

Barben in der Limmat



September 2013

WFN - Wasser Fisch Natur
Dr. Arthur Kirchhofer
Murtenstrasse 52
3205 Gümmenen
031/751'18'74
info@wfn.ch



Bearbeitung: Daniela Eichenberger, Arthur Kirchhofer

Impressum

Projektausarbeitung und -realisierung:
WFN - Wasser Fisch Natur, Gümmenen

Finanzierung:

- Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei
- Bundesamt für Umwelt, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, Sektion Fischerei
- Limmatkraftwerke AG, Baden
- *naturemade star*-Fonds des ewz, Zürich
- Pachtvereinigung Stausee Wettingen und Aargauischer Fischereiverband

Titelbilder:

Oben: Restwasserstrecke Kraftwerk Turgi im September 2012

Mitte: Grosse Barbe in der Limmat im Mai 2011

Unten: Limmat bei der Kiesbank Hard im Mai 2011

Inhalt

Zusammenfassung

1	Einleitung	1
2	Biologie und Lebensraumsprüche der Barbe	3
3	Methoden	4
	3.1 Untersuchungsperimeter	4
	3.2 Methodik	5
4	Resultate und Interpretation	11
	4.1 Abfluss- und Temperaturverhältnisse	11
	4.2 Laichplätze in der Limmat	12
	4.3 Jungfischvorkommen	14
	4.4 Adulte Barben	17
	4.5 Barbenrelevante Habitate	19
	4.6 Fangstatistik	19
	4.7 Faktoren die den Fischbestand beeinflussen	21
	4.8 Populationsstruktur	24
	4.9 Alter und Wachstum	25
	4.10 Länge-Gewicht und Kondition	26
5	Fazit und Empfehlungen	27
6	Literatur	29
	Anhang	31
	A1 Artenliste Elektroabfischungen	31
	A2 Wachstumskurve und Längen-Gewichts-Beziehung	32
	A3 Koordinaten Laichplätze und Befischungstrecken	33

Zusammenfassung

Die Barbe (*Barbus barbus*) ist ein für die grösseren Mittellandflüsse typischer Fließwasserfisch. Grosse Barben leben am Gewässergrund, an dem sie nach bodenlebenden Kleintieren suchen. Oft stehen sie an tieferen schnell fließenden Stellen, benötigen aber auch ruhige Bereiche. Den Winter verbringen Barben in tiefen, ruhigen «Löchern». Schnell überströmte Kiesbänke dienen dieser Fischart zum Laichen, ihre Jungfische halten sich in gut strukturierten Uferbereichen mit geringer Strömung auf. Damit Barben je nach Jahreszeit, Abflussverhältnissen und Alter den passenden Lebensraum finden, sind ein reich strukturiertes Flussbett und eine funktionierende Längsvernetzung wichtig.

Seit 1999 nahmen die Barbenfänge der Angelfischer im Aargau tendenziell ab und bei den Kontrollen der Fischaufstiegshilfen (FAHs) bei den Kraftwerken Kappelerhof (2007/08) und Wettingen (2008/09) an der Limmat wurden nur wenige erwachsene Barben registriert. Um die aktuelle Situation der Barben in den untersten 12 Limmatkilometern abzuschätzen wurden mit der vorliegenden Untersuchung verschiedene Erhebungen durchgeführt, ausgewertet und daraus Vorschläge zur Förderung dieser Fischart abgeleitet.

Aus der aktuellen Fangstatistik, direkten Beobachtungen am Fluss und der Kontrolle der FAH Kappelerhof 2011 geht hervor, dass im gesamten Untersuchungsperimeter erwachsene Barben leben. Im Frühjahr 2012 konnten auf fünf Kiesbänken, Barben beim Laichgeschäft beobachtet werden. Dass dieses erfolgreich war zeigten die im Herbst folgenden elektrischen Uferbefischungen mit denen die jüngsten Vertreter (0⁺ Barben) in der Limmat in ähnlichen Dichten nachgewiesen wurden, wie in anderen Flüssen. Die 0⁺ Barbendichten waren 2011 jedoch deutlich tiefer als 2012. Als Grund dafür wird der tiefe Abfluss im Frühjahr 2011 und das damit verbundene Trockenfallen geeigneter Laichplätze vermutet.

Die Altersstruktur der Barben im untersuchten Limmatabschnitt zeigt keine Auffälligkeiten. Das Längenwachstum der Limmatbarben ist mit demjenigen von Barben anderer Flüsse vergleichbar, jedoch sind die Barben in der Limmat leichter als anderswo. Ihr mittlerer Konditionsindex von 0.998 liegt im grünen Bereich. Bodenlebende Kleintiere sind in der Limmat in den erwarteten Dichten vorhanden, Barben sollten somit genügend Nahrung finden.

Der Einfluss der zahlreichen Wehre auf die Wanderung der Barben lässt sich mit den bisher vorhandenen Daten nicht quantifizieren. Die vorgenommenen Anpassungen bei den Einstiegen der FAH Kappelerhof scheinen für Barben eine wesentliche Verbesserung zu sein. Zumindest nutzten Barben 2011 diese FAH in deutlich grösserer Zahl als 2007/08. In die FAHs Wettingen und Kappelerhof wurden Erfassungssysteme für PIT-Tags eingebaut. Damit können in Zukunft wertvolle Informationen zum Wanderverhalten gewonnen werden, wenn weitere Barben (und andere Arten) mit PIT Tags ausgestattet werden.

Die Limmatsohle ist vielerorts kolmatiert und damit nicht als Laichplatz geeignet. Ein wichtiger Grund dafür ist der fehlende Kies, denn heute wird das ganze Geschiebe der Limmat im Stau Wettingen zurückgehalten. Um diese Situation zu verbessern und um neue und bestehende Laichplätze zu erhalten, ist ein Reaktivieren des Geschiebehaushalts zentral. Zusätzlicher Kies im System fördert Kiesbänke mit flach auslaufenden Ufern, die bei unterschiedlichen Wasserständen funktionierende Laichplätze und Lebensraum für Jungfische (auch für andere Fischarten) bieten.

Um das Lebensraumangebot für erwachsene Barben zu verbessern, ist es sinnvoll auch in tiefen Bereichen die Strukturvielfalt zu erhöhen. Zum Beispiel mit Raubäumen in steilen Uferabschnitten. Strukturvielfalt trägt auch zu einem besseren Schutz der Fische vor fischfressenden Vögeln bei.

1 Einleitung

Die Barbe (*Barbus barbus*) ist als Fließwasserfisch ein typischer Bewohner grösserer, aber noch schnell fließender Flussabschnitte. Sie ist in der Schweiz vor allem in den grossen Mittellandflüssen nördlich der Alpen heimisch (Abbildung 1). In einigen Flussabschnitten ist sie die Leitfischart und namensgebend für die ökologische Gewässerregion, die als Barbenregion bezeichnet wird. Für solche Gewässerabschnitte ist die Barbe ein guter Indikator für Strukturvielfalt und funktionierende Längsvernetzung, da sie während ihrer Entwicklung und zu unterschiedlichen Jahreszeiten in sehr unterschiedlichen Habitaten anzutreffen ist [BRITTON & PEGG 2011].

Anfang des letzten Jahrhunderts war die Barbe im Aargau ein wichtiger Brotfisch der Fischer [HOFER 1911], heute gilt sie in der

Schweiz als potenziell gefährdet. Sie ist zwar noch immer weit verbreitet, über die Hälfte der Bestände werden aber als klein eingeschätzt [KIRCHHOFER et al. 2007]. Ein Rückgang der Barbenbestände lässt sich auch aus der Fangstatistik des Kantons Aargau ablesen. Seit 1999 nehmen die Barbenfänge in den grossen Aargauer Flüssen Aare, Reuss, Limmat und Rhein tendenziell ab [FRANK 2011]. Daneben wurden bei Fischpasskontrollen in der Limmat, bei den Kraftwerken Kappelerhof (2007/08) und Wettingen (2008/09) nur wenige adulte Barben beim Aufstieg registriert.

Eine Abnahme der Barbenbestände wurde in den vergangenen Jahrzehnten in verschiedenen Flüssen Europas beobachtet [z.B. PRZYBYLSKI et al 2004, PENCZAK 2000, KEITER et al 2009]. Als wichtige Bedrohungen der Bar-

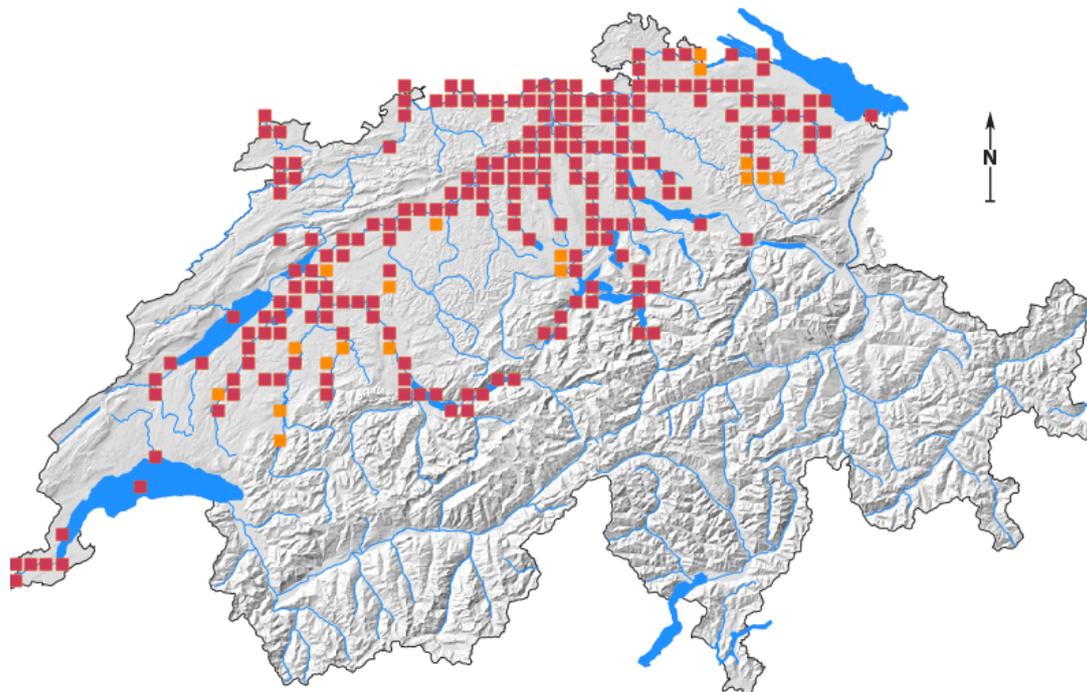


Abbildung 1: Verbreitung der Barbe in der Schweiz. Orange Quadrate sind Nachweise vor 1990, rote nach 1990 (Karte von www.cscf.ch).

benpopulationen gelten die Zerstörung der Lebensraumvielfalt und die Unterbrechung der Längsvernetzung in Fließgewässern [BRITTON & PEGG 2011]. So finden die Fische nicht mehr alle Habitattypen, die sie während ihrer Entwicklung benötigen oder sie können diese nicht mehr erreichen, weil ihnen der Weg durch Wehre versperrt ist.

Aufgrund der rückläufigen Fangzahlen und Beobachtungen in Fischaufstiegshilfen erarbeitete WFN – *Wasser Fisch Natur* das Konzept für eine Studie zum Barbenbestand in der Limmat. Ziel des Projektes war es, die aktuelle Situation der Barben in der Limmat abzuschätzen: Sind zum Beispiel grosse Barben in der Limmat grundsätzlich untervertreten oder fehlen sie nur in den Fischpässen? Können gegebenenfalls Ursachen für den Rückgang dieser Fischart erkannt werden? Was kann zur Förderung der Barbe in der Limmat unternommen werden?

Das Projekt wurde unterstützt durch die Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau, den Aargauischen Fischereiverband, die Limmatkraftwerk AG, den *naturemade star*-Fonds von ewz, den Aargauischen Fischereiverband und die Pachtvereinigung Stausee Wettingen, sowie das Bundesamt für Umwelt, Abt. Artenmanagement/Sektion Fischerei.

Die Autoren danken diesen Institutionen und Organisationen für die gewährte Unterstützung. Ein grosser Dank geht auch an die Angelfischer der Vereine Turgi-Siggenthal und Pachtvereinigung Stausee Wettingen, die mit ihrem Interesse, den Lokalkenntnissen und der Mithilfe bei den Felderhebungen einen wichtigen Teil zum Gelingen des Projektes beitrugen.

2 Biologie und Lebensraumsansprüche der Barbe

Barben benötigen ein gut strukturiertes Flussbett, mit ruhigen und schnell fliessenden, sowie flachen und tiefen Bereichen. Typisch für die Barbenregion sind mittlere Sommerwassertemperaturen um die 20°C [EBEL 2002].

Barben leben in Bodennähe. Tagsüber halten sie sich bevorzugt in tieferen, strömungsberuhigten Bereichen auf. Ältere Barben können tagsüber auch häufig am Grund von Strömungsrinnen beobachtet werden. In der Dämmerung verlassen die Barben ihre Tagesstätten und suchen Bereiche mit geringerer Wassertiefe und grösserer Fließgeschwindigkeit (Rauschen oder Schnellen) auf [EBEL 2002], wo sie mit ihren Barteln allerlei Kleintiere wie Insektenlarven, Schnecken und Muscheln aufspüren und fressen, aber auch Algen weiden. Barben sind meist in kleinen Trupps in der Dämmerung unterwegs auf Nahrungssuche. Auf der Suche nach geeigneten Fressgründen legen sie bis zu 10 km zurück [GERSTMEIER & ROMIG, 2003]. Andere Autoren beobachteten Distanzen von 20 bis 500 m zwischen Ruhe und Nahrungshabitat [PELZ & KÄSTLE 1989, BARAS 1992]. Im Winter leben die Tiere dicht an dicht an tiefen Stellen, in sogenannten «Barbenlöchern».

Männliche Tiere werden mit 4-5, Weibchen mit 5-6 Jahren geschlechtsreif [HUNT & JONES 1975]. Im Frühling bei Wassertemperaturen von 13-17°C wandern adulte Barben flussaufwärts oder auch abwärts, zu geeigneten Laichgründen [DE VOCHT & BARAS 2005]: Oft

schnellüberströmte Kiesbänke aus Grobkies (Korngrößen von 1-3 cm) im Hauptfluss [EBEL 1996, 2002]. Die Laichwanderung wird durch die Wassertemperatur und zunehmenden Abfluss ausgelöst, somit fällt die Laichzeit in unseren Breitengraden meist in die Monate Mai und Juni [EBEL 2002]. Bei einzelnen markierten Barben konnten schon Wanderdistanzen bis 300 km nachgewiesen werden [STEINMANN 1937]. Nicht alle Barben einer Population legen aber lange Wanderungen zurück, es sind immer auch Tiere da, die in einem kleineren Flussabschnitt verbleiben, wobei gilt: Je grösser die Habitatvielfalt in einem Flussabschnitt umso grösser der Anteil an stationären Barben [PENAZ et al 2002, VILIZZI et al. 2006]. Das Abbläuen geschieht bei Wassertemperaturen zwischen 14 und 20°C [EBEL 2002], fast immer tagsüber [BARAS 1994]. Die Eier kleben an Steinen und zwischen dem Kies fest (Abbildung 2). Die Dottersackfischchen leben 8-19 Tage im Kiesbett, verlassen dieses danach und werden von der Strömung flussabwärts verdriftet. Sie verbleiben in flachen Uferbereichen mit geringer Fließgeschwindigkeit, wo sie mit der Nahrungsaufnahme beginnen. Einsömmerige Barben bewohnen bevorzugt flache Uferbereiche auf Kiesbänken oder Rauschen mit geringer Tiefe, wo sie Totwasserzonen hinter Steinen nutzen. Mit zunehmendem Alter und Grösse wechseln sie an Stellen mit grösserer Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe [EBEL 2002].

