übersicht über die verschiedenen Detektierstationen geben Abbildung 7 und Tabelle 3 für die Wigger sowie Abbildung 8 und Tabelle 4 für die Bünz.

Zudem wurden einzelne mobile Trackings entlang der Aussatzgewässer ausgeführt, um den Verbleib der Fische in den Seitenbächen zu überprüfen. Dabei wurden die Gewässer mit einer 3-Element-YAGI-Antenne und einem angeschlossenen Empfangsgerät zu Fuss abgeschritten. Die empfangenen Signale werden dabei automatisch mit dem aktuellen GPS-Standort verknüpft. Die Signale eines Senders sind je nach Gelände bis zu mehreren hundert Metern detektierbar. Als vermuteter Aufenthaltsort des Fisches wurde der GPS-Punkt mit der grössten empfangenen Signalstärke gewählt. In der Aare fanden keine lachsspezifischen Trackings statt. Im Rahmen weiterer FishConsulting-Projekte wurden jedoch mobile Trackings per Fahrrad entlang der Aare durchgeführt. Wurden dabei Lachse gefunden, wurden diese ebenfalls für die Auswertung berücksichtigt. All relevanten Trackings sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Die Einstellungen der Empfangsgeräte wurden jeweils an ihren Standort angepasst. Dies betrifft insbesondere den sogenannten *Gain* (relative Messung der Signalstärke): Eine zu hohe Empfindlichkeit führt dazu, dass viele Störungen in der Umgebung (*Noise*) detektiert werden. Eine zu geringe Empfindlichkeit kann jedoch dazu führen, dass vorhandene Radiosignale nicht erfasst werden. Aus diesem Grunde war es für jede Antenne nötig, einen dem Standort angepassten *Gain* einzustellen. Die stationären Empfänger wurden alle zwei bis drei Wochen auf ihre Funktion überprüft und die gespeicherten Daten heruntergeladen. Die Antenne an der Wiggermündung wurde zwischen den beiden Markierkampagnen ausser Betrieb genommen. Die übrigen Detektierstationen funktionierten während der ganzen Untersuchungszeit ohne Unterbrüche (Betriebszeiten s. Tabelle 4 und Tabelle 5).



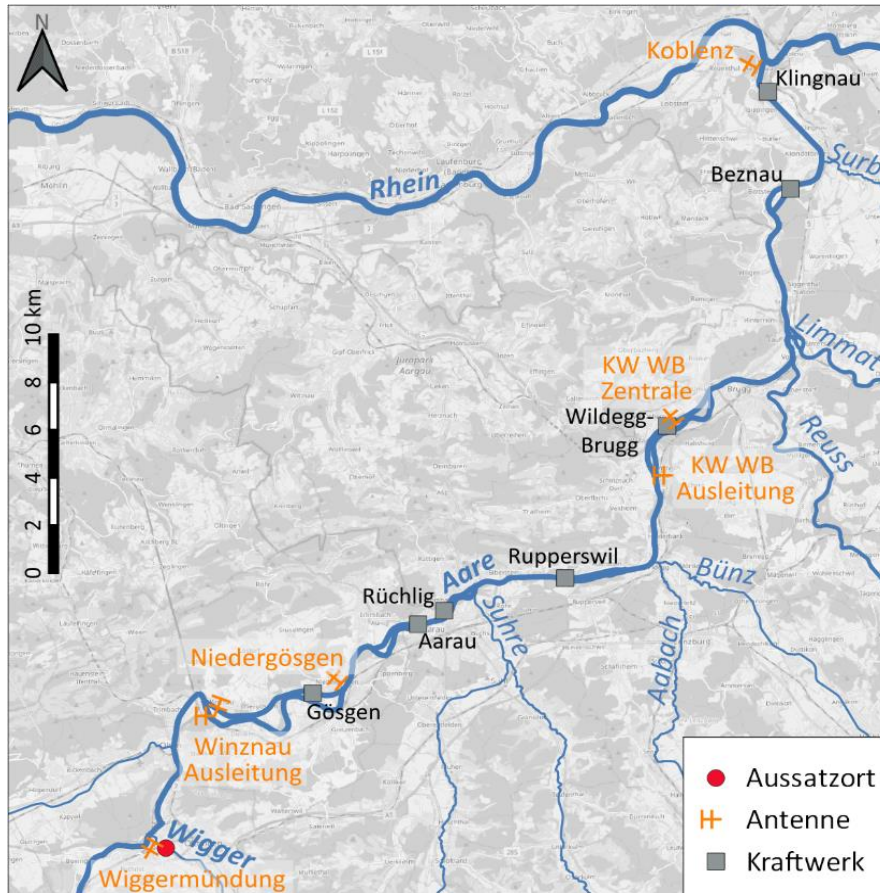


Abbildung 7: Karte des Untersuchungsperimeters für die Wiggerfische, inkl. Aussatzort, Detektierstationen und Aarekraftwerke

Tabelle 3: Detektierstationen für Wiggerfische. Die Station KW Ruppoldingen lag aareaufwärts der Wiggermündung. RW=Restwasserstrecke

Stationsname	Details zum Standort	Distanz zum Aussatzort		Betriebsdauer Antennen
		Via RW	Via Kanäle	
KW Ruppoldingen	Direkt oberhalb der Zentrale des KW Ruppoldingen	2.5 km	2.5 km	02.07.20-12.01.23
Wiggermündung	50 m oberhalb Mündung in die Aare	0.85 km	0.85 km	11.03.21-17.07.21 11.11.21-02.03.22
Winznau Ausleitung	Inselspitze zwischen Oberwasserkanal und RW KW Gösigen; 2 Antennen zur Unterscheidung der Wanderwege	8.2 km	8.2 km	12.05.20-16.09.22
Niedergösigen	160 m unterhalb Zusammenfluss Kraftwerkskanal und RW KW Gösigen	16.8 km	14.4 km	10.03.21-16.09.22
KW WB Ausleitung	50 m oberhalb Ausleitung RW KW Wildegg-Brugg	36.2 km	33.1 km	11.11.20-13.01.23
KW WB Zentrale	65 m unterhalb Turbinenausgang KW Wildegg-Brugg	–	35.6 km	14.03.22-23.05.22
Koblenz	130 m oberhalb Mündung der Aare in den Rhein	60.2 km	56.4 km	25.03.21-12.12.22



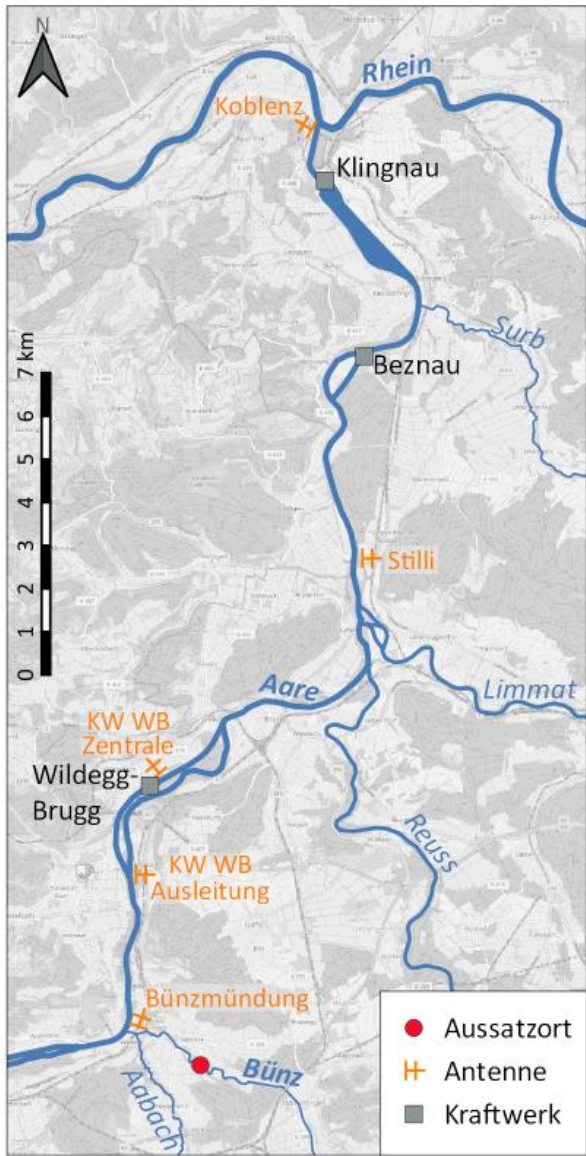


Abbildung 8: Karte des Untersuchungsperimeters für die Bünzfische, inkl. Aussatzort, Detektierstationen und Aarekraftwerke

Tabelle 4: Detektierstationen für Bünzfische. Die Station Niedergösgen lag aareaufwärts der Bünzmündung. RW=Restwasserstrecke

Stationsname	Details zum Standort	Distanz zum Aussatzort		Betriebsdauer Antennen
		Via RW	Via Kanäle	
Niedergösgen	160 m unterhalb Zusammenfluss Kraftwerkskanal und RW KW Gösgen	17.99 km	17.3 km	10.03.21-16.09.22
Bünz-mündung	130 m oberhalb Mündung in die Aare	2.05 km	2.05 km	14.03.22-23.05.22
KW WB Ausleitung	50 m oberhalb Ausleitung RW KW Wildegg-Brugg	5.99 km	5.99 km	11.11.20-13.01.23
KW WB Zentrale	65 m unterhalb Turbinenausgang KW Wildegg-Brugg	–	8.5 km	14.03.22-23.05.22
Stilli	225 m unterhalb der Stillistrassenbrücke	16.19 km	17.3 km	14.03.22-23.05.22
Koblenz	130 m oberhalb Mündung der Aare in den Rhein	28.76 km	29.5 km	25.03.21-12.12.22



2.2.3 Datenvalidierung

Trotz angepasstem Gain können Störungen zu Fehldetektionen führen, bei denen fälschlicherweise Signale protokolliert werden, die nicht von einem Radiosender stammen. Die Rohdaten wurden deshalb in R (R Core Team 2022) entsprechend der verwendeten IDs, Sendeintervallen und Häufigkeit der Detektionen gefiltert. Für jeden Fisch wurden die Zeitpunkte der ersten und letzten Detektionen auf den einzelnen Antennen sowie der unterste Detektionsort automatisiert bestimmt. Zudem wurde für jeden Fisch ein Übersichtsplots mit den validen Signalen aller Antennen erstellt (Abbildung 10). Anhand dieser wurde die automatisch erstellte «Geschichte» jedes Fisches überprüft. Bei Unstimmigkeiten wurden die Rohdaten konsultiert, um die Echtheit bestimmter Signale zu verifizieren. Anhand der Wandergeschwindigkeit wurden zudem einzelne Detektionen ausgeschlossen, die auf Prädation durch fischfressende Vögel hindeuteten.

2.3 Wanderdistanzen und Überlebensraten

Anhand der Anzahl Fische, welche bestimmte Antennenstandorte erreichten (N), wurde berechnet, welcher Anteil der markierten Lachse bis zu welchem Punkt in der Aare gelangte. Fische, die auf einzelnen Antennen verpasst, aber später wieder detektiert wurden, wurden dabei mitberücksichtigt. Da die Lachse im untersuchten Smolt-Lebensstadium eine lineare, flussabwärts gerichtete Wanderung durchführten, kann diese Zahl auch als Überlebensrate angesehen werden. Dabei kann nicht ganz ausgeschlossen werden, dass auch tote, driftende Fische detektiert wurden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass tote Lachssmolts bzw. ihre Sender relativ schnell aus dem Gewässer entfernt oder stationär werden.

Für einen Vergleich zwischen den Abschnitten müssen die Überlebensraten (*s* für *survival*) auf die Abschnittslängen normiert werden. Unter der Annahme einer gleichbleibenden Überlebensrate innerhalb eines Abschnitts wird die Überlebensrate pro km wie folgt berechnet:

$$s_{pro\ km} = \sqrt[l]{s_{Abschnitt}} \quad \text{mit } l = \text{Abschnittslänge in km und } s_{Abschnitt} = \frac{N_{\text{untere Antenne}}}{N_{\text{obere Antenne}}}$$

2.4 Wandergeschwindigkeiten

Zur Bestimmung der Wandergeschwindigkeiten zwischen der Mündung der Seitengewässern und dem Rhein (Station Koblenz) sowie in den einzelnen Abschnitten wurde jeweils die Zeit zwischen der letzten Detektion auf der oberen und der ersten Detektion auf der unteren Antenne berechnet. Verzögerungen, die zwischen der ersten und letzten Detektion auf einer Antenne auftraten (z. B. durch lange Verweildauern oder hin-und-her-schwimmen), werden bei den einzelnen Abschnitten somit nicht abgebildet. Die Distanz zwischen den Antennen wurde in QGIS (QGIS.org 2021) entlang des Flusslaufs berechnet. Dabei wurden sowohl die Distanzen über die Kraftwerkskanäle als auch über die Restwasserstrecken ermittelt (Vgl. Tabelle 3 und Tabelle 4), um der unterschiedlichen Routen der Fische Rechnung zu tragen.



2.5 Umweltparameter

Es wurde untersucht, ob und mit welchen Umweltparametern die Aktivität der Lachse in Verbindung steht. Dafür wurden die Detektionen der Fische an stationären Antennen mit der Wassertemperatur, dem Abfluss und der Tageszeit zum Detektionszeitpunkt verglichen. Diese Analyse beschränkt sich auf die Lachse aus der Bünz, da nur hier Daten zum Abfluss und der Wassertemperatur des Seitengewässers sowie eine ausreichende Anzahl wandernder Smolts vorhanden waren.

Folgende Umweltparameter wurden für die Auswertung verwendet:

- Wassertemperatur der Bünz, Station Othmarsingen
- Abfluss der Bünz, Station Othmarsingen
- Wassertemperatur der Aare, BAFU-Station Aare-Brugg
- Abfluss der Aare, BAFU-Station Aare-Brugg
- Tageszeit inkl. Sonnenstand, bei Brugg⁴

Um Fehler bei der Umstellung von Winter- in Sommerzeit zu vermeiden, werden alle Zeiten (Detektionen und Umweltparameter) in der koordinierten Weltzeit (UTC) angegeben. Diese entspricht der Mitteleuropäischen Winterzeit -1 h bzw. der Mitteleuropäischen Sommerzeit -2 h.

2.6 Detektionswahrscheinlichkeit der stationären Antennen

Die Detektionswahrscheinlichkeit der einzelnen Antennen kann anhand der Detektionen von Fischen an flussabwärts liegenden Stationen ermittelt werden. Für jede einzelne Antenne wird dabei die Anzahl detektierter Fische mit der Anzahl an dieser und weiter flussabwärts detektierter Fische in Relation gesetzt. Da es theoretisch möglich ist, dass ein Fisch mehrere Antennen passiert, ohne detektiert zu werden, handelt es sich dabei nicht um eine genaue Berechnung, sondern um eine Abschätzung. Für die unterste Antenne kann die Detektionseffizienz nicht auf die gleiche Weise ermittelt werden. Ein Vergleich mit den an der flussaufwärts gelegenen Antenne detektierten Fischen ergibt eine Abschätzung einer minimalen Effizienz. Die tatsächliche Detektionswahrscheinlichkeit ist jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit höher, da in dem Abschnitt zwischen den Antennen natürlicherweise eine Abnahme der vorhandenen Fische stattfindet. Aufgrund der geringen Stichprobenzahl an der Wigger wurde die Berechnung der Detektionswahrscheinlichkeiten nur für die Antennen des Projektteils Bünz durchgeführt.

