

NACHHALTIGE BESATZBEWIRTSCHAFTUNG DER FORELLEN IM KANTON AARGAU

WIE WEITER NACH DEM BESATZSTOPP VON 2018?



Impressum

Auftraggeber:

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau
Tel.: 062 835 28 50
Fax: 062 835 28 59
E-Mail: jagd_fischerei@ag.ch

Auftragsnehmer:

Aquabios GmbH
Les Fermes 57
CH-1792 Cordast
E-Mail: info@aquabios.ch
<http://www.aquabios.ch>



Autoren:

Pascal Vonlanthen: p.vonlanthen@aquabios.ch
Nicolas Achermann: nicolas.achermann@fischwerk.ch

Titelbild:

Atlantische Forelle (*Salmo trutta*) Foto © Michel Roggo

Zitiervorschlag:

Vonlanthen, P., Achermann, N., 2025: Nachhaltige Besatzbewirtschaftung der Forellen im Kanton Aargau – Wie weiter nach dem Besatztopp 2018. Im Auftrag vom Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau.

Verdankungen:

Wir möchten uns bei Corinne Schmid, Luca Hoppler, Thomas Stucki und allen weiteren beteiligten Personen für die Unterstützung auf verschiedenen Ebenen des Projekts bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUSGANGSLAGE UND AUFTRAG	5
2.1	ENTWICKLUNG DER FORELLENBESTÄNDE	5
2.2	BISHERIGE BESATZBEWIRTSCHAFTUNG IM KANTON AARGAU	6
2.3	UMSTELLUNG BESATZBEWIRTSCHAFTUNG UND ERFOLGSKONTROLLE KT. AARGAU	7
2.4	FRAGESTELLUNGEN UND AUFTRAG	8
3	WIE DIE UMWELT DEN FORELLENBESTAND IN FLIESSGEWÄSSERN BEEINFLUSST	9
3.1	LEBENSZYKLUS DER ATLANTISCHEN FORELLE	10
3.2	FISCHREGIONEN	11
3.3	MORPHOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN DER GEWÄSSER	13
3.4	TEMPERATUR	14
3.5	HYDROLOGIE UND GESCHIEBETRIEB	15
3.6	WASSERQUALITÄT / NAHRUNGSGRUNDLAGE	15
3.7	VERNETZUNG	16
3.8	KRANKHEITEN	16
3.9	PRÄDATION	16
4	BESATZ ALS MASSNAHME FÜR SINKENDE FORELLENBESTÄNDE?	17
4.1	RECHTLICHE GRUNDLAGEN	17
4.2	BESATZMASSNAHMEN UND IHR ZWECK	17
4.3	WANN FÜHREN BESATZMASSNAHMEN ZU BESTANDSZUNAHMEN UND MEHRERTRAG BEI FISCHERN?	18
4.4	WAS SIND DIE RISIKEN VON BESATZMASSNAHMEN?	21
4.5	WANN IST BESATZ SINNVOLL?	21
4.6	ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGE FORELLENBESATZ IM KANTON AARGAU	23
5	ANALYSE DER FAKTENLAGE ZUM FORELLENBESATZ IM KANTON AARGAU	25
5.1	BESTEHEN HINWEISE DARAUF, DASS DIE UMWELTBEDINGUNGEN DEN FORELLENBESTAND IN DEN GEWÄSSERN BEGRENZT?	25
5.2	GIBT ES HINWEISE DARAUF, DASS DIE NATÜRLICHE FORTPFLANZUNG DER FORELLEN NICHT AUSREICHT, UM DIE LEBENSRAUMKAPAZITÄT DER FORELLEN IN DEN FLIESSGEWÄSSERN AUSZUSCHÖPFEN?	27
5.3	HATTE DER BESATZSTOPP, BZW. DIE ANPASSUNG DER BEWIRTSCHAFTUNG NACH 2018 EINEN EINFLUSS AUF DIE ANGLERFÄNGE/FORELLENBESTÄNDE IN DEN GEWÄSSERN?	30
5.4	ANPASSUNG BEWIRTSCHAFTUNG SURBREVIERE	33
5.5	BESATZSTOPP WYNA – AUSWIRKUNGEN AUF FORELLENBESTAND UND PKD-BEFALL	35
5.6	BESATZ MARKIERUNGSVERSUCH GROSSE FLÜSSE	37
6	EMPFEHLUNGEN FÜR ZUKÜNFTIGE BESATZMASSNAHMEN VON FORELLEN	38
6.1	IN WELCHEN GEWÄSSERN KÖNNTEN/SOLLTEN BESATZMASSNAHMEN VON FORELLEN AUS ÖKOLOGISCHEN GRÜNDEN WIEDER AUFGENOMMEN WERDEN?	38
6.2	IN WELCHEN GEWÄSSERN KÖNNTEN/SOLLTEN BESATZMASSNAHMEN AUS FISCHEREILICHEN GRÜNDEN WIEDER AUFGENOMMEN WERDEN?	38
6.3	FALLS BESATZMASSNAHMEN WIEDER AUFGENOMMEN WERDEN SOLLTEN, WIE SOLLEN BESATZFISCHE PRODUZIERT WERDEN, UM DIE RISIKEN FÜR DIE NATÜRLICHEN BESTÄNDE ZU MINIEREN UND DIE ÜBERLEBENSCHANCEN DER BESATZFISCHE ZU MAXIMIEREN?	39
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	43
8	LITERATURVERZEICHNIS	45

1 Zusammenfassung

Nach dem fast vollständigen Stopp des Forellenbesatzes im Kanton Aargau ab 2018 wurde in mehreren Studien untersucht, welche Auswirkungen diese Massnahme auf die Bestände und Fangerträge hat. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht der fehlende Besatz, sondern vor allem Umweltfaktoren den Bestand an Forellen in den Fliessgewässern limitieren. Erhöhte Wassertemperaturen, Winterhochwasser, Trockenheit, strukturarme Gewässer, fehlende Durchgängigkeit, Nährstoffbelastung sowie morphologische Defizite sind die Hauptgründe für das beobachtete Defizit an Forellen – sowohl bei Jungfischen als auch bei adulten Tieren. Die natürliche Fortpflanzung funktioniert grundsätzlich in weiten Teilen des Kantons, wie Laichgrubenkartierungen und Befischungen zeigen. Dennoch liegt die Bestandsdichte in vielen Gewässern unter dem erwarteten Niveau – nicht wegen mangelnder Reproduktion, sondern aufgrund eingeschränkter Lebensraumkapazitäten.

Die Analysen zeigen, dass bisherige Besatzmassnahmen kaum nachweisbare positive Effekte auf die adulten Forellenbestände oder die Fangerträge der Angelfischer hatten. Besonders bei Besatz mit Jungfischen (z. B. Brütlinge oder Vorsommerlinge) dominiert der sogenannte Substitutionseffekt: Die eingesetzten Fische verdrängen vorhandene Wildfische, anstatt die Population insgesamt zu erhöhen. Auch multivariate statistische Auswertungen ergaben keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Besatzmenge und Anglerfängen. Fangrückgänge lassen sich wesentlich besser durch Umweltfaktoren – insbesondere durch den Anstieg der Wassertemperaturen – erklären.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird ein genereller Wiedereinstieg in breitflächige Besatzmassnahmen von Forellen nicht empfohlen. Vielmehr sollten die Ressourcen in die Verbesserung der Lebensraumbedingungen investiert werden. Gewässerrevitalisierungen, die Wiederherstellung der Durchgängigkeit,

Strukturverbesserungen sowie Massnahmen zur Reduktion der Wassertemperatur und zur Sicherstellung der Wasserqualität sollen im Zentrum stehen. Damit wird langfristig nicht nur der Forellenbestand, sondern auch die gesamte aquatische Biodiversität gefördert.

Ein Forellenbesatz kann künftig allerdings in spezifischen Ausnahmefällen gerechtfertigt sein. Aus ökologischer Sicht sind Besatzmassnahmen sinnvoll, wenn eine Population lokal ausgestorben ist und keine natürliche Wiederbesiedlung möglich ist. In diesem Fall sollten Wildfische aus nahegelegenen Beständen transloziert werden. Aus fischereilicher Sicht kann ein Besatz mit Jungfischen in Gewässersystemen in Betracht gezogen werden, in denen die natürliche Fortpflanzung über mehrere Jahre ausbleibt und keine natürliche Zuwanderung stattfindet. Solche Situationen sind jedoch selten. Sollte ein Besatz erfolgen, so sind genetisch geeignete, lokal angepasste Fische zu verwenden, vorzugsweise aus offener Laichtierbewirtschaftung, um Domestikationseffekte und genetische Risiken zu minimieren. Dabei sollte kein Laichfischfang durchgeführt werden, sondern juvenile Forellen wild gefangen und in der Zucht zu Elterntieren aufgezogen werden.

Für die künftige Bewirtschaftung wurde eine strukturierte Entscheidungsgrundlage zusammengestellt, die ökologische und fischereiliche Ziele getrennt betrachtet. In beiden Fällen müssen die Voraussetzungen geprüft und allfällige Besatzmassnahmen durch Erfolgskontrollen begleitet werden. Die aktuelle Datenlage unterstützt die Fortführung des eingeschlagenen Wegs: Kein genereller Wiedereinstieg in den Forellenbesatz, sondern Fokus auf die langfristige Verbesserung der Gewässerqualität und der natürlichen Produktionskapazität – dies ist die nachhaltigste Strategie für die Erhaltung der Forellenbestände im Kanton Aargau.

2 Ausgangslage und Auftrag

2.1 Entwicklung der Forellenbestände

Der Druck, dem unsere Gewässer ausgesetzt sind, ist immens und nimmt weiterhin zu. Wichtige negative Einflussfaktoren sind beispielsweise:

- Wasserkraftnutzung
- Hochwasserschutz
- Landwirtschaft
- Infrastrukturanlagen
- Abwässer
- Klimawandel

Im Verlaufe des 19. und 20. Jahrhunderts wurden viele Fliessgewässer immer stärker verändert. Im schweizerischen Mittelland können heute praktisch keine ursprünglichen und natürlichen Gewässerstrecken mehr gefunden werden. Damit hat sich auch der natürliche Lebensraum unserer Fische sehr stark verändert.

Welche Auswirkungen der Mensch auf den Fischbestand hat wird mit dem Messprogramm "Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität" (NAWA) seit 2012 erhoben. Dieses Monitoring zeigt, dass der Fischbestand heute in einem Grossteil der untersuchten Gewässer in einem ungenügenden Zustand ist [1]. Es besteht vielerorts ein deutliches Defizit in der Individuendichte und der Biomasse von standorttypischen Fischarten. Die atlantische Forelle kommt heute nördlich der Alpen noch in praktisch allen Gewässern vor. Allerdings ist das Defizit bei der Individuendichte sehr ausgeprägt. Die Bewertung des Gewässerzustands anhand von Fischen zeigt, dass sich dieser mit zunehmenden anthropogenen Einflüssen verschlechtert.



Abbildung 2-1. Links: Naturnahe Gewässer mit viel Wald im Einzugsgebiet beherbergen meist gute Fischbestände (Bsp. Schwarzwasser Kt. Bern © Michel Roggo). Viele unserer Gewässer werden heute allerdings durch den Menschen stark beeinflusst und der Fischbestand leidet massiv darunter (Bsp. kanalisierte Bünz in Kanton Aargau).

Bis heute liegen nur wenige längere Zeitreihen von Fischbestandserhebungen vor [2–4]. Es ist daher nicht ausreichend dokumentiert, wie sich der Forellenbestand in den letzten Jahrzehnten schweizweit entwickelt hat. Entnahmestatistiken von Anglern weisen längere Zeitreihen auf. Diese zeigen in den

letzten Jahrzehnten schweizweit stark rückläufige Forellenenahmen (Abbildung 2-2, links). Im Kanton Aargau ist die Abnahme der Forellenenahmen von 1996 bis 2023 deutlich ausgeprägter als der nationale Trend (Abbildung 2-2, rechts).

Fangstatistiken widerspiegeln allerdings nicht zwingend die Entwicklung des Fischbestands [5]. Sie werden zwar stark vom vorhandenen Bestand beeinflusst, aber auch von weiteren Parametern wie Befischungsdruck, Befischungsmethode, Schonbestimmungen und Anglerverhalten (z.B. Catch & Release). Gerade das Anglerverhalten hat sich in den letzten

Jahrzehnten deutlich gewandelt. Vielen Anglerinnen und Anglern ist heute der prekäre Zustand des Fischbestands in vielen Gewässern bewusst und sie sind im Gegensatz zu früher viel eher dazu geneigt, ein Gewässer nicht zu befischen oder gefangene Fische aus ökologischen Gründen freizulassen.

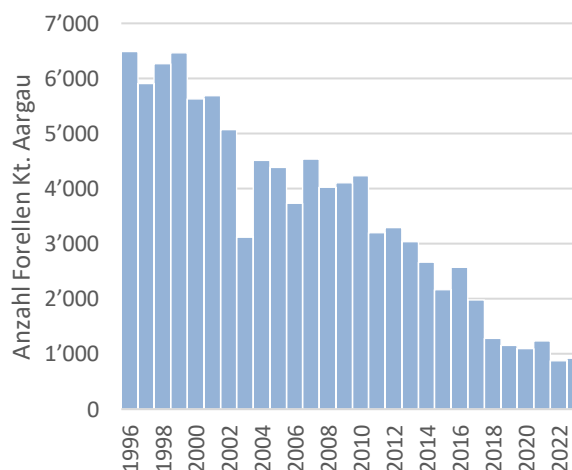
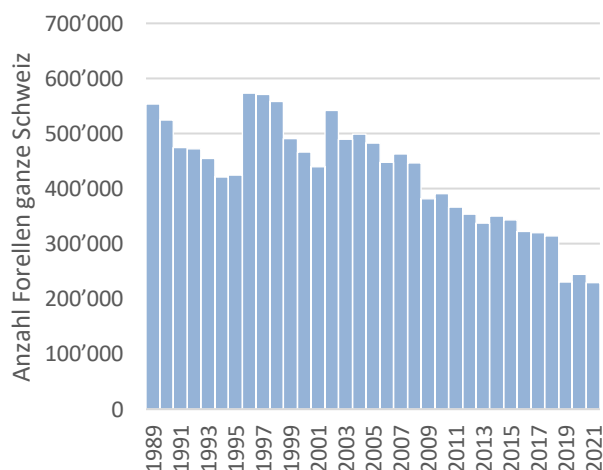


Abbildung 2-2. Links: Entwicklung der Forellenenntnahmen der Angelfischer in der Schweiz seit 1989 (ohne Regenbogenforellen) gemäss Bundesstatistik (Daten: <https://www.fischereistatistik.ch>). Rechts: Entwicklung der Forellenenntnahmen der Angelfischer im Kanton Aargau seit 1996 (Daten: Kanton Aargau).