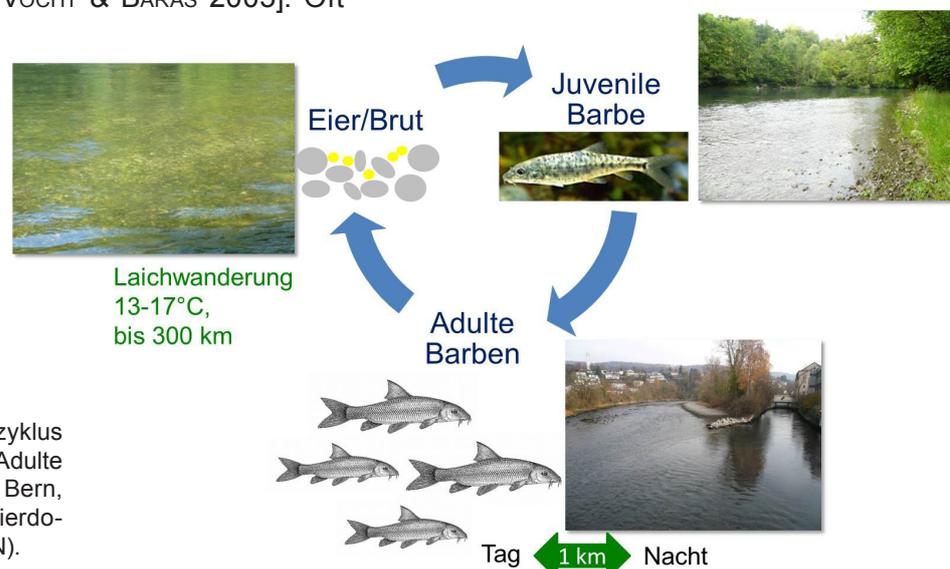


Abbildung 2: Lebenszyklus der Barbe (Bilder: Adulte Barbe, LANAT Kanton Bern, juvenile Barbe, www.tierdocu.com, Habitate, WFN).

3 Methoden

3.1 Untersuchungsperimeter

Die Erhebungen wurden im 12 km langen Limmatabschnitt zwischen Stauwehr Wettingen und Mündung in die Aare durchgeführt. In diesem Abschnitt ist die Limmat etwa 40-60 m breit und gehört fischereibiologisch grösstenteils zur Barbenregion. Im Untersuchungsperimeter befinden sich acht Wehre (Abbildung 3): Stauwehr KW Wettingen, Dachwehr Damsau, Stauwehr KW Aue, Stauwehr KW Kappelerhof, Streichwehr KW Schiffmühle, Streichwehr KW Turgi, Streichwehr BAG Turgi

(BAG Immobilien), Streichwehr KW Stoppel. Für die Erhebungen wurden die 12 km Limmat in 8 Strecken unterteilt (Abbildung 3). Die Koordinaten der befischten Strecken sind im Anhang A3 aufgelistet.

Die Fische der Limmat werden in mehreren vom Kanton verpachteten Fischenzen und privaten Fischereirechten genutzt (Tabelle 1). Die Grenzen der Fischenzen sind in Abbildung 3 gelb eingezeichnet.

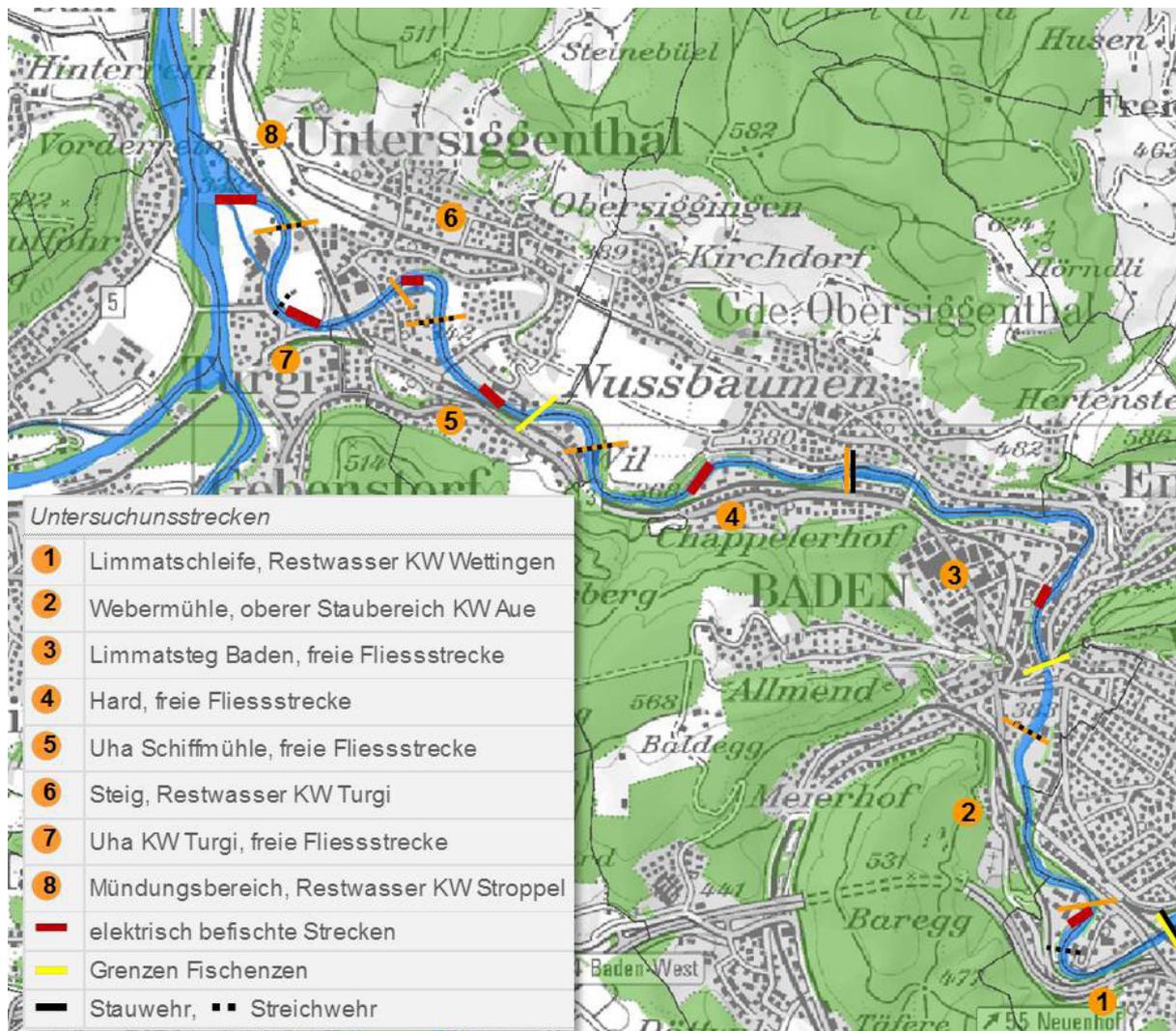


Abbildung 3: Untersuchungsperimeter: Limmat vom Stauwehr Wettingen bis zur Mündung in die Aare. Punkte 1 – 8 = Untersuchungsstrecken, die Streckengrenzen sind mit orangen Strichen markiert, Rote Striche = Strecken der Jungfischbefischungen. Gelbe Striche = Grenzen der Fischenzen, schwarze Striche = Wehre (Karte aus agis, www.ag.ch)

Tabelle 1: Fischnenzen im Untersuchungsperimeter

Fischnenz	Lokalisation	Pachtverein bzw. Fischnenzenbesitzer
21	Wehr Wettingen – Holzbrücke Baden	Pachtvereinigung Stausee Wettingen
643*	Holzbrücke Baden – Gemeindegrenze Unter-/Obersiggenthal	Pachtvereinigung Stausee Wettingen
640	Gemeindegrenze Unter-/Obersiggenthal – Mündung in Aare	Fischereiverein Turgi – Siggenthal

*Zusätzliche Fischereirechte: Parallelrechte zu Fischnenz 643

- 639 Ortseinwohner Ennetbaden, Privates Fischereirecht, rechtes Ufer von der gedeckten Brücke beim Landvogteischloss in Baden abwärts bis zur Gemeindegrenze Ennetbaden/Obersiggenthal sowie linkes Ufer von der gedeckten Brücke beim Landvogteischloss in Baden abwärts bis zur ehemaligen Rosschwemme bei der schrägen Brücke.
- 642 Ortseinwohner Baden, Privates Fischereirecht, linkes Ufer in Baden, von der gedeckten Brücke beim Landvogteischloss abwärts bis zur schrägen Brücke.

3.2 Methodik

Um Grösse und Zusammensetzung der Barbenpopulation im Untersuchungsperimeter abschätzen zu können, wurden gezielte Untersuchungen zur Fortpflanzung, zum Jungfischvorkommen und zum Vorkommen adulter Barben durchgeführt. Daneben lieferten die Auswertung der Fangstatistik sowie der Fischpasskontrollen der Kraftwerke Kappelerhof und Wettingen Informationen zum Barbenvorkommen.

Fortpflanzung der Barbe

Geeignete Laichhabitate sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Fortpflanzung. Um den untersuchten Limmatabschnitt bezüglich seiner Eignung für die Barbenfortpflanzung einschätzen zu können wurde er nach möglichen Barbenlaichplätzen abgesucht. 2011 war ein sehr warmes Frühjahr, daher war die Barbenlaichzeit bei Projektstart Ende Mai bereits vorüber. So wurden zwischen dem 7. und 16. Juni 2011 aufgrund der Substratzusammensetzung und Fließgeschwindigkeit potenzielle Barben-Laichhabitate kartiert. Die tatsächliche Nutzung der so ermittelten Laichhabitate wurde im folgenden Jahr mittels Begehungen während der Laichzeit am 26., 27. und 30. Mai überprüft. Dabei wurde nach ablaichenden Barben, typischen Laichgruppenformation so-

wie nach hellen Laichstellen gesucht. Für alle Laichhabitate wurden im Feld die ungefähre Fläche, die Zusammensetzung der Sohle, sowie die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche grob geschätzt.

Jungfischvorkommen

Das Jungfischvorkommen zeigt, ob eine erfolgreiche Fortpflanzung der Barben in der Limmat stattfindet. Zudem erlauben Kenntnisse über die Häufigkeit junger Barben eine Beurteilung der Populationsstruktur.

Um Informationen zum Vorkommen junger Barben zu erhalten, wurde pro Limmatabschnitt, ein für Jungfische geeigneter Uferabschnitt von etwa 150 m Länge mit dem Elektrofanggerät watend befischt (Untersuchungsstrecken s. Abbildung 3). Im Abschnitt 2 „Webermühle“ fanden keine Uferbefischungen statt, da dieser Bereich nur schwer zugänglich ist. Für alle Abfischungen wurde dasselbe Elektrofanggerät (Grassl, 5 kW) eingesetzt und die halbquantitative Punktsammelmethode [PERSAT & COPP 1990] angewendet. Eine Untersuchungsstrecke wurde jeweils mit 35 – 74 Punkten befischt. Als ein Punkt zählte dabei jedes Eintauchen der Anode.

Alle gefangenen Fische wurden bestimmt, gezählt und nach Längenklassen von 5 cm er-

fasst. Die gefangenen Barben wurden zusätzlich betäubt, gewogen und ihre Länge gemessen. Barben ab etwa 15 cm Grösse wurden zusätzlich drei Schuppen zur Altersbestimmung entnommen. Nachdem sich die Fische im sauerstoffangereicherten Wasser wieder erholt hatten, wurden sie zurückgesetzt. Damit konnte aus dem Vorkommen von 0⁺-Individuen (Fische in ihrem ersten Lebensjahr) auf die natürliche Fortpflanzung und die Nutzung des Abschnitts durch Jungfische geschlossen werden. Aufgrund der totalen Anzahl gefangener Individuen und der Anzahl Punkte pro Strecke wurde die relative Fischdichte (CPUE = Catch per Unit Effort oder Anzahl Fische pro Punkt) berechnet. Die Feldaufnahmen wurden jeweils im September (14./15. 9. 2011, 17./18. 9. 2012) durchgeführt.

Um einen eventuellen Zusammenhang der Häufigkeit von Jungbarben mit der Habitatbeschaffenheit im befischten Uferabschnitt zu untersuchen, wurden in den befischten Strecken am 28. und 29. 9. 2011 die vorhandenen Fischhabitate aufgenommen. Dabei wurde jeweils ein Uferabschnitt von etwa 100 m Länge und 10 m Breite kartiert. Die Aufnahme erfolgte leicht angepasst, nach der Methode Indikator 11 aus dem Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen [WOOLSEY et al. 2005].

Vorkommen adulter Barben

Um Anhaltspunkte über das Vorkommen und die Häufigkeit adulter Barben zu erhalten, wurden folgende Erhebungen durchgeführt:

Im Zeitraum vom 4.5. bis 8.11.2011 (Beobachtungen von 0.25 – 3 Stunden an total 23 Tagen) und vom 16.1. bis 25.10.2012 (Beobachtungen von 0.25 – 3 Stunden an total 29 Tagen) wurde an geeigneten Orten vom Ufer oder Brücken aus der Fluss visuell nach Barben abgesucht. Dabei wurden jeweils die Anzahl beobachteter Barben und ihre geschätzte Länge (auf 10 cm genau) sowie die Substratzusammensetzung und Fliessgeschwindigkeit

(4 Klassen: keine, schwach, mittel, stark) notiert. Ein Teil dieser Barbenbeobachtungen wurde von lokalen Fischern gemeldet, ein Teil wurde durch WFN erhoben. Aus diesen Daten wurde die maximale Anzahl beobachteter Barben für einen Limmatabschnitt ermittelt.

Um Angaben zu Gewicht, Länge und Alter von grossen Barben zu erhalten, wurden mit lokalen Fischern Barbenstandorte mit der Angel befischt. Solche Befischungen konnten am 22. 10. 2011 unterhalb des Wehrs Wettlingen und am 2. 5. 2012 unterhalb des Wehrs Damsau organisiert werden. Grössere Barben wurden anlässlich der Ausfischung des Fischpasses beim Wehr des Kraftwerks Aue am 29. 10. 2011 und bei der Ausfischung des Oberwasserkanals KW Aue am 22.05.2013 gefangen. Die gefangenen Barben wurden gemessen, gewogen und ihnen wurden Schuppen zur Altersbestimmung entnommen. Daneben waren die Fischer aufgefordert worden, ihre Barbenfänge zu melden, sowie die gefangenen Fische zu messen und ihnen Schuppen zu entnehmen. Die Schuppen wurden jeweils oberhalb der Seitenlinie auf Höhe der Rückenflosse entnommen (Abbildung 4).