⁴ Datenbezug: https://www.sunrise-and-sunset.com/de/sun/schweiz/brugg__ag



3 Resultate

3.1 Biometrische Daten der markierten Fische

In der Wigger konnten bei zwei Befischungen (Frühling und Herbst 2021) auf einer Strecke von einem Kilometer nur je vier markierfähige Lachse gefangen werden. Diese wiesen Totallängen von 132 – 178 mm (Median 147 mm) und Gewichte von 22 – 59 g (Median 28 g) auf. Die zwei grössten gefangenen Fische waren mit 152 bzw. 178 mm Länge bereits geschlechtsreif (beide männlich).

In der Bünz wurden im Frühling 2022 auf einer Strecke von 400 m 46 markierfähige Lachse gefangen ("semi-wild"). Zusätzlich wurden 31 Lachse aus der Fischzucht Obenheim/Elsass markiert ("Zuchtfische"). Die semi-wilden Lachse wiesen Totallängen von 129 – 184 mm (Median 146 mm) und Gewichte von 18 – 47 g (Median 27 g) auf. Die Zuchtfische waren mit 306 – 382 mm Länge (Median 350 mm) und 243 – 465 g Gewicht (Median 380 g) deutlich länger und schwerer (Abbildung 9). Zehn der Zuchtfische waren laichreife Männchen.

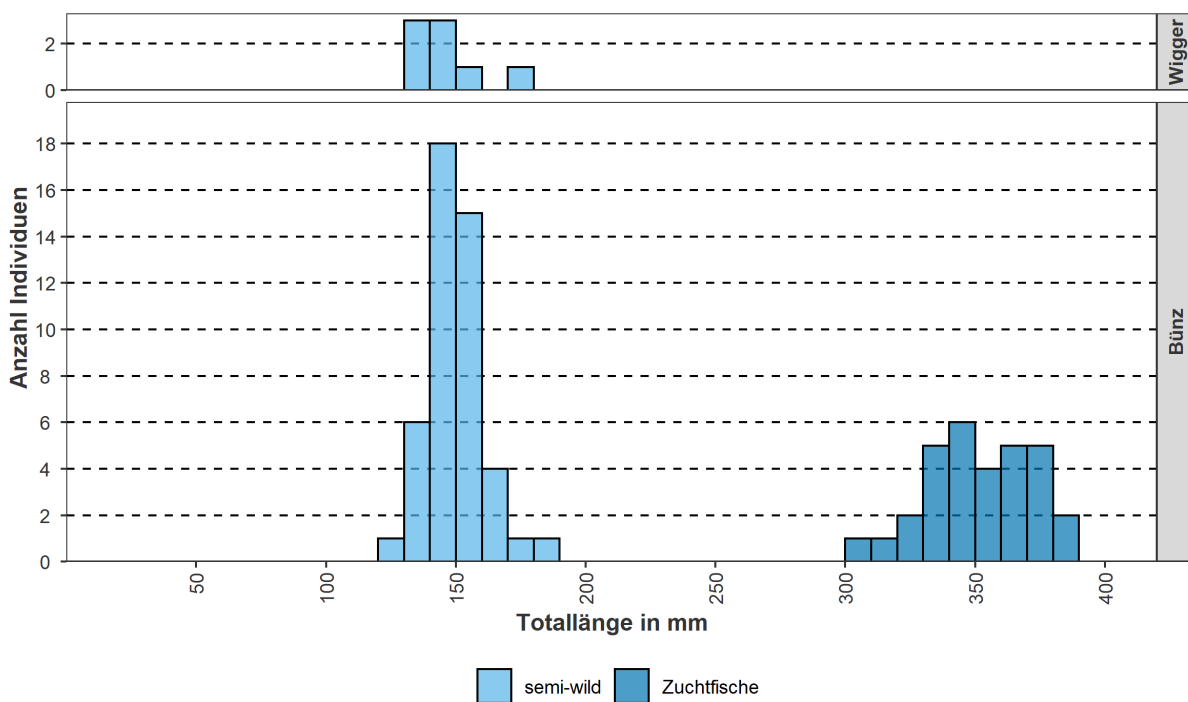


Abbildung 9: Längenfrequenz-Histogramm der in der Wigger (oben) und Bünz (unten) markierten Lachse, unterschieden in semi-wilde (Fang per Elektrofischerei) und Zuchtfische

Der Grad der Smoltifizierung erwies sich als ein schwierig zu beurteilender Parameter. Eine unabhängige Beurteilung durch drei Personen anhand der aufgeführten Kriterien (Tabelle 1) führte zu unterschiedlichen Resultaten und die einzelnen Beurteilungen fielen subjektiv aus. Aus diesem Grunde wird hier nicht näher auf die Resultate der Analyse eingegangen.



3.2 Lachswanderung aus der Wigger

3.2.1 Abstieg aus der Wigger

Insgesamt erreichten vier der acht markierten Lachse (50 %) die Detektierstation an der Wiggermündung. Es wird davon ausgegangen, dass diese Fische die Abwanderung starteten und vom Aussatze- wasser in die Aare einschwammen. Von den im Frühling markierten Fischen schwamm nur einer aus der Wigger aus (am 14.03.21, drei Tage nach der Markierung). Zwei Sender konnten bis Mitte April bzw. Ende Juni noch in der Wigger detektiert werden (Vgl. Abbildung 11, ID 143 bzw. 141). Ob die Fische zu diesem Zeitpunkt noch lebten, oder es sich nur noch um die ausgeschiedenen Sender han- delte, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Von den im November ausgesetzten Fischen schwammen drei aus der Wigger aus. Zwei Lachse verliessen die Wigger noch im Winter, einer erst im folgenden Frühling (Abbildung 11). Nur von einem November-Fisch ist das Ausschwimmdatum bekannt (ID 77, 05.12.21), die beiden anderen wurden an der Detektierstation an der Wiggermündung nicht registriert. Ihr Ausschwimmen aus der Wigger wurde anhand späterer Detektionen in der Aare er- kannt. Die Antenne an der Wigger war bis am 02.03.22 in Betrieb und wurde dann eingestellt, weil die offizielle Lebensdauer der Sender zu Ende ging.

Aufgrund der geringen Stichprobenzahl wird für die Wiggerlachse auf eine weitere Analyse des Aus- schwimmens (z. B. Vergleiche mit Abfluss und Temperatur) verzichtet.

3.2.2 Wanderung der Wiggerlachse in der Aare

Die Detektionen der Wiggerlachse entlang der Aare werden in Abbildung 11 dargestellt. Von den vier Lachsen, die aus der Wigger ausschwammen, wurden nur zwei auch in der Aare detektiert. Beide wur- den im November 2021 markiert. Einer dieser beiden Fische gelangte bis zum Wehr Winznau (ID 67), sein weiterer Verbleib ist unklar. Der andere legte Anfang April 2022 die ganze Strecke bis nach Koblenz zurück, und wurde an jeder Station entlang der Aare registriert (ID 147, Abbildung 10). Insgesamt er- reichte somit einer von acht markierten Lachsen (12.5 %, bei kleiner Stichprobengrösse) aus der Wig- ger den Rhein.

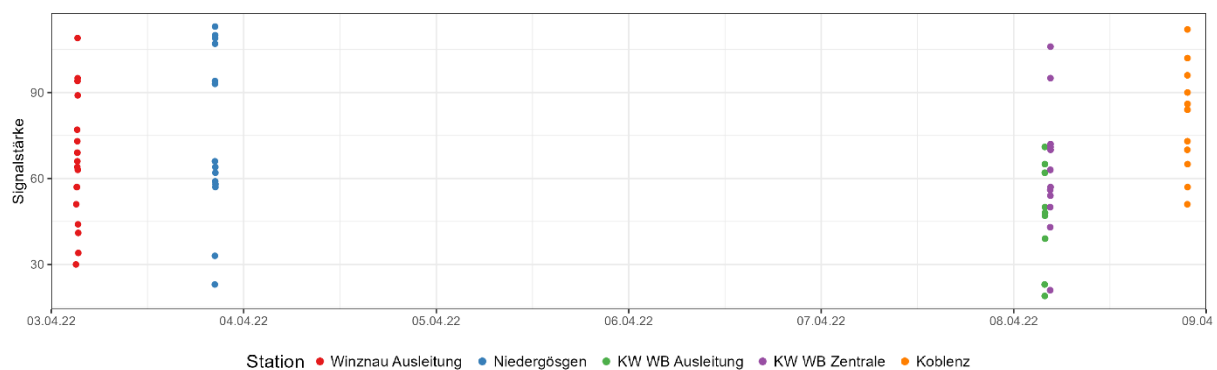


Abbildung 10: Oben: Detektierte Signale des Fisches mit der ID 147 an den Stationen entlang der Aare. Unten: Foto des Smolts mit der ID 147 am Markiertag, Länge 137 mm, Gewicht 24 g



Welchen Wanderkorridor die beiden Lachse am Wehr Winznau benützten, kann nicht mit abschließender Sicherheit ermittelt werden. Anhand der detektierten Signale wird jedoch angenommen, dass die Fische über den Kraftwerkskanal abwanderten. An der Staustufe Wildeg-Brugg stieg der Lachs mit der ID 147 über den Kraftwerkskanal ab und passierte dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit die Turbinen des Kraftwerkes (die einzige Alternative wäre die Fischaufstiegshilfe). Er benötigte für die Strecke vom Wehr Winznau bis zur Aaremündung in den Rhein (48.2 km⁵) 5.8 Tage bzw. 138.4 h. Seine durchschnittliche Wandergeschwindigkeit betrug damit 0.35 km/h. Alle Antennen wurden abends und nachts pas- siert, zwischen 20:23 und 03:04 Uhr.

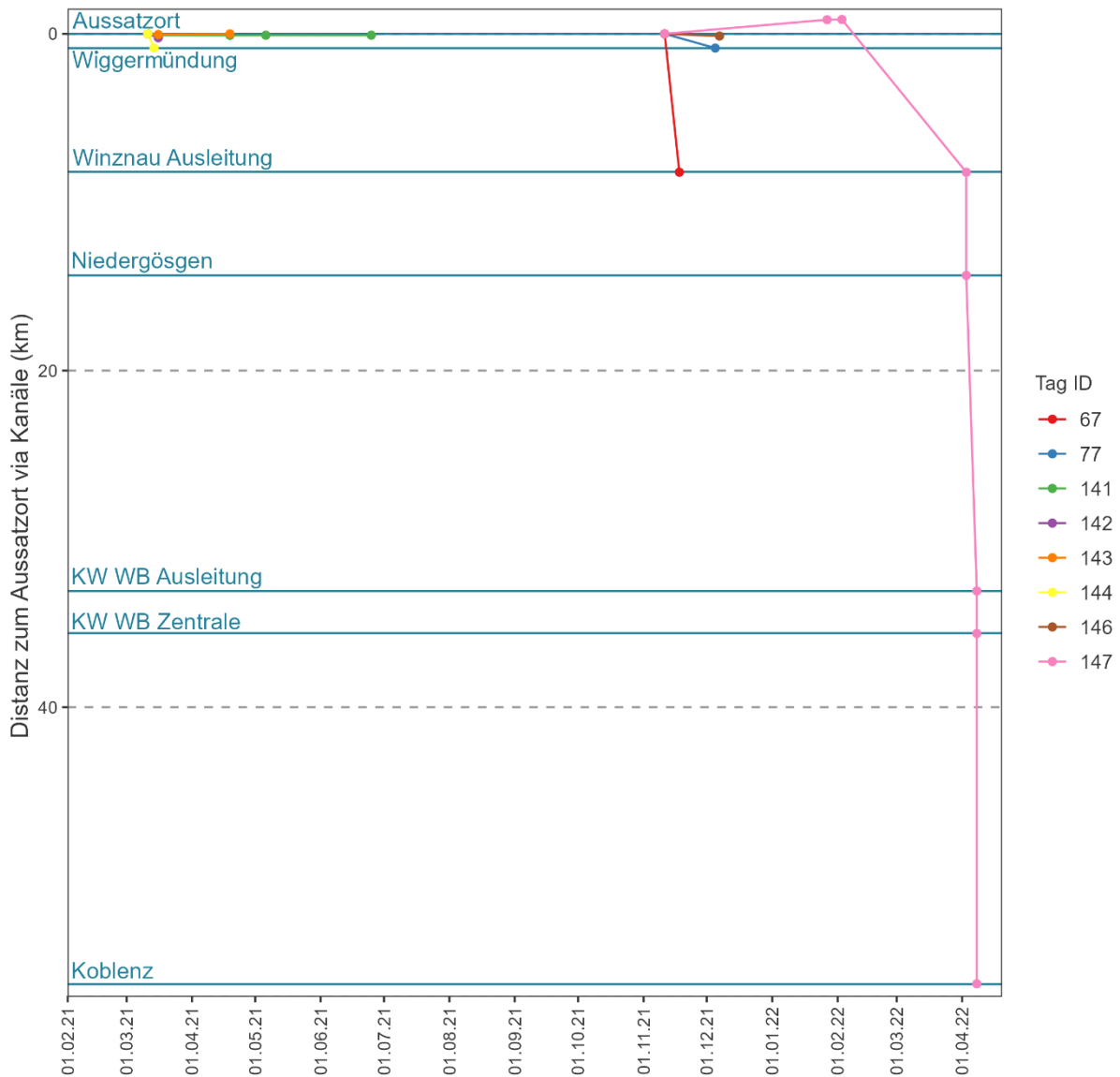


Abbildung 11: Detektionen der Wiggerfische im mobilen Tracking (um den Aussatzort bei km 0) und an den Detektierstationen (übrige blaue Linien) im Laufe der Zeit

⁵ Annahme: Der Fisch benützte an allen Staustufen den Weg über die Kraftwerkskanäle



3.3 Lachswanderung aus der Bünz

3.3.1 Abstieg aus der Bünz

Von den markierten 46 semi-wilden und 31 Zuchtfischen passierten 21 (45.6 %) bzw. 12 (38.7 %) die Mündung der Bünz in die Aare⁶. Es wird davon ausgegangen, dass diese Fische die Abwanderung starteten und vom Aussatzgewässer in die Aare schwammen.

Bei den mobilen Trackings entlang der Bünz wurden drei Tage nach dem Aussatz noch 48 von theoretisch 74 im Gewässer verbleibenden Fischen detektiert. Bei so vielen markierten Fischen in einem kleinen Gebiet sind Signalüberlagerungen wahrscheinlich. Diese können dazu führen, dass weitere vorhandene Fische nicht registriert werden. 20 Tage nach dem Aussatz wurden in der Bünz nur noch fünf von theoretisch 48 verbleibenden Lachsen detektiert und nach 54 Tagen gar keiner mehr. Der weitere Verbleib dieser Fische ist somit unklar.