Dass der Forellenbestand in unseren Gewässern seit Jahrzehnten abnimmt, ist nicht neu. Um diesem Trend entgegenzuwirken, wurden deshalb seit langem in vielen Fliessgewässern Forellen ausgesetzt. Besatzmassnahmen mit Forellen sind in der

Bundesstatistik bereits seit 1855 belegt. Hauptziel dieser Besatzmassnahmen war die Bestände der Forellen zu erhalten und zu fördern, damit eine fische-reiche Nutzung erhalten bleibt, trotz negativer menschlicher Einflüsse auf die Bestände.

2.2 Bisherige Besatzbewirtschaftung im Kanton Aargau

Das von der Fischereiverwaltung unter der Mitarbeit der Fischereikommission verabschiedete Besatzkonzept vom Februar 2011 sieht einen Fischeinsatz von standortgerechten Besatzfischen vor. Als Grundlage wurden für jedes staatliche Fischereirevier die gewässer- und fischökologischen Eigenschaften wie Gewässermorphologie, Wasserqualität, Laichmöglichkeiten und Abflussregime im Gewässer berücksichtigt. Es wird darin auch empfohlen, Wirkungskontrollen der getätigten Besatzmassnahmen durchzuführen.

Mit dem Beginn der neuen Pachtperiode ab 2018 wurde die Besatzbewirtschaftung der Forellen im Kanton Aargau im Vergleich zu den Vorgaben aus

dem Konzept nochmals stark angepasst. Mit wenigen Ausnahmen werden im Kanton Aargau seit 2018 keine Forellen mehr ausgesetzt. Lediglich in der Surb und in den grossen Flüssen wurden in den letzten Jahren noch Besatzmassnahmen mit Forellen vorgenommen.

Die Forellenbesatzbewirtschaftung war im Kanton Aargau aber schon in früheren Jahren Veränderungen unterworfen (Abbildung 2-3). So wurden die Besatzmengen bereits Ende der 1990er Jahre erstmals deutlich reduziert. In verschiedenen Pachtgewässern wurden Besatzmassnahmen bereits früh aufgegeben, da eingeschätzt wurde, dass die natürliche Rekultivierung ausreicht [6]. Aber nicht nur die

Besatzmengen haben sich mit der Zeit verändert. Auch das Besatzalter hat sich mit der Zeit verschoben. Während in den 1990er Jahre überwiegend Vörsommerlinge ausgesetzt wurden, dominierten von 2000 bis 2012 Sömmmerlinge im Besatz. Nach 2012

wurden überwiegend Brütlinge ausgesetzt. Dies, um Domestikationseffekte von Besatzfischen zu verringern und damit die Effizienz der Besatzmassnahmen (möglichst gute lokale Anpassung) zu erhöhen.

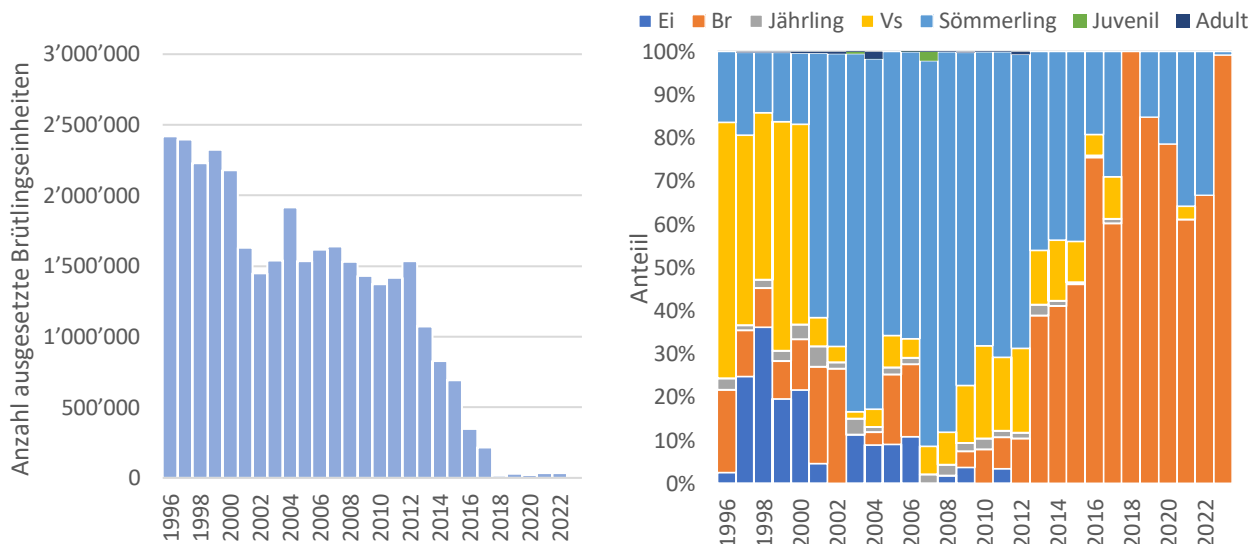


Abbildung 2-3. Links: Entwicklung der gesamten Anzahl der im Kanton Aargau ausgesetzten Forellen. Rechts: Aufteilung der besetzten Forellen auf die verschiedenen Altersklassen. Daten: Kanton Aargau.

2.3 Umstellung Besatzbewirtschaftung und Erfolgskontrolle Kt. Aargau

Im Kanton Aargau wurde die Besatzbewirtschaftung im Verlauf der letzten 30 Jahren massiv umgestaltet (Vgl. Kap.2.2). Wurden in den 1990er Jahre noch mehr als 2'000'000 Brütlingseinheiten in kantonale Gewässer ausgesetzt, so waren es in den letzten Jahren nur noch um die 30'000. Der Forellenbesatz wurde also fast komplett aufgegeben. Dem Kanton und den Angelfischern stellt sich nun die Frage, welche Auswirkungen diese Anpassungen der Besatzbewirtschaftung hatten und ob und unter welchen Bedingungen die Besatzbewirtschaftung erneut angepasst werden sollte.

Um diesen Fragen nachzugehen, gab der Kanton Aargau zwei Studien in Auftrag. In der **ersten Studie** wurde die Anpassung der Besatzbewirtschaftung in der Surb und ihren Zuflüssen während 4 Jahren detailliert untersucht [7]. In der Studie wurde von 2018 bis 2023 überprüft, wie sich der Stopp des Forellenbesatzes sowie ein neuer Besatz mit lokal gewonnenen Jungfischen auf die Forellenbestände und die

Entnahmen der Angelfischer auswirken. In zwei Revieren wurde der Besatz vollständig eingestellt, in zwei weiteren erfolgte der Besatz nur noch mit Nachkommen von Forellen, die direkt aus der Surb stammten und im Rahmen eines Laichfischfangs gewonnen wurden. In ausgewählten Abschnitten der Surb wurde der Forellenbestand mithilfe quantitativer Elektrofischungen erfasst und mit den Fangerträgen der Angelfischer verglichen. Dabei wurden auch Umweltfaktoren wie Wassertemperatur und Abfluss sowie genetische Daten berücksichtigt. Die genetische Abstammung der Fische wurde in einem Markierungsexperiment mittels Elternschaftsanalysen überprüft.

In der **zweiten Studie** wurde zwischen 2018 und 2023 untersucht, welche Auswirkungen der weitgehende Verzicht auf Fischbesatz kantonsweit auf die Forellenbestände und auf die Fangerträge der Angelfischer haben [6]. Die Untersuchung gliederte sich in vier Teilbereiche:

1. Die kantonalen Entnahmestatistiken von über 100 Fischereirevieren wurde analysiert, um die Entwicklung der Fangerträge (Anzahl entnommener Forellen und Fang pro Aufwandseinheit) zu bewerten.
2. Daten von 116 quantitative Befischungen von 61 Strecken in 26 Gewässern wurden hinsichtlich Dichte, Biomasse und Altersstruktur ausgewertet.
3. Diese Ergebnisse wurden mit Umweltfaktoren wie Wassertemperatur, Abfluss und Gewässermorphologie verglichen, um externe Einflüsse auf die Fischbestände zu identifizieren.
4. Es wurden genetische Untersuchungen durchgeführt, um zu bestimmen, wie viele Forellen aus Besatz stammten und wie hoch ihr Überlebensanteil in Flüssen wie Aare, Limmat und Rhein war. Hierzu wurden Elterntiere und ihre Nachkommen genetisch markiert und mittels Elternschaftsanalysen identifiziert.

2.4 Fragestellungen und Auftrag

Im Rahmen des vorliegenden Syntheseberichts sollen die Haupteckdaten dieser Berichte sowie weiteres Wissen zusammengetragen werden. Folgende Punkte sollten aufgearbeitet werden:

1. In einem ersten Schritt sollen kantonale, nationale und internationale Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und Forellenbeständen in Gewässern zusammengestellt und aufgearbeitet werden. Dabei soll geklärt werden, welche Voraussetzungen die Gewässer bieten müssen, damit Forellen darin überleben können und wie Umweltfaktoren die Bestandsdichte massgeblich beeinflussen.
2. In einem zweiten Schritt sollen Besatzmassnahmen genauer betrachtet werden. Ein Fokus sollte auf den verschiedenen Besatzformen liegen. Es soll geklärt werden, unter welchen Bedingungen Besatz aus ökologischer bzw. fischereilicher Sicht sinnvoll ist. Als Ergebnis soll eine Entscheidungsgrundlage für zukünftige Besatzmassnahmen von Forellen im Kanton Aargau ermittelt werden.
3. Anschliessend soll anhand von vorliegenden Daten überprüft werden, ob und weshalb die Besatzbewirtschaftung von Forellen im Kanton Aargau angepasst werden sollten:
 - a. Bestehen Hinweise darauf, dass die Umweltbedingungen (Ökomorphologie, Wasserqualität, Temperatur, Abfluss, Geschiebe) den Forellenbestand in den Gewässern begrenzt?
 - b. Gibt es Hinweise darauf, dass die natürliche Fortpflanzung der Forellen nicht ausreicht, um die Lebensraumkapazität der Forellen in den Fliessgewässern auszuschöpfen?
 - c. Hatte der Besatzstopp, bzw. die Anpassung der Bewirtschaftung nach 2018 einen Einfluss auf die Anglerfänge/Forellenbestände in den Gewässern?
 - d. Welche Erkenntnisse liefern die umfangreichen Untersuchungen der Anpassung der Besatzbewirtschaftung der Forellen in der Surb und der Wyna?
 - e. In welchen Gewässern könnten/sollten Besatzmassnahmen aus ökologischen Gründen wieder aufgenommen werden?
 - f. In welchen Gewässern könnten/sollten Besatzmassnahmen aus fischereilichen Gründen wieder aufgenommen werden?
 - g. Falls Besatzmassnahmen wieder aufgenommen werden sollten, wie sollen Besatzfische produziert werden, um die Risiken für die natürlichen Bestände zu minimieren und die Überlebenschancen der Besatzfische zu maximieren?

3 Wie die Umwelt den Forellenbestand in Fließgewässern beeinflusst

Eine Fischpopulation setzt sich aus verschiedenen Altersklassen (Kohorten bzw. Jahrgängen) zusammen, die insgesamt den Fischbestand (in Stückzahl bzw. Biomasse) bilden. Will man Effekte bestimmter Hemmassnahmen, der Befischung oder von Änderungen der Lebensräume auf einzelne Fischbestände verstehen, müssen stets die Veränderungen der Wachstums-, Reproduktions- und Sterblichkeitsraten zusammen betrachtet werden [8]. Der Schlüssel zum Verständnis der Populationsdynamik von Fischen ist die Dichteabhängigkeit aller drei Prozesse. Das heisst, die Menge an Fischen in einem gewissen Jahr wird durch die entsprechenden Raten von Wachstum, Rekrutierung¹ und Sterblichkeit in einer über die Jahre variablen Weise bestimmt.

Wachstum, Rekrutierung und Sterblichkeit der Forellen eines Gewässers werden wiederum durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst [9]. Jeder Faktor kann sich limitierend auf einen Prozess und damit auch auf dem im Gewässer lebenden Bestand auswirken. Nicht in jedem Gewässer und zu jedem Zeitpunkt im Verlauf des Lebenszyklus der Forelle haben die einzelnen Faktoren dieselbe Bedeutung.

Klar ist, dass jedes Gewässer aufgrund der im Verlauf des gesamten Lebens der Fische vorherrschenden Umweltbedingungen eine gewisse Aufnahmekapazität für Forellen aufweist, die begrenzt ist und die im Verlauf der Zeit variiert. Das Wirkungsgefüge der einzelnen Faktoren ist jedoch sehr komplex und kann nur stark vereinfacht dargestellt werden (Abbildung 3-1).