Abbildung 4: Ort der Schuppenentnahme (Bild Barbe: LANAT Kanton Bern)

Um herauszufinden ob Barben in den Unterwasserstollen des Kraftwerkes Wettlingen einsteigen, wurden während der Zeit der Laichwanderung bei den Turbinenausläufen zwei Zeiträckerkameras (Garden Watch Cam von Brinno) installiert. Sie waren vom 15.04.-11.07.2011 sowie 16.05.-20.07.2012 in Betrieb und schossen alle fünf Minuten ein Bild.

Wachstum, Ernährungszustand und Populationsstruktur

An 43 Barben konnte anhand der Schuppen eine Altersbestimmung vorgenommen werden. Dazu wurden die Schuppen präpariert und unter einem Projektionsmikroskop analysiert und vermessen: Entlang des grössten Radius vom Zentrum der Schuppe nach hinten wurde der Radius beim ersten (r_1), zweiten (r_2), xten (r_x) Annulus, sowie der Gesamtradius (r_f) ermittelt (Abbildung 5). Aus diesen Daten wurde die Fischlänge nach x Wachstumsjahren zurückgerechnet und mit Hilfe des von Bertalanffy Modells die Wachstumskurve für die Limmatbarben ermittelt.

Weibliche Barben haben ab einem Alter von etwa 3-4 Jahren eine höhere Wachstumsgeschwindigkeit als männliche Tiere. Auf eine Geschlechtsbestimmung wurde in der vorliegenden Untersuchung aber verzichtet und die Daten aller Tiere in dieselbe Wachstumskurve integriert.

Um den Ernährungszustand der Limmatbarben zu erfassen, wurde die Längen-Gewichtsbeziehung ermittelt, sowie der Konditionsfaktor (KI) nach folgender Formel berechnet:

$$KI = 100 * \text{Gewicht [g]} * \text{Länge}^{-3} [\text{cm}].$$

Die Daten wurden in Längen-Häufigkeitsdiagrammen dargestellt, um die Populationsstruktur beurteilen zu können. Dabei wurden Daten der Jungfischbefischungen, Fischpassausfischung KW Aue und die Längen der grossen gefangenen Barben in cm-Klassen gruppiert. Die Barbenlängen aus den Fischpasskontrollen KW Kappelerhof und Wettlingen sowie diejenigen der vom Ufer aus beobachteten Barben wurden in 10 cm Klassen gruppiert.

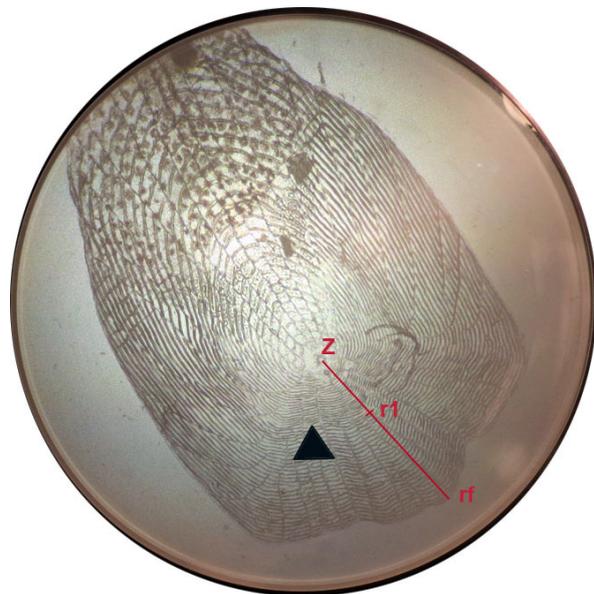


Abbildung 5: Projektion einer Schuppe einer 1+ Barbe. Das ▲ markiert den ersten Annulus. Z = Zentrum, r_1 = Radius beim ersten Annulus, r_f = Radius beim Fang.

Habitatsituation im Projektperimeter

Um Anhaltspunkte über die Lebensraumsituation der Barben im Untersuchungsperimeter zu erhalten, wurden vom 7. - 16. 6. 2011 die für Barben potenziell relevanten Habitate vom Ufer aus grob kartiert. Daraus wurde für jeden Limmatabschnitt der Anteil für Barben geeigneter Fläche an der Gesamtwasserfläche abgeschätzt. Die Gesamtwasserfläche wurde anhand der Ökomorphologiedaten des Kantons Aargau berechnet. Für die Kartierung wurden in Anlehnung an [EBEL 2002] die folgenden Habitattypen unterschieden: Potenzielle Laichhabitate, Larvalhabitate, Jungfischhabitate, Rauschen, Strömungsrinnen, Fliessstrecken, Unterstände. Wobei bei der Kartierung vom Ufer aus, das Finden von für Barben geeigneten Unterständen und Larvalhabitaten nur sehr beschränkt möglich war.

Teilprojekt: Automatische Fischpasskontrolle, Fischwanderung

Mit dem Ziel Fische in den Fischaufstiegshilfen automatisch registrieren zu können und mehr über ihre Herkunft und ihr Verhalten beim Aufstieg zu erfahren, wurde der Einsatz von RFID-Chips («Radio Frequency Identification») näher geprüft. Daraus entstand ein separates Teilprojekt in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Hochschule für Technik in Windisch. Die FHNW wurde beauftragt bei den Fischaufstiegshilfen der Kraftwerke Kappelerhof und Wettingen ein Antennensystem einzubauen, so dass mit PIT-Tags («Passive Integrated Transponder») markierte Fische beim Einstieg und Ausstieg der Fischpässe automatisch registriert werden.

Alle während des Barbenprojektes gefangenen Fische (alle Arten) ab einer Grösse von etwa 10 cm wurden mit PIT-Tags markiert (Abbildung 6). Da diese Transponder in die Bauchhöhle der Fische implantiert werden und somit äusserlich nicht sichtbar sind, wurden alle mit einem Transponder ausgestatteten Fische auch mit Alcyanblau markiert. Dabei erhielten Fische, die unterhalb des Kraftwerkes

Schiffmühle (Abschnitte 5-8) gefangen wurden einen Punkt, diejenigen oberhalb (Abschnitte 1-4) 2 Punkte auf ihren Bauch. Diese Farbmarkierung sollte es Fischern und uns ermöglichen einen markierten Fisch und damit allfällige Wiederfänge zu erkennen.

Im Rahmen des Projektes konnten gesamt 202 Fische mit PIT-Tags markiert werden, darunter 103 Barben. Die meisten markierten Fische wiesen eine Körperlänge zwischen 10 und 20 cm auf. 36 Barben wiesen über 30 cm, zwei davon 61 und 64 cm Körperlänge (beide aus Abschnitt 1 Limmatschleife) auf.

Das Installieren und Einstellen der Antennensysteme erwies sich als schwieriger als ursprünglich angenommen, so konnte das System in Wettingen erst im Juni 2012, dasjenige in der FAH Kappelerhof erst im Januar 2013 in Betrieb genommen werden. In jedem Fischpass sind zurzeit drei Antennen eingebaut. Jeweils eine im oberen Bereich des Sohlanschlusses, eine an geeigneter Stelle im Fischpassabschnitt oberhalb des Einstiegs bei den Turbinen und eine vor dem Ausstieg. Die Antennensysteme sind in beiden Fischpässen in Betrieb.



Abbildung 6: Links: Zwei PIT-Tags in unterschiedlicher Grösse (12 mm und 23 mm). Diese in Glas eingegossenen passiven Sender werden den Fischen in die Bauchhöhle implantiert. Rechts: Ein mit einem PIT-Tag ausgestatteter Alet, wurde am Bauch mit zwei blauen Punkten markiert.

Im Fischpass Wettingen wurden bisher (Ende September 2013) vier Fische vom System registriert. Dabei handelte es sich um eine Barbe und einen Alet, die im Zählbecken Wettingen am 6. 10. 2012 mit kleinen Tags markiert und ca. 40 m unterhalb des Zählbeckens im Umgehungsgerinne wieder freigelassen wurden. Der Alet schwamm nach unten und wurde am 11. 10. 2012 von der Antenne im Sohlanschluss erfasst, die Barbe wurde verschiedene Male von der Antenne beim Ausstieg registriert (12. + 18. 10. 2012 und 3. 11. 2012). Eine weitere Barbe, die ebenfalls mit diesen beiden Fischen markiert und entlassen wurde, meldete sich bisher bei keiner Antenne. Ob sie noch im Fischpass lebt oder diesen ohne Registrierung verlassen konnte ist unklar.

Eine im Oberwasserkanal des KW Aue markierte Barbe und ein bei der Limmatpromenade markierter Alet wurden im August und September 2013 im Fischpass Wettingen registriert. Letzterer zeigt, dass der neue Fischpass beim KW Aue bereits wenige Tage nach Inbetriebnahme benutzt wurde.

Da die Systeme erst kurze Zeit in Betrieb sind und nur wenige Fische mit dem Tag markiert sind, konnten bisher noch keine Informationen zur Fischwanderung in der Limmat aus den beiden Antennensystemen gewonnen werden. Die Systeme sind aber funktionsfähig und stehen in Betrieb.

Es ist sicher sinnvoll, die beiden neu erstellten Fischpässe bei den KWs Schiffmühle und Aue ebenfalls mit RFID-Systemen auszustatten und weitere Fische in der Limmat mit PIT-Tags zu markieren, um so mehr Erkenntnisse über die Fischwanderung in der Limmat zu erhalten.



4 Resultate und Interpretation

4.1 Abfluss- und Temperaturverhältnisse

Eine Übersicht über die Abflussverhältnisse und den Wassertemperaturverlauf in den beiden Untersuchungsjahren gibt Abbildung 7. In beiden Jahren fanden keine extremen Hochwasserereignisse statt. Von März bis Juni 2011 war der Abfluss im Vergleich zum langjährigen Mittel sehr tief, die Temperatur von April bis Juni hingegen hoch. 2012 entsprachen Abfluss und Temperatur in etwa einem durchschnittlichen Jahr.

Im Frühjahr 2012 begann die Laichzeit am 26. Mai. Das Tagesmittel der Wassertemperatur betrug 13.6°C . Laichende Barben konnten auch am 27. Mai bei einer Wassertemperatur von 14.1°C beobachtet werden. Drei Tage später war die Temperatur mit 17.6°C deutlich höher und an den bekannten Laichplätzen waren keine sich fortpflanzenden Barben mehr zu sehen.

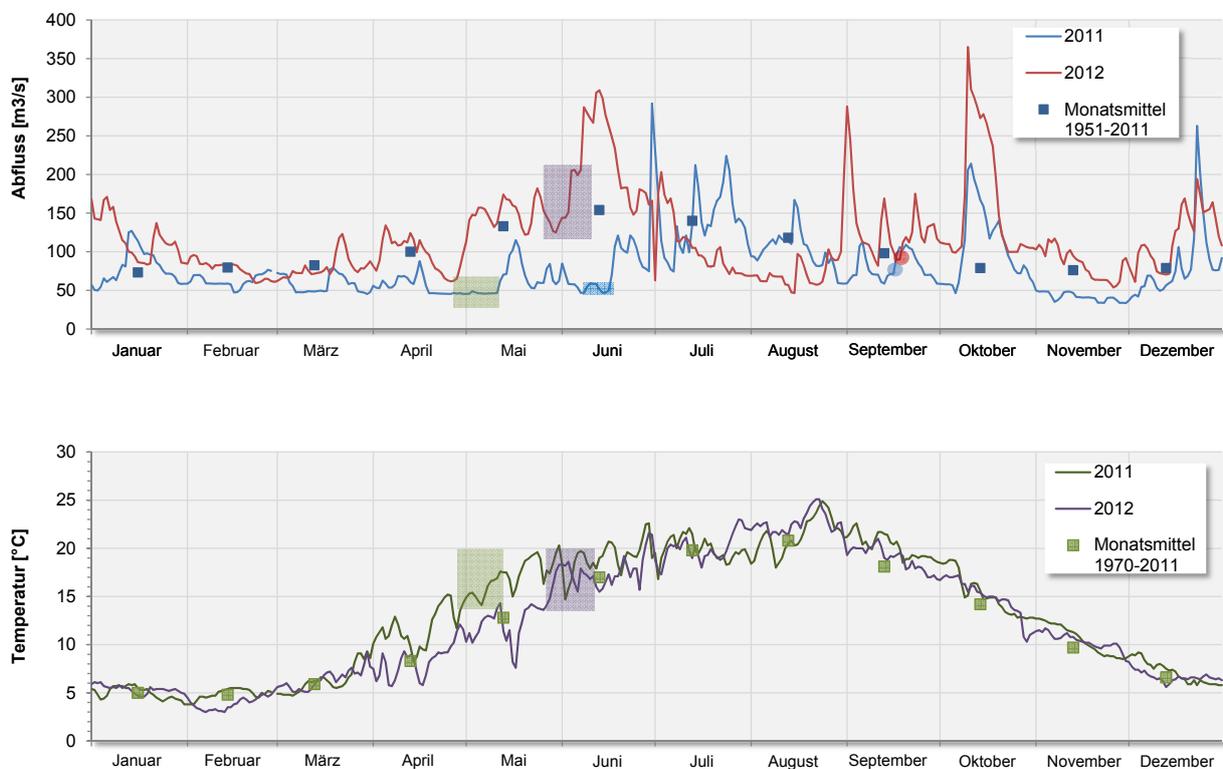


Abbildung 7: Tagesmittel von Abfluss (oben) und Temperatur (unten) der Limmat in Baden für die Jahre 2011 und 2012, sowie die langjährigen Monatsmittel (Quadrate, Abfluss 1951-2011, Temperatur 1970-2011, Daten von <http://www.hydrodaten.admin.ch>). Grün hinterlegt ist die Laichzeit im Frühjahr 2011, violett diejenige 2012. Die Punkte markieren den Abfluss bei den Elektroabfischungen im September und blau hinterlegt ist der Abfluss während der Kartierung der Barbenhabitate im Juni 2011.

4.2 Laichplätze in der Limmat

Im Juni 2011 wurden 15 potenzielle Laichhabitats kartiert. Davon konnten 2012 fünf als tatsächlich von Barben genutzt bestätigt werden, bei den anderen zehn konnten keine Laichaktivitäten oder helle Flecken, die Laichgruben entsprechen beobachtet werden (Abbildung 8). Von diesen zehn potenziellen Laichhabitats konnten sechs verworfen werden, da ihre Sohle eine unpassende Korngrößenverteilung aufwies, zu stark kolmatiert war oder die Fließgeschwindigkeit als zu gering eingeschätzt wurde. Somit weist der untersuchte Limmatabschnitt eine Laichhabitatdichte von mindestens 0.4 Habitats pro Kilometer auf (dabei wurden nur die bestätigten Habitats berücksichtigt). EBEL [2002] fand in der Helme in Deutschland mit 0.45 Laichhabitats pro Kilometer eine vergleichbare Dichte dieses Habitattyps.