Abstieg aus der Bünz in Abhängigkeit von Abfluss und Temperatur

Die 20 an der Mündung registrierten semi-wilden Lachse verliessen die Bünz zwischen dem 24.03. und dem 08.04.22, wobei 14 Fische (70 %) innerhalb von drei Tagen (31.03-02.04.) ausschwammen. Die zwölf Zuchtfische verliessen die Bünz vom 16.-31.03., wobei kein spezifischer Abwanderungsspeak erkennbar war. Die Wassertemperaturen der Bünz lagen in diesem Zeitraum durchschnittlich bei 9.4 °C (Bereich 5.8 – 12.1 °C), der Abfluss bei 0.86 m³/s (Bereich 0.56 – 7.4 m³/s). Der Abwanderungsspeak der semi-wilden Lachse fällt mit einem leicht erhöhten Abfluss mit einem Maximum von 1.71 m³/s am 01.04.22 zusammen. Die letzten semi-wilden Lachse wanderten bei einem Hochwasser mit einem Maximum von 7.4 m³/s aus der Bünz in die Aare. Die Abstiege der Zuchtfische erfolgten alle bereits vor der Zeit mit erhöhtem Abfluss (Abbildung 12).

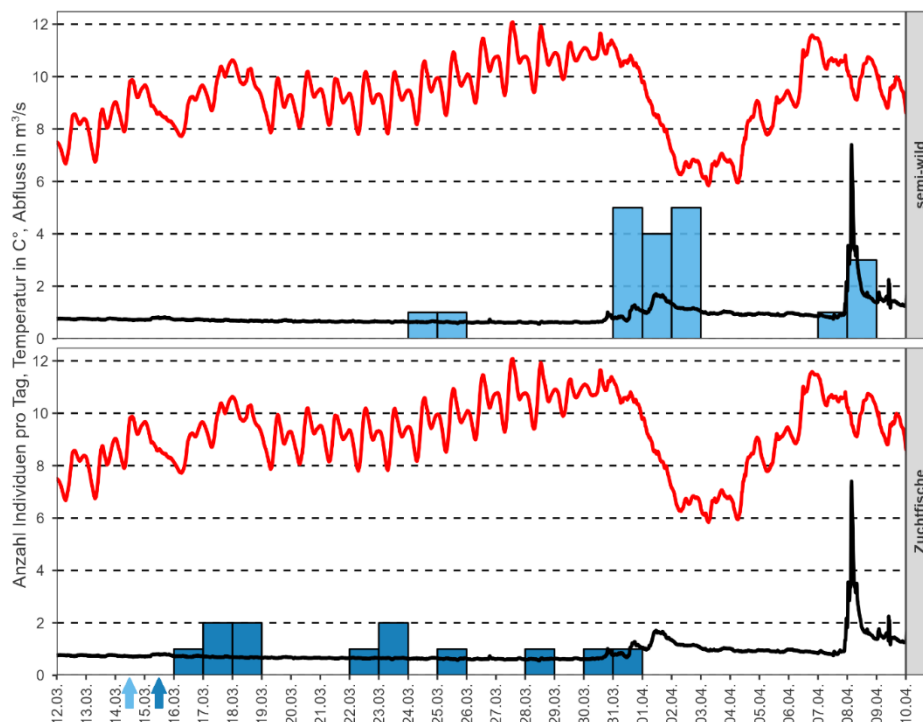


Abbildung 12: Anzahl aus der Bünz abwandernde Lachse pro Tag (letzte Detektion auf der Antenne Bünzmündung), aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische, sowie Wassertemperatur (rot) und Abfluss (schwarz) der Bünz (Station Othmarsingen). Die Pfeile auf der x-Achse bezeichnen das Markierdatum der semi-wilden (hellblau) und Zuchtfische (dunkelblau).

⁶ Ein semi-wilder Lachs wurde zwar nicht an Bünzmündung, aber an allen weiteren Antennen registriert. Es wird angenommen, dass ein normaler Abstieg erfolgte und der Fisch bei dieser Detektierstation verpasst wurde.



3.3.2 Überlebensraten der Bünzlachse in der Aare

29 der 33 aus der Bünz ausgeschwommenen Lachse wurden auch in der Aare detektiert. Im weiteren Aareverlauf nahm die Anzahl der an den Antennen registrierten Lachse kontinuierlich ab. Wie viele bzw. welcher Anteil der wanderwilligen Fische an welcher Station detektiert wurden, ist in Tabelle 5 und Abbildung 13 ersichtlich. Dabei wurden Fische, die auf einzelnen Antennen verpasst, aber weiter flussabwärts detektiert wurden, mitberücksichtigt. Ebenso sind bei der Station KW WB Zentrale zwei Lachse enthalten, die möglicherweise über die Restwasserstrecke abgestiegen sind (s. folgendes Kapitel).

Sowohl bei den semi-wilden als auch bei den Zuchtfischen fand die grösste Abnahme innerhalb der Bünz statt. Weniger als die Hälfte der markierten Fische starteten ihre Wanderung in der Aare (vgl. Kap. 3.3.1). Während der Wanderung in der Aare war die Abnahme bei den Zuchtfischen deutlich grösser als bei den semi-wilden Lachsen; von den markierten semi-wilden Fischen erreichten 37 % den Rhein, von den Zuchtfischen nur 6.5 %. Innerhalb der Aare fand die grösste Abnahme zwischen den Stationen KW WB Zentrale und Stilli (semi-wilde -10 %, Zuchtfische -43 %) sowie zwischen Stilli und Koblenz (semi-wilde -6 %, Zuchtfische -50 %) statt. Betrachtet man jedoch die Überlebensrate pro km, war die Abnahme (neben der Bünz) für die semi-wilden Fische zwischen Bünz und KW WB Ausleitung sowie zwischen der Zentrale und Stilli am höchsten (1.2 % Abnahme pro km). Keinen Verlust hatten die semi-wilden Smolts zwischen der Ausleitung und Zentrale des KW Wildegg-Brugg. Die Zuchtlachse wiesen hier hingegen die höchste Verlustrate auf (9.5 % pro km), gefolgt von dem Abschnitt Bünzmündung – Ausleitung (7.04 % pro km; Abbildung 13). Über die gesamte Strecke von der Bünzmündung bis in den Rhein betrug die durchschnittliche Überlebensrate pro km 99.23 % für die semi-wilden und 93.68 % für die Zuchtlachse (Tabelle 6).

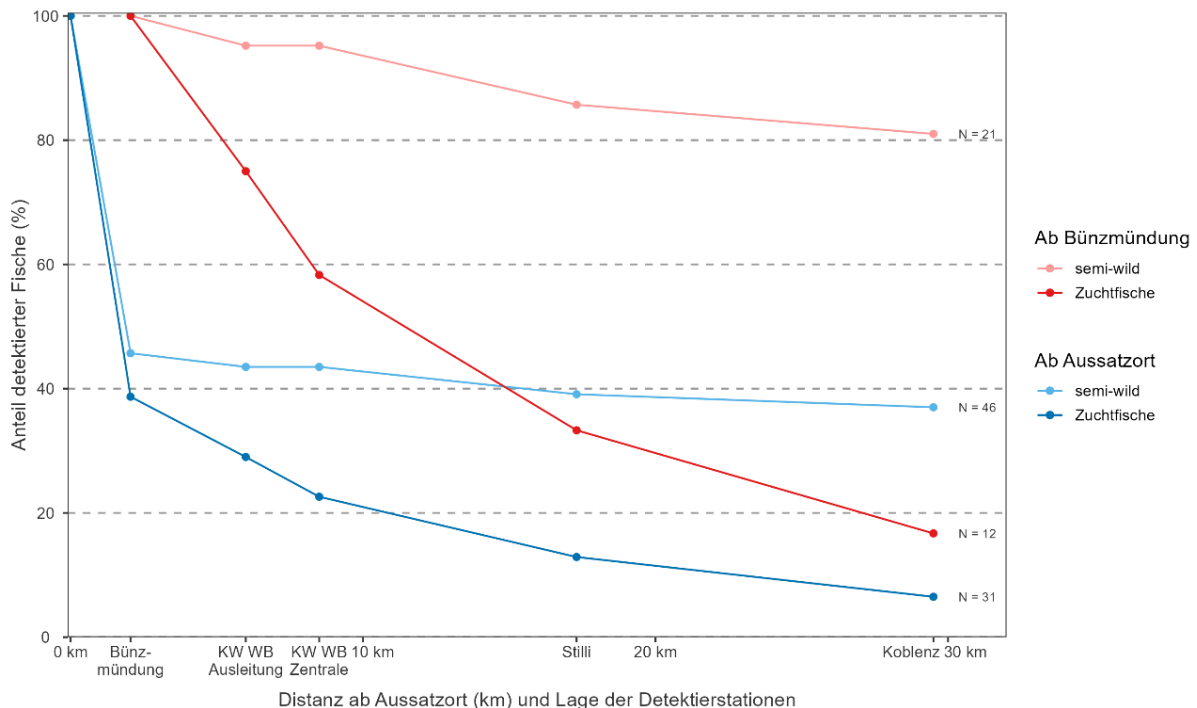


Abbildung 13: Anteil der Lachse, die die verschiedenen Detektierstationen erreicht haben, aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische. Blau: alle markierten Fische, rot: Fische, die aus der Bünz ausgeschwommen sind. N: Anzahl Fische bei 100 %



Tabelle 5: Anzahl und Anteil der markierten bzw. aus der Bünz ausgeschwommenen Fische, die die verschiedenen Detektierstandorte erreicht haben, aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische

Detektionsstandort	Anzahl semi-wild	Anzahl Zucht	Anteil semi-wild (%)	Anteil Zucht (%)	Anteil semi-wild ab Aare (%)	Anteil Zucht ab Aare (%)
Aussatz Bünz	46	31	100	100		
Bünzmündung	21	12	45.7	38.7	100	100
KW WB Ausleitung	20	9	43.5	29	95.2	75
KW WB Zentrale	20	7	43.5	22.6	95.2	58.3
Stilli	18	4	39.1	12.9	85.7	33.3
Koblenz	17	2	37	6.5	81	16.7

Tabelle 6: Überlebensraten der Lachse pro Aareabschnitt (%) und genormt auf die Abschnittslänge (%/km). N=Anzahl Fische zu Beginn des Abschnitts, S-W=semi-wild, Z=Zucht, A=Ausleitung, Z=Zentrale

Abschnitt	N		Überlebensrate			
	S-W	Z	S-W %	Z %	S-W %/km	Z %/km
Aussatz – Bünzmündung	46	31	45.7	38.7		
Bünzmündung – KW WB A	21	12	95.2	75	98.77	92.96
KW WB A – KW WB Z	20	9	100	77.8	100	90.47
KW WB Z – Stilli	20	7	90	57.1	98.81	93.84
Stilli - Koblenz	18	2	94.4	50	99.53	94.48
Bünzmündung – Koblenz	21	12	81	16.7	99.23	93.68

3.3.3 Wanderwege in der Aare

29 Lachse aus der Bünz wurden an den Detektierstationen entlang der Aare registriert. Die mobilen Trackings führten zu keinen weiteren Detektionen in der Aare. 23 Fische (79.3 %) wurden an den einzelnen Detektierstationen jeweils nur einmal und in flussabwärts gerichteter Reihenfolge erfasst (Bsp. s. Abbildung 14). Dazu gehörten alle in der Aare registrierten semi-wilden Lachse. Soweit die Detektionen an den stationären Antennen eine Beurteilung zulassen, führten diese Fische eine lineare Wanderbewegung flussabwärts durch (Abbildung 15). Zwei Fische (6.9 %, ID 167 und 168) wurden nach der Detektion an der Station KW Wildegg-Brugg Ausleitung erst wieder in der Stilli und/oder in Koblenz registriert (Abbildung 16). Möglicherweise sind diese beiden Smolts über die Restwasserstrecke abgewandert. Ein Wehrabstieg kann dabei ausgeschlossen werden, da es in diesen Tagen keine Wehröffnungen gab (pers. Mitteilung Axpo). Hingegen ist ein Abstieg in die Restwasserstrecke über die FAH oder die Dotierturbinen am Wehr möglich oder die Antenne am Hauptkraftwerk hat diese beiden Fische verpasst. Für die weiteren Analysen wird von einem Abstieg über die Restwasserstrecke ausgegangen.

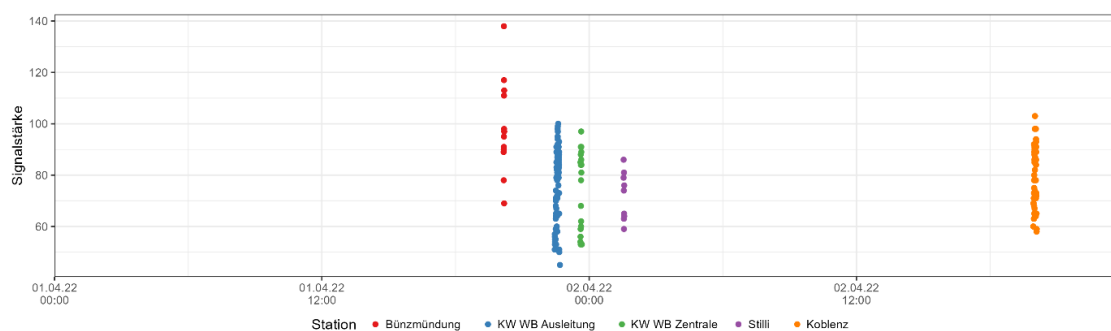


Abbildung 14: Typisches Detektionsmuster eines Fisches mit linearer Wanderbewegung (ID 115)