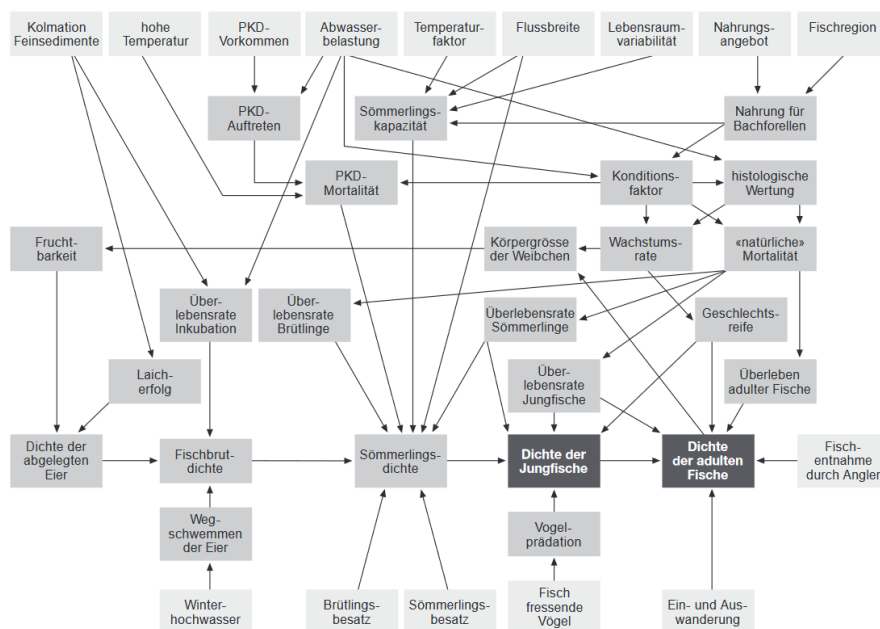


Abbildung 3-1. Faktoren, die auf den Forellenbestand eines Gewässers wirken (Fischnetz Schlussbericht[9]).

¹ In der Fischereibiologie wird mit dem Begriff des „Rekruts“ ein Fisch bezeichnet, der in den Fang hereingewachsen ist [8].

Für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Forellen ist es wichtig zu verstehen, welche natürlichen und anthropogenen Faktoren den Bestand beeinflussen. In diesem Kapitel wird daher zusammenfassend dargestellt, wie sich verschiedene wichtige Umweltfaktoren auf den Forellenbestand zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus der Forelle auswirken.

Jedes Gewässer/Gewässersystem weist aufgrund vorherrschender Umweltbedingungen eine gewisse Aufnahmekapazität für Forellen auf, die begrenzt ist und die im Verlauf der Zeit variiert. In einem Gewässer können nicht mehr Forellen überleben, als dies die Umweltbedingungen zulassen. Die limitierenden Umweltfaktoren müssen bekannt sein, um eine wirkungsvolle Besatzbewirtschaftung zu betreiben.

3.1 Lebenszyklus der atlantischen Forelle

Die atlantische Forelle hat einen für Fische, die ihren gesamten Lebenszyklus in Fließgewässern verbringen, recht typischen Lebenszyklus. Die Ansprüche an ihre Umwelt variieren dabei je nach Lebensstadium.

Für die **Fortpflanzung** und die Entwicklung der Eier in der Sohle benötigen Forellen lockeres und wenig kolmatiertes Kies, welches gut und mit

sauerstoffreichem und kühlem Wasser durchströmt wird. Die Eier und die Larven entwickeln sich über Monate im Kies. Die sauerstoffreichen Bedingungen müssen also bis zur Emergenz erfüllt sein. Zudem darf es während dieser Entwicklungsphase nicht zu grossen Umlagerungen der Sohle (grosse Hochwasser mit Geschiebetrieb) kommen.

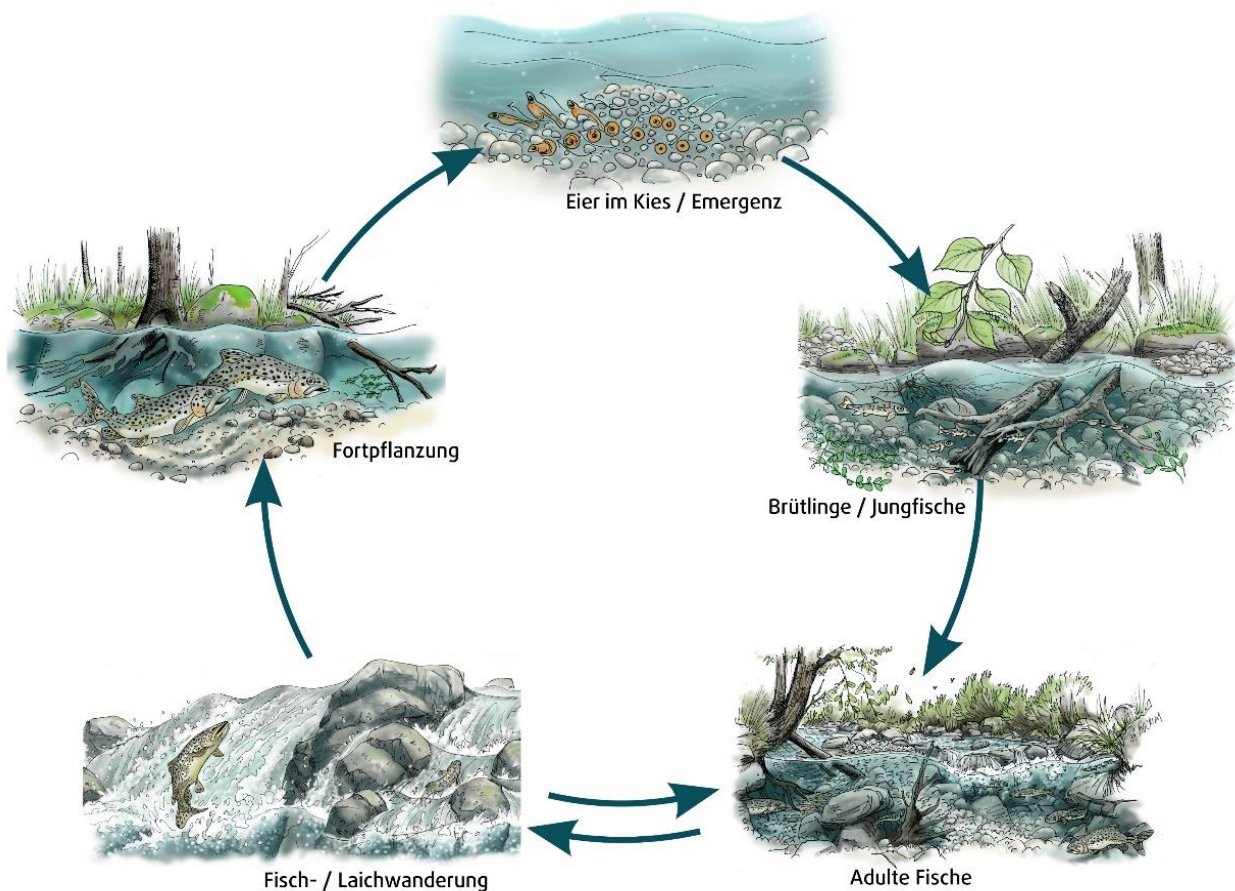


Abbildung 3-2. Lebenszyklus der Forelle (Abbildung [10])

Nach der Emergenz benötigen Forellen seichte und langsam durchflossene Uferbereiche die gut strukturiert sind. Bereits direkt nach der Emergenz sind Forellen territorial [11]. Je höher der Anteil an diesem Habitat im Gewässer ist und je besser diese strukturiert sind, desto grösser kann der Bestand an jungen Forellen sein. "Überzählige" Forellen, die in der Nähe der Laichgruben keine freien Habitate finden, wandern in der Regel flussabwärts ab und besiedeln die nächstbesten Habitate oder sterben [11], dies gilt auch für zu hohe Dichten, die durch Besatzmassnahmen verursacht werden [8, 12].

Je dichter ein Bestand, desto höher ist die Sterblichkeit im Larven- und Jungfischstadium durch Futterkonkurrenz und Frassdruck. Die Sterblichkeit orientiert sich stets an der Aufnahmekapazität des Gewässers und bringt entsprechend so viele Jungtiere hervor, wie ein Gewässer ernähren kann. Gibt es wenige Eier im Bestand, überleben viele Larven, gibt es viele Eier im Bestand, überleben wenige [8]. Wie viele Jungfische in einem Gewässer aufkommen, hängt eng mit der Anzahl und Qualität der Jungfischlebensräume und auch mit dem Futterangebot zusammen. Auch wenn die Anzahl und Qualität der Laichplätze ist wichtig ist, liegt der wesentliche Engpass für die Gesamtproduktion an abschöpfbaren Adultfischen bei Forellen nicht im Laichhabitat oder bei frühen Juvenilstadien [8].

Das territoriale Verhalten bleibt auch im **juvenilen und adulten Altersstadium** bestehen. Die Lebensraumansprüche wandeln sich aber mit der Zeit. Juvenile Forellen (0+, 1+) benötigen Lebensräume, welche mässig bis stark durchflossen werden, mittelmässige Tiefen aufweisen und viele Strukturen und Deckungsmöglichkeiten bieten (typischerweise in Furten) [13].

Adulte Forellen brauchen gute Deckungsmöglichkeiten, die an ihre Grösse angepasst sind, dazu gehören unterspülte Ufer, Totholzansammlungen, oder Kolke. Je grösser das Angebot an Adulthabitaten in einem Gewässer ist, desto mehr adulte Forellen können im Gewässer vorkommen, sofern keine Engpässe in anderen Lebensstadien vorliegen.

Insbesondere für die Fortpflanzung können Forellen auch längere **Wanderungen** auf sich nehmen. Diese sind wichtig, da damit die natürlicherweise eher flussabwärts orientierten Wanderungen in frühen Lebensstadien kompensiert werden. Zudem stellt eine gute Längsvernetzung sicher, dass Teillebensräume für gewisse Altersstadien miteinander verbunden werden. Es kann also z.B. ausreichen, wenn im Gewässeroberlauf viele und gute Laichgründe und Aufwuchsbedingungen für Jungforellen vorhanden sind, um auch die Unterläufe der Gewässer mit ausreichend Forellen zu versorgen. Forellen führen aber noch weitere Wanderungen durch, z.B. um Unterstände oder Nahrungsgründe aufzusuchen, um Hochwassern lateral auszuweichen oder diese zu kompensieren, um neue Habitate zu erschliessen, um im Sommer Kaltwasserrefugien aufzusuchen, usw. [11].

Dichteabhängige Prozesse finden bei Forellen während des gesamten Lebenszyklus statt. Diese sind aber bei Jungfischen besonders stark ausgeprägt. Die Sterblichkeit orientiert sich stets an der Aufnahmekapazität des Gewässers und bringt entsprechend so viele Jungtiere hervor, wie ein Gewässer ernähren kann. Gibt es wenige Eier im Bestand, überleben viele Larven, gibt es viele Eier im Bestand, überleben wenige. Deshalb liegt bei Forellen der wesentliche Engpass für die Gesamtproduktion an abschöpfbaren Adultfischen nicht im Laichhabitat oder bei frühen Juvenilstadien.

3.2 Fischregionen

Fliessgewässer können anhand ihrer Fischartengesellschaft und aufgrund von Umweltbedingungen in Fischregionen eingeteilt werden [14]. Jede dieser Fischregionen wird nach einer Leitfischart benannt,

die für den entsprechenden Lebensraumtyp charakteristisch ist. In der Schweiz kommen folgende Fischregionen vor:

- Forellenregion (Epi- und Metarhithral)
- Äschenregion (Hyporithral)
- Barbenregion (Epiptamal)
- Brachsamenregion (Metapotamal)

Der oberste Fliessgewässerabschnitt, in dem Fische noch vorkommen, ist die Forellenregion. Typisch für sie sind sommerkühle Wassertemperaturen, ein grosses Gefälle, eine starke Strömung und eine Sedimentzusammensetzung aus überwiegend grobem Material (Blöcke, Steine, Kies). Diese physikalischen Eigenschaften ändern sich entlang des Fliessgewässers kontinuierlich bis zur Brachsamenregion. Sie wird durch hohe Sommertemperaturen, eine schwache Strömung, ein geringes Gefälle und feinkörniges Sediment (Sand, Schlamm) charakterisiert.

Die natürliche Fischartengemeinschaft verändert sich entlang dieses Kontinuums markant. Jede Fischart besiedelt dabei einen für sie optimalen Bereich entlang dieser Umweltgradienten, kommt aber in den angrenzenden Regionen teilweise ebenfalls vor, aber in deutlich geringeren Dichten. Die Artenzahl nimmt in Fliessrichtung von der Forellenregion in Richtung Brachsamenregion zu. Diese Gliederung eines Fliessgewässers in Fischregionen ist lediglich eine vereinfachte Darstellung der Wirklichkeit. So kann z. B. ein See, das Abfluss-, Temperatur und Geschieberegime eines Fliessgewässers derart verändern, dass die Artenzusammensetzung einer tiefer liegenden Fischregion entspricht, als durch das Gefälle und die Morphologie zu erwarten wäre (Typische Beispiele im Kanton Aargau: Suhre und Aabach).

Die Fischregion eines Gewässers kann anhand von Umweltparametern berechnet werden [14, 15]. Die

wichtigsten Einflussgrössen sind dabei die Temperatur, die mittlere benetzte Breite und das Gefälle des Gewässers.