Die 2012 tatsächlich genutzten Laichhabitats lagen alle auf Kiesbänken oder im oberen Bereich von Kiesinseln in den Abschnitten 2-6 (Abbildung 8 und 9). In den Abschnitten 1 Limmatschleife und 8 Mündung konnte keine Laichaktivität von Barben beobachtet werden. Die Sohlenzusammensetzung der genutzten Plätze bestand zu 50-80% aus baumnussgrossen Kiesel (2-5 cm Durchmesser), den Rest machten erbsgrosser Kies (1-2 cm

Durchmesser), faustgrosse (5-20cm Durchmesser) und vereinzelt auch Kopfgrosse Steine (>20 cm Durchmesser) aus. Die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche wurde ≥ 1 m/s geschätzt und die Wassertiefen variierten zwischen etwa 0.3-1 m. Damit sind die abiotischen Bedingungen der Laichhabitats in der Limmat mit denjenigen aus der Literatur vergleichbar, auch wenn sie tendenziell etwas gröberes Substrat und grössere Wassertiefen aufwiesen.

Aufgrund der Jungfischvorkommen (siehe Kapitel 4.3) werden im Abschnitt 1 und 4 zwei weitere Barbenlaichhabitats vermutet, diese sind in der Karte (Abbildung 10) als gelbe Punkte dargestellt. Die Koordinaten der Laichhabitats sind im Anhang 3 zusammengestellt. Die fünf für das Ablachen genutzten Kiesbänke wiesen geschätzte Flächen von 100-2'000 m² auf (Abbildung 15). Im Vergleich mit den Laichhabitats der Helme (Deutschland, mittlere Laichhabitatfläche 38 m²) der Nidd (Grossbritannien, mittlere Laichhabitatfläche 62 m²) und Ourthe (Frankreich, Laichhabitats 150 und 300 m²) waren die Laichhabitats der Limmat gross [EBEL 2002, LUCAS & BATLEY 1996, BARAS 1995a]. Wobei die genannten Flüsse alle kleiner sind als die Limmat.



Abbildung 8: Links: Helle Stelle auf einer Kiesbank. Hier hat ein Barbenweibchen seine Eier abgelegt. Rechts: Typisches Barbenlaichhabitat auf dem oberen Teil einer Kiesinsel im Abschnitt 2 Webermühle.

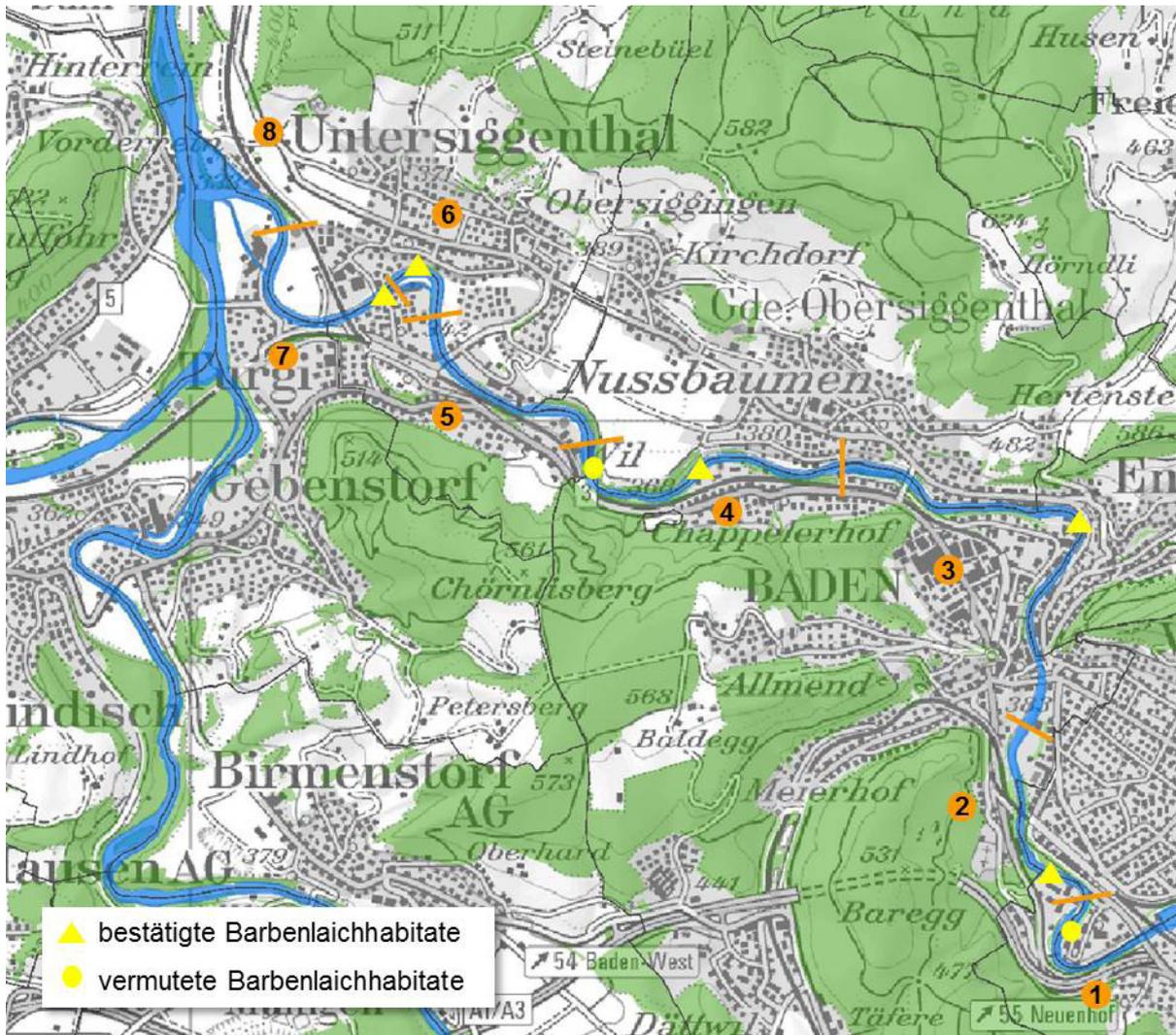


Abbildung 9: Karte des Projektperimeters mit bestätigten und vermuteten Laichhabitaten. Gelbe Dreiecke markieren Laichhabitate in denen 2012 Laichaktivität von Barben beobachtet wurde. Gelbe Kreise sind Orte, an denen aufgrund der Jungfischvorkommen Laichhabitate vermutet werden.

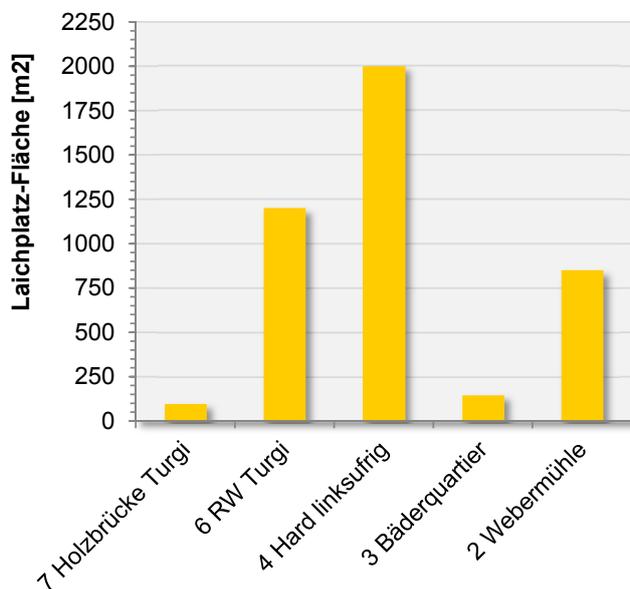


Abbildung 10: Flächen der für die Barbe als Laichplatz nutzbaren Flussstrukturen (Laichhabitate) in der Limmat Ende Mai 2012.

4.3 Jungfischvorkommen

Jungfische aller Fischarten

Im September 2012 wurden in allen elektrisch befischten Strecken grössere totale Fischdichten (Fische aller Arten zusammen) nachgewiesen als 2011 (Abbildung 11). Die grössten Zunahmen wurden in den Strecken 3 Limmatsteg und 6 RW Turgi festgestellt. In diesen Strecken waren die Fischdichten 2012 etwas mehr als dreimal so gross wie 2011. Die Strecke Limmatsteg wurde während der Ufermauersanierung der Limmatpromenade Baden neu gestaltet und war 2012 deutlich struktureicher (Abbildung 12). Weshalb die Fischdichte in der Restwasserstrecke des Kraftwerkes Turgi 2012 deutlich höher war ist unklar.

Die Strecke 4 Hard wurde 2011 rechts, 2012 links befischt. Dies wegen des im Frühjahr 2012 nachgewiesenen Laichplatzes auf der linksseitigen Kiesbank in der Innenkurve.

Jungfische Barben

Im Herbst 2011 wurden 0+ Barben (<5 cm) in allen Strecken in sehr geringen Dichten gefangen (CPUE 0.2-1.05, Abbildung 11). Ein Jahr später konnten deutlich mehr 0+ Individuen (CPUE 0.3-2.6) nachgewiesen werden. Aufgrund der Wassertemperaturen wird die Barbenlaichzeit für 2011 auf Ende April, Anfang Mai geschätzt und fiel somit in eine Periode mit sehr geringem Abfluss (etwa 50 m³/s, Abbildung 7). Viele der im 2012 nachgewiesenen Laichhabitate lagen 2011 trocken oder führten zu wenig Wasser und konnten zum Laichen nicht genutzt werden. Was den geringen Fortpflanzungserfolg der Barben im Jahr 2011 und somit die geringen Dichten an 0+ Fischen erklären könnte.

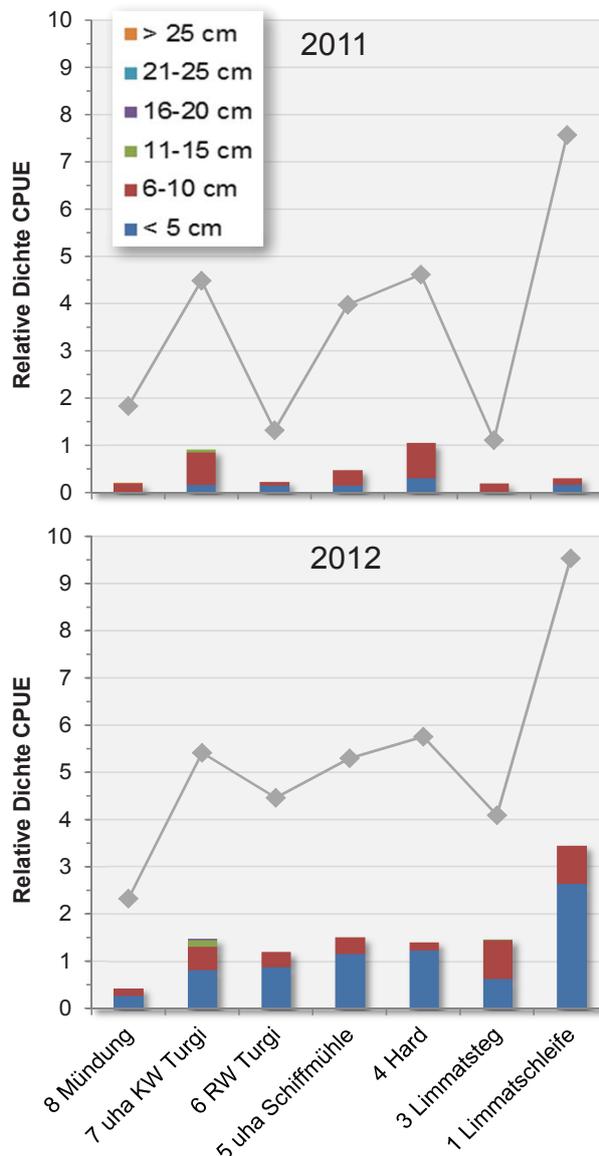


Abbildung 11: Relative Dichten der gefangenen Barben aufgeteilt nach Grössenklassen (Säulen) und relative Dichten aller gefangenen Fischarten (graue Punkte) in den befischten Uferabschnitten im September 2011 und 2012.



Abbildung 12: Die Befischungsstrecke 3 Limmatsteg im September 2011 (links) und nach der Neugestaltung 2012 (rechts).

Die 2012 sehr grossen Dichten an 0+ Barben unterhalb des Wehres Damsau (1 Limmatschleife, CPUE 2.6) und die grossen Dichten in der Strecke 5 unterhalb des Kraftwerkes Schiffmühle (CPUE 1.2) weisen auf Laichhabitate hin, die bei den Laichplatzerhebungen nicht erfasst wurden. Wahrscheinlich liegt ein gutes Laichhabitat in einem der kleinen Zuflüsse, die das Wasser vom Überfall über das Streichwehr Damsau in die Restwasserstrecke Damsau leiten (Abbildung 9 und 13). Dieser Bereich ist vom Ufer aus schlecht ein-

sehbar und daher waren möglicherweise laichende Barben an diesen Orten der Beobachtung entgangen. Schlecht zugänglich ist auch die rechte Limmatseite oberhalb des Wehres Schiffmühle. Dort liegt eine Kiesinsel, die so weit vom linken Limmatufer aus erkennbar, ein weiteres Laichhabitat sein könnte (Abbildung 9 und 13).

Die Dichten der 0+ Barben vom Herbst 2012 sind vergleichbar mit beobachteten Barbendichten aus Uferbefischungen in der Aare bei Aarau (2012 Dichten von 0.2 – 1.4 CPUE)



Abbildung 13: Links, Die Restwasserstrecke Damsau Ende Mai 2012, Barbenlaichhabitate könnten in den vom Streichwehr kommenden kleinen Zuflüssen liegen. Rechts: Möglicherweise als Barbenlaichhabitat genutzte Kiesinsel oberhalb des Wehres Schiffmühle im Juni 2011.

[WFN 2013]. Im Rhein wurden 2012 etwas tiefere relative Barbendichten (0.1-0.7 CPUE) beobachtet [WFN 2012, nicht veröffentlicht]. Diese Befischungen im Rhein fanden aber bei ungünstig hohem Abfluss statt, wodurch die Fischdichte wohl eher unterschätzt wurde. In der Sieg in Deutschland wurden im August und September 1993 0+ Barbendichten von 0.5 – 3 CPUE gefunden [FREYHOF 1996].

Junge Barben von 5-15 cm Länge sind besonders häufig in flachen Bereichen (Wassertiefen 10-30 cm) mit kiesigem Grund anzutreffen. Daher wurde die Habitatliste für

die Kartierung der Uferbereiche mit dem Typ «Flachwasserzone Kies 10-30 cm» ergänzt (Abbildung 14). Der Anteil dieses Habitates war in den Strecken 8 Mündung, 6 RW Turgi und 5 unterhalb Schiffmühle, 4 Hard links, und 1 Limmatschleife mit 25-40% recht gross. Diese Habitatverteilung stimmt gut mit der Dichte an 0+-Barben im Herbst 2012 überein (Abbildung 11). Nur bei der Mündung waren Barben selten, obwohl das bevorzugte Jungbarbenhabitat bei der Mündung einen grossen Flächenanteil einnimmt.