Resultate

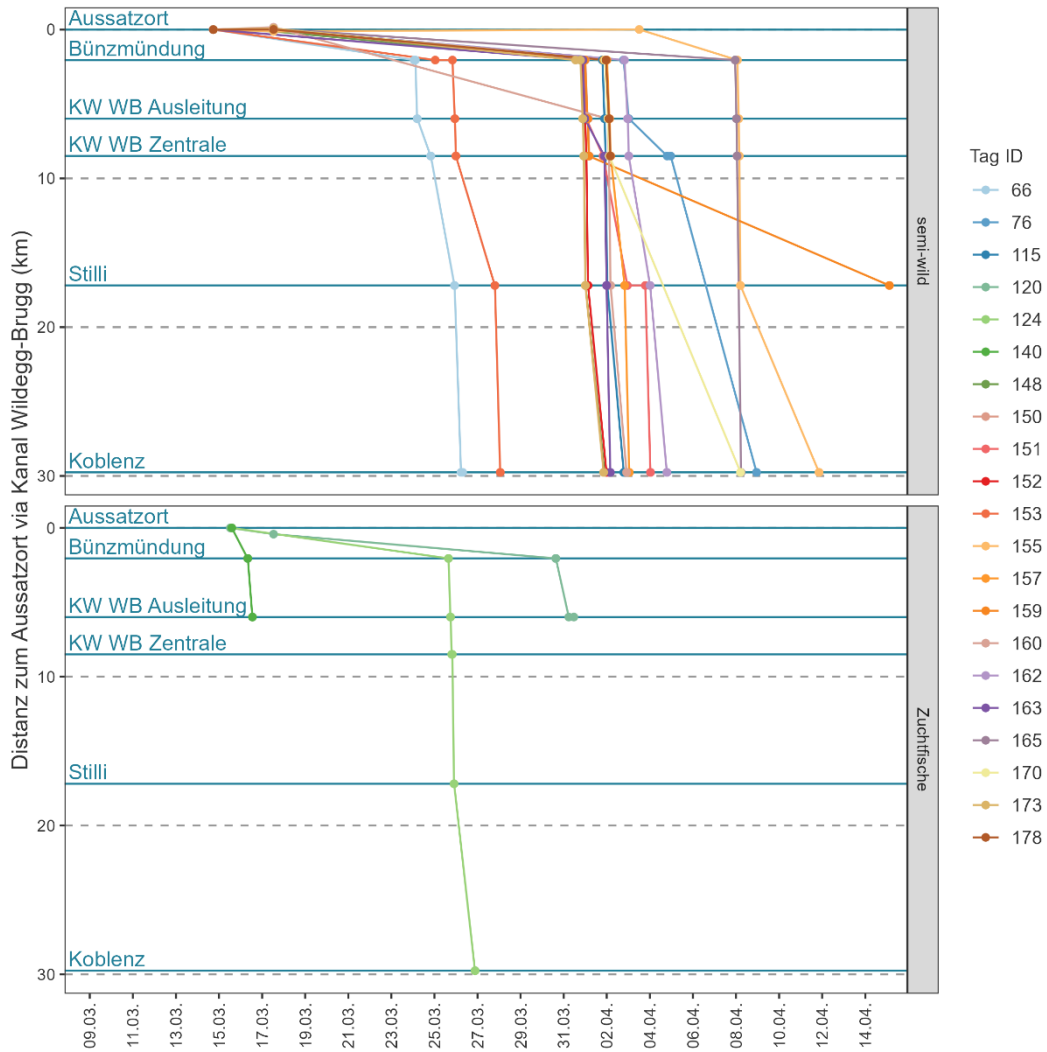


Abbildung 15: Detektionen der Fische mit linearer Bewegung in der Aare und deren Distanz zum Aussatort im Laufe der Zeit, aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische. Ausgeschlossen sind zwei Individuen, die über die Restwasserstrecke des KW Wildegg-Brugg abstiegen (s. Abbildung 16)

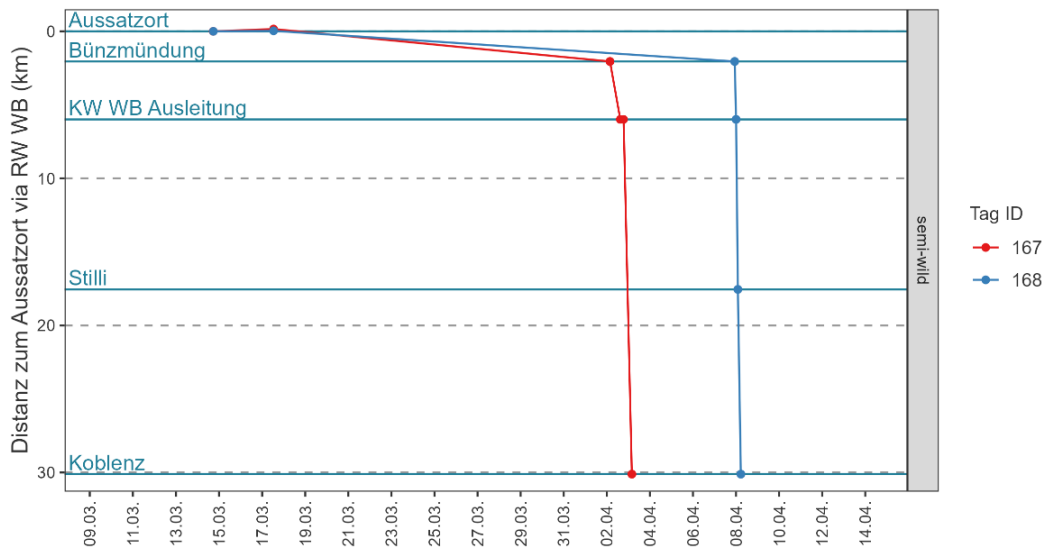


Abbildung 16: Detektionen der Fische, die vermutlich über die Restwasserstrecke des KW Wildegg-Brugg abstiegen (oder am Haupttraftwerk nicht registriert wurden) und deren Distanz zum Aussatort im Laufe der Zeit.



Sechs Fische (20.7 %) wurden an einzelnen Stationen mehrmals, mit Abständen von mehreren Tagen, erfasst oder wieder flussaufwärts der letzten Detektion registriert (Abbildung 17 und Abbildung 18). Dabei handelte es sich ausschliesslich um Zuchtfische. Nur einer von ihnen (16.7 %) erreichte die Station Koblenz bzw. den Rhein.

Diese Zuchtfische werden im Folgenden kurz beschrieben und ihre Bewegungen in Abbildung 18 dargestellt:

- ID 75: Erscheint innerhalb von 15 Tagen vier Mal auf der Antenne KW WB Ausleitung, bevor er nach weiteren sechs Tagen über die Zentrale bis nach Koblenz absteigt. Möglicherweise Zeitverlust durch Wanderhindernis KW Wildegg-Brugg.
- ID 82: Erscheint am 19. und 21.03. auf der Antenne KW WB Zentrale (verm. nur im Oberwasser da geringe Signalstärke), bevor er diese am 23.03. passiert und weiter flussabwärts schwimmt bis zur Station Stilli. Möglicherweise Zeitverlust durch Wanderhindernis KW Wildegg-Brugg.
- ID 116: Erscheint am 28., 29.03. und 08.04. auf der Antenne KW WB Zentrale (verm. nur im Oberwasser da geringe Signalstärke), bevor er am 08.04. vier Minuten später wieder auf der Antenne KW WB Ausleitung flussaufwärts erscheint. Danach wird er nicht mehr registriert. Möglicherweise Zeitverlust durch Wanderhindernis KW Wildegg-Brugg, ev. Prädation.
- ID 119: Erscheint erstmals am 17.03. mit tiefer Signalstärke an der Antenne KW WB Zentrale. Fisch bleibt sehr wahrscheinlich im Oberwasser, denn danach wechselt er vom 23. bis 29.03. vier Mal zwischen den Stationen KW WB Zentrale und Ausleitung hin und her. Dabei sind bei der Ausleitung jeweils zwei Peaks erkennbar, die vermutlich die Passagen flussauf- und abwärts abbilden (Abbildung 17). Schlussendlich steigt der Fisch am 01.04. via KW WB Zentrale ab und wird danach noch in der Stilli detektiert. Möglicherweise Zeitverlust durch Wanderhindernis KW Wildegg-Brugg.
- ID 129: Der Fisch wird von April bis Juli praktisch durchgehend an der Antenne KW WB Zentrale registriert. Vermutlich Tod durch Turbinenpassage.
- ID 138: Der Fisch wird am 31.03. und 01.04 auf der Antenne KW WB Zentrale registriert (verm. nur im Oberwasser da geringe Signalstärke) bevor er diese am 03.04. passiert und 9 min später in der Stilli registriert wird. Möglicherweise Zeitverlust durch Wanderhindernis KW Wildegg-Brugg, wahrscheinlich Prädation da die Wandergeschwindigkeit vom KW WB zur Stilli zu hoch ist.

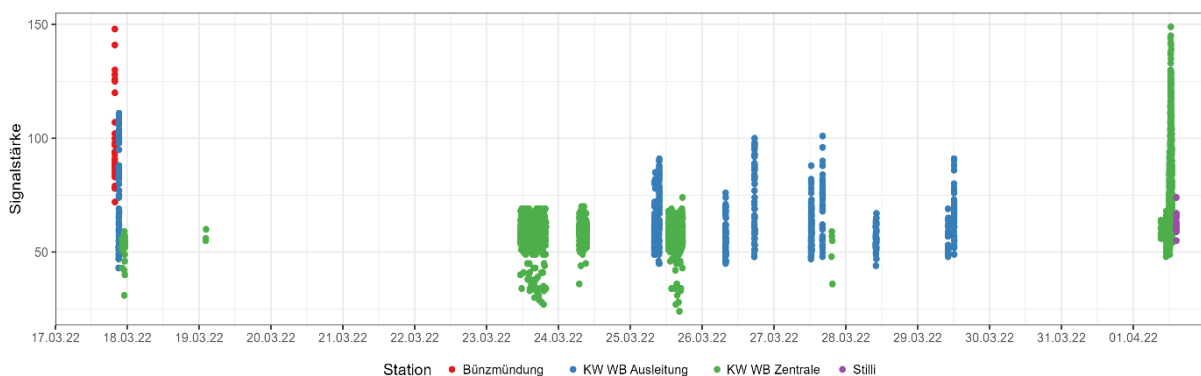


Abbildung 17: Detektionsmuster eines Fisches mit non-linearer Wanderbewegung (ID 119)



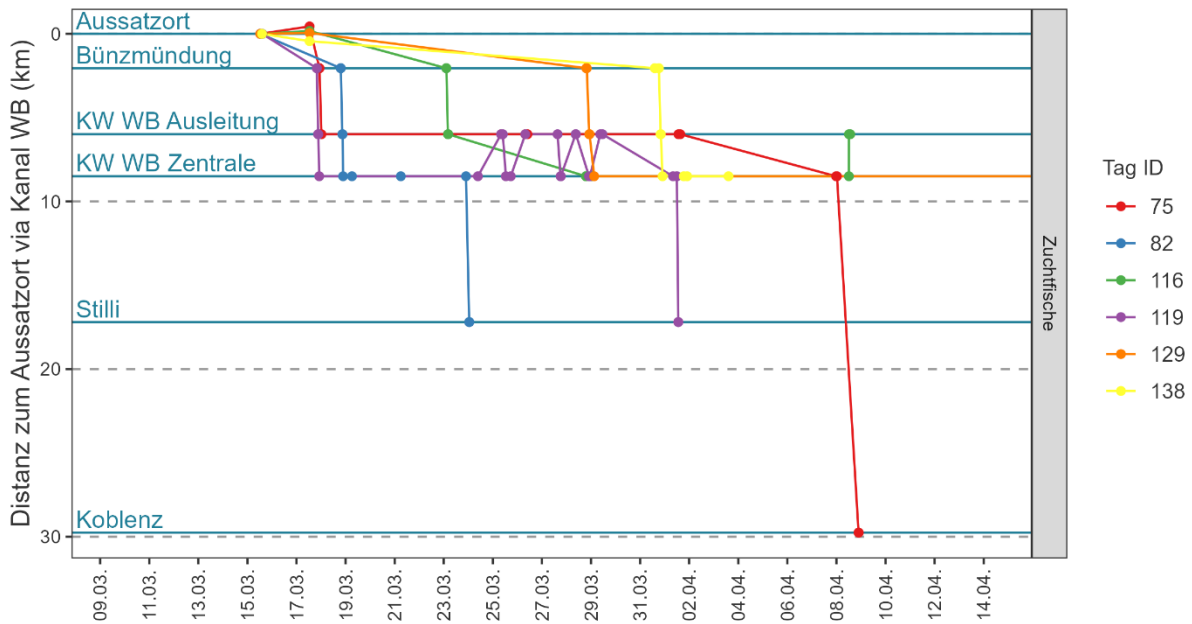


Abbildung 18: Detektionen der Zuchtfische mit nicht-linearer Bewegung in der Aare und deren Distanz zum Aussatort im Laufe der Zeit. Jeder Detektionsevent (mehrere Detektionen in einem abgeschlossenen kurzem Zeitfenster) ist mit einem Punkt markiert, mit Ausnahme der ID 129. Diese wurde vom 29.03.-14.07. durchgehend an der Station KW WB Zentrale registriert. Zur besseren Lesbarkeit wurde hier nur der erste Punkt angegeben und die x-Achse gekürzt.

3.3.4 Wandergeschwindigkeiten in der Aare

Die semi-wilden Lachse legten die Strecke von der Bünz- und Aaremündung bis zur Mündung der Aare in den Rhein (Detektierstation Koblenz) in durchschnittlich 50.7 h, also etwas mehr als zwei Tagen, zurück. Der schnellste semi-wilde Fisch benötigte für die gesamte Strecke nur 6.6 h, der langsamste 151.1 h (6.3 Tage). Von den Zuchtfischen erreichten nur zwei Individuen die Station in Koblenz. Sie benötigten dafür 29.5 h (1.2 Tage) bzw. 528.2 h (22 Tage; s. Tabelle 7 und Abbildung 19) und waren damit deutlich langsamer als die semi-wilden Fische (auf statistische Analysen wurden aufgrund der geringen Stichprobenzahl der Zuchtfische verzichtet).

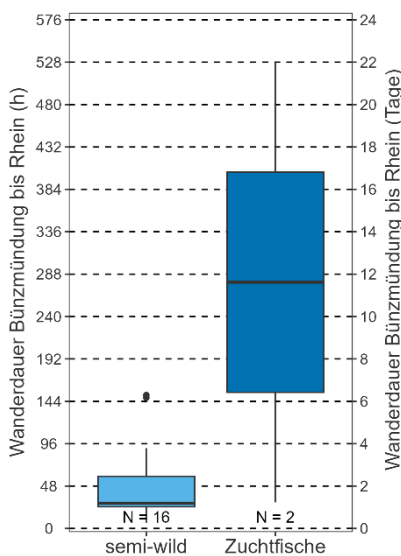


Tabelle 7: Dauer der Wanderung von der Bünz- bis zur Aaremündung in den Rhein, aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische. DS=Durchschnitt

	Wanderdauer (h)			
	Min.	Median	DS	Max.
semi-wild (N=16)	6.6	28.6	50.7	151.1
Zuchtfische (N=2)	29.5	278.9	278.9	528.2

Abbildung 19: Dauer der Wanderung von der Bünz- und Aaremündung bis zum Rhein (Station Koblenz), aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische



Die mittlere Wandergeschwindigkeit über die gesamte, rund 27.45 km lange Strecke von der Bünzmündung bis nach Koblenz betrug 0.97 km/h für die semi-wilden (N=16) und 0.49 km/h für die Zuchtfische (N=2). Die Wandergeschwindigkeiten unterschieden sich in den einzelnen Gewässerabschnitten (Abbildung 20). Die höchsten Geschwindigkeiten traten sowohl bei semi-wilden als auch bei den Zuchtfischen zwischen der Zentrale des KW Wildegg-Brugg und der Stilli auf (Median 3.75 bzw. 4.7 km/h). Hier wiesen die Fische auch die höchste Varianz auf. Mittlere Geschwindigkeiten traten in den Abschnitten von der Bünzmündung bis zur Ausleitung (Median 1.57 bzw. 2.07 km/h) bzw. von dort bis zur Zentrale des KW Wildegg-Brugg (Median 2.33 bzw. 1.52 km/h) auf. Die tiefsten Wandergeschwindigkeiten wurden im Abschnitt Stilli bis Koblenz (0.68 bzw. 0.54 km/h) gemessen (Abbildung 20). Hier treffen die abwandernden Smolts auf die beiden Staustufen Beznau und Klingnau. Zwischen den semi-wilden und den Zuchtfischen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (kleine Stichprobengrößen).