Für die Besatzbewirtschaftung ist bezüglich der Fischregionszuteilung der Gewässer im Kanton Aargau wichtig, **dass natürlicherweise nicht in allen Gewässern gleich hohe Forellendichten und Biomassen erwartet werden können.** Desto mehr sich ein Gewässer von der Forellenregion entfernt, desto geringer sind natürlicherweise die Dichten und die Biomassen von Forellen, die im Gewässer überleben können (Abbildung 3-3). Die Aufnahmekapazität des Gewässers wird also auch von der Fischregion beeinflusst. In Gewässern der unteren Barbenregion und der Brachsamenregion werden z.B. keine oder nur sehr wenige Forellen erwartet. Wenn sich nun die Fischregion eines Forellengewässers mit der Zeit verändert – in den letzten Jahrzehnten war der Haupttreiber dafür die Erhöhung der Wassertemperatur – dann verändert sich auch die Aufnahmekapazität dieses Gewässers für Forellen zum Negativen.

Natürlicherweise werden nicht in allen Gewässern gleich hohe Forellendichten und Biomassen erwartet. Desto mehr sich ein Gewässer von der Forellenregion entfernt, desto geringer sind natürlicherweise die Dichten und die Biomassen von Forellen, die im Gewässer überleben können. Wenn sich die Fischregion eines Forellengewässers mit der Zeit verändert, dann verändert sich auch die Aufnahmekapazität dieses Gewässers für Forellen zum Negativen.

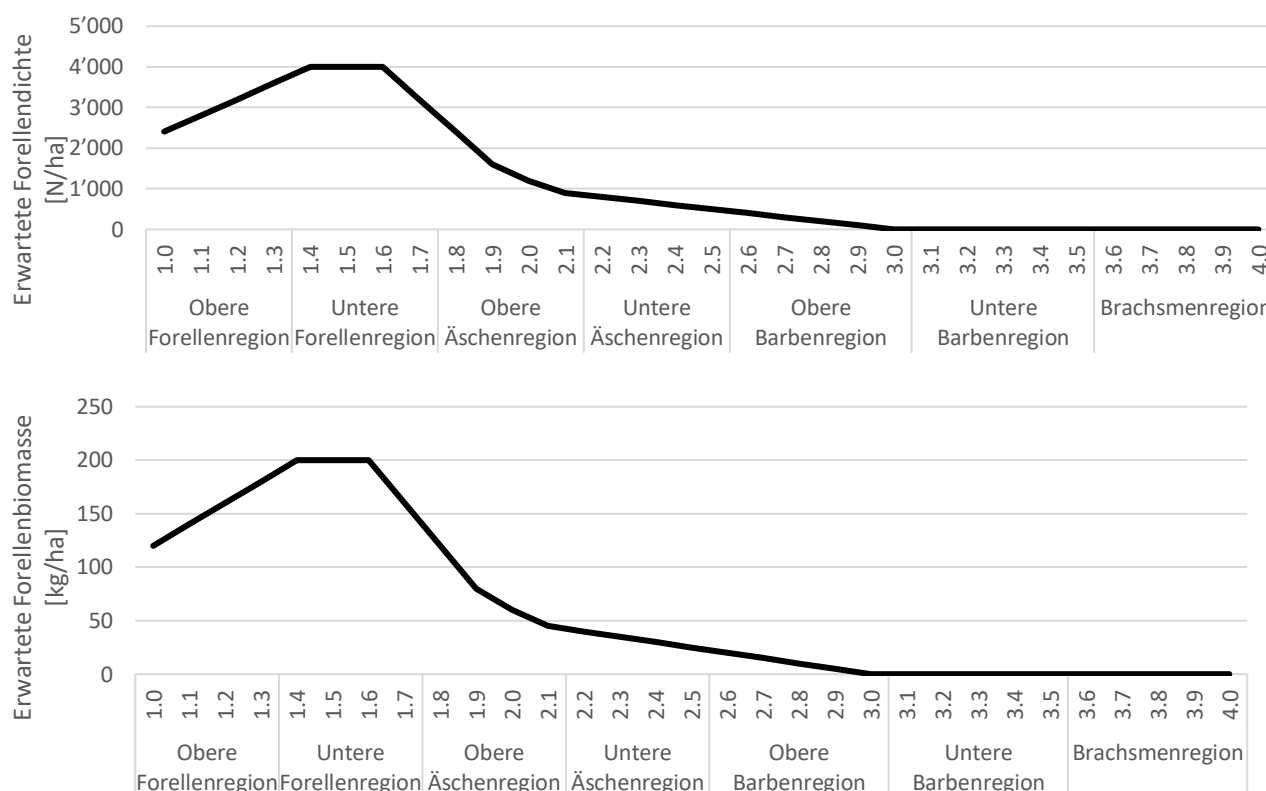


Abbildung 3-3. Minimale in Fließgewässern gemäss neuer MSK-Fische Methode [14] erwartete Forellendichten und -biomassen für verschiedene Fischregionen. Kommen weniger Forellen vor als erwartet, dann wird dies als gewässerökologisches Defizit gewertet.

3.3 Morphologische Eigenschaften der Gewässer

Forellen sind auf strukturreiche und vielfältige Fließgewässerhabitate angewiesen, um stabile Populationen in guten Dichten zu erhalten [11, 13, 16]. Gewässer mit einer hohen Vielfalt an Strukturen – darunter Unterspülungen, Totholz, Steine und Ufervegetation – bieten essenzielle Versteckmöglichkeiten vor Prädatoren, Strömungsschutz und optimale Bedingungen zur Nahrungssuche [17, 18].

Studien zeigen, dass Forellenbestände in stark strukturierten Gewässern signifikant höher sind als in monotonen, wenig strukturierten Flüssen [16]. Die natürliche Strukturvielfalt wurde in den letzten Jahrhunderten stark durch den Menschen beeinflusst. Gewässerbegradigungen, Uferverbauungen und Geschiebehaushaltsveränderungen haben vielerorts zu einem Rückgang geeigneter Habitate geführt, was negative Auswirkungen auf Forellenpopulationen hatte [19]. **Die meisten Verbauungen der Gewässer sind jedoch nicht rezent und können i.d.R. nicht als Hauptursache für den Rückgang des Forellen-**

bestands der letzten 40 Jahre angesehen werden. Die bestehenden Defizite wirken sich allerdings noch heute limitierend auf den Forellenbestand der Gewässer aus.

Massnahmen zur Revitalisierung, wie die Wiederherstellung von Kiesbänken und die Einbringung von Totholz können zu einer Erholung der Bestände beitragen. Auch im Kanton Aargau konnte bei verschiedenen Revitalisierungen gezeigt werden, dass sich diese positiv auf den Forellenbestand auswirken [20–23].

Die meisten Verbauungen der Gewässer sind nicht rezent und können i.d.R. nicht als Hauptursache für den Rückgang des Forellenbestands der letzten 40 Jahre angesehen werden. Die bestehenden Defizite wirken sich allerdings noch heute limitierend auf den Forellenbestand der Gewässer aus. Revitalisierungen können deshalb zu einer nachhaltigen Erholung der Bestände beitragen.

3.4 Temperatur

Fische sind wechselwarm (poikilotherm), das heisst sie können keine konstante Körpertemperatur aufrechterhalten. Daher entspricht ihre Körpertemperatur in etwa der Wassertemperatur. Die Wassertemperatur löst biochemische und physiologische Aktivitäten aus, von denen der Tod die Reaktion auf die ultimative äusserste Grenze des „nutzbaren“ Temperaturbereichs ist. Die ökologischen Randbedingungen schränken diesen Bereich jedoch ein. Für das längerfristige Überleben muss ein Lebewesen fähig sein, Nahrung zu sich zu nehmen, resistent gegen Krankheit und Parasiten zu sein, erfolgreich mit anderen Lebewesen zu konkurrieren und Räubern zu entfliehen. All diese Aktivitäten sind direkt von der Körpertemperatur und somit für Forellen von der Temperatur des Wassers abhängig.

Forellen haben einen Vorzugstemperaturbereich, innerhalb dessen ihr Stoffwechsel optimal funktioniert. Die Wassertemperatur ist deshalb ein

entscheidender Faktor für das Vorkommen von Forellen, die als kältebedürftige Art gilt. Dabei ist die Forelle für den gesamten Lebenszyklus auf einen relativ niedrigen Temperaturbereich beschränkt (Abbildung 3-4). Folgende Ansprüche der Forellen sind gemäss Literatur [24] bekannt:

- **Eier:** Damit Eier überleben, sind Temperaturen zwischen 0 und 13 °C notwendig [25].
- **Juvenile:** Brütlinge ertragen Temperaturen bis 23 °C [26].
- **Adulte:** Es werden Temperaturen zwischen 14 und 17 °C bevorzugt, die obere kritische Temperatur liegt bei 25 °C [27]. [25] bezeichnet den Bereich von 4 bis 19 °C als Optimalbereich.
- **Fortpflanzung:** [25] findet in der Literatur Werte zwischen 1 und 10 °C

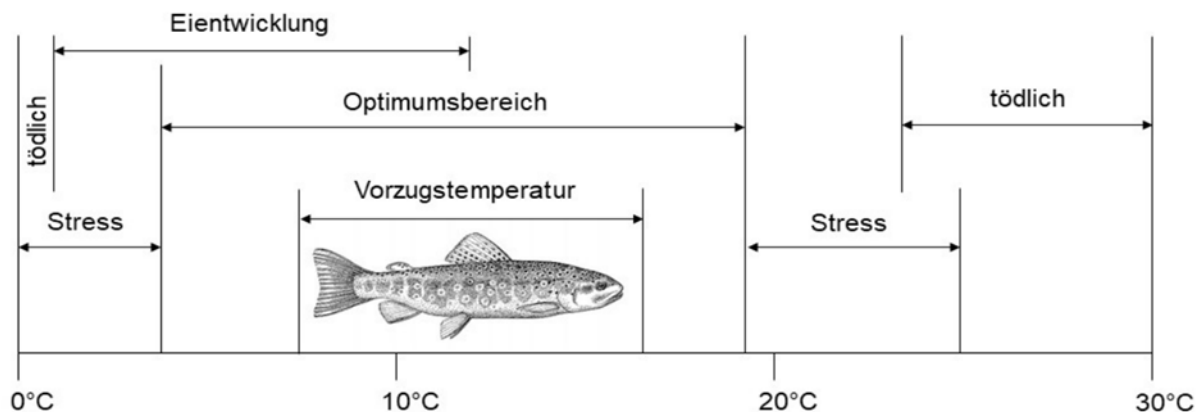


Abbildung 3-4. Temperaturtoleranzpolygon für die Bachforelle [24, 25, 28]

Die Temperatur der Fliessgewässer wird durch die klimatischen Bedingungen, den Einfluss des Grundwassers, den Typ und die Grösse des Gewässers, Wasserentnahmen, Einleitungen (z.B. bei AKW's, ARA's, Strassenabwasser), die Wasserkraftnutzung und die Beschattung der Gewässer auf eine sehr vielfältige Art und Weise beeinflusst.

Die Summe dieser Faktoren führte in den letzten Jahrzehnten in den meisten Gewässern der Schweiz,

für die Forelle speziell relevant im Mittelland, zu einer Erhöhung der Wassertemperatur. Da die Wassertemperatur für die Fische eine sehr wichtige Rolle spielt, hat diese Erhöhung Auswirkungen auf die Aufnahmekapazität des Lebensraums und führt zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung. Zudem fördert sie bei den Forellen gewisse Krankheiten, wie zum Beispiel die proliferative Nierenkrankheit (PKD) ab 15 Grad Wassertemperatur.

3.5 Hydrologie und Geschiebetrieb

Hochwasserereignisse sind wesentliche natürliche Prozesse in Fliessgewässern und spielen eine zentrale Rolle für deren Morphologie und Ökologie. Sie gewährleisten den Transport von Geschiebe und Schwemmholtz, was zur natürlichen Umlagerung von Sedimenten sowie Strukturen führt und die Sohlendynamik erhält [29]. Durch diese Prozesse wird der Kolmation entgegengewirkt, was für die Aufrechterhaltung der Habitatqualität essenziell ist, insbesondere auch das Forellenlaichsubstrat [30].

Neben ihrer Bedeutung für die Gewässermorphologie sind Hochwasser und die damit verbundenen Überschwemmungen essenziell für die Erhaltung angrenzender Auenlandschaften. Zahlreiche Fischarten nutzen überflutete Auengebiete als Laich- und Aufwuchsgebiete, insbesondere während der Frühlingshochwasser in Seen und grösseren Flüssen [31].

Allerdings können extreme Hochwasserereignisse Fischpopulationen kurzfristig beeinflussen. Besonders bettbildende Hochwasser im Winter und Frühling können erhebliche Auswirkungen auf die

natürliche Reproduktion von Forellen haben, da starke Strömungen und Sedimentumlagerungen Eier und Jungfische aus den Kiesbetten mobilisieren und verdriften können [32]. Solche natürlichen Schwankungen sind jedoch Teil des evolutionären Anpassungsmechanismus vieler Fischarten. Forellen weisen eine hohe Reproduktionsrate auf, sodass in einem günstigen Jahr eine Überproduktion an Jungfischen stattfindet, die Verluste in weniger produktiven Jahren ausgleichen kann [11]. Dies setzt jedoch voraus, dass Hochwasserbedingte Ausfälle nicht über mehrere Jahre hinweg gehäuft auftreten, da sonst Bestandseinbrüche möglich sind.

Adulte Fische sind in der Regel weniger anfällig für Hochwasserereignisse [32], da sie in der Lage sind, lateral in strömungsberuhigte Bereiche auszuweichen, sofern solche Rückzugsgebiete im Gewässer vorhanden sind. Die Verfügbarkeit dieser Refugien ist daher entscheidend für das Überleben von Fischpopulationen in dynamischen Fliessgewässern und muss bei der Revitalisierung und dem Hochwasserschutz berücksichtigt werden.

3.6 Wasserqualität / Nahrungsgrundlage

Im 20. Jahrhundert waren insbesondere chronische Belastungen mit Nährstoffen, die zu starken Algenwachstum, Kolmation und Sauerstoffmangel führten, die auffälligsten Defizite in der Wasserqualität. Mit dem Bau von Kläranlagen konnte die Wasserqualität bezüglich organischer Belastungen in den letzten Jahren in vielen Gewässern deutlich verbessert werden.