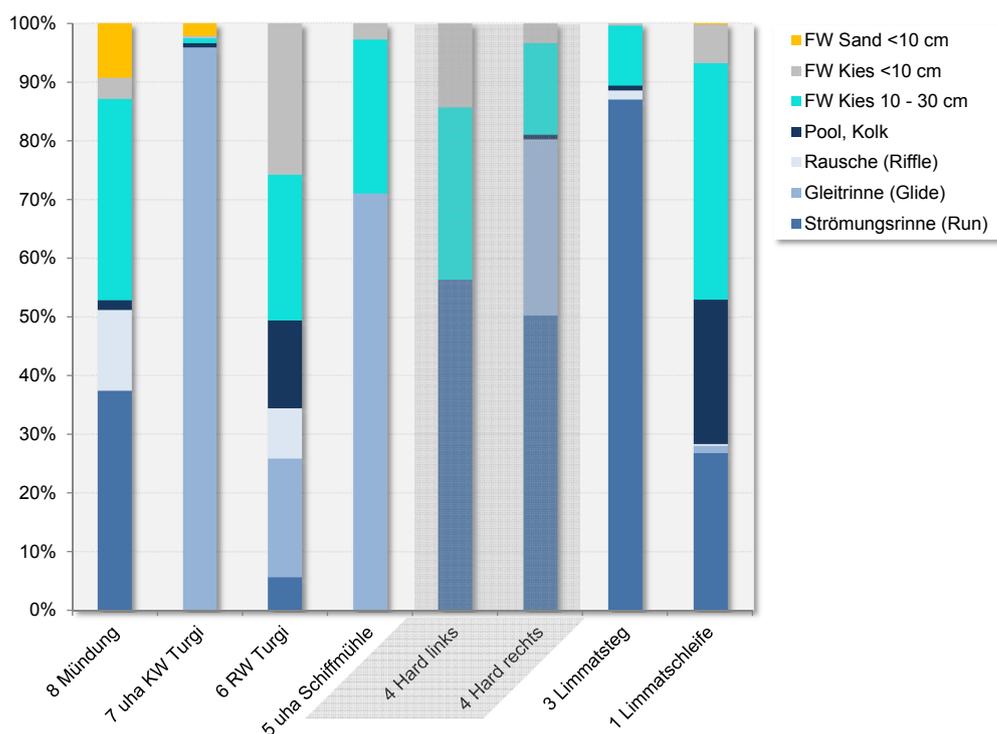


Abbildung 14: Relative Anteile der in den befisheten Uferabschnitten kartierten Fischhabitate im September 2011, für Hard links im September 2012 (FW = Flachwasserzone).

4.4 Adulte Barben

In den 8 Limmatabschnitten wurden an einem Tag eine bis maximal 37 Barben beobachtet. Die grösste Anzahl Barben wurde 2012 in den Abschnitten 3 Limmasteg und 1 Limmatschleife beobachtet (Abbildung 15). In diesen beiden Abschnitten wurde am häufigsten nach Barben Ausschau gehalten (Abbildung 16). In den Abschnitten 2 Webermühle, 6 RW Turgi und 8 Mündungsbereich ist es schwierig Barben vom Ufer aus zu beobachten, da es wenige Stellen mit guter Sicht ins Wasser gibt. Dies war sicher mit ein Grund für die wenigen Beobachtungsdaten in diesen Strecken. Der grösste Teil der beobachteten Barben war grösser als 30 cm und zählt damit zu den adulten, fortpflanzungsfähigen Tieren.

Dass in den unteren Limmatabschnitten 7 und 8 durchaus grosse Barben leben, lässt sich der Fangstatistik entnehmen. Die meisten gefangenen Barben stammten aus dem untersten Revier, in dem die Strecken 7 und 8 liegen (Abbildung 19).

Die während den Fischaufstiegszählungen 2011 im Fischpass beim Kraftwerk Kappelerhof registrierten Barben (156 Barben >20 cm, Tabelle 2), weisen darauf hin, dass im Abschnitt 4 Hard auch relativ viele grosse Barben leben.

Tabelle 2: Anzahl Barben in den Fischaufstiegs-hilfen (FAH) bei den Kraftwerken Wettingen und Kappelerhof unterteilt nach Längen. Barben über 30 cm sind geschlechtsreif.

Barben FAH Wettingen		
	April 2008 bis März 2009	April bis Juni 2011
< 5-10 cm	576	3
11-20 cm	75	21
21-30 cm	1	1
> 30 cm	7	1
Barben FAH Kappelerhof		
	Nov. 2007 bis Sept. 2008	März bis Oktober 2011
< 5-10 cm	5	102
11-20 cm	34	64
21-30 cm	5	16
> 30 cm	15	140

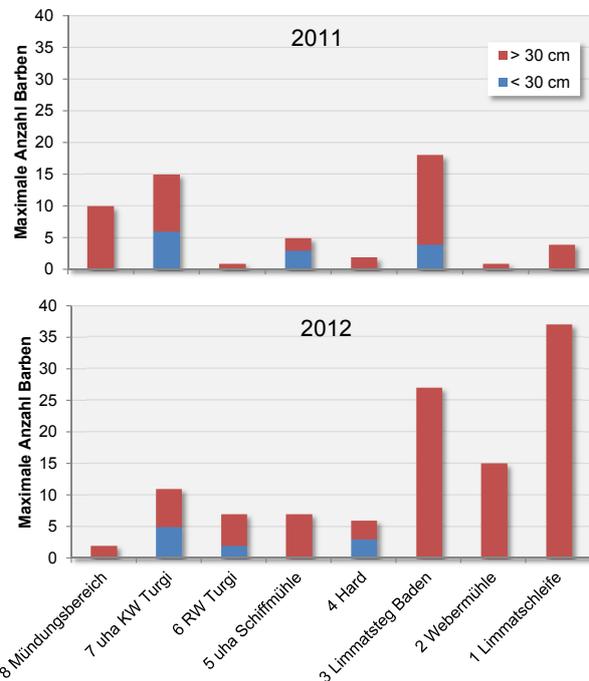


Abbildung 15: Maximale Anzahl Barben, die an einem Tag in einem Limmatabschnitt beobachtet wurden. Aufgeteilt nach Grössen über 30 cm (geschlechtsreife Tiere) und unter 30 cm. Oben: Beobachtungen von 2011, unten: Beobachtungen von 2012.

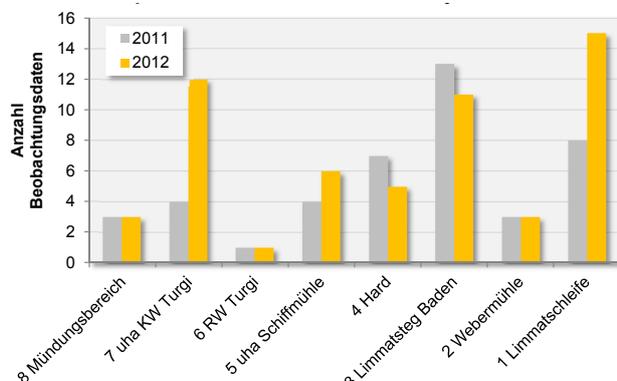


Abbildung 16: Anzahl Beobachtungsdaten pro Limmatabschnitt und Jahr.

Barben im Unterwasser KW Wettingen

Mit der Kamera 1 wurde der Bereich vor Maschine 1, mit Kamera 2 der Bereich vor Maschine 2 überwacht (Abbildung 17). Total wurden 18'300 Bilder der Kamera 1 und 12'000 Bilder der Kamera 2 (nur Tagaufnahmen) kontrolliert. In Tabelle 3 sind die Anzahl Betriebstage der Kameras sowie die Anzahl Tage mit sehr guten Sichtverhältnissen zusammengestellt. Aufgrund der Abflussverhältnisse Ende Mai bis Anfang Juli 2012 war das Wasser meist trüb und die Kameras waren in diesem Jahr im Juni und Anfang Juli nicht in Betrieb.

Einzig an 2 Tagen waren die Sichtverhältnisse gut und die gespeicherten Bilder brauchbar.

Auf den überprüften Bildern aus 42 Betriebstagen mit guter Sicht konnten keine Fische festgestellt werden. Einzig auf 3 Bildern ist ein schwacher Schatten erkennbar, der eventuell einem Fisch zuzuordnen wäre.

Eine grosse Anzahl vor den Turbinen anstehender Fische - wie von den Fischern moniert - kann somit für den überprüften Zeitraum mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

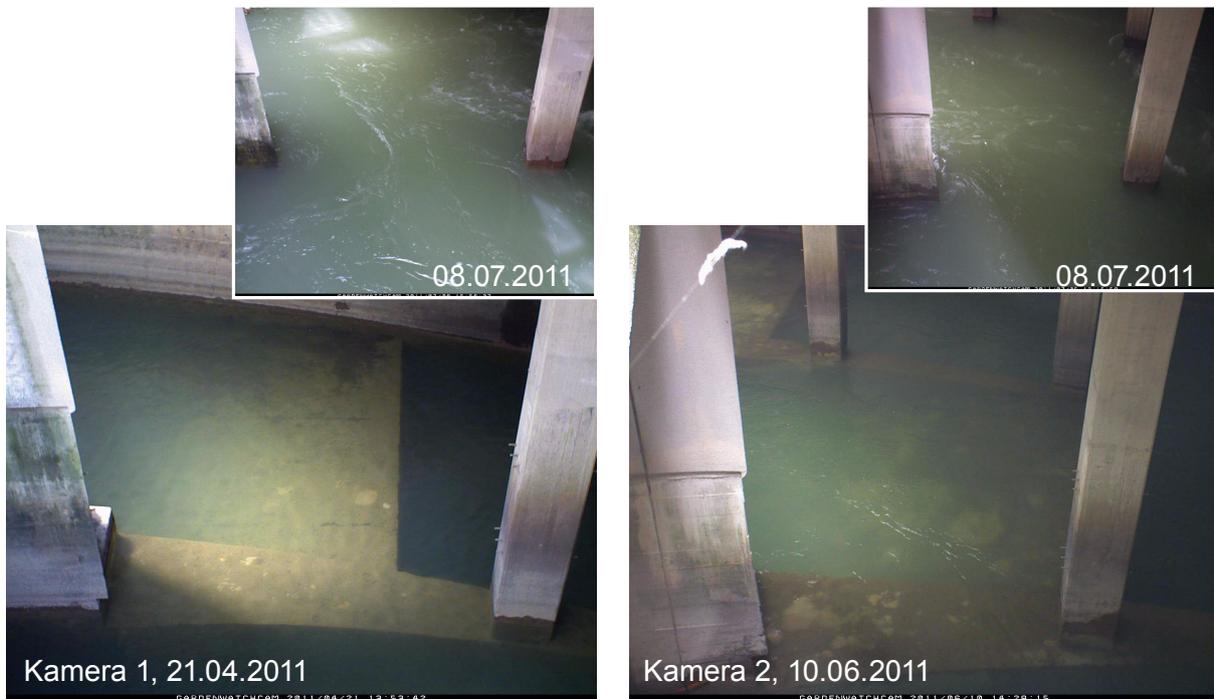


Abbildung 17: Unten Aufnahmen der Zeitrafferkameras bei optimalen Sichtverhältnissen, oben bei trübem Wasser (Links Kamera1, rechts Kamera 2).

Tabelle 3: Betriebstage, Anzahl Bilder bei Tag sowie Angaben zu den Sichtverhältnissen für die Einsatzzeiten der beiden Zeitrafferkameras vor den Turbinenausläufen des Kraftwerkes Wettingen.

	Kamera 1		Kamera 2	
	2011	2012	2011	2012
Zeitraum	15.04.-11.07.2011	16.05.-20.07.2012	23.05.-11.07.2011	16.05.-20.07.2012
Anzahl Betriebstage	83	27	46	27
betriebsfreie Tage	5	39	4	39
gute Sicht	40	2	20	2
trübes Wasser	27	22	19	22
Total Bilder (ohne Nacht)	13710	4596	7488	4508

4.5 Barbenrelevante Habitate

Für die Darstellung der Flächenanteile barbenrelevanter Habitate wurde der Abschnitt 1 Limmatschleife beim Wehr Damsau unterteilt (Abbildung 18). Dies weil die Strecke oberhalb des Wehres Damsau (1a) praktisch nur aus Staubereich besteht und damit nicht zu den typischen Barbenhabitaten zählt, der untere Abschnitt (1b) jedoch Rauschen und Strömungsrinnen aufweist.

In den beiden Abschnitten mit einem Anteil barbenrelevanter Habitate von mehr als zwei Dritteln 4 Hard und 7 uha KW Turgi wurden im Herbst 2011 auch die grössten Jungbarbedichten gefunden. Von den Flächen der Abschnitte 2 Webermühle, 3 Limmatsteg, 5 uha Schiffmühle und 6 RW Turgi waren zwischen einem und zwei Dritteln barbenrelevant. Weniger als ein Drittel machte der Anteil barbenbedeutsamer Fläche in den Abschnitten 1 Limmatschleife und 8 Mündungsbereich aus. In diesen beiden Abschnitten waren auch die Jungfischdichten 2011 gering.

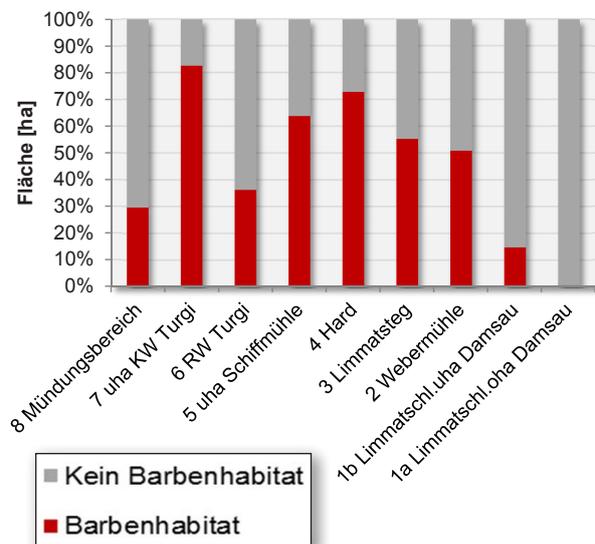


Abbildung 18: Anteile der für Barben geeigneten Habitatflächen (rot) an der Gesamtfläche der untersuchten Limmatabschnitte im Juni 2011.

4.6 Fangstatistik

Am meisten Barben wurden in der Fischenz 640 Siggenthal bis Mündung gefangen (Abbildung 19). Bis 2002 galt dies auch für den Gesamtfischfang, danach war dieser vergleichbar mit dem Gesamtfang in der Fischenz 21 Wehr Wettingen bis Holzbrücke Baden. Die Barbenfänge in kg/ha (Annahme 1 Barbe = 1 kg) gingen ab 2002 zurück, nahmen bis 2006 etwas zu, dann aber wieder stark ab. Der Gesamtfischfang zeigte in der untersten Fischenz einen ähnlichen Verlauf, in den beiden oberen Revieren ist aber kein Trend ersichtlich.

Die Fangstatistik des Fischereivereins Turgi-Siggenthal geht bis ins Jahr 1981 zurück und erlaubt daher einen Vergleich der Barbenfänge über eine längere Zeitperiode (Abbildung

20). Die Barbenfänge schwankten zwischen den Jahren relativ stark. Ab 2001 gingen die Barbenfänge aber deutlich zurück und erreichten Minima, die davor nicht beobachtet wurden. Ein sehr ähnlicher Verlauf zeigt die Kurve des Gesamtfanges, die über die beobachtete Zeitperiode einen negativen Trend aufweist. Dies mag mit einer Abnahme der aktiven Fischer oder Anzahl Stunden, die gefischt wurden zusammenhängen oder aber der Fischbestand in der Limmat ging zurück. Nach Angaben des Fischereivereins sind die Einbrüche Ende 1980er und Anfang 2000er Jahre nicht mit dem Fehlen von Fischern zu erklären.