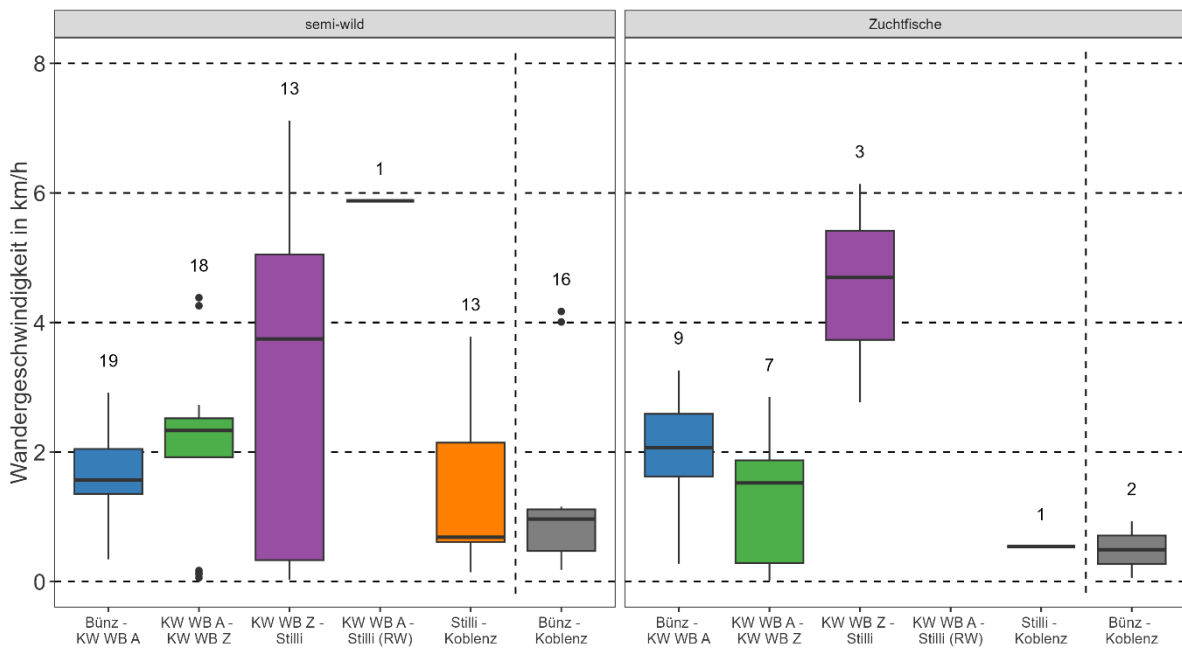


Abbildung 20: Wandergeschwindigkeiten der Lachse in verschiedenen Gewässerabschnitten (farbig), sowie im gesamten Untersuchungsbereich (grau), aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische. Zahl oberhalb der Boxen=Anzahl Fische (N). A=Ausleitung, Z=Zentrale, RW=Restwasserstrecke



3.3.5 Umweltparameter während der Wanderung in der Aare

Während der Abwanderung der markierten Lachse (16.03.-15.04.22) herrschten in der Aare (Station Brugg) Temperaturen von 7.5 – 11.9 °C (Durchschnitt 9.1 °C) und ein Abfluss von 116.9 – 483.5 m³/s (Durchschnitt 205.7 m³/s). Wie in der Bünz fällt die grössten Wanderaktivität (01.04.-04.04., vgl. Abbildung 15) in einen Zeitraum mit leicht erhöhtem Abfluss (max. 173.9 m³/s). Die letzten Detektionen abwandernder Lachse fallen mit einem Hochwasser zusammen, welches seinen Höchstwert am 08.04.22 erreicht (Abbildung 21).

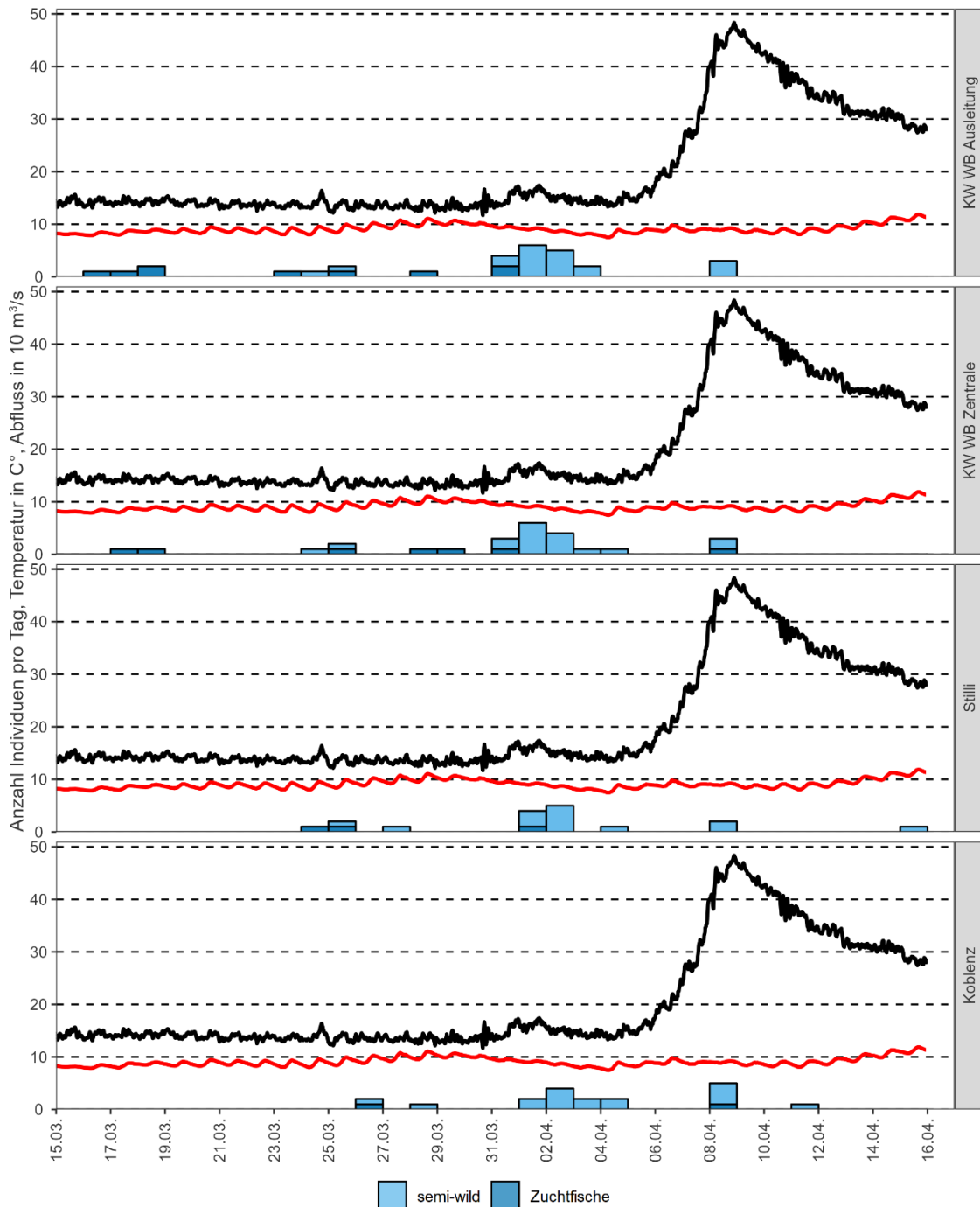


Abbildung 21: Anzahl in der Aare detektierte Lachse pro Tag (erste Detektion pro Antenne), aufgeteilt in semi-wilde und Zuchtfische, sowie Wassertemperatur (rot) und Abfluss (schwarz) der Aare (Station Brugg).



3.3.6 Tageszeitliche Aktivitätsmuster

Abbildung 22 zeigt, zu welcher Tageszeit die markierten Fische auf den unterschiedlichen Antennen registriert wurden. Die Registrierung bedeutet, dass der Fisch zu dieser Tageszeit wanderte und kann somit als Annäherung für die tageszeitliche Aktivitätsmuster der Lachse dienen. Die meisten Wanderungen fanden nachts, in der Zeit von 19:00 – 06:00 Uhr statt. Ausnahmen gab es vor allem an der Station an der Bünzmündung, welche insbesondere von einem Teil der Zuchtfische (N = 7, 58.3 %) tagsüber passiert wurde.

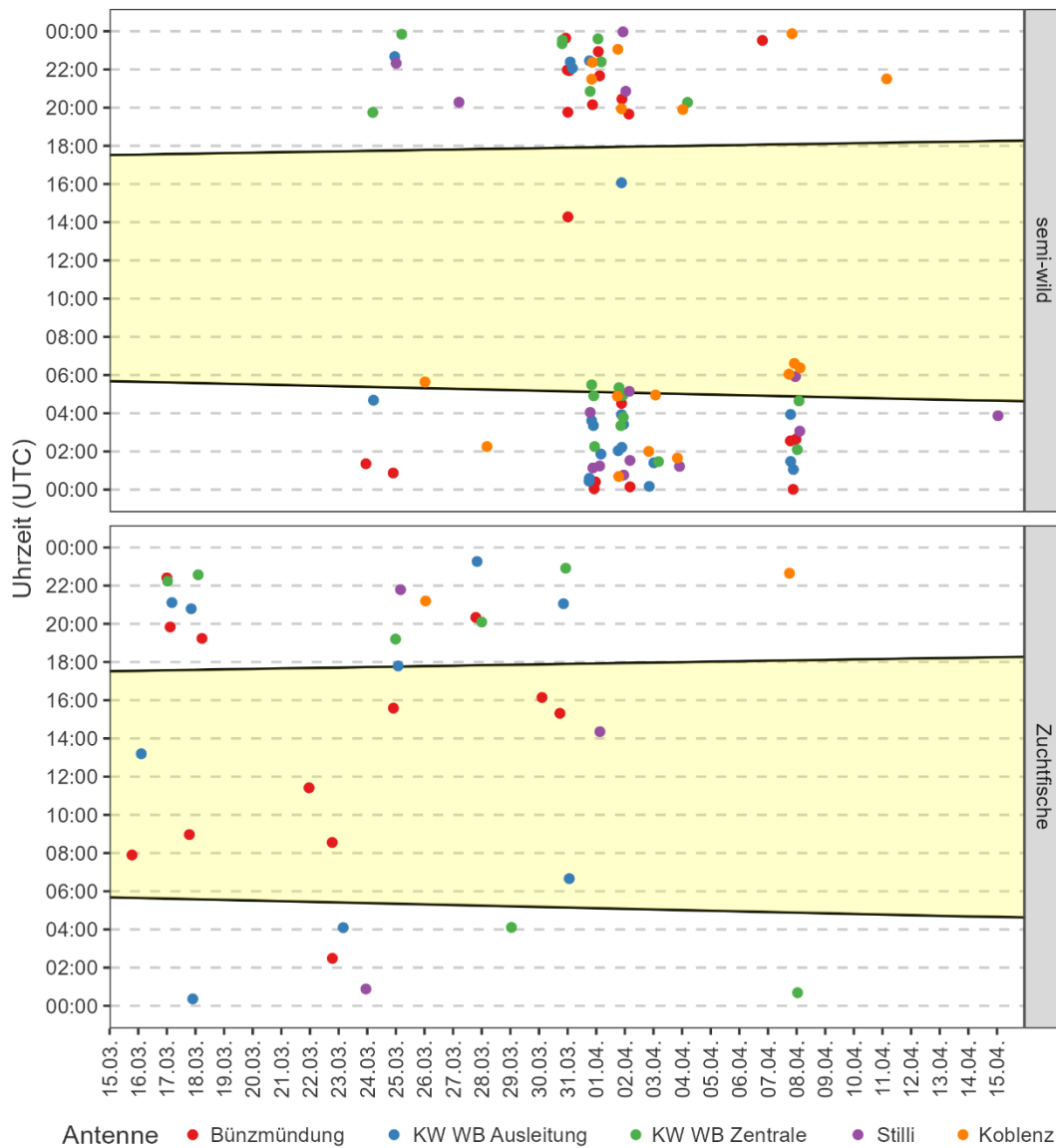


Abbildung 22: Detektionen markierter Lachse an den verschiedenen Stationen je nach Uhrzeit (jeweils das erste empfangene Signal pro Station). Die Punkte wurden zur besseren Unterscheidbarkeit horizontal leicht verschoben. Gelber Bereich: Zeit zwischen Sonnenauf- und -untergang (UTC=Koordinierte Weltzeit)



3.4 Detektionswahrscheinlichkeit der stationären Antennen

Die Detektionswahrscheinlichkeiten der Antennen an der Bünzmündung sowie der Ausleitung und Zentrale des KW Wildeg-Brugg waren sehr hoch (97 – 100 %, Tabelle 8). Einzig die Effizienz der Antenne Stilli liess zu wünschen übrig. Hier wurden auch viele Fehldetektionen registriert.

Tabelle 8: Detektionseffizienz der Antennen für die Erfassung der Bünzlachse.

Station	Anzahl passiert	Anzahl detektiert	Detektionseffizienz (%)
Bünzmündung	33	32	97
KW WB Ausleitung	29	29	100
KW WB Zentrale	25/27 ⁷	25/25	100/93 ⁷
Stilli	22	17	77
Koblenz⁸	(22)	19	≥ 86

⁷ Gerade Schrift: Annahme, dass zwei Fische, die nicht detektiert wurden, über die Restwasserstrecke abgestiegen sind. Kursive Schrift: Annahme, dass diese Fische ebenfalls über die Zentrale abstiegen, aber hier nicht detektiert wurden

⁸ Da dies die unterste Antenne ist, lässt sich die Anzahl passierter, aber nicht detektierter Fische nicht ermitteln. Ausgehend von der Anzahl Fische, die mindestens bis zur Antenne Stilli nachgewiesen wurden, beträgt die Detektionseffizienz mindestens 86 %. Da vermutlich jedoch nicht alle Fische den Abschnitt von der Stilli bis Koblenz erfolgreich passierten, ist die tatsächliche Detektionseffizienz mit grosser Wahrscheinlichkeit höher.



4 Diskussion

4.1 Markierte Lachse

Die Dichte der Lachssmolts war in den beiden Aussatzgewässern, insbesondere aber in der Wigger, niedrig. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der ausgesetzten Brütlinge scheint somit sehr gering zu sein. Mögliche Ursachen sind Prädation (an beiden Gewässern wurden mehrere Gänsesäger gesichtet) und ungenügende Habitatsqualität (Restwasserstrecke der Wigger). Hohe Wassertemperaturen im Sommer (Maximalwerte an der Bünz bei 22-25 °C) haben sicher auch die Überlebensraten der ausgesetzten Brütlinge beeinflusst. Aus diesem Grunde wurde auf eine Gruppe von Zuchtfischen ausgewichen, damit insgesamt genügend Fische markiert werden konnten.