Die Probleme mit anderen chemischen Belastungen, den Mikroverunreinigungen - z.B. Arzneirückstände oder Pestizide - haben im Verlauf der letzten Jahre jedoch zugenommen [33]. Diese Stoffe können Fische direkt schwächen, etwa durch eine Beeinträchtigung des Immunsystems, was zu einer verringerten Resilienz gegenüber Krankheiten führt [34].

Hormonell aktive Substanzen, sogenannte endokrin wirksame Chemikalien, können zu Fehlentwicklungen bei den Geschlechtsorganen von Fischen führen und deren Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen [35]. Zudem schädigen Mikroverunreinigungen die Nahrungsgrundlage vieler Fischarten, indem sie aquatische Insektenlarven und andere wirbellose Organismen negativ beeinflussen [36].

Nach wie vor führen auch akute und für Fische letale Gewässerverschmutzungen zu massiven Fischsterben. Unfälle mit Gülle oder der Eintrag von häuslichem oder Industrieabwasser gehören zu den häufigsten Ursachen. Im Durchschnitt tritt schweizweit ca. an jedem zweiten Tag ein akutes Fischsterben in einem Gewässer auf [37].

3.7 Vernetzung

Die Längsvernetzung von Fliessgewässern, also die Durchgängigkeit entlang der Flussachse, ist für Forellen von entscheidender Bedeutung, da sie verschiedene Lebensräume zu unterschiedlichen Zeiten ihres Lebenszyklus nutzen. Wanderhindernisse wie Wehre, Staustufen oder unpassierbare Querbauwerke können die natürlichen Bewegungsmuster der Forellen erheblich beeinträchtigen [38].

Forellen sind stark an dynamische Fliessgewässer angepasst und benötigen eine ungehinderte Verbindung zwischen Laichgebieten, Aufwuchsbereichen und Sommer- sowie Winterhabitaten. Fehlende Durchgängigkeit verhindert diese Wanderungen,

wodurch es zu Bestandsrückgängen kommen kann. Allerdings sind Forellen nicht obligat wandernd. Studien zeigen, dass ein Teil der Forellen (diese werden oftmals als residente Forellen bezeichnet), in relativ kleinen Aktionsräumen verbleibt, wenn innerhalb eines Gewässerabschnitts alle notwendigen Habitate vorhanden sind [39]. In solchen Fällen mit hauptsächlich residenten Forellen ist nicht zu erwarten, dass die Wiederherstellung der Durchgängigkeit allein zu einem starken Anstieg der Bestände führt. Vielmehr sind parallele Massnahmen zur Verbesserung der lokalen Habitatqualität erforderlich, um den Bestand nachhaltig zu fördern.

3.8 Krankheiten

Forellenbestände können durch verschiedene Krankheiten erheblich beeinträchtigt werden, wobei insbesondere die Proliferative Nierenkrankheit (PKD) [40], Verpilzungen und andere parasitäre oder bakterielle Erkrankungen eine Rolle spielen [41].

Während diese Krankheiten direkte Mortalität verursachen können, sind sie meist nicht die primäre Ursache für Bestandsrückgänge, sondern treten häufig als Folge von Umweltstress auf, der die Widerstandsfähigkeit der Fische schwächt [41].

3.9 Prädation

Die Prädation durch fischfressende Vögel kann in Fliessgewässern wahrscheinlich einen Einfluss auf Forellenbestände haben [42]. Diese sind jedoch als Teil der natürlichen Fauna anzusehen und gehören daher zum Ökosystem dazu. Wo Fischbestände wegen der Beeinträchtigung ihrer Lebensräume gefährdet sind, kann die Prädation durch fischfressende Vogelarten wie auch die Nutzung durch die Fischerei

lokal ein zusätzlicher negativer Faktor sein [43]. Im Rahmen eines Artenförderungsprogramms zugunsten gefährdeter Fischarten kann es deshalb sinnvoll sein, auch Massnahmen zum Schutz der Fische vor übermässiger Befischung durch Mensch und Tier zu prüfen. Bekannt ist auch, dass Besatzfische tendenziell eher von Prädatoren gefressen werden als wilde Forellen [44].

4 Besatz als Massnahme für sinkende Forellenbestände?

4.1 Rechtliche Grundlagen

Laut Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) soll der Erhalt, der Schutz und die nachhaltige Nutzung der einheimischen Fischarten, Rassen und Varietäten sichergestellt werden (Art. 1 BGF). Grundsätzlich liegt der Fischbesatz in der Verantwortung der Kantone (Art. 3 Abs. 2 BGF). Es liegt auch in ihrer Kompetenz, lokal relevante Bewirtschaftungseinheiten (BWE) zu bestimmen (Art. 8 Abs. 3 VBGF). Dabei gelten

Populationen mit genetischen Differenzierungen als standortfremd (Art. 6 Abs. 2 Bst. c VBGF). Standortgerechter Fischbesatz bedeutet, dass Besatzfische genetisch mit der Population ihres Einsatzgewässers übereinstimmen [45]. Die Kantone sind angehalten, in ihrem Hoheitsgebiet die BWE so zu gestalten, dass die genetische Vielfalt und die Erhaltung lokal angepasster Fischarten gewährleistet sind [45, 46].

4.2 Besatzmassnahmen und ihr Zweck

Besatzmassnahmen bei Forellen werden weltweit als Managementinstrument in der Fischerei und im Naturschutz eingesetzt. Dabei können zwei grundsätzliche Ziele dieser Massnahme unterschieden werden [8]:

- Forellen werden entweder aus **ökologischen Gründen** ausgesetzt [47], um natürliche Populationen, die Bestandsrückgänge erfahren haben zu stützen (**Kompensationsbesatz**), bzw. die lokal ausgestorben sind wiederanzusiedeln (**Wiederansiedlungsbefatz** / **Initialbesatz**).
- Forellen werden aber auch aus **fischereilichen Interessen** ausgesetzt, z.B. um Erträge zu optimieren und zu stabilisieren (**Ertragsbesatz**). Dabei wird versucht, natürliche Schwankungen in der Bestandsgrösse von Forellenpopulationen zu stabilisieren. Wird dieser Besatz zu einer permanenten Lösung, kann er als „put and take“ Fischerei bezeichnet werden [28].

Tabelle 4-1. Arten von Fischbesatzmassnahmen und ihre grundsätzlichen Charakterisierungen (Angepasst von [8])

	Kompensations-Besatz	Wiederansiedlungs-Besatz	Ertrags-Besatz
Hauptmotivation	Ökologisch	Ökologisch	Fischereilich
Managementziel	Vorübergehende Steigerung der Populationsgrösse bei ökologischen Defiziten (Konsequenz z.B. schwache Reproduktion)	Wiederaufbau heimischer Populationen nach dem Aussterben im historischen Verbreitungsgebiet	Steigerung von Fängen über das unbesetzte Mass hinaus insbesondere zur Stabilisierung von natürlicherweise schwankenden Beständen.

In Fischereikreisen in der Schweiz wird oft der Begriff **«Stützbesatz»** für Forellen verwendet. Darunter verstehen Fischer das Stützen von schwächelnden Populationen, was jedoch dem Ertragsbesatz gleichzusetzen ist. Der eigentliche Stützbesatz umfasst vor allem den Besatz von Kleinfischarten und betrifft daher den Forellenbesatz nicht [8].

Die meisten im Kanton Aargau durchgeführten Besatzmassnahmen von Forellen können der Kategorie Ertragsbesatz zugeschrieben werden, auch wenn der Eindruck entstehen kann, dass es sich um einen Kompensationsbesatz handeln könnte. Tatsächlich ist nur selten bekannt, ob mit den Besatzmassnahmen Umweltdefizite umgangen werden können (Vgl. Kap. 3.3.1 und 3.3.3).

4.3 Wann führen Besatzmassnahmen zu Bestandszunahmen und Mehrertrag bei Fischern?

Um einschätzen zu können, wann Besatz sinnvoll sein kann und wann nicht, muss verstanden werden, wann diese Massnahme die gesteckten Ziele erfüllen

kann. Die Sinnhaftigkeit muss also je nach gestecktem Ziel gesondert betrachtet werden.

4.3.1 *Kompensation von ökologischen Defiziten (Kompensationsbesatz)*

Beim Kompensationsbesatz wird davon ausgegangen, dass Umweltdefizite durch die Besatzmassnahmen umgangen werden [28]. Damit diese Besatzmassnahme erfolgreich ist, müssen Fische, nachdem die umweltbedingten Einschränkungen nicht mehr wirken, eingesetzt werden. Dieser Ansatz ist in der Theorie einleuchtend, aber in der Praxis nicht oft erfolgreich, denn die meisten Umweltdefizite (Wasserqualität, Temperatur, Gewässermorphologie,

Geschiebehaushalt, Hydrologie) wirken sich auf den gesamten Lebenszyklus der Forellen aus [48–52]. Nur selten betreffen Umweltdefizite nur die frühen Lebensstadien (z.B. die natürliche Fortpflanzung). Diese Erkenntnis ist mittlerweile wissenschaftlich kaum mehr umstritten. Heute wird in der Schweiz in der Regel kein ökologisch begründeter Kompensationsbesatz mehr durchgeführt.

4.3.2 *Wiederansiedlung nach komplettem Aussterben einer Population (Wiederansiedlungsbesatz)*

Im Hinblick auf den Artenschutz kann Fischbesatz beim Verlust einer Population in Form eines **Wiederansiedlungsbesatzes** gerechtfertigt sein [53–56]. Dies allerdings nur dann, wenn die Fische den Lebensraum nicht auf natürliche Art und Weise wiederbesiedeln können. Ist dies der Fall, dann sollte die Translokation von Wildfischen aus einer nah gelegenen natürlichen Population bevorzugt werden [57]. Falls dies nicht möglich ist, sollten möglichst junge

Fische [58, 59], die von einheimischen, wilden Elternfischen abstammen [45], eingesetzt werden. Die Wirksamkeit dieser Massnahme kann allerdings i.d.R. nur im ersten Jahr nachgewiesen werden. Anschliessend sollten sich Populationen selber halten können. Umweltfaktoren, die zum Aussterben geführt haben, müssen vorab beseitigt worden sein damit diese Besatzmassnahme erfolgreich sein kann [55].

4.3.3 *Ertragsbesatz mit juvenilen Forellen*

Dabei handelt es sich um den Grossteil der im Verlauf der letzten 170 Jahre in der Schweiz durchgeführten Besatzmassnahmen [28]. Es ist auch der Besatzmassnahmentyp, bei dem der Erfolg und der Nutzen der Massnahmen am umstrittensten ist. In

Fischereikreisen wird oftmals davon ausgegangen, dass diese Massnahme notwendig ist, um die Forellenbestände zu erhalten und einen Ertrag sicherzustellen. In wissenschaftlichen Kreisen wird die Effizienz und der Sinn dieser Massnahme bei Forellen in

Fliessgewässern jedoch in Frage gestellt, sofern sich Forellen im Gewässersystem fortpflanzen können [48–52, 60]. Um entscheiden zu können, ob in Zukunft im Kanton Aargau Ertragsbesätze sinnvoll sein können oder nicht, muss deshalb an dieser Stelle eine Einordnung der Faktenlage vorgenommen werden.

Dazu muss in einem ersten Schritt definiert werden, unter welchen Umständen ein Ertragsbesatz erfolgreich sein kann. Dabei werden lediglich die fischereilichen Ziele beachtet (Stabilisierung/Erhöhung der Bestände, Erhöhung des Ertrags), da ein Ertragsbesatz aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll ist [48–52].

Grundsätzlich muss nur eine Bedingung erfüllt sein, damit ein Ertragsbesatz zu einer Erhöhung des Bestands/Ertrags führen kann, und zwar, dass die Lebensraumkapazität nicht ausgeschöpft ist [28]. Es muss also im Fliessgewässer noch Lebensraum für mehr Forellen haben. Falls die Aufnahmekapazität des Gewässers aber bereits ausgeschöpft ist, dann wird jeder weitere Besatz keine positive Wirkung haben. In dieser Situation führt ein Besatz zu einer erhöhten Mortalität bei den besetzten und den bereits vorhandenen Forellen und nicht zu einer Erhöhung des Forellenbestands oder des Ertrags [61]. Zusätzlich kann der Besatz sogar kontraproduktiv sein und den lokalen Bestand von Forellen (und von anderen Fischarten) negativ beeinflussen [28, 62].

Diese Bedingung hat es also in sich. Es ist nicht so einfach, die Lebensraumkapazität eines Gewässers zu bestimmen und zu kennen. In der Schweiz wurden dazu in den letzten Jahren einige Verfahren

angewandt, um diese Kapazität einzuschätzen und anhand derer den Besatzzufuhr zu ermitteln. Die Bonitierung von Huet [63] wurde zunächst von Roth [64] auf die schweizerischen Verhältnisse angepasst und später von Vuille [65] weiter verfeinert. Dabei wird mithilfe eines rechnerischen Modells und anhand verschiedenster Lebensraumeigenschaften (Nährtierangebot, Morphologie, Temperatur u. a.) das jährliche Ertragsvermögen und eine theoretische Bestandsgrösse berechnet. Diese Form der Bonitierung ist stark geprägt von der subjektiven Einschätzung des Erfassers, der im Feld die Lebensraumeigenschaften beurteilt.