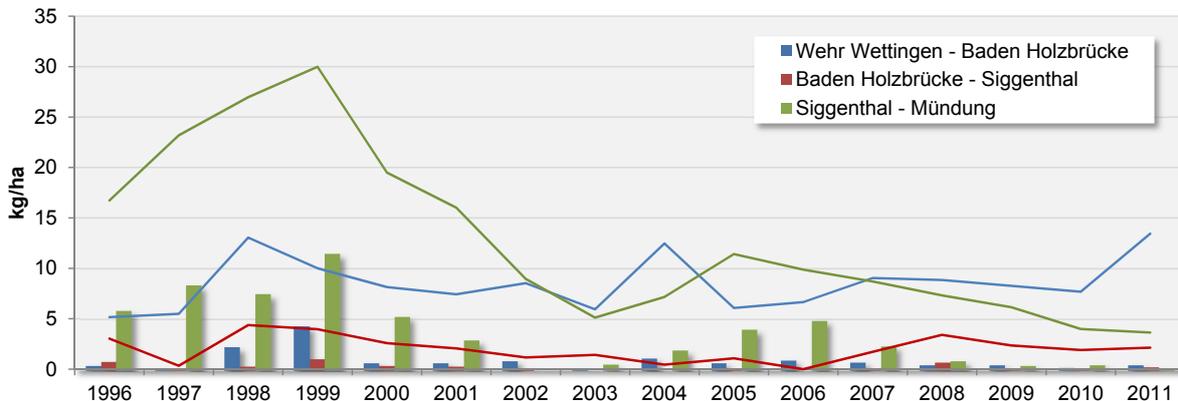


Abbildung 19: Barbenfänge (Säulen) und Gesamtfang (Linien) in kg pro ha Flussfläche in den drei Fischenzen im Untersuchungsperimeter seit 1996, ohne Freiangler. (Daten: Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau).

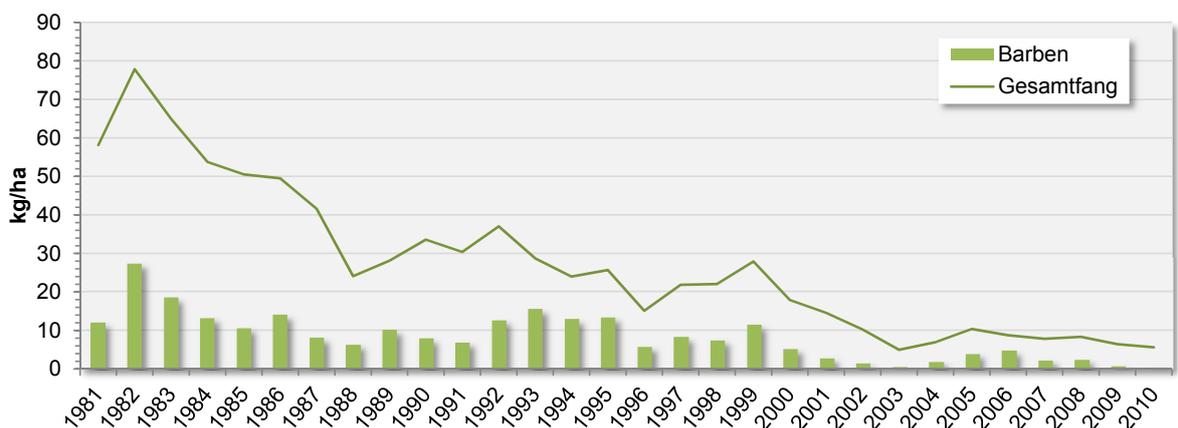


Abbildung 20: Barbenfänge (Säulen) und Gesamtfang (Linie) in kg/ha in der Fischenz 640 Siggenthal bis Mündung von 1981 bis 2011 (Daten: Fischereiverein Turgi-Siggenthal).

Daten zur Aufenthaltszeit der Fischer am Wasser und die daraus abgeleiteten Angaben zur Fangeffizienz (Anzahl Fänge pro Stunde am Wasser) sind erst ab 2002 verfügbar (Abbildung 21). Es lässt sich daher nicht eruieren, ob der ab diesem Zeitpunkt beobachtete Fangrückgang auf einen Rückgang der Fischerstunden am Wasser oder auf tatsächlich weniger Fische in der Limmat zurückzuführen ist. Die Fangeffizienz schwankte in allen drei Fischenzen von Jahr zu Jahr, eine klare Tendenz ist aber nicht ersichtlich.

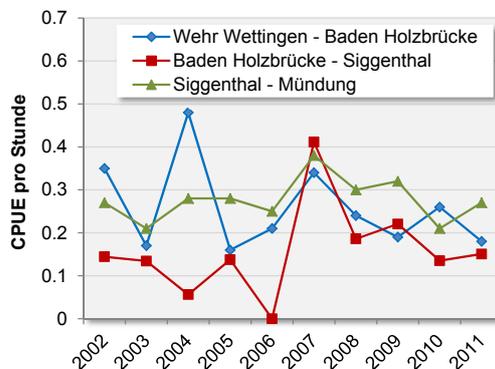


Abbildung 21: Fangeffizienz (gefangene Fische pro Stunde) über alle Fischarten in den drei Fischenzen von 2002 bis 2011 (Daten: Sektion Jagd und Fischerei Kanton Aargau).

4.7 Faktoren die den Fischbestand beeinflussen

Nährtierbiomassen

Barben ernähren sich wie viele andere Fischarten von den im Wasser lebenden Kleintieren (Wasserwirbellose, Abbildung 22). Daher ist für den Fischbestand auch die Menge vorhandener Wasserwirbellosen wichtig. Im Rahmen von Untersuchungen zu den Kraftwerken Kappelerhof und Wettingen wurde die Wirbellosenbiomasse in der Limmatschleife und im Abschnitt Hard aufgenommen [CREATO 2012a, 2012b, 2012c]. Für die Jahre 2004 bis 2011 wurden im Abschnitt Hard Wirbellosenbiomassen von 20-60 g/m² und in der Limmatschleife 2011 rund 60 g/m² festgestellt.

Bei Erhebungen von 1985 wurde für die Lim-

mat in der Nähe von Turgi eine Wirbellosenbiomasse von 40-100 g/m² festgestellt [Daten: M. Flück, unveröffentlicht]. Für ein Fließgewässer auf einer Höhenlage von 400 m ü.M. werden Wirbellosenbiomassen von 10-60 g/m² erwartet [DÜCKELMANN 2001]. Damit entspricht die heutige Wirbellosenbiomasse in der Limmat ungefähr den Erwartungen und ist zudem vergleichbar mit der Biomasse von 1985. Bezüglich Nahrungsangebot zählt die Limmat zu den mittel bis nahrungsreichen Gewässern [HUET 1954]. Die Fische in der Limmat dürften damit eigentlich genügend Nahrung finden.



Abbildung 22: Beispiele von Wasserwirbellosen, die Fischen als Nahrung dienen. Oben links: Zuckmücken-Larve, oben rechts: Gelbhaft-Larve (Eintagsfliege) unten: Bachflohkrebs (Bilder aus [ENGELHARDT 2003]).

Fischfressende Wasservögel

Kormorane und Gänsesäger ernähren sich vorwiegend von Fischen, wobei Gänsesäger nur Fische bis zu einer Grösse von 15 cm, Kormorane hingegen auch grosse Fische (>30 cm) fressen. Graureiher jagen in Flachwasserbereichen nach kleinen Fischen, ernähren sich aber auch von verschiedenen anderen kleineren Tieren [JASCUR & DÖBELIN 2010]. Weder Gänsesäger noch Kormorane bevorzugen eine spezifische Fischart, sie richten sich nach dem Angebot. Der Kormoran richtet sich auch bezüglich der bevorzugten Fischgrösse nach dem Angebot, scheint aber innerhalb eines Gewässers immer Fische von etwa derselben Grösse zu fressen [GRIMM & LENTNER 2007].

In der Schweiz werden seit 1967 die Wasservogelbestände alljährlich im Januar erfasst. Die Entwicklung der Bestände der Graureiher, Kormorane und Gänsesäger in den un-

tersten 12 Limmatkilometern sind in Abbildung 23 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass diese drei Vogelarten bis etwa 1978 an der Limmat nur sehr vereinzelt anzutreffen waren. Danach wurden im Januar jeweils um die 5 Graureiher gezählt. Kormorane sind erst seit den 1990er Jahren regelmässig in der Limmat, ihr Bestand scheint seither relativ konstant zwischen etwa 10 und 20 Tieren zu schwanken. Gänsesäger waren in der ersten Hälfte der 1980er Jahre mit um die 30 Tiere recht häufig, danach wurden auch von ihnen jeweils 10-20 Tiere gezählt, ab 2008 nahm ihr Bestand aber deutlich zu (30-50 Tiere).

Der Rückgang der Barbenfänge 2008 in der untersten Fischenz fällt zeitlich mit der Zunahme der Gänsesäger zusammen. Es ist durchaus möglich, dass die Gänsesäger einen Teil zum beobachteten Fangrückgang beitrugen.

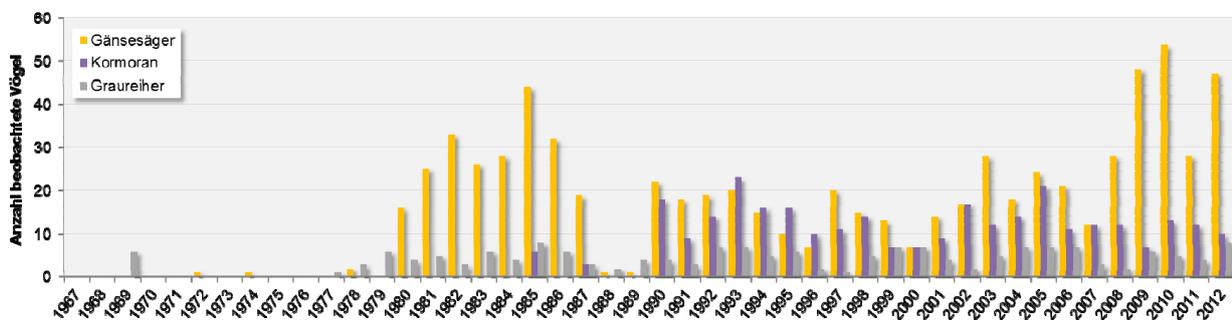


Abbildung 23: Anzahl gezählter Gänsesäger, Kormorane und Graureiher in den Wintern 1967 bis 2012 an der Limmat vom Wehr Wettingen bis zur Mündung in die Aare. Daten: Schweizerische Vogelwarte Sempach, Wasservogelzählungen Januar.

Wasserkraftwerke

Die untersuchten 12 km Flusslauf der Limmat werden von acht Kraftwerken genutzt. Ihre Wehre behindern oder verhindern die freie Fischwanderung und stauen die Limmat. Die Staubereiche bieten Barben wegen der fehlenden Fliessgeschwindigkeit nur wenig geeignete Lebensräume (Abbildung 24). Die verschiedenen Wehre beeinflussen die Durchgängigkeit für Fische unterschiedlich stark. Die Kraftwerke Wettingen und Kappelerhof haben ein Stauwehr, welches die ganze Flussbreite überspannt. Sie stauen die Limmat im Vergleich zu den andern 6 Kraftwerken mit (Streich-)Wehren stark und ein Aufsteigen über das Wehr ist auch bei Hochwasser nicht möglich. Beide Kraftwerke verfügen über eine moderne Fischaufstiegshilfe (FAH). Die FAH beim KW Stoppel ist ebenfalls neu und das Wehr Damsau verfügt über eine moderne Blockrampe mit Aufsteigsbecken zur Umgehung des Hindernisses. Bei den Kraftwerken Schiffmühle und Aue sind neue FAHs im Bau. Bereits relativ kleine Hindernisse sind für viele wandernde Barben nicht überwindbar. So stellten LUCAS & FREAM [1997] fest, dass bei einem Wehr mit einer Höhendifferenz von

0.4 m von 23 anstehenden Barben nur 6 das Hinderniss passieren konnten, die anderen wanderten wieder flussabwärts. Daher ist anzunehmen, dass auch die Streichwehre die Barbenwanderung relativ stark einschränken. Über die Wanderung von Barben in der Limmat ist sehr wenig bekannt. Aus den Fischpasskontrollen wissen wir, dass Barben die Fischpässe passieren, von wie weit unterhalb diese kommen und ob sie wieder zurück finden ist aber unbekannt. Barben wandern ab einer Temperatur von 10°C und vor allem bei zunehmendem Abfluss [SLAVIK et al. 2009]. Ob die Fische dann aber auch tatsächlich in den Fischpässen anzutreffen sind, scheint primär von den Strömungsverhältnissen beim Einstieg abhängig zu sein: Die Strömung aus dem Fischpass muss gegenüber der Strömung aus den Turbinen für Barben fühlbar sein [BARAS et al. 1994].

Weitere Erkenntnisse erhoffen wir uns von den mit PIT-Tags markierten Barben. Dies dürfte jedoch erst nach Abschluss der Bauarbeiten bei den KW Schiffmühle und Aue der Fall sein, wenn die Limmat wieder auf grosser Strecke durchgängig sein wird.



Abbildung 24: Staubereich und Streichwehr mit Restwasserstrecke des Krafwerks BAG im Februar 2011.

4.8 Populationsstruktur

Aus den Daten der Elektroabfischungen aller Strecken sowie der Ausfischung des Fischpasses Aue wurde für die Jahre 2011 und 2012 je ein Längen-Frequenzdiagramm erstellt (Abbildung 25). Daraus lassen sich drei Altersklassen ablesen: 0+ Barben mit Längen von ca. 7 cm (2011) und ca. 5 cm (2012), 1+ Barben mit einer Körperlänge um 15 cm und 2+ Barben mit einer Länge um 20 cm. Diese Abgrenzung der Altersklassen stimmt gut überein mit der aufgrund der Schuppenuntersuchungen bestimmten Wachstumskurve (vgl. Kapitel 4.9 und Abbildung 26).

Dass die 0+ Barben 2012 kleiner waren als 2011 lässt sich mit dem 2011 sehr warmen Frühling und dadurch frühen Laichzeit erklären. 2012 war die Laichzeit beinahe 1 Monat später, den 0+ Barben blieb also bis zum Zeitpunkt der Befischung im September fast ein Monat weniger Zeit zum Fressen und Wachsen als ein Jahr davor.

Die 2011 beobachteten 2+ Barben stammen aus dem Fischpass Aue. Barben dieser Grösse sind nicht mehr oft in den Uferhabitaten anzutreffen [EBEL 2002] und wurden daher mit den Uferbefischungen nicht erfasst, was ihr Fehlen im Diagramm 2012 erklärt.

In Abbildung 26 sind alle Barben aus den Direktbeobachtungen sowie die 2011 in den Fischpasskontrollen Kappelerhof und Wettlingen registrierten dargestellt. Die Längen dieser Barben wurden nur auf 5 respektive 10 cm genau erhoben, daher die gröbere Klassenbildung. Diese Darstellung zeigt, dass neben den jüngsten Vertretern durchaus auch ältere Barben in der Limmat vorhanden sind. Am Wenigsten wurden Barben zwischen 20 und 30 cm sowie solche über 50 cm beobachtet, häufiger waren Barben zwischen 35 und 55 cm.