Die markierten semi-wilden Lachse wiesen Längen von 129 – 184 mm auf. Zudem wurden einige weitere kleinere Fische gefangen, die jedoch zu klein für die Markierung waren. Aufgrund der Grössenverteilung wird angenommen, dass es sich bei den markierten Lachsen grösstenteils um 1+- und 2+-Fische handelte. Die aus der Fischzucht gelieferten Lachse (2+) waren mit 306 – 382 mm deutlich grösser als die semi-wilden. Die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen ist somit begrenzt. Die meisten Fische wiesen deutliche Anzeichen einer Smoltifizierung auf. Zwei der in der Wigger gefangenen Lachse, sowie zehn der deutlich grösseren Fische aus der Fischzucht waren bereits laichreife Männchen (*precocious parr*).

4.2 Abstieg aus den Seitengewässern

Rund 40 % aller markierten Lachse erreichten die Antenne an der Mündung des Seitengewässers in die Aare und begannen damit mutmasslich ihre Abwanderung in Richtung Nordsee. Mit 50 % war der Anteil Abwanderer in der Wigger am höchsten, allerdings bei einer sehr kleinen Stichprobe (N=8). In der Bünz waren die semi-wilden Fische mit 46 % Ausschwimmrate erfolgreicher als die Zuchtfische (39 %). Der Verbleib der weiteren Fische ist unklar. Bei mobilen Trackings entlang der Bünz konnten 20 Tage nach dem Aussatz nur noch fünf von theoretisch 48 verbleibenden Fische detektiert werden und nach 54 Tagen gar keiner mehr. Dies deutet darauf hin, dass die Fische inkl. Sender innert kurzer Zeit von Prädatoren aus dem Gewässer entfernt wurden. Ähnliche Resultate wies eine Studie an einem Seitenarm der Meuse auf: Hier betrug die Mortalität im Seitengewässer 45 % und es wurden ebenfalls keine im Gewässer verbleibenden Sender gefunden. Einige Sender konnten jedoch bei einer Kormorankolonie entdeckt werden (Brevé et al. 2014). Das Prädationsrisiko scheint an Wigger und Bünz somit sehr hoch zu sein, wobei eine erhöhte Gefährdung durch die Markierung und den Einfluss der Sender nicht ausgeschlossen werden kann. Zuchtfische sind vermutlich besonders betroffen, da sie nicht an die natürlichen Gegebenheiten der Gewässer gewöhnt sind, sich weniger gut verstecken als residente Fische und einen verminderten Fluchreflex besitzen (Einum & Fleming 2001, eigene Beobachtungen im Möhlinbach).

Der Abstieg aus den Seitengewässern geschah mehrheitlich von Ende März bis Anfangs April. In der Wigger schwammen drei Fische kurz nach der Markierung ab (zwei davon im Winter), was eher auf einen nicht natürlichen Wanderbeginn hindeutet. In der Bünz wanderten die ersten Zuchtfische ebenfalls direkt nach der Markierung ab, ohne erkennbare Trigger der Umweltparameter. Die ersten semi-wilden Fische starteten die Wanderung zehn Tage nach der Markierung, die meisten schwammen bei (zumindest leicht) erhöhtem Abfluss nach Regen aus (Abbildung 12). In früheren Untersuchungen im Möhlinbach wurde festgestellt, dass vereinzelte Smolts bereits ab Ende November und zwischen Dezember und Januar abwandern (Kunz 2014; Peter 2015), meist bei Temperaturen zwischen 4-8° C und in der Regel in Verbindung mit einer erhöhten Wasserführung. Die Hauptabwanderung wurde jedoch auch hier in den Monaten März/April beobachtet.



4.3 Überlebensraten in der Aare

Einer von acht der in der Wigger markierten Lachse (12.5 %) erreichte die Station Koblenz und damit den Rhein. Von den Lachsen aus der Bünz erreichten 17 semi-wilde (37 %) und zwei Zuchtlachse (6.5 %) den Rhein. Die Grösste Abnahme fand bei allen Gruppen bereits im Aussatzgewässer statt. Betrachtet man nur die Fische, die aus den Seitengewässern ausgewandert sind, lagen die Überlebenschancen bzw. der Wandererfolg über die gesamte Aarestrecke bei 25 % für die Wiggerlachse, 81 % für die semi-wilden Fische aus der Bünz und 16.7 % für die Zuchtfische aus der Bünz (Tabelle 5). Ein Vergleich zwischen den Wigger- und Bünzfischen ist aufgrund der geringen Stichprobenzahl der Wigger schwierig. Die tiefere Überlebensrate war jedoch aufgrund der höheren Anzahl zu passierender Staustufen (ab Wigger sieben, ab Bünz drei Staustufen bis zum Rhein) und der längeren Strecke (ab Wigger 56 km, ab Bünz 30 km) zu erwarten.

Um die Überlebensraten in einzelnen Abschnitten der Aare vergleichen zu können, müssen diese auf die Abschnittslänge normiert werden (s. Kap. 2.3 und Tabelle 6). Innerhalb der Aare wiesen die beiden Gruppen der Lachse unterschiedliche Muster auf, und müssen deshalb getrennt betrachtet werden. Für die **semi-wilden Smolts** herrschte die kleinste Überlebensrate pro km in den Abschnitten Bünzmündung - KW WB Ausleitung sowie KW WB Zentrale – Stilli. Bei letzterem handelt es sich um den einzigen frei fliessenden Abschnitt der Aare im Untersuchungsgebiet. In freifliessenden Abschnitten würden eigentlich die höchsten Überlebensraten erwartet, da die Wandergeschwindigkeit der Fische schneller und die Prädationsgefahr somit tiefer ist. Vermutlich handelt es sich bei den vergleichsweise hohen Verlusten um ein Artefakt des KW Wildegg-Brugg. Fische, die die Turbinenpassage nicht überlebten oder davon geschädigt waren, wurden vermutlich dennoch an der Antenne unterhalb der Zentrale registriert, verschwanden dann aber relativ bald im weiteren Flussverlauf. Wie weit tote Fische in der Aare verdriftet werden, ist unklar. Havn et al. (2017) wiesen Verdriftungen von toten Smolts über bis zu 2.4 km nach, dies kann jedoch ja nach Gewässermorphologie variieren. Für zukünftige Studien wird deshalb empfohlen, zumindest einige tote Fische zu markieren, um deren Driftverhalten im Untersuchungsgebiet abschätzen zu können. Keine bzw. sehr wenige Verluste gab es bei den semi-wilden Fischen in den Abschnitten KW WB Ausleitung – Zentrale sowie Stilli – Koblenz. Im monotonen Oberwasserkanal des KW hatten die Smolts vermutlich wenig Fressfeinde, das KW selbst passierten sie soweit erkennbar zügig. Überraschend ist die hohe Überlebensrate zwischen der Stilli und Koblenz. Hier mussten die Lachse zwei weitere KW passieren (Beznau und Klingnau), zudem handelt es sich beinahe beim gesamten Abschnitt um eingestaute Bereiche. Die **Zuchtfische** wiesen die tiefsten Überlebensrate im Abschnitt KW WB Ausleitung – Zentrale auf. Wie die Verluste genau zustande kommen, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Vier Zuchtfische mit den grösseren Sendern wurden von der Antenne unterhalb der Zentrale auch detektiert, als sie sich noch im Oberwasser befanden. Daran wird ersichtlich, dass am KW Verzögerungen von 2.7 – 14.6 Tagen entstanden (erste – letzte Detektion KW WB Zentrale). Ob und wie lange Zeitverzögerungen auch bei anderen Fischen vorkamen, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Die lange Aufenthaltsdauer bzw. das hin-und-her-schwimmen einiger Fische erhöhte vermutlich deren Prädationsrisiko und Energieverbrauch. Falls in künftigen Studien eine exaktere Beurteilung der Verzögerungen an Kraftwerken angegangen werden soll, wird empfohlen, ober- und unterhalb des Kraftwerkes eine Antenne zu installieren. Vergleichsweise gering waren die Verluste der Zuchtfische in beiden Abschnitten unterhalb des KW Wildegg-Brugg. Da die Stichprobengrösse jedoch klein ist, sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu behandeln.

Die Verlustraten können mit denen anderer Studien verglichen werden. In der Sieg, einem Rheinzufuss in Deutschland, betragen die Verluste durch ein Wasserkraftwerk (korrigiert nach den natürlichen Verlusten einer naturnahen Referenzstrecke) über einen Gewässerabschnitt von 10 km 7.2 – 25.1 % (je nach Untersuchungsjahr; Havn et al. 2020). Lothian et al. (2017) beobachteten im River Deveron in Schottland eine Abwanderungsmortalität der Smolts von 0.77 % pro Flusskilometer, wobei die Mortalität weitgehend durch Prädation verursacht wurde. Renardy et al. (2022) beobachteten, dass nur 48 % der abwandernden Smolts eine 18.9 km lange Strecke mit 14 konsekutiven Migrationsbarrieren – davon sechs Kraftwerke – durchwandern konnten und überlebten (kumulative Mortalität: 52 %).



Ob und welchen Einfluss die Staustufen in der Aare auf die Mortalität der abwandernden Smolts haben, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Dazu wären detailliertere Vergleiche von beeinträchtigten und unbeeinträchtigten, freifliessenden Strecken nötig. In der aktuellen Studie scheint beim KW Wildegg-Brugg ein Einfluss vorhanden zu sein (Zeitverzögerung bei Zuchtfischen, erhöhte Mortalität bei semi-wilden Lachsen). Die Überlebensraten im Abschnitt von der Stilli bis Koblenz sind jedoch vergleichsweise hoch (semi-wilde 99.5 % pro km, Zuchtfische 94.5 % pro km), obwohl hier zwei weitere Staustufen mit langen Einstaubereichen liegen. Auch aus der wissenschaftlichen Literatur sind unterschiedliche Ergebnisse bekannt. Am Lachsfluss Kinzig in Baden-Württemberg betrug die kombinierte Mortalität durch die Passage eines Laufkraftwerks mit einem Schutzrechen 5 – 8 %. Die Mortalität in der Staustrecke vor dem Kraftwerk war dabei lediglich 1.5 % höher als in einer ungestauten Vergleichsstrecke und die Zeitverzögerung am Kraftwerk relativ kurz (Medianwert 1.3 h). Newton et al. (2018) verglichen die Mortalitätsraten von abwandernden Smolts in zwei Seitenflüssen des Foyles (Irland) mit und ohne Wehre (mit geringer Höhendifferenz). Es konnte kein Unterschied bei den Mortalitätsraten und keine Zeitverzögerung durch die Wehre festgestellt werden. In Dänemark hingegen wurde der Einfluss von Wehren mit geringen Höhendifferenzen als erheblich eingeschätzt (Aarestrup & Koed 2003). Die Verlustrate der abwandernden Smolts betrug 53 % und es kam zu erheblichen Zeitverlusten.

Von den in der Bünz ausgesetzten Lachsen schnitten die Zuchtfische deutlich schlechter ab als die semi-wilden. Mögliche Gründe sind ein schlechteres Prädator-Vermeide-Verhalten und eine erhöhte Mortalitätswahrscheinlichkeit in Turbinen bei der Kraftwerkspassage durch die grössere Körperlänge der Zuchtfische. Grundsätzlich sind wesentliche Unterschiede zwischen Zucht- und Wildfischen zu erwarten. Einum & Fleming (2001) belegen für Zuchtfische in einer Metastudie eine verminderte Reaktion auf Prädatoren und ein geringeres Überleben im Vergleich zu wilden Fischen. Im Weiteren scheinen diverse Fitnessparameter (Migration, Futteraufnahme, Habitatsbenützung) schlechter auszufallen. (Larocque et al. 2020) zeigten in Zuflüssen des Lake Ontario, dass abwandernde wilde Smolts eine 13.9-fach höhere Überlebensrate besaßen als Zuchtsmolts. Die Zuchtfische schienen auch grössere Probleme beim Auffinden des Wanderkorridors am KW Wildegg-Brugg zu haben (Abbildung 18), wodurch sich ihre Wandergeschwindigkeit gegenüber den semi-wilden Fischen verminderte. Da die Zuchtfische ihre Wanderung vor den beiden Zeiträumen mit erhöhtem Abfluss begannen (Abbildung 12), konnten sie zudem weniger von der erhöhten Wasserführung der Aare profitieren. Ein erhöhter Abfluss führt zu einer geringeren Wanderungsdauer und höherer Trübung im Gewässer, so dass die Prädationsgefahr verringert wird. Dadurch kann die Mortalität abwandernder Smolts deutlich verringert werden, wie es beispielsweise an der Sieg (D) nachgewiesen wurde (Havn et al. 2020). Verschiedene andere Studien haben im Gegensatz dazu keinen Unterschied im Wandererfolg von Wild- und Zuchtfischen gefunden. Möglicherweise können die Nachteile unter gewissen Umständen durch die grössere Körpergrösse und höhere Wandergeschwindigkeit ausgeglichen werden (zusammengefasst in Thorstad et al. (2012)). In der Aare war dies anscheinend nicht der Fall.

Die Staustufe Wildegg-Brugg passierten sicher 25 von 27 Fischen via den Kraftwerkskanal und die Zentrale. Zwei Fische wurden an der Zentrale nicht registriert. Falls sie über die Restwasserstrecke abwanderten, dann via FAH oder Dotierturbine am Wehr, da zum fraglichen Zeitpunkt kein Wehrüberfall herrschte. Es ist aber nicht gänzlich ausgeschlossen, dass sie ebenfalls über die Zentrale abwanderten und, z. B. auf Grund von Signalkollisionen mit anderen Sendern, nicht registriert wurden. Eine Mortalitätsrate für das KW Wildegg-Brugg kann nicht berechnet werden, da die genauen Ursachen für den Verlust eines Fisches nicht zugeordnet werden können. Die Überlebensrate betrug jedoch mindestens 84 % (Anteil weiter flussabwärts detektierter Fische im Vergleich zu den am KW detektierten).

Nach der Ankunft in den Rhein müssen die Aarelachse 17 weitere Staustufen und rund 935 Flusskilometer überwinden, um die Nordsee zu erreichen. Wie gross die Überlebensrate von Lachssmolts bei der Passage des Hochrheins und der Rheinkraftwerke ist, wurde in einer Studie der FishConsulting GmbH (in Vorbereitung) im Winter 2023 untersucht.



4.4 Wandergeschwindigkeiten

Die semi-wilden Lachse aus der Bünz legten die gesamte Strecke von der Bünz in den Rhein in durchschnittlich 50.7 h (ca. 2 Tage) zurück. Dies entspricht einer durchschnittlichen Wandergeschwindigkeit von 1.14 km/h (27.4 km/Tag). Die beiden Zuchtfische benötigten 29.5 bzw. 528.2 h (0.05 bzw. 0.93 km/h). Der Smolt, der aus der Wigger in den Rhein wanderte, benötigte dafür ab dem Wehr Winznau (48.2 km) 138.4 h bzw. ca. 6 Tage (durchschnittliche Wandergeschwindigkeit 0.35 km/h bzw. 8.4 km/Tag). Dabei ist zu beachten, dass die Lachse nicht kontinuierlich wandern, sondern vermutlich fast ausschliesslich nachts. Die Angaben in km/Tag eignen sich deshalb vor allem für einen Vergleich mit der Fachliteratur (s. u.). Die kurzzeitigen Wandergeschwindigkeiten liegen deutlich höher, wie sich in den einzelnen Abschnitten erkennen lässt. Die Wandergeschwindigkeit betrug z. B. in der hinderisfreien Strecke vom KW Wildeggen-Brugg bis in die Stilli im Mittel 3.75 km/h für die semi-wilden und 4.53 km/h für die Zuchtfische (dies wären umgerechnet 90 bzw. 108.7 km/Tag).