Genauere Informationen über den Nutzen von Ertragsbesatzmassnahmen liefern Ergebnisse von Erfolgskontrollen von Besatzmassnahmen. Das BAFU hat 2023 eine Zusammenstellung der Ergebnisse solcher Wirkungskontrollen publiziert [56]. Die Analyse zeigt, dass unmittelbar nach dem Besatz der Anteil besetzter Forellen im Gewässer sehr hoch sein kann. Dies zeigt, dass in einem Gewässer oftmals mehr Lebensraum für juvenile Forellen vorhanden ist, als durch die natürliche Fortpflanzung aufgefüllt wird. Auf den ersten Blick scheinen Ertragsbesatzmassnahmen mit Brütlingen oder Vorsommerlingen den Forellenbestand tatsächlich positiv zu beeinflussen. Allerdings zeigt diese Metaanalyse von zahlenreichen Besatzversuchen auch [56], dass der Anteil an Besatzfischen am Forellenbestand eines Gewässers drastisch abnimmt, wenn die Fische älter werden (Abbildung 4-1). Aus den mehrjährigen Erfolgskontrollen geht hervor, dass der Anteil adulter Fische aus dem Besatz (meistens mit 0+ Fischen) im Allgemeinen gering ist (im Mittel weniger als 20 %).

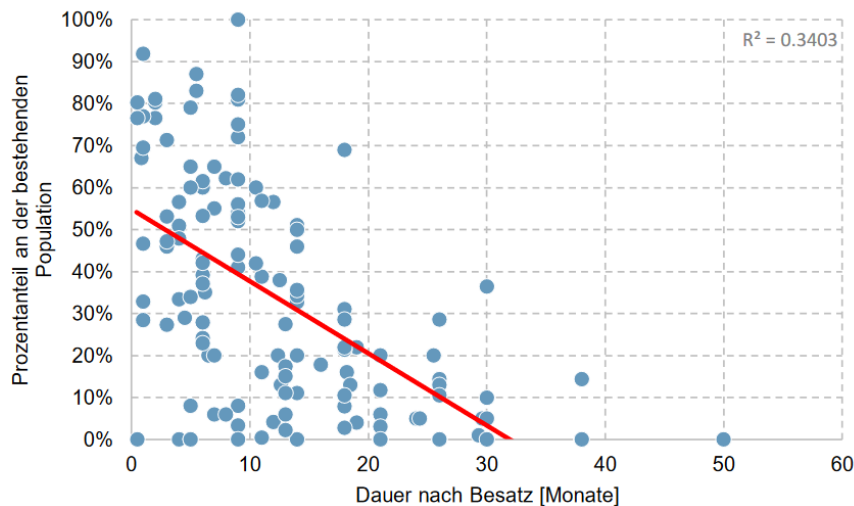


Abbildung 4-1. Anteil Besatz-Forellen an der im Gewässer vorhandenen Population (Besatz mit Jungfischen 0+ und 1+), N = 75 Tests in 28 Fließgewässern, lineare Regression: $p < 0.001$ [56].

Dieses Ergebnis lässt darauf schliessen, dass adulte Fische im Wesentlichen aus natürlicher Rekrutierung stammen und dass Besatzfische diesen wilden Fischen in der Natur unterlegen sind (also eine geringere Fitness haben) und mit der Zeit mehrheitlich aus den Besatzgewässern verschwinden. Weiter zeigen Besatzstoppversuche [56], dass ein additiver Effekt von Besatzmassnahmen, also dass die Population der Forellen gesteigert wird, nur bei 0+ Forellen deutlich erkennbar ist. Bei älteren Altersklassen hat sich die Bestandsgrösse nach Besatzstopps nicht nachweisbar verändert. Dies deutet darauf hin, dass Besatzfische, sobald sie das Erwachsenenalter oder eine fangfähige Grösse erreicht haben, in den meisten der untersuchten Fälle eher dazu neigen, Fische der Wildpopulationen zu ersetzen (Substitution) und nicht zusätzlich zur Wildpopulationen dazukommen (Addition) [56], was das eigentliche Ziel des Ertragsbesatzes wäre.

Diese Beobachtungen aus der Schweiz stimmen dabei mit der aus der wissenschaftlichen Literatur bekannten Faktenlage überein [60, 66]. In den allermeisten Gewässern ist nicht die Menge an Jungfischen entscheidend für den Aufbau des Bestands von adulten Forellen, sondern die vorherrschenden Umweltbedingungen. Besatzfische sind diesen Umweltbedingungen genauso ausgesetzt wie natürlich rekrutierte Forellen. **Wilde Forellen setzen sich dabei gegenüber besetzten Forellen mehrheitlich durch, weshalb Ertragsbesatzmassnahmen mit einem frühen Besatzalter (Brütlinge oder Vorsömmerlinge) i.d.R. zu keinem Erfolg in Form von erhöhten Adultforellenbeständen und besseren Erträgen für die Angelfischer führen.** Die einzige mögliche Ausnahme bildet die Situation, wenn Forellen sich im Gewässersystem effektiv über mehrere Jahre nicht erfolgreich fortpflanzen können und ein sehr deutliches Defizit an Jungfischen festgestellt wird. Diese Situation scheint allerdings viel seltener vorzuliegen als dies allgemein angenommen wird.

4.3.4 Ertragsbesatz mit fangfähigen Forellen

Besatztypen, die darauf abzielen, die Fangmengen zu erhöhen sind dann wirksam, wenn die Zeit zwischen dem Besatz und dem Wiederfang der Fische kurz ist. Diese als «put and take» Besatz bekannte Besatzmassnahme ist aus fischereilicher Sicht daher oftmals erfolgreich, da die besetzten Forellen kurzzeitig

überleben und auch effizient gefangen werden können [28, 56, 67]. Die besetzten adulten Forellen können den lokalen Fischbestand aber beeinflussen, weshalb diese aus ökologischer Sicht oftmals mit Risiken verbunden ist [62].

4.4 Was sind die Risiken von Besatzmassnahmen?

Ein wesentliches Risiko von Besatzmassnahmen stellt die genetische Vermischung dar, da sich Besatzfische mit wilden Populationen kreuzen und so lokale Anpassungen stören können [68, 69]. Dies führt zu einer Homogenisierung der genetischen Vielfalt, wodurch Populationen an Anpassungsfähigkeit verlieren und langfristig destabilisiert werden können [70]. Zudem weisen Besatzfische oft eine geringere Fitness in der Wildnis auf, da sie in mehr oder weniger kontrollierten Umgebungen ohne natürliche Selektion aufwachsen [71, 72]. Ursachen dafür sind unter anderem die Domestikationsselektion [48, 73] und der genetische Flaschenhalseffekt aufgrund kleiner effektiver Populationsgrössen in Zuchtbetrieben.

Negative genetische Effekte können deutlich reduziert werden, wenn eine sogenannte «offene» Laichtierbewirtschaftung vorgenommen wird. Im Idealfall werden jährlich neue Fische aus Wildpopulationen entnommen und eingekreuzt. Mit dieser Massnahme kann der Zuchtfischstamm regeneriert, die genetische Ähnlichkeit mit der Wildpopulation erhalten und Inzucht reduziert werden [28].

Zu beachten dabei ist, dass für diesen Zweck aus natürlichen Populationen Fische entnommen werden, die sich ansonsten natürlich im Gewässer fortpflanzen würden. Diese Massnahme ist für einen Ertragsbesatz also nur dann sinnvoll, wenn diese natürliche Fortpflanzung nicht funktioniert und aussergewöhnlich hohe Mortalitäten auftreten.

Ein weiteres Risiko stellen die ökologischen Auswirkungen auf bestehende Wildpopulationen dar. Besatzfische können mit Wildfischen um Nahrung und Lebensraum konkurrieren, wodurch natürliche Nahrungsnetze beeinflusst werden [69, 74]. Sie können

gar den Prädationsdruck auf andere gefährdete Arten erhöhen, nicht nur auf Fische [75]. Dazu gehören z.B. auch Krebse. Zudem können sie Krankheiten und Parasiten übertragen, die für Wildbestände gefährlich sein können [69].

Ein Spezialfall ist, wenn für die Aufzucht der Besatzfische ein **Aufzuchtgewässer** verwendet wird. Diese werden jährlich besetzt und nach einigen Monaten wieder abgefischt. Die gefangenen Fische werden anschliessend in ihr Zielgewässer eingesetzt und das Aufzuchtgewässer wird neu besetzt. Diese Art der Bewirtschaftung hat den Vorteil, dass sich Besatzfische schon früh an natürliche Bedingungen gewöhnen und Domestikationseffekte vermindert werden. Solche Besatzfische überleben daher in Besatzgewässern besser [76]. Die Methode hat aber den Nachteil, dass Aufzuchtgewässer für die natürliche Reproduktion nicht zur Verfügung stehen. Aus dem Schalchmatthaubächli im Kanton Aargau wissen wir heute, dass gerade diese kleinen Bäche für die natürliche Fortpflanzung besonders wichtig sind. Sie führen natürlicherweise, also ohne Besatz, zu gleich hohen «natürlichen» Besatzmengen, wenn sie nicht befischt werden und man die Forellen einfach natürlicherweise abwandern lässt [77]. Zudem stören elektische Befischungen in kleinen Bächen anderen Lebewesen, wie einheimisch Krebse. Weiter zeigen die Ergebnisse von quantitativen Befischungen, dass in den kleinen Bächen heute ein eher guter Forellenbestand vorherrscht und dass eine Bewirtschaftung nicht nötig ist.

Langfristig bergen also Besatzmassnahmen verschiedene Risiken mit potenziell erheblichen negativen Folgen für Wildpopulationen und ihre genetische Integrität sowie für andere Arten im Ökosystem.

4.5 Wann ist Besatz sinnvoll?

Um entscheiden zu können, ob ein Besatz durchgeführt werden soll, müssen mögliche positive und

negative Effekte von Besatzmassnahmen **gewässer-spezifisch** im Rahmen einer Interessenabwägung

abgewogen werden [69]. Ein Besatz sollte nur dann durchgeführt werden, wenn die positiven Auswirkungen für die Umwelt und die fischereiliche Nutzung überwiegen und wenn die Eigenschaften der natürlichen Bestände durch die Besatzmassnahmen

nicht gefährdet werden (Grundsatz der nachhaltigen fischereilichen Nutzung gemäss Bundesgesetz über die Fischerei).

Aufgrund der in den bisherigen Kapiteln zusammengestellten Faktenlage ist Besatz aus ökologischer Sicht sinnvoll wenn:

- Eine Population lokal ausgestorben ist (z.B. wegen Gewässerverschmutzungen) und wenn der Gewässerabschnitt nicht natürlicherweise wiederbesiedelt werden kann. Der Besatz sollte dabei idealerweise durch eine Translokation von wilden Fischen aus nahegelegenen Gewässern erfolgen.
- Wenn eine Fischart oder Population akut von Aussterben bedroht ist, weil ein spezifisches Altersstadium wegen vorübergehend nicht behebbaren Umweltdefiziten nicht überleben und nicht aus anderen Gewässerabschnitten zuwandern kann (z.B. Lachs oder Bachneunauge). Oder wenn starke Inzucht auftritt (sehr kleine effektive Populationsgrössen). Diese Situationen sind allerdings sehr selten. Derzeit läuft in der Schweiz z.B. ein Versuch den Roi du Doubs (Zingel Asper) aus diesen Gründen zu retten.

Aus ökologischen Gründen sind Besatzmassnahmen, die andere Ziele als die beiden oben genannten verfolgen, nicht empfehlenswert und sollten vermieden werden.

Aus fischereilicher Sicht ist ein Ertragsbesatz in folgenden Situationen sinnvoll:

- Wenn die natürliche Fortpflanzung nicht möglich ist und auch keine Fische natürlich zuwandern können (z.B. aus Zuflüssen). Dies wird in der Regel festgestellt, wenn über mehrere Jahre **keine oder viel zu wenige Jungfische** im Gewässersystem beobachtet werden und wenn die Bestandsgrösse von adulten Fischen aufgrund der aktuell vorherrschenden Umweltbedingungen deutlich unter den Erwartungen liegen. In diesem Fall kann ein Besatz mit Jungfischen (Brütlings/Vorsommerlinge) sinnvoll sein. Ein Fehlen von Jungfischen in einzelnen Jahren ist für eine Fischpopulation nicht problematisch und gehört zur natürlichen Dynamik [32].
- In allen anderen Situationen ist ein Besatz mit Forellen in frühen Altersstadien für die Fischerei nicht ertragssteigernd. Zudem wirkt er sich auch nicht positiv auf den Wildfischbestand aus. In solchen Situationen führt einzig ein **Massfischbesatz** zu höheren Erträgen der Angelfischerei.

Wichtig ist bei einem Ertragsbesatz, dass immer eine Interessenabwägung mit bestehenden Risiken vorgenommen wird [69]. Auf einen Ertragsbesatz sollte in folgenden Fällen verzichtet werden:

- Wenn eine überlebensfähige Population vorhanden ist, die sich natürlich rekrutiert.
- Wenn Krankheiten unabsichtlich verschleppt werden könnten.
- Wenn lokale Anpassungen von bestehenden Fischbeständen negativ beeinflusst werden könnten.
- Wenn andere gefährdete Arten (nicht nur Fische) im Gewässer durch die getätigten Besatzmassnahmen beeinträchtigt werden könnten.

4.6 Entscheidungsgrundlage Forellenbesatz im Kanton Aargau

Aufbauend auf den oben genannten Grundlagen und auf bestehenden Entscheidungshilfen [46, 60] kann eine vereinfachte und auf den Kanton Aargau angepasste Entscheidungshilfe zusammengestellt werden. Diese unterscheidet zwischen ökologisch und fischereilich begründetem Forellenbesatz. Die

einzelnen Punkte dieser Entscheidungshilfe können vom Kanton und den Fischern für jedes Gewässer oder Revier durchgearbeitet werden, um zu prüfen, ob in einem Gewässer oder einem Revier ein ökologisch oder fischereilich begründeter Besatz sinnvoll ist oder nicht.