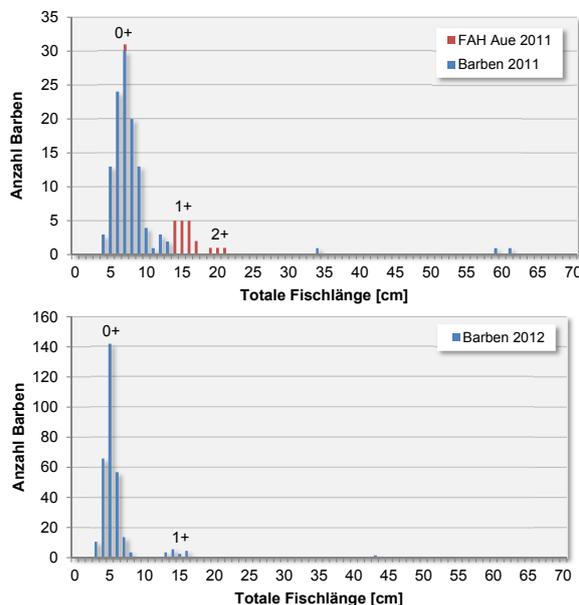


Abbildung 25: Längenfrequenzdiagramm aller im Projektperimeter 2011 (oben, n = 136, rot = Barben aus der Ausfischung Fischpass Aue) und 2012 (unten, n = 319) gefangenen und gemessenen Barben.

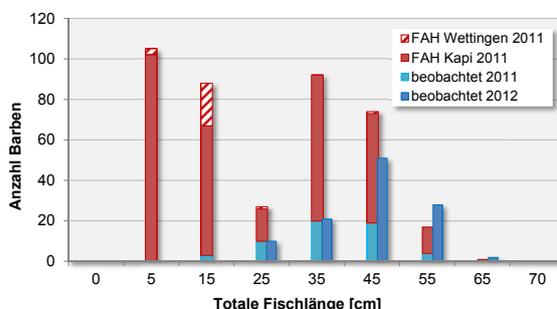


Abbildung 26: Längenfrequenzdiagramm der im Projektperimeter 2011 und 2012 beobachteten Barben. Die Barben «Fischpässe 2011» (rot) wurden bei den Fischpasskontrollen Kappelerhof und Wettlingen erfasst.

4.9 Alter und Wachstum

Die Schuppenanalysen zeigen, dass die älteste während des Projektes gefangene Barbe über 11 jähig war. Total konnten von 42 Barben Schuppen entnommen und vermessen werden. Zusätzlich wurden uns von M. Flück die Schuppen von 12 weiteren Barben übergeben, die 2012-13 tot im Rechen des KW Stropfel oder im untersten Limmatabschnitt gefunden wurden (von diesen wurde nur das Alter bestimmt). Die Verteilung bezüglich Altersklassen ist in Tabelle 4 zusammengestellt.

Aus der Schuppenanalyse ergaben sich für einjährige Barben Längen von 5-10 cm, zwei-jährige waren 10-15 cm lang, dreijährige um die 20 cm lang, ... (Abbildung 27, zugehörige Regression siehe Anhang 2).

Die Längen-Alters-Kurve der Limmatbarben ist vergleichbar mit derjenigen aus der Severn (GB [HUNT & JONES 1975]) und der mittleren Wachstumskurve aus weiteren englischen Flüssen [BRITTON et al. 2013], sowie aus polnischen Gewässern [PRZYBYLSKI et al. 2004]. Ab einem Alter von fünf Jahren ist bei den Limmatbarben eher ein leicht grösseres Wachstum zu beobachten als bei denjenigen der anderen Populationen. Eine Zunahme der Streuung mit zunehmendem Fischalter wurde bei allen Populationen festgestellt.

Tabelle 4: Anzahl Fische pro Altersklasse von denen Schuppen genommen wurden. Für die Berechnung der Längen-Alters-Kurve, wurden nur die Schuppen der Fische älter als 1 Jahr benutzt, da die Schuppen der 0⁺ Fische noch keinen Annulus aufweisen.

Alter	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	5 ⁺	6 ⁺	7 ⁺	8 ⁺	9 ⁺	10 ⁺	11 ⁺	12 ⁺	13 ⁺	Total
Anzahl Fische	14	18	3	1	0	1	0	2	4	4	2	3	0	2	54

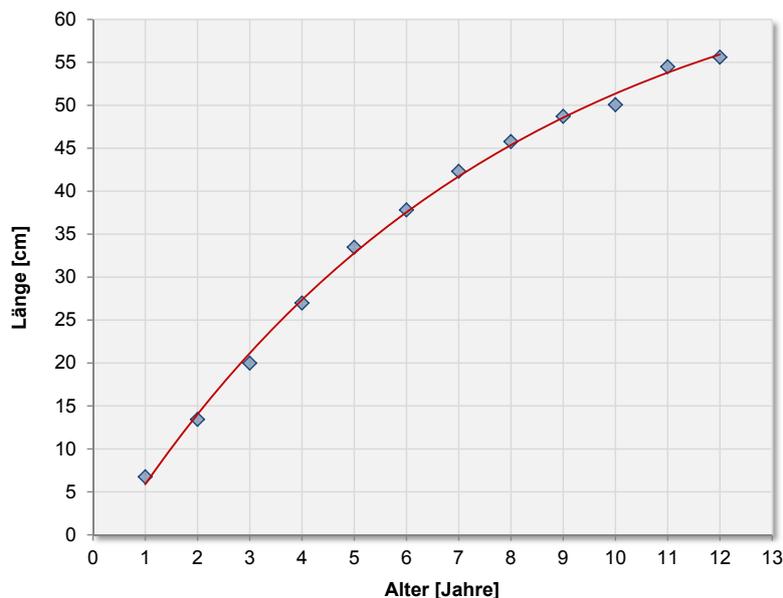


Abbildung 27: Wachstumskurve berechnet nach von Bertalanffy (n = 28).

4.10 Länge-Gewicht und Kondition

Insgesamt konnten 350 Barben gewogen und gemessen werden. Daraus ergab sich folgende Schätzung für die Längen-Gewichtsbeziehung der Limmatbarben (Abbildung 28, die logarithmierte Längen-Gewichtsbeziehung ist im Anhang 2 zu finden):

$$\text{Gewicht} = \text{Länge}^{2.8641} \times 10^{-1.8967}$$

Damit sind die Barben in der Limmat leichter als Barben aus der Ourthe [Belgien, BARAS 1995b].

Die Berechnung der Konditionsindices (KI) ergab einen mittleren Wert von 0.998 für alle gewogenen Barben und einen mittleren KI von 1.07 für 0⁺ Barben (0-10 cm, 256 Tiere), 0.83 für 1⁺ Barben (10-17 cm, 48 Tiere), sowie 0.79 für die älteren Tiere (46 Barben). Bei den jüngsten Vertretern war die Streuung der KI-Werte sehr gross (0.2 bis 1.8). Dies dürfte auf die im Verhältnis zum Körpergewicht grossen Wägefehler dieser Altersklasse aufgrund von anhaftendem Wasser zurückzuführen sein.

BARAS [1995b] fand für Barben von 23-53 cm Länge im Fluss Ourthe (Belgien) einen KI von 1.19; in der Donau wiesen Barben (23-72 cm Länge) an drei unterschiedlichen Stellen KI Werte von 0.87 bis 1.00 auf [NACHEV & SURES 2009]. Mit KI von 0.988 wiesen auch Barben in der Kolpa (Slowenien, 3 Tiere 16-28 cm) eine ähnliche Kondition auf [HONSIG-ERLENBURG et al 1997].

Der mittlere Konditionsindex der Barben in der Limmat ist somit vergleichbar mit demjenigen anderer europäischer Flüsse. Wobei die über einjährigen Barben der Limmat einen eher tiefen Konditionsindex aufwiesen. MATTHES & WERNER [2010] fanden für fünf grosse Barben (54-65 cm) in der Oberweser (Deutschland) ebenfalls einen tiefen mittleren Konditionsindex von 0.65. In der Severn (England) wiesen aber auch Barben über 50 cm Körperlänge Konditionsindices über 1 auf [HUNT & JONES 1975].

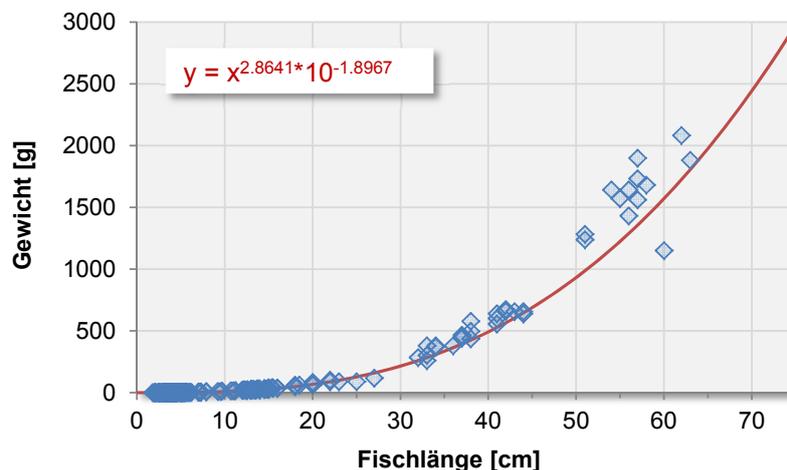


Abbildung 28: Gewicht in Abhängigkeit der Körperlänge. Daten aller 2011 und 2012 gefangenen und gewogenen Barben, sowie der bei der Ausfischung des OW-Kanals Aue 2013 gewogenen Barben (n = 350).

5 Fazit und Empfehlungen

Die vorliegende Studie zeigt eine Momentaufnahme der Situation in den Jahren 2011 und 2012. Aus den vorhandenen Daten kann zusammenfassend folgendes festgehalten werden:

- Die Längen-Häufigkeiten und die Resultate der elektrischen Uferbefischungen lassen auf eine funktionierende natürliche Fortpflanzung der Barben in der Limmat schliessen. Die 0+ Barbendichten sind vergleichbar mit denjenigen in anderen Flüssen. Ebenso zeigte sich, dass alle Altersklassen vertreten sind. Barben mit Körperlängen zwischen 20 und 30 cm wurden nur wenige nachgewiesen, waren aber in den Fischpässen Aue und Kappelerhof vorhanden (2011 in letzterem in relativ grosser Zahl). Barben dieser Grösse werden mit den Uferbefischungen meistens nicht erfasst, da sie Habitate in grösseren Tiefen und mit grösseren Fliessgeschwindigkeiten nutzen und sie werden vermutlich bei Direktbeobachtungen vom Ufer aus leicht übersehen. Die festgestellte Populationsstruktur der Barben in der Limmat entspricht natürlichen Verhältnissen und ergibt keine Hinweise auf Störungen.
- Das Längenwachstum der Limmatbarben kann im Vergleich mit Barben anderer europäischer Flüsse als normal bezeichnet werden. Das Gewicht der Limmatbarben ist im Vergleich zu Barben anderer Flüsse kleiner. Die Konditionsindices zeigen jedoch keine Besorgnis erregenden Verhältnisse. Das Nahrungsangebot sollte mit Wirbellosenbiomassen von 20-60 g/m² genügend gross sein.
- Im untersuchten Limmatabschnitt wurden funktionierende Barbenlaichplätze festgestellt. In Jahren mit geringem Frühjahrsabfluss (wie 2011) scheinen Laichplätze aber Mangelware zu sein. Einige der sonst geeigneten Stellen liegen dann trocken oder es fehlt die nötige Strömung. An vielen Orten war die Sohle stark kolmatiert oder zu grobkörnig und kann daher nicht zum Ablachen benutzt werden.

- Das geringe Laichplatzangebot bei tiefem Wasserstand dürfte mit ein Grund für die geringen Dichten der 0+ Barben im Herbst 2011 sein. Ein Jahr später wurden deutlich mehr Jungbarben gefangen. In allen Abschnitten sind flache Uferhabitate mit kiesigem Grund und geringer Strömung vorhanden, die Jungbarben als Lebensraum dienen. Vor allem in den Abschnitten 3 Limmatsteg und 7 uha KW Turgi war ihr Anteil jedoch gering.
- Die Fangstatistik zeigt einen Rückgang der Barbenfänge ab 2001. Ob der Rückgang auf eine tatsächliche Abnahme der Barben in der Limmat oder auf weniger Fischer, die gezielt nach Barben Angeln zurückzuführen ist, lässt sich mit den vorhandenen Daten aber nicht feststellen.
- Die Anzahl im Januar an der Limmat anwesenden Kormorane blieb in den letzten 20 Jahren etwa gleich. Die Anzahl der Gänseäger ist seit 2008 aber deutlich angestiegen.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen lassen sich einige Vorschläge ableiten, die zur Hebung des Barbenbestandes in der Limmat beitragen können:

- Ein funktionierender Geschiebetrieb in der Limmat ist von grösster Bedeutung, damit mehr Laichplätze (nicht nur für Barben) entstehen und die bestehenden nicht durch Kolmation entwertet werden. Ohne Wehre führte die Limmat bei Wettingen etwa 2'000 m³ Geschiebe pro Jahr [FLUSSBAU AG 2011]. Ab dem Wehr in Wettingen wird heute von der Limmat jedoch kein Geschiebe transportiert, da dieses im Stau zurückgehalten wird. Gemäss Massnahmenkonzept «Reaktivierung des Geschiebehaushalts von Sihl und Limmat» sind in den untersten 12 Limmatkilometern an vier Stellen (Limmat Schleife beim KW Wettingen, gerade oberhalb der Wasserrückgabe KW Wettingen, beim Wehr KW Aue und etwas unterhalb des KW Kappelerhof) Kiesschüttungen von 200 bis 1'000 m³/Jahr vorgesehen. Die-

- se Massnahme wird allen kieslaichenden Fischen zugutekommen. Damit für Barben geeignete Laichplätze entstehen ist darauf zu achten, dass die Hauptfraktion des zugeführten Kieses ungefähr 1-4 cm gross ist.
- Mit zusätzlichem Kies im System werden an flach auslaufenden Ufern vermehrt Kiesbänke abgelagert, die als Laichplätze und Jungfischhabitats dienen und auch bei unterschiedlichen Wasserständen funktionieren. Das Beispiel Hard (Strecke 4) mit einer ausgedehnten Kiesbank am linken Ufer illustriert diese Aussage.
 - Unterhalb von Laichplätzen sollten vermehrt flache, gut strukturierte Uferbereiche geschaffen werden, die den juvenilen Barben als Lebensraum dienen. Dazu sollte der Flusslauf an geeigneten Stellen mit Buchten aufgeweitet werden.
 - Um die Limmat für adulte Barben aufzuwerten, ist auch an tiefen Stellen für Strukturvielfalt zu sorgen. Zum Beispiel sorgen Raubäume auch an steilen Uferstellen mit relativ grosser Fliessgeschwindigkeit für gute Unterstände.
 - Der Einfluss der zahlreichen Wehre auf die Vernetzung der Teilpopulationen der Barben im untersuchten Abschnitt, lässt sich mit den vorhandenen Daten vorläufig nicht quantifizieren. Zumindest die Fischaufstiegshilfe Kappelerhof wird von Barben aber rege genutzt. Die 2011 vorgenommenen Anpassungen bei den Fischeinstiegen scheint für Barben eine wesentliche Verbesserung gebracht zu haben. Bei den weiteren FAH's ist die Situation jeweils genau zu beobachten und bei Bedarf sind notwendige Anpassungen vorzunehmen.
 - Mit den bereits vorhandenen und weiteren geplanten Erfassungssystemen für PIT-Tags bei den Fischaufstiegshilfen können jedoch weitere Informationen zum Wanderverhalten der Barben in der Limmat erworben werden. Es wäre deshalb sinnvoll weitere adulte Tiere mit PIT-Tags auszustatten.
- Adulte Barben sind im untersuchten Limmatabschnitt vorhanden. Zurzeit weist die Populationsstruktur der Barben keine Auffälligkeiten auf. Für den Erhalt und die Förderung der Barben sowie anderer typischer Fliesswasserfische, ist ein funktionierender Geschiebetrieb zentral.