In der Fachliteratur wurden Geschwindigkeiten von 0.2 – 112 km/Tag ausgewiesen (Tabelle 9, zusammengefasst in Thorstad et al. (2012)). Die Wandergeschwindigkeit ist in grossen Flüssen grundsätzlich höher als in kleinen Bächen (Ruggles 1980). Imbert et al. (2013) beobachteten im Allier eine 106 km lange Wanderung eines Smolts an einem Tag. Aarestrup et al. (2002) stellten im Fluss Lilleaa Wanderungen von wilden Lachssmolts von 5.5 km/Tag fest, während Zuchtsmolts lediglich 1.8 km/Tag zurücklegten. Urke et al. (2013) fanden im Laerdalselva in Norwegen hingegen keine Unterschiede zwischen Zucht- und Wildlachsen in Bezug auf Migrationsmuster, Abwandergeschwindigkeit und Wanderoute. Die Wandergeschwindigkeiten über die gesamte Untersuchungsstrecke in der Aare liegen im Bereich der publizierten Fachliteratur. Genaue Vergleiche sind aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und Art der rapportierten Datenstruktur schwierig.

Tabelle 9: Wandergeschwindigkeiten von Lachssmolts im Vergleich. Die angegebenen Geschwindigkeiten beziehen sich in der Regel auf die gesamte Untersuchungsstrecke einer Studie und beziehen deshalb Ruhezeiten (z. B. tagsüber) mit ein. Angabe Wandergeschwindigkeit: Min – Max (Median) oder (Durchschnitt). N: Anzahl Fische mit erhobenen Daten.

Gewässer, Land	Wandergeschwindigkeit (km/Tag)	Abschnittslänge (km)	Hindernisse	N	Herkunft Fische	Referenz
Aare, CH	4.3 – 35.3 (23.3)	27.5	3 KW	16	Semi-wild	Diese Studie (Bünz)
	1.2 – 22.3 (11.8)			2	Zucht	
Aare, CH	8.4	48	7 KW	1	Semi-wild	Diese Studie (Wigger)
Sieg, D	0.9 – 112.2 (16.5)	17.3	1 KW	93	Semi-wild	Havn et al. 2020
Meuse, NL	5.18 – 66.5	110	5 Wehre	56	Zucht	Brevé et al. 2014
	3.5 – 85.5	40	Freifliessend	28		
Allier, F	5 – 106 (32.2)	33 – 562	Freifliessend	31	Wild	Imbert et al. 2013
Eira, NO	0.2 – 86.4 (8.9)	9	Freifliessend	17	Zucht	Thorstad et al. 2011
Alta, NO	0.2 – 37.7 (2.3)	11	Freifliessend	64	Wild	Davidson et al. 2009
York River, CA	4.6 – 36.4 (12.2)	16	Freifliessend	44	Wild	Martin et al. 2009
Lilleaa, DK	(5.5)	20.9	1 Wehr	18	Semi-wild	Aarestrup et al. 2002
	(1.8)			15	Zucht	
Penobscot River, USA	0.5 – 15.7 (3.7)	9 – 43	0 – 3 KW	17	Zucht	Spicer et al. 1995



Die Wandergeschwindigkeit in der Aare unterschied sich zwischen den einzelnen Abschnitten und war zwischen dem KW Wildegg-Brugg und der Stilli am höchsten. Hier befindet sich die einzige freie Fliessstrecke der Aare im Untersuchungsperimeter, bevor ungefähr ab der Station Stilli der Staubereich des KW Beznau beginnt. Die tiefsten Wandergeschwindigkeiten wies die Strecke Stilli bis Koblenz auf. Diese beinhaltet zwei Kraftwerke und den Stausee Klingnau, welche vermutlich die Verzögerung verursachten.

Zwischen den semi-wilden und den Zuchtfischen konnten in den einzelnen Abschnitten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Die Zuchtfische sind demnach nicht durch ihre schlechte Anpassung an Fliessgewässer beeinträchtigt, konnten aber auch nicht von ihrer grösseren Länge profitieren. In der Gesamtgeschwindigkeit zwischen der Bünz und dem Rhein, worin auch die Verzögerungen durch das KW Wildegg-Brugg abgebildet sind, lässt sich hingegen ein deutlicher Unterschied feststellen. Die Stichprobengrösse der Zuchtlachse ist hier jedoch sehr gering (N=2).

4.5 Tageszeit

Die allermeisten Detektionen auf den stationären Antennen, welche als Indikator für die Aktivitätszeit der Lachse verwendet werden können, traten abends und nachts (19:00-06:00) auf (Abbildung 22). Dieses Muster wurde bereits in verschiedenen wissenschaftlichen Studien aufgezeigt und dient der Vermeidung von Prädatoren (z. B. Ibbotson et al. (2011)). Unüblicherweise waren markierte Smolts in der Meuse vor allem tagsüber aktiv – hier wurden ca. 70 % aller Detektionen zwischen Sonnenauf- und -untergang registriert. Die Autoren vermuten, dass dies mit der Herkunft der Fische aus der Fischzucht zusammenhängen könnte (Brevé et al. 2014). In dieser Studie wurden Zuchtfische an der Bünzmündung ebenfalls vermehrt tagsüber detektiert (7 von 12 Individuen). Da diese auch sehr bald nach dem Aussatz und ohne erkennbare Umwelttrigger abstiegen, wird vermutet, dass der Grund die ungewohnte Umgebung bzw. schlechte Angepasstheit an das Fliessgewässer ist. Drei dieser Fische wurden im weiteren Aareverlauf nicht mehr detektiert. Die anderen scheinen anschliessend ebenfalls ein nachtaktives Verhalten anzunehmen (Abbildung 22).

4.6 Eignung der Radiotelemetrie zur Untersuchung der Lachswanderung

Die Detektionseffizienz der stationären Antennen war mit Ausnahme der Station Stilli sehr gut. Soweit beurteilt werden kann, wurden nur sehr wenige Fischpassagen an einzelnen Antennen verpasst. Dies gelang vermutlich auch dank der Eigenschaft der Lachse, welche tendenziell im oberen Bereich der Wassersäule wandern (Wassertiefe von 1-3 m gem. Honkanen et al. (2021)). Die Wanderbewegungen der Lachse können dank ihrer uniformen Bewegungsmuster sehr leicht interpretiert werden. Einzig zur Unterscheidung der Wanderkorridore war das Setup nicht optimal. In Winznau hörten durch den Standort direkt bei der Ausleitung beide Antennen die vorbeischwimmenden Lachse und eine Unterscheidung der Korridore war nicht zweifelsfrei möglich. In Wildegg-Brugg wäre eine weitere Antenne im Verlauf der Restwasserstrecke nötig gewesen, um eine Benützung dieses Korridors durch die zwei Lachse, die im Kanal nicht detektiert wurden, eindeutig zu identifizieren.

Die Antenne im Unterwasser des KW Wildegg-Brugg registrierte auch Fische, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit noch im Oberwasser der Anlage befanden. Erkennbar war dies durch die deutlich geringeren Signalstärken. Dies war nicht beabsichtigt, hatte jedoch den Vorteil, dass Verzögerungen durch das Kraftwerk erkannt werden konnten. So konnte auch erkannt werden, dass mehrere Fische zwischen den Antennen der Zentrale und der Ausleitung hin und her wechselten. Für zukünftige Studien, bei denen die Abwanderung im Zusammenhang mit Kraftwerkspassagen untersucht wird, sollten ober- und unterhalb der Hindernisse Antennen aufgestellt werden. Dadurch kann die Verzögerung durch die Barrieren erfasst werden.

Die Lebensdauer (Batterie) der verwendeten Tags erwies sich für die Bünz als ausreichend. Die letzte Detektion eines wandernden Fisches geschah 32 Tage nach dem Aussatz der Fische, bei einer offiziellen



Lebensdauer von 56 bzw. 100 Tagen. An der Wigger, wo einige Fische bereits im November ausgesetzt wurden, wäre die offizielle Lebensdauer nicht ausreichend gewesen. Da die tatsächliche Lebensdauer der Sender jedoch deutlich höher war als vom Hersteller angegeben, konnte ein Fisch auch noch 148 Tage nach dem Aussatz detektiert werden.

Die mobilen Trackings entlang der Aare, die im Rahmen anderer Untersuchungen durchgeführt wurden, lieferten keine zusätzlichen Funde wandernder Lachse. Solche wären interessant gewesen, um z. B. den genaueren Verbleib der Fische zwischen Stilli und Koblenz zu bestimmen. Für zukünftige Studien wird ein koordiniertes Handtracking empfohlen, was allerdings den Aufwand deutlich erhöht. Optimalerweise wird dieses anhand aktueller Detektionen an den stationären Antennen mit dem Wanderpeak der Lachse koordiniert. Dabei ist ein Datenabruf der stationären Antennen und deren Verarbeitung in Echtzeit von grossem Vorteil.

Ob es sich bei den Detektionen um Signale lebender Fische handelte, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Es wird davon ausgegangen, dass tote Smolts im Flussverlauf nur über geringe Distanzen transportiert werden (Havn et al. 2017). Dies sollte in zukünftigen Studien mit markierten toten Fischen überprüft werden.



5 Zusammenfassung und Fazit

5.1 Zusammenfassung Projektgrundlagen und Methoden

Der Atlantische Lachs (*Salmo salar*) ist in der Schweiz seit den 1950er Jahren ausgestorben. In Zusammenarbeit mit der IKSР werden in der Schweiz grosse Anstrengungen unternommen, den Lachs wieder anzusiedeln. Seit 1980 werden im Rhein bei Basel wieder Lachse ausgesetzt (Brütlinge, Vorsömmlinge). Seit einigen Jahren werden auch diverse Zuflüsse des Rheins und der Aare mit Junglachsen besetzt. Diese Wiederansiedlungsmassnahmen sollen mit Wirkungskontrollen überprüft werden. Zur Ökologie der jungen Lachse in unseren Gewässern gibt es einzelne Untersuchungen zur Auswanderung aus den Seitengewässern in den Rhein. Über die Wanderungen in den grossen Flüssen Aare und Rhein war bisher nichts bekannt. Aus diesem Grunde wurde ein Projekt formuliert, welches die Abwanderung von Lachssmolts aus einem Seitengewässer der Aare bis zur Mündung in den Rhein verfolgt. Dabei sollen Wanderdistanzen, Wanderwege, Abstiegszeiten und die Geschwindigkeit der Wanderung erhoben werden. Zu Beginn des Projekts war vorgesehen, junge Lachse aus der Wigger mit Radiotelemetrie zu markieren und ihre Abwanderung in der Aare zu verfolgen. Der Lachsbestand in der Wigger erwies sich jedoch als sehr gering und so konnten im Jahr 2021 (Frühling und Herbst) nur gerade acht Lachssmolts markiert werden. Aus diesem Grund wurde die Bünz als weiteres Seitengewässer der Aare in die Untersuchung miteinbezogen. Sie wies eine deutlich höhere Dichte von Junglachsen auf als die Wigger. Am 14./15.03.2022 konnten an der Bünz 46 semi-wilde Smolts mit der Elektrofischerei gefangen und mit Radiosendern markiert werden. Zusätzlich wurde eine Gruppe von Lachssmolts aus einer Fischzucht aus dem Elsass markiert und ausgesetzt (31 Individuen). An mehreren Standorten entlang der Aare wurden stationäre Antennen aufgestellt, um die Wanderungen der Fische zu dokumentieren. Insgesamt existierten neun Detektierstationen zwischen dem Kraftwerk Ruppoldingen bis zur Mündung der Aare in den Rhein. Zusätzlich wurden mobile Trackings durchgeführt. Die abwandernden Fische konnten über eine Distanz von rund 60 km (Wigger) bzw. 30 km (Bünz) bis zur Aaremündung verfolgt werden.

5.2 Zusammenfassung Resultate

Im Folgenden werden die wichtigsten Resultate zu den einzelnen Untersuchungsfragen kurz zusammengefasst:

- **Abstieg aus den Seitengewässern**
Wigger: Vier der acht markierten Lachse aus der Wigger wanderten in die Aare.
Bünz: Von den 46 semi-wilden Fischen wanderten 21 (45.6 %) in die Aare. Von den 31 Zuchtfischen erreichten 12 Individuen (38.7 %) die Aare. Die meisten Fische verliessen die Bünz zwischen dem 24.03. und dem 08.04.2022, mit dem Hauptwanderungspeak der semi-wilden Lachse zwischen dem 31.03.-02.04.2022. Der Abwanderungspeak fällt mit einem erhöhten Abfluss der Bünz zusammen. Die Zuchtfische begannen ihre Abwanderung kurz nach dem Aussetzen, ohne dass ein erhöhter Abfluss vorlag.
- **Wanderung der Wiggerlachse in der Aare**
Nur ein Fisch aus der Wigger erreichte die Aaremündung bei Koblenz (12.5 %). Er benötigte für die 48.2 km lange Strecke ab dem Wehr Winznau bis nach Koblenz 5.8 Tage. Die durchschnittliche Wandergeschwindigkeit betrug 0.35 km/h. Sämtliche Antennen wurden nachts passiert.
- **Wanderung der Bünzlachse in der Aare**
Von den 33 Individuen, die aus der Bünz auswanderten, wurden 29 in der Aare detektiert. Für beide Gruppen (semi-wilde/Zuchtlachse) fand der grösste Verlust in der Bünz statt. Während der Wanderung in der Aare waren die Verluste bei den Zuchtfischen deutlich grösser als bei den semi-wilden Fischen. Von diesen erreichten 37 % der markierten Fische die Aaremündung, bei den Zuchtfischen waren es nur 6.5 %. Die grössten Verluste in der Aare fanden zwischen dem Kraftwerk Wildegg-Brugg und der Stilli, sowie in der Strecke von der Stilli bis Koblenz statt. Werden nur



die Lachse betrachtet, welche aus der Bünz in die Aare abwanderten, erreichten 81 % der semi-wilden Smolts und 16.7 % der Zuchtfische den Rhein bei Koblenz.

- **Wandergeschwindigkeiten in der Aare**

Die semi-wilden Lachse benötigten für die Strecke von der Bünzmündung bis zum Rhein durchschnittlich 50.7 Stunden (2 Tage und 2.7 Stunden). Der schnellste dieser Fische benötigte 6.6 h, der langsamste 151 h (6.3 Tage). Nur zwei Zuchtfische erreichten die Aaremündung, sie benötigten für die gesamte Strecke 1.2 bzw. 22 Tage. Damit waren sie deutlich langsamer als die semi-wilden Fische.

Die mittlere Wandergeschwindigkeit über die gesamte Strecke von der Bünz- bis zur Aaremündung betrug 1.03 km/h (semi-wilde Fische) und 0.53 km/h für die Zuchtfische. Die höchste Wandergeschwindigkeit für beiden Gruppen wurde in der freifliessenden Strecke zwischen dem KW Wildeg-Brugg und der Stilli gemessen (Medianwerte von 3.75 bzw. 4.53 km/h). Die niedrigste Wandergeschwindigkeit (0.68 bzw. 0.54 km/h) wurde auf der Strecke Stilli bis Koblenz ermittelt. In dieser fast komplett eingestauten Strecke liegen die beiden Kraftwerke Beznau und Klingnau.

- **Tageszeitliches Aktivitätsmuster**

Das tageszeitliche Aktivitätsmuster konnte durch die Registrierungen auf den Antennen annäherungsweise ermittelt werden. Die Wanderungen fanden vorwiegend nachts, in der Zeit zwischen 19:00 – 06:00 Uhr statt. Aus der Literatur ist bekannt, dass es sich bei der Wanderung in den Nachtstunden um eine Strategie zur Vermeidung von Prädatoren handelt. Während die semi-wilden Fische fast ausschliesslich nachts registriert wurden, gab es bei den Zuchtfischen auch einige Detektionen am Tag, insbesondere bei der Station an der Bünzmündung.

- **Unterschiede semi-wilde Fische versus Zuchtfische**

Sehr grosse Unterschiede zwischen den beiden Gruppen konnten beim Überleben in der Bünz sowie bei der Überlebensrate in der Aare beobachtet werden. Die Zuchtfische erlitten in der Bünz sowie in der Aare hohe Verluste. Zudem erlitten sie Zeitverluste bei der Passage des KW Wildeg-Brugg. Als Folge davon erreichten nur gerade zwei von 31 markierten Zuchtfischen den Rhein. Die Erfolgsrate für das Erreichen des Rheins war bei den semi-wilden Fischen rund fünf Mal grösser als bei den Zuchtfischen. Keine wesentlichen Unterschiede ergaben sich in der Schwimmgeschwindigkeit in den einzelnen Aareabschnitten.

5.3 Fazit

Die Radiotelemetrie erwies sich als ein geeignetes Tool für die Erforschung der Abwanderung der Lachssmolts. Die Auswanderung aus dem Besatzgewässer, Verlustraten, Wandergeschwindigkeiten und Ankunft am Zielort (Aaremündung) konnten zuverlässig aufgezeigt werden. Die Sender wiesen mit 56-100 Tagen Laufzeit eine ausreichende Lebensdauer auf. Dank der kleinen Radiosender mit einem sehr geringen Gewicht (0.3 bzw. 0.7 g) und hoher Detektionseffizienz an den Antennenstandorten gelang es, die Abwanderung der Lachssmolts aus der Wigger und Bünz umfassend zu dokumentieren.

Der Verlust zwischen dem Zeitpunkt des Aussetzens und dem Abwandern aus der Wigger und der Bünz war erstaunlich gross. Aus der Wigger erreichte nur einer der markierten Fische den Rhein bei Koblenz. Die Stichprobenzahl für die Wigger war aufgrund der wenigen gefangenen Lachssmolts klein. Die Auswanderung aus der Bünz in die Aare konnte hingegen sehr gut erfasst werden. Die semi-wilden Smolts zeigten einen Abwanderungsspeak bei erhöhter Wasserführung (31.03./01.04.2022). Die Zuchtfische schwammen hingegen eher unkoordiniert kurz nach dem Aussetzen aus der Bünz aus. Auf einer Abwanderungsstrecke in der Aare von 27.5 km erlitten die semi-wilden Lachse einen Verlust von 0.8 % der Individuen pro km Fliesstrecke. Von den 21 in die Aare eingewanderten Individuen erreichten 17 den Rhein (81 %). Das ist im Vergleich zur internationalen Literatur ein eher geringer Verlust. Die relativ hohen Wandergeschwindigkeiten sowie die Wanderungen nachts verhinderten vermutlich eine starke Dezimierung der Smolts durch Prädatoren. Die Verluste durch Kraftwerke können nicht separat ausgewiesen werden, fielen jedoch insbesondere im unteren Teil der Untersuchungsstrecke (Stilli bis



Koblenz mit zwei Staustufen) geringer als erwartet. Die Zuchtfische schnitten im Vergleich mit den semi-wilden Fischen deutlich schlechter ab. Sie verzeichneten hohe Verluste bei der Abwanderung und grössere Verzögerungen bei der Passage des KW Wildegg-Brugg. Insgesamt erreichten nur zwei der 12 aus der Bünz ausgewanderten Zuchtfische die Aare (16.7 %).

Das weitere Schicksal der Lachse bei der Abwanderung im Rhein ist unbekannt. Die Überlebensrate der abwandernden semi-wilden Smolts in der Aare erscheint mit 99.2 %/km auf den ersten Blick zwar hoch, allerdings müssen die Fische im Rhein noch weitere 935 km und bis zu 17 Staustufen passieren. Die Verluste kumulieren sich dabei mit jedem zurückgelegten Kilometer. Ein Nachfolgeprojekt, welches im Winter 2023 am Hochrhein mit Lachsen aus dem Möhlinbach und der Ergolz durchgeführt wurde, wird zusätzliche Informationen über die Überlebensraten der Lachse im Rhein und die Abwanderung bis zum untersten Kraftwerk nach Iffezheim liefern (FishConsulting GmbH in Vorbereitung).



6 Dank

Wir bedanken uns bei der Sektion Jagd & Fischerei des Kantons Aargau (Thomas Stucki, David Bittner (ehemals), Corinne Schmid) für die Unterstützung des Projekts. Ein grosser Dank geht an die Swisslos-Fonds der Kantone Aargau, Basel-Landschaft und Basel-Stadt, welche dieses Projekt finanzierten. Antennen konnten an diversen Standorten nur mit der Unterstützung von Kraftwerken, Organisationen oder privaten Eigentümern aufgestellt werden. Wir danken für diese Unterstützung: Thomas Zinsli (Axpo Power AG), Roland von Arx (Alpiq AG), Roman Bieri (Abwasserverband Region Lenzburg), Frau Schmutz (Niedergösgen), Fehmi Lestrani und Thomas Gutknecht (Kanton Aargau, Departement Gesundheit und Soziales) und Fabian Stoller (Bundesamt für Umwelt, Hydrologie). Daniel Zopfi (Jagd und Fischerei Basel-Landschaft) importierte für uns die Zuchtlachse aus dem Elsass und hälterte sie für einige Tage in der kantonalen Fischzucht. Ihm und seinem Kollege Michel Bick danken wir für die grosse Unterstützung bei diesem Projekt. Unser Dank geht auch an Mirica Scarselli und Hans-Peter Jermann (Fachstelle Oberflächengewässer und Fischerei des Kantons Basel-Stadt) für ihre Unterstützung.



7 Literatur

- Aarestrup, K. & Koed, A. (2003). Survival of migrating sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiating weirs in small Danish rivers. *Ecology of Freshwater Fish*, 12 (3), 169–176.
- Aarestrup, K., Nielsen, C. & Koed, A. (2002). Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Hydrobiologia*, 483, 95–102.
- BAFU (2019). Liste der National Prioritären Arten und Lebensräume. In der Schweiz zu fördernde prioritäre Arten und Lebensräume. Umwelt-Vollzug (Band 1709). Bundesamt für Umwelt BAFU: Bern. 99 S.
- Brevé, N., Vis, H., Spierts, I., de Laak, G., Moquette, F. & Breukelaar, A. (2014). Exorbitant mortality of hatchery-reared Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L., in the Meuse River system in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation*, 18 (2), 97–109.
- Davidson, J. G., Rikardsen, A. H., Haltunen, E., Thorstad, E. B., Økland, F., Lechter, B. H., Skardhamar, S., Næsje, T. F. (2009). Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology*, 75, 1700–1718.
- Dönni, W., Spalinger, L. & Knutti, A. (2016). Die Rückkehr des Lachses in die Schweiz - Potential und Perspektiven. Auslegeordnung. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 55 S.
- Einum, S. & Fleming, I. A. (2001). Implications of stocking: Ecological interactions between wild and released Salmonids. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 75, 56–70.
- Havn, T. B., Økland, F., Teichert, M. A. K., Heermann, L., Borcharding, J., Sæther, S., Tambets, M., Diserud, O. H., Thorstad, E. B. (2017). Movements of dead fish in rivers. *Animal Biotelemetry*, 5 (7), 9 S.
- Havn, T. B., Thorstad, E. B., Borcharding, J., Heermann, L., Teichert, M. A. K., Ingendahl, D., Tambets, M., Sæther, S. A., Økland, F. (2020). Impacts of a weir and power station on downstream migrating Atlantic salmon smolts in a German river. *River Research and Applications*, 36 (5), 784–796.
- Honkanen, H. M., Orrell, D. L., Newton, M., McKelvey, S., Stephen, A., Duguid, R. A., Adams, C. E. (2021). The downstream migration success of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts through natural and impounded standing waters. *Ecological Engineering*, 161, 10 S.
- Ibbotson, A. T., Beaumont, W. R. C. & Pinder, A. C. (2011). A size-dependent migration strategy in Atlantic salmon smolts: Small smolts favour nocturnal migration. *Environmental Biology of Fishes*, 92 (2), 151–157.
- Imbert, H., Martin, P., Rancon, J., Grafflin, V. & Dufour, S. (2013). Evidence of late migrant smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Loire-Allier System, France. *Cybiurn*, 37 (1-2), 5–14.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout*. Springer. 708 S.
- Kunz, F. (2014). Growth, habitat use and migration timing of stocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a Swiss tributary of the Rhine River. Master Thesis. University of Zurich & Eawag. 72 S.
- Larocque, S. M., Johnson, T. B. & Fisk, A. T. (2020). Survival and migration patterns of naturally and hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in a Lake Ontario tributary using acoustic telemetry. *Freshwater Biology*, 65 (5), 835–848.
- Lothian, A. J., Newton, M., Barry, J., Walters, M., Miller, R. C. & Adams, C. E. (2017). Migration pathways, speed and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in a Scottish river and the near-shore coastal marine environment. *Ecology of Freshwater Fish*, 27 (2), 549–558.
- Martin, F., Hedger, R. D., Dodson, J. J., Fernandes, L., Hatin, D., Caron, F., Whoriskey, F. G. (2009). Behavioural transition during the estuarine migration of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt. *Ecology of Freshwater Fish*, 18 (3), 406–417.



- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P. & Saunders, R. L. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55 (Suppl. 1), 77–92.
- Newton, M., Barry, J., Dodd, J. A., Lucas, M. C., Boylan, P. & Adams, C. E. (2018). A test of the cumulative effect of river weirs on downstream migration success, speed and mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts: An empirical study. Ecology of Freshwater Fish, 11 S.
- Norrgård, J. R., Greenberg, L. A., Piccolo, J. J., Schmitz, M. & Bergman, E. (2013). Multiplicative loss of landlocked Atlantic Salmon *Salmo salar* L. smolts during downstream migration through multiple dams. River Research and Applications, 29 (10), 1306–1317.
- Nyqvist, D., McCormick, S. D., Greenberg, L., Ardren, W. R., Bergman, E., Calles, O., Castro-Santos, T. (2017). Downstream Migration and Multiple Dam Passage by Atlantic Salmon Smolts. North American Journal of Fisheries Management, 37 (4), 816–828.
- Økland, F., Thorstad, E. B., Finstad, B., Sivertsgård, R., Plantalech, N., Jepsen, N., McKinley, R. S. (2006). Swimming speeds and orientation of wild Atlantic salmon post-smolts during the first stage of the marine migration. Fisheries Management and Ecology, 13 (4), 271–274.
- Peter, A. (2015). Lachsmonitoring Möhlinbach. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. 16 S.
- Peter, A., Lubini-Ferlin, V., Roulier, C. & Scheidegger, C. (2010). Gewässer und ihre Nutzung. Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900 (S. 196–222). Haupt Verlag: Bern.
- QGIS.org. (2021). QGIS Geographic Information System. QGIS Association.
- R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Renardy, S., Colson, D., Benitez, J. P., Dierckx, A., Goffaux, D., Nzau Matondo, B., Ovidio, M. (2022). Migration behaviour of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) in a short and highly fragmented gravel-bed river stretch. Ecology of Freshwater Fish, 31 (3), 499–514.
- Ruggles, C. P. (1980). A Review of the Downstream Migration of Atlantic Salmon. Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences, 952, 1–39.
- Spicer, A. V., Moring, J. R. & Trial, J. G. (1995). Downstream migratory behavior of hatchery-reared, radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in the Penobscot River, Maine, USA. Fisheries Research, 23, 255–266.
- Thorstad, E. B., Uglem, I., Arechavala-Lopez, P., Økland, F. & Finstad, B. (2011). Low survival of hatchery-released Atlantic salmon smolts during initial river and fjord migration. Boreal Environment Research, 16 (2).
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H. & Finstad, B. (2012). A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: Behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. Journal of Fish Biology, 81 (2), 500–542.
- Urke, H. A., Kristensen, T., Ulvund, J. B. & Alfredsen, J. A. (2013). Riverine and fjord migration of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. Fisheries Management and Ecology, 20 (6), 544–552.
- Vonlanthen, P., Dönni, W., Ninck, L. & Kreienbühl, T. (2020). Wiederansiedlungskonzept Atlantischer Lachs Schweiz. Für die Jahre 2021 - 2035. Aquabios GmbH, Fischwerk GmbH. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.



8 Anhang

Tabelle 10: Mobile Trackings in den Seitenbächen sowie relevante Trackings in der Aare während der Laufzeit der Tags der unterschiedlichen Lachsgruppen

	Datum	Gewässer	Strecke
Wigger Frühling 2021	16.03.2021	Wigger	Bernstrasse bis Mündung in Aare
	19.04.2021	Aare	KW Ruppoldingen bis Brugg
	06.05.2021	Wigger	Bernstrasse bis Mündung in die Aare
	10.05.2021	Wigger	Zofingen bis Mündung in die Aare
	10.06.2021	Aare	KW Ruppoldingen bis Brugg
	25.06.2021	Wigger	Zofingen bis Mündung in die Aare
Wigger Herbst 2021	16.11.2021	Aare	KW Ruppoldingen bis Brugg
	27.01.2022	Aare Wigger	KW Ruppoldingen bis KW Rapperswil-Auenstein Bernstrasse bis Mündung in die Aare
	02.03.2022	Wigger	Bernstrasse bis Mündung in die Aare
Bünz Frühling 2022	17.03.2022	Bünz	Möriken Unterhasli bis Möriken Brücke
	03.04.2022	Bünz	Möriken Unterhasli bis Mündung in den Aabach
	07.05.2022	Bünz	Möriken Unterhasli bis Mündung in den Aabach
	24.06.2022	Aare Bünz	KW Rapperswil-Auenstein bis Brugg Möriken Unterhasli bis Mündung in den Aabach