Forellenbesatz aus ökologischen Gründen

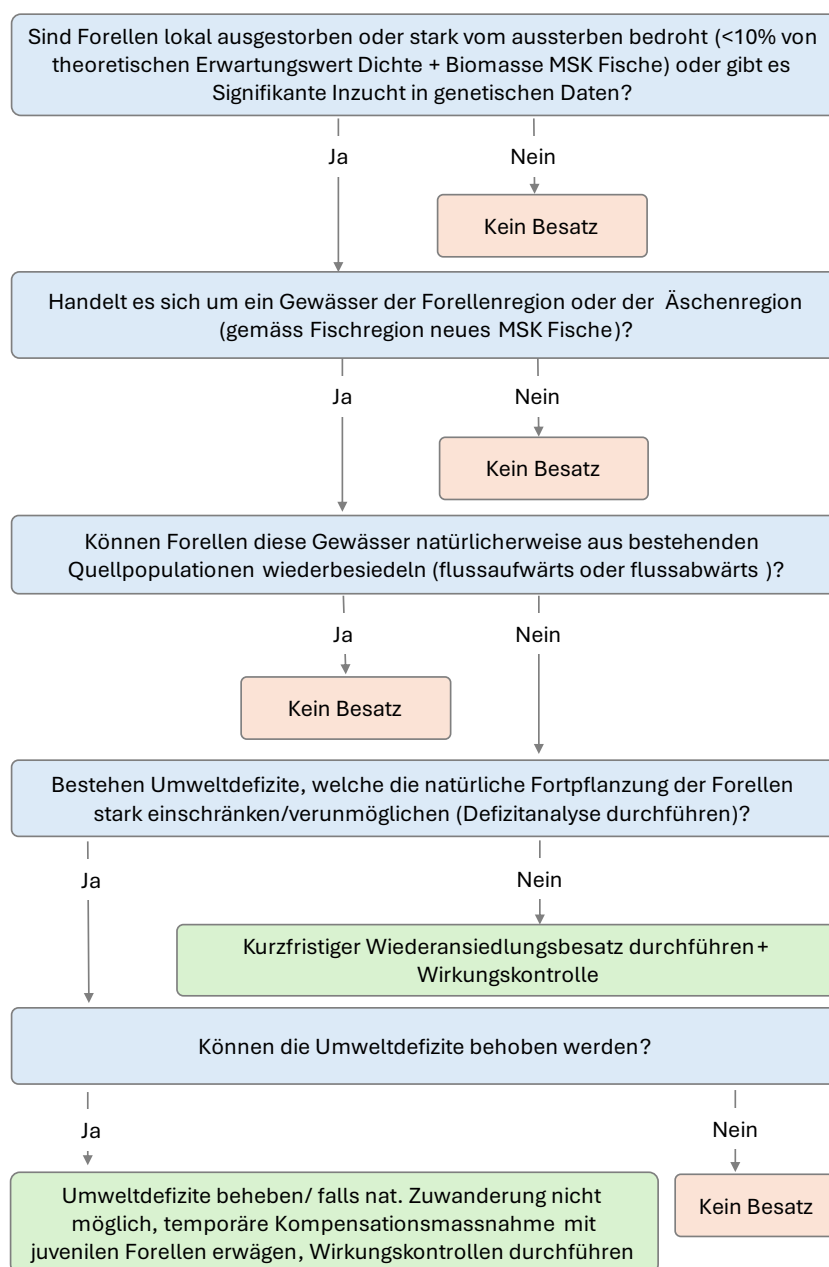


Abbildung 4-2. Vorgehen bei der Evaluation eines ökologisch motivierten Forellenbesatzes.

Forellenbesatz aus fischereilichen Gründen

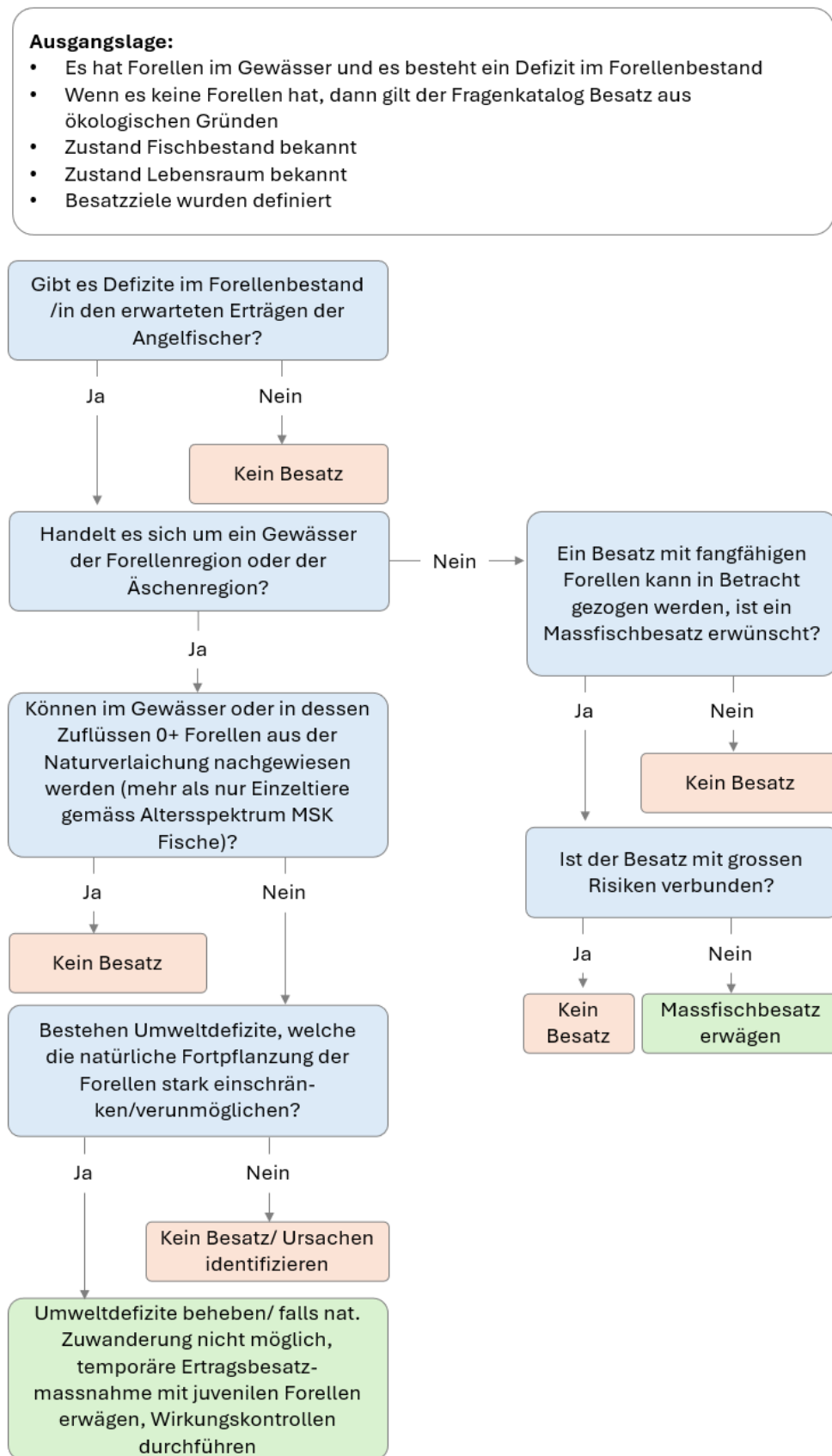


Abbildung 4-3. Vorgehen bei der Evaluation eines fischereilich motivierten Forellenbesatzes.

5 Analyse der Faktenlage zum Forellenbesatz im Kanton Aargau

5.1 Bestehen Hinweise darauf, dass die Umweltbedingungen den Forellenbestand in den Gewässern begrenzt?

Im Kanton Aargau wurden diesbezüglich Fangstatistiken und Daten von quantitativen Befischungen ausgewertet [6]. Der Fokus des Berichts lag zwar auf der Analyse des Besatzstopps, doch es wurde auch untersucht, ob Zusammenhänge zwischen Fang/Bestand und Umweltfaktoren bestehen. Dabei konnten bei weitem nicht alle möglichen Einflussgrössen untersucht werden, sondern lediglich solche für die Daten vorlagen.

Insgesamt konnten zahlreiche Zusammenhänge zwischen der **Entnahmeeffizienz** (CPUE Fang) und Umweltbedingungen festgestellt werden (Abbildung 5-1): So war die Entnahmeeffizienz von Anglern in Gewässern der Forellen- und Äschenregion deutlich höher als in jenen der Barben- und Brachsmenregion. Ursächlich dafür dürften die geringeren Forellen-Dichten am Gesamtfischbestand von Gewässern der unteren Fischregionen sein. Die Fischregion wiederum wird von den Umweltbedingungen bestimmt: Wassertemperatur, Gewässerbreite und Gefälle spielen dabei die grösste Rolle. Weiter weisen Gewässer mit einem hohen Abfluss tendenziell schlechtere Entnahmeeffizienzen für Forellen auf. Zudem nimmt die Entnahmeeffizienz auf Forellen mit zunehmender Wassertemperatur der Gewässer ab. Auch ist die Entnahmeeffizienz für Forellen in kleineren Gewässern deutlich höher als in grossen Gewässern. Naturnahe Gewässer weisen eine höhere Entnahmeeffizienz auf als naturferne Gewässer. Die effektiven Entnahmezahlen der Angelfischer korrelierten deutlich weniger stark mit den Umweltfaktoren als die Entnahmeeffizienzen (CPUE).

Auch die **Bestandsdaten** wurden mit Umweltvariablen verglichen. Dabei lagen deutlich weniger Daten vor als für die Entnahmestatistik. Dies ist mit ein Grund, weshalb deutlich weniger statistisch signifikante Ergebnisse festgestellt wurden. Es zeigt sich,

dass sommerwarme Gewässer deutlich geringere Forellenbestände aufweisen. Es zeigt sich auch, dass Gewässer mit starken Winterabflüssen geringere Forellenbestände aufweisen.

Diese Daten wurden auch einer multivariaten Regressionsanalyse unterzogen, um zu prüfen, wie die Schwankungen bei Temperatur, Abfluss und Besatz im Laufe der Jahre mit den Schwankungen bei den Anglerentnahmen in den Folgejahren korrelieren. Diese Analyse ergab, dass die Anzahl der Tage mit Temperaturen über 15 Grad einen signifikant negativen Einfluss auf die Variation des CPUE zwei Jahre später hatte [6]. Gerade die Wassertemperatur ist in den Gewässern des Kantons Aargau in den letzten Jahren deutlich gestiegen, wie dies die Auswertung der Daten in der Surb zeigt (Abbildung 5-2). Aber auch andere Umweltvariablen erklärten einen erheblichen Teil der Schwankungen bei den CPUE-Daten, jedoch verbesserte keine weitere Besatz- oder Umweltvariable das Modell, nachdem der Effekt der Anzahl der Tage mit Temperaturen über 15 Grad berücksichtigt wurde. Interessanterweise konnten Variationen bei den Besatzmassnahmen, auch mit Verzögerungen von bis zu 3 Jahren, keine signifikante Menge an Variationen bei der Entnahme pro Aufwandseinheit zwischen den Jahren in den Revieren erklären. Es gab auch keine signifikante Beziehung zu den Besatzmassnahmen, wenn kleine (<2 ha), mittlere (2-7 ha) und grosse Reviere (> 7 ha) separat getestet wurden.

Insgesamt bestätigen diese Auswertungen, dass sowohl Anglerfänge als auch der Forellenbestand in den Gewässern des Kantons Aargau, massgeblich durch Umweltfaktoren beeinflusst werden. Demgegenüber konnte kein positiver Einfluss von Besatzmenge auf die Entnahmeeffizienz der Angelfischer nachgewiesen werden.

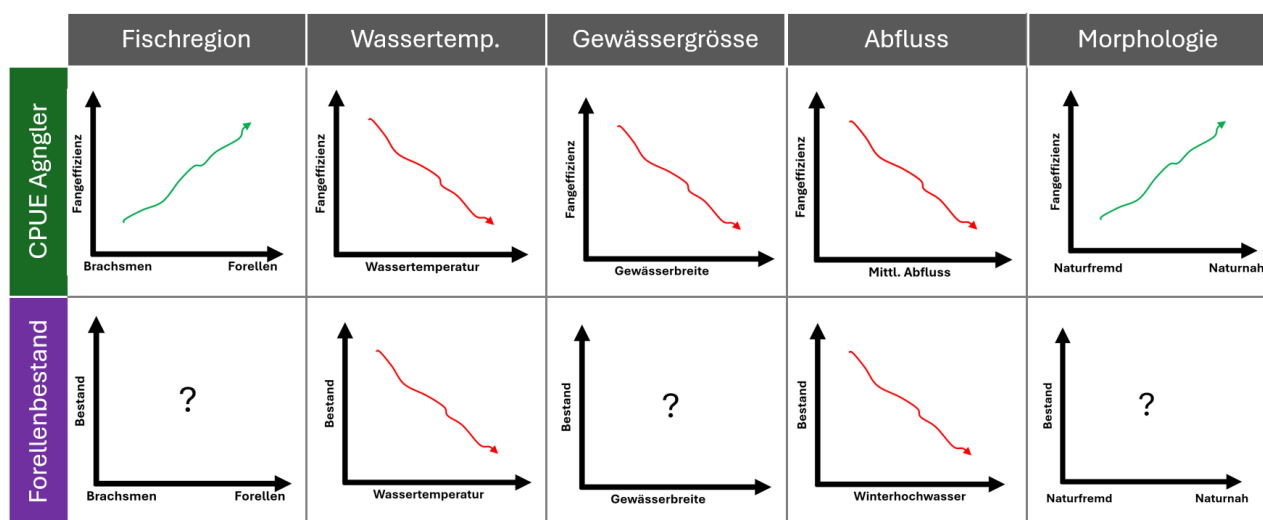


Abbildung 5-1. Bei im Rahmen der im Kanton Aargau durchgeführten Untersuchungen festgestellte Zusammenhänge zwischen Angelfischerentnahmen/Bestandsaufnahmen von Forellen und Umweltbedingungen. Rote Pfeile zeigen schematisch, dass signifikant negative Zusammenhänge bestanden. Grüne Pfeile zeigen signifikant positive Zusammenhänge. Ein Fragezeichen zeigt an, dass keine signifikanten Zusammenhänge beobachtet werden konnten, bzw. dass zu wenige Daten vorlagen, um die Trends zu prüfen.

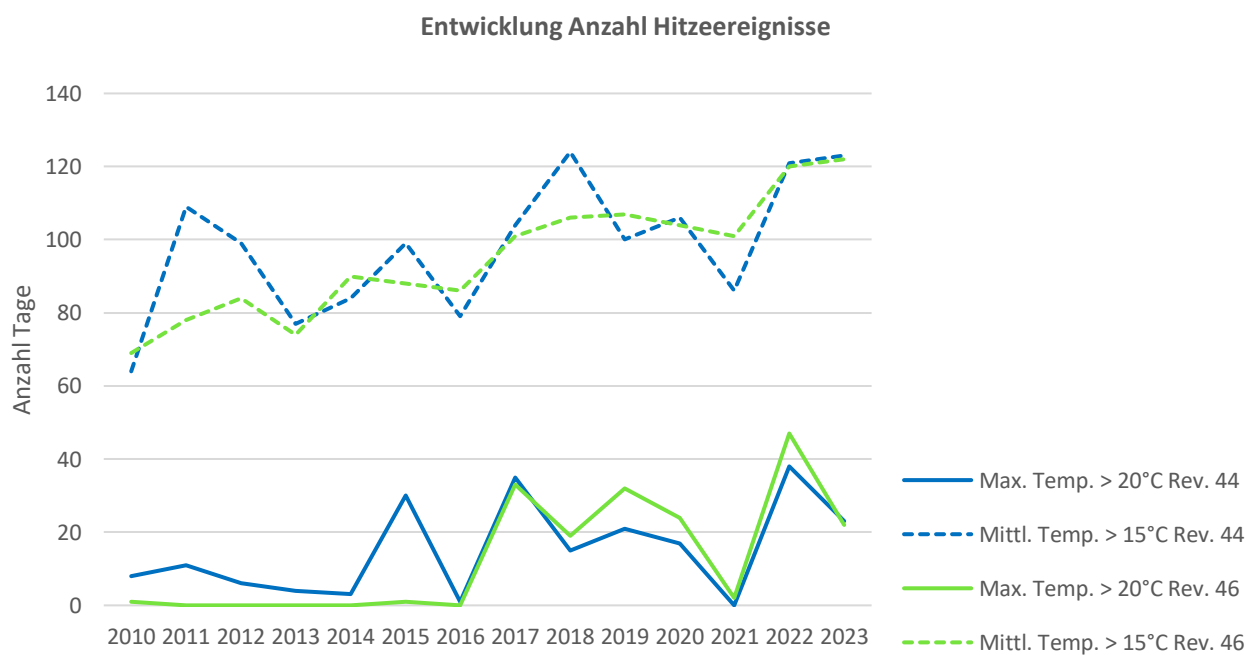


Abbildung 5-2. Anzahl Hitzeereignisse (Tagesmittelwert > 15°C und Tagesmaximum > 20°C), die in der Surb von 2010 bis 2023 auftraten (Daten AfU Kanton AG, [7]).

5.2 Gibt es Hinweise darauf, dass die natürliche Fortpflanzung der Forellen nicht ausreicht, um die Lebensraumkapazität der Forellen in den Fliessgewässern auszuschöpfen?

5.2.1 Laichgrubenkartierung von 2015-2016 [78]

2015-2016 wurde im Kanton Aargau ein grosser Teil der kleineren und mittleren Bäche nach Forellenlaichgruben abgesucht [78]. Insgesamt wurden 614.9 km Gewässerstrecke kartiert, was etwa 24% der Bachreviere des Kantons entspricht. Dabei wurden über drei Jahre 3'327 Laichgruben gezählt. Pro Kilometer wurden im Schnitt ca. 3.5 Laichgruben gezählt. Gewässerabschnitte mit hoher Laichgrubendichte sind relativ gleichmässig über den Kanton Aargau verteilt (Abbildung 5-3). Die niedrige Laichgrubendichte auf grossen Teilen der untersuchten Strecken kann damit erklärt werden, dass viele Bäche verhältnismässig klein sind. Da kleinere Bäche in der Regel nicht besonders breit sind, verfügen kleinere

Gewässer, bezogen auf die Gewässerlänge und im Vergleich mit grösseren und breiteren Gewässern, über eine niedrigere Dichte an adulten Fischen. Daraus ergeben sich auch niedrigere Laichgrubendichten.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Kartierung, kann davon ausgegangen werden, dass sich Forellen in den meisten Gewässern des Kantons Aargau natürlich fortpflanzen. Wie erfolgreich diese natürliche Fortpflanzung ist und wie gut die Forellen in den Gewässern überleben, lässt sich anhand dieser Daten allerdings nicht feststellen. Dazu sind Informationen zu Brüttings- oder Sommerlingsdichten notwendig.

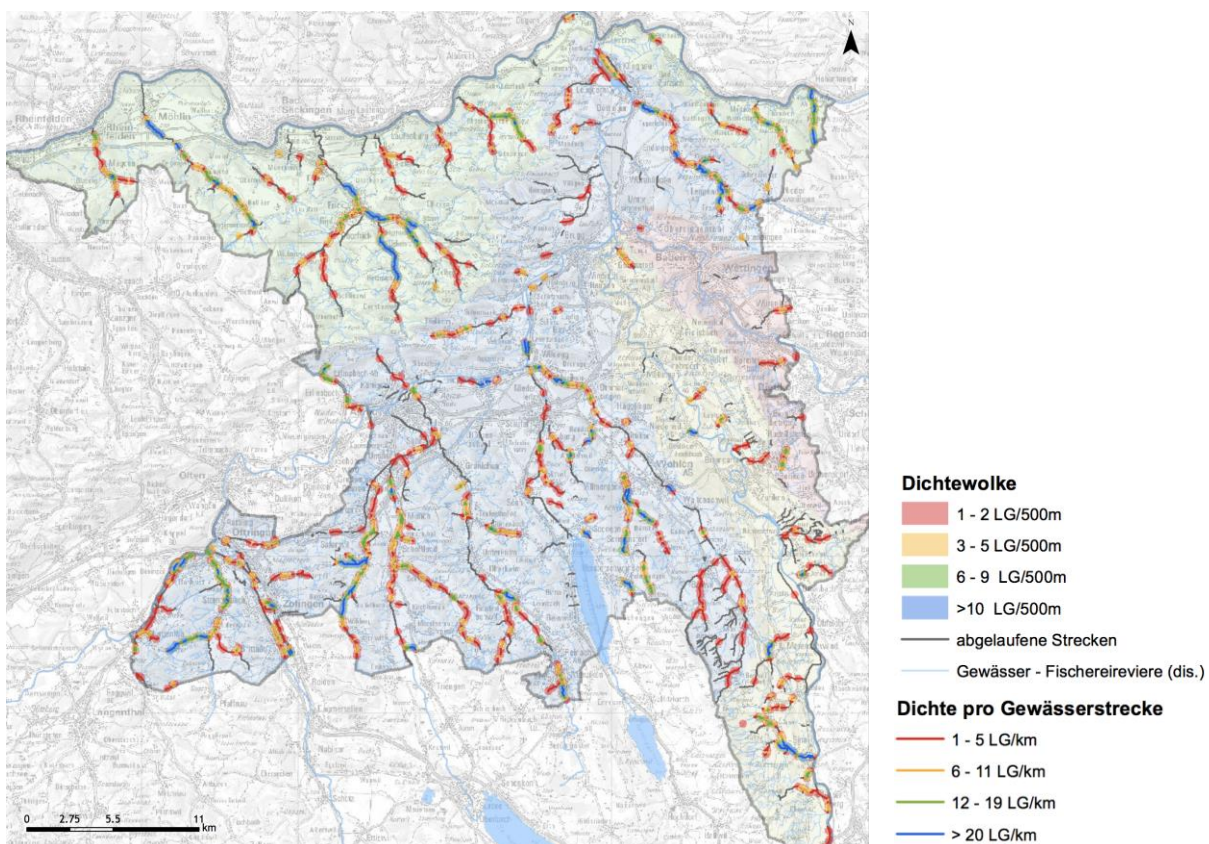


Abbildung 5-3. Darstellung der Berechnung der Laichgrubendichte pro Kilometer und der Dichtewolken.

5.2.2 Elektrische Befischungen

Daten von Brüttingsbefischungen nach der Emergenz von Forellen liegen im Kanton Aargau keine vor. Es kann daher nicht eingeschätzt werden, wie erfolgreich die natürliche Fortpflanzung in den einzelnen Gewässerabschnitten ist. Demnach müssen für die Einschätzung des Erfolgs der natürlichen Fortpflanzung später im Jahr durchgeführte Befischungen herangezogen werden.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass dabei nicht nur der Erfolg der natürlichen Fortpflanzung eine Rolle spielt, sondern auch die Vernetzung mit guten Fortpflanzungsgebieten und die Aufnahmekapazität des betrachteten Gewässerabschnitts. Die Aufnahmekapazität eines Gewässers für Forellensömmerlinge hängt von verschiedenen natürlichen und anthropogen bedingten Faktoren ab (Vgl. Kap. 3). Natürlicherweise beeinflusst im Kanton Aargau die Fischregion des betrachteten Gewässers die erwartete Sömmerlingsdichte am meisten. Gemäss dem Modulstufenkonzept (MSK) für Fische sollten Gewässer des Kantons Aargau im naturnahen Zustand eine für die Fischregion ausreichende Dichte

an 0+ Forellen aufweisen. Die gemäss MSK-Unterziele zwei und drei erwartete Sömmerlingsdichte ist in Abbildung 5-4 dargestellt.

Die im Kanton Aargau durchgeführten quantitativen Befischungen zeigen über alle befischten Strecken in den verschiedenen Revieren, dass das mittlere Defizit bei der Forellensömmerlingsdichte bei ca. 50-60% liegt. Dies zeigt demnach, dass bei der Sömmerlingsdichte kantonsweit ein deutliches Defizit vorliegt. Interessanterweise ist dieses Defizit in Jahren ohne Besatz nicht höher als in Jahren mit Besatz und das unabhängig davon, welche Gewässerkombinationen betrachtet werden (Abbildung 5-5).

Im Aargau liegt ein deutliches Defizit in der Sömmerlingsdichte vor. Besatzmassnahmen vermögen dieses Defizit jedoch nicht mindern. Die vorherrschenden Umweltbedingungen sind demnach entscheidend für das Überleben der Forellen und die Naturverlaichung reicht aus, um die Aufnahmekapazität der Gewässer auszuschöpfen.

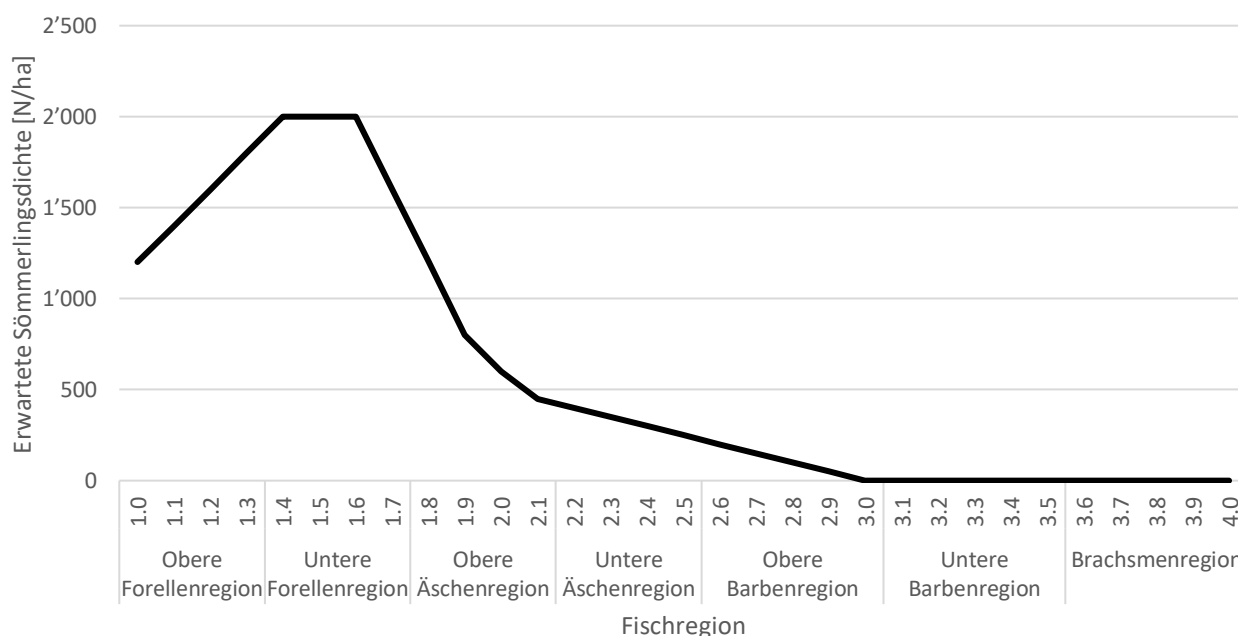


Abbildung 5-4. Minimale in Fließgewässern gemäss neuer MSK-Fische Methode [14] erwartete Sömmerlingsdichte für Fließgewässer unterschiedlicher