6 Literatur

- BARAS E. 1992: Etude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus* (L.). - Cahier d'Ethologie 12: 125-442.
- BARAS E. 1994: Constraints imposed by high densities on behavioural spawning strategies in the barbel, *Barbus barbus*. Folia Zoologica 43: 255-266.
- BARAS E. 1995a: Thermal related variations of seasonal and daily spawning periodicity in *Barbus barbus*. Journal of Fish Biology 46: 915-917.
- BARAS E. 1995b: Seasonal activities of *Barbus barbus*: effect of temperature on time-budgeting. Journal of Fish Biology 46: 806-818.
- BARAS E., LAMBERT H., PHILIPPART J.C. 1994 : A comprehensive assessment of the failure of *Barbus barbus* spawning migrations through a fish pass in the canalized River Meuse (Belgium). Aquatic Living Resources 7: 181-189.
- BRITTON J.R., PEGG J. 2011: Ecology of European Barbel *Barbus barbus*: Implications for river, fishery, and conservation Management. Reviews in Fisheries Science 19: 321-330
- BRITTON J.R., GARETH D.D., PEGG J. 2013: Spatial variation in the somatic growth rates of European barbel *Barbus barbus*: a UK perspective. Ecology of Freshwater Fish 22: 21-29.
- CREATO 2012a: Ausbau KW Kappelerhof, Erfolgskontrolle 2011 der ökologischen Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen. Bericht im Auftrag der Limmatkraftwerke AG.
- CREATO 2012b: Erneuerungen KW Wettingen, Erfolgskontrolle 2011 der ökologischen Ersatz- und Ausgleichsmassnahmen, Zustand vor und nach dem Bau. Bericht im Auftrag des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz).
- CREATO 2012c: ewz Kraftwerk Wettingen - Ökostromlabel *naturemade star*, Bericht zur 1. Rezertifizierung 2012. Bericht im Auftrag des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz).
- DE VOCHT A., BARAS E. 2005: Effect of hydropeaking on migrations and home range of adult Barbel (*Barbus barbus*) in the river Meuse. In: Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Ustica, Italy, 9-13 June 2003. Edited by Europe. Ustica, Italy, 9-13 June 2003. Edited by Spedicato, M.T.; Lembo, G.; Marmulla, G. 295 S.
- DÜCKELMANN H. 2001: Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fließgewässern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, 81 S.
- EBEL G. 2002: Untersuchungen zur Stabilisierung von Barbenpopulationen – dargestellt am Beispiel eines Mitteldeutschen Fließgewässers. Impress Druckerei Halle (Saale).
- EBEL G. 1996: Beobachtungen im Helmegebiet zur Reproduktion der Barbe. Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt 33: 21-28.
- ENGELHARDT W. 2003: Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? 15. Auflage, Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co, Stuttgart.
- FLUSSBAU AG, 2011: Reaktivierung des Geschiebehaushalts von Shil und Limmat, Massnahmenkonzept, Entwurf.
- FRANK F. 2011: Droht der Barbe das gleiche Schicksal wie der Nase? Umwelt Aargau Nr. 53, S. 33-34.
- FREYHOF J. 1996: Distribution of YOY-barbel *Barbus barbus* (L.) in the River Sieg/Germany. In: Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe. Edited by Kirchhofer A. & Hefti, D. Birkhäuser Verlag Basel/Switzerland: 259-267
- GERSTMEIER R., ROMIG T., 2003: Die Süßwasserfische Europas, für Naturfreunde und Angler. 2. Auflage, Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co., Stuttgart.
- GRIMM U., LENTNER R. 2007: Kormoran und Gänseäger in Nordtirol. Anwesenheit, Habitatpräferenz, Aktivitätsmuster und Nahrungswahl im Winterhalbjahr. Ergebnisse einer Untersuchung 1999/2000. Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck, Band 94: 109 – 135.
- HOFER J. 1911: Die Fischfauna des Kantons Aargau. Separat aus den Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft. Heft 12: 61-74.
- HONSIG-ERLENBURG W., KONAR M., HUBER T., GUTLEB B., WIESER G., FRIEDL T., MILDNER P. 1997: Zoologische Exkursion des Naturwissenschaftlichen Vereines zur Kolpa (Slowenien). Carinthia II., Jahrgang 187 /107, S.139-152.
- HUET M. 1954: Biologie, profiles en long et en travers des eaux courantes. Bull. franz. pisc. 175: 41-53.
- HUNT P.C., JONES J. W. 1975: A population study of *Barbus barbus* (L.) in the River Severn, England. III. Growth. Journal of Fish Biology 6, 255-267.
- JASCUR P., DÖBELIN V. 2010: Ornithologische Steckbriefe in 2 Bänden (Nichtsinvögel und Singvögel), 4. Auflage, BNV Basellandschaftlicher Natur- und Vogelschutzverband.
- KEITER S., BÖTTCHER M., GRUND S., SEITZ N., BRAUNBECK T., HOLLERT H. 2009: Der Fischrückgang in der oberen Donau. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 20: 186-196.
- KIRCHHOFER A., BREITENSTEIN M., ZAUGG B. 2007: Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für Kartographie der Fauna, Neuenburg. Umwelt-Vollzug Nr. 0734. 64 S.

- LUCAS M. C., BATLEY E. 1996: Seasonal movements and behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid fish: implications for river management. *Journal of Applied Ecology* 33: 1345-1358.
- LUCAS M. C., FREAR P. A. 1997: Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *Journal of Fish Biology* 50: 382-396
- MATTHES U., WERNER R. 2010: Elektrofischungen von Abschnitten der Werra zwischen Breitungen und Creuzburg im Jahr 2009. Bericht über den Fischbestand der Werra unter Berücksichtigung der Einleitung von Kaliabwässern. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES), Dezernat 34 – Binnenfischerei, Hannover im Juli 2010.
- NACHEV M., SURES B. 2009: The endohelminth fauna of barbell (*Barbus barbus*) correlates with water quality of the Danube River in Bulgaria. *Parasitology* 136: 545-552.
- PELZ G. R., KÄSTLE A. 1989: Ortsbewegungen der Barbe *Barbus barbus* (L.) - radiotelemetrische Standortbestimmungen in der Nidda (Frankfurt/Main). *Fischökologie* 1: 15-28.
- PENCZAK T., KRUK A. 2000: Threatened obligatory riverine fishes in human-modified Polish rivers. *Ecology of Freshwater Fish* 9: 109-117.
- PENAZ M, BARUS V, PROKES M, HOMOLKA M 2002: Movements of barbel, *Barbus barbus* (Pisces : Cyprinidae) *Folia Zoologica* 51: 55-66.
- PERSAT H., COPP G. 1990: Electric fishing and point abundance sampling for the ichthyology of large rivers. In: I.G.COWX (ed.): *Developments in electric fishing*. Fishing News Books, Oxford: 197-209.
- PRZYBYLSKI M., BORON A., KRUK A. 2004: Growth of barbel, *Barbus barbus* (L.) in the upper Warta River, Odra River System. *Ecology and Hydrobiology* 4: 183-190.
- SLAVIK O., HORKY P., BARTOS L. 2009: Occurrence of cyprinids in fish ladders in relation to flow. *Biologia* 64/5: 999-1004.
- STEINMANN P., KOCH W., SCHEURING L. 1937: Die Wanderungen unserer Süßwasserfische, dargestellt auf Grund von Markierungsversuchen. *Z. Fischerei* 35, 369-467.
- VILIZZI L., COPP G. H., CARTER M. G., PENAZ M. 2006: Movement and abundance of barbel, *Barbus barbus*, in a mesotrophic chalk stream in England. *Folia Zoologica* 55: 183-197.
- WFN 2013: Kraftwerk Rüchlig, Ökologische Erhebungen des Ausgangszustandes 2012. Kurzbericht im Auftrag der Axpo.
- WOOLSEY S., WEBER C., GONSER T., HOEHN E., HOSTMANN M., JUNKER B., ROULIER C., SCHWEIZER S., TIEGS S., TOCKNER K., PETER A.. 2005: Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. 112 S.

Anhang

A1 Artenliste Elektroabfischungen

Tabelle A1: Artenliste mit relativen Dichten aller gefangenen Fische während den Elektroabfischungen im September 2011 und 2012.

	8 Mündung		7 uha KWTurgi		6 RW Turgi		5 uha Schiffmühle		4 Hard		3 Limmatsteg		1 Limmatschleife	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Aal	0.01		0.03				0.03				0.05	0.05	0.02	
Bachforelle				0.05		0.06		0.05			0.04	0.02	0.09	0.04
Aesche	0.06													
Hecht		0.01												
Schneider	0.02	0.01	0.14	0.93		0.25	0.26	1.05	1.31	1.63	0.02	0.32	0.02	0.13
Laube		0.15												0.02
Barbe	0.22	0.45	0.91	1.49	0.24	1.21	0.49	1.51	1.05	1.41	0.2	1.48	0.32	3.45
Karasche												0.05		
Gründling		0.04	0.26			0.02		0.05					0.11	0.02
Alet	0.2	0.05	2.46	2.12	0.17	1.65	2.41	1.43	1.41	1.41	0.49	1.77	4.68	3.81
Elritze	0.04	0.15		0.02									0.02	0.04
Bitterling		0.03								0.02			0.14	
Rotauge		0.04		0.24				0.14		0.37		0.16	0.18	0.66
Schleie		0.01											0.02	
Dorngrundel	0.07	0.16						0.03						
Bartgrundel	0.93	0.74	0.29	0.2	0.38	0.25	0.74	0.7	0.13	0.27	0.13	0.07	1.75	1.17
Wels		0.04	0.03	0.05			0.03							
Trüsche		0.01											0.02	
Stichling		0.01												0.09
Egli				0.05				0.14				0.05		0.02
Kaulbarsch													0.05	
Groppe	0.28	0.41	0.37	0.27	0.53	1.02	0.03	0.19	0.72	0.63	0.18	0.14	0.14	0.09
CPUE	1.83	2.32	4.49	5.41	1.32	4.46	3.97	5.30	4.62	5.76	1.11	4.09	7.57	9.53
Anzahl Arten	9	16	8	10	4	7	7	10	5	7	7	10	14	12

A2 Wachstumskurve und Längen-Gewichts-Beziehung

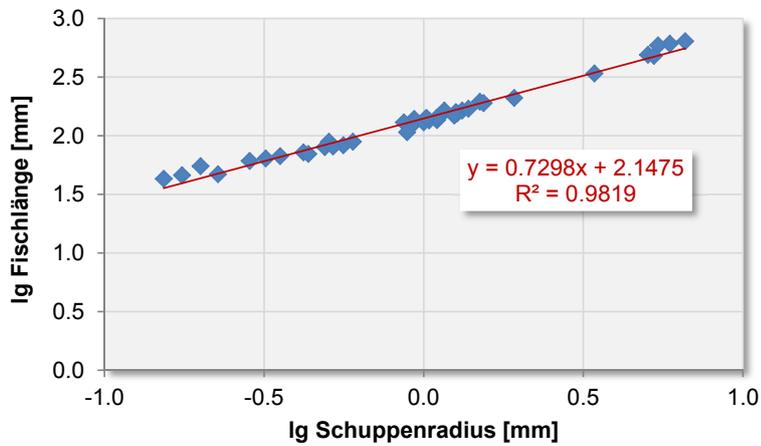


Abbildung A1: Log-transformierte Schuppenradien beim Fang (rf) und Fischlänge beim Fang mit resultierender Regressionsgleichung (n = 43).

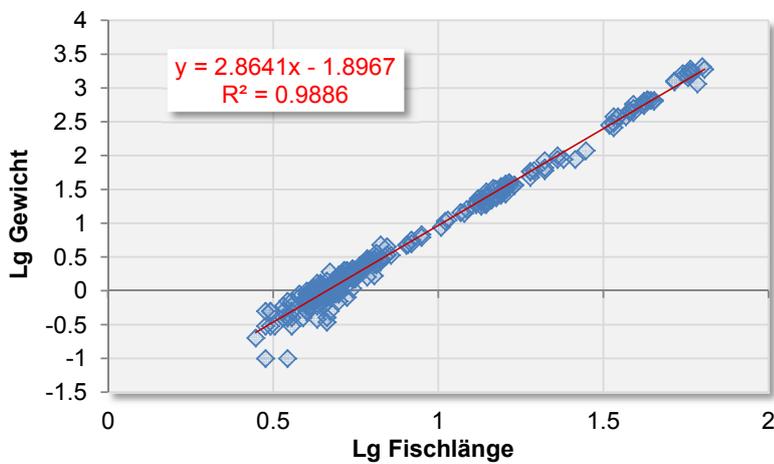


Abbildung A2: Log-transformierte Längen und Gewichte der vermessenen Barben und zugehörige Regression (n = 350).

A3 Koordinaten Laichplätze und Befischungstrecken

Tabelle A2: Koordinaten des unteren Streckenanfangs der elektrischen Befischungstrecken.

Strecke	Koordinaten unterer Streckenanfang
1 Limmatschleife	666001 / 256674
3 Limmatsteg	665878 / 259017
4 Hard rechts	663419 / 259697
Hard links	663420 / 259611
5 uha Schiffmühle	661970 / 260224
6 RW Turgi	661452 / 260980
7 uha KW Turgi	660687 / 260742
8 Mündung	660214 / 261529

Tabelle A3: Koordinaten in der Mitte der als Laichplatz nutzbaren Flusstrukturen. In der Tabelle sind auch die Koordinaten respektive Flusskilometer der beiden zusätzlich vermuteten Laichorte vermerkt.

Ort/Lage	Koordinaten
2 Webermühle	665846 / 256897
3 Bäderquartier	665997 / 259323
4 Hard linksufrig	663460 / 259667
6 RW Turgi	661523 / 260990
7 Holzbrücke Turgi	661325 / 260871
Vermuteter Laichort Schiffmühle	662703 / 259824
Vermuteter Laichort Damsau*	ca. 665900 / 256575

* Der vermutete Laichort in der Restwasserstrecke Damsau konnte nicht genau lokalisiert werden. Die dafür angegebenen Koordinaten bezeichnen etwa die Mitte der Restwasserstrecke und nicht die als Laichplatz nutzbare Flussstruktur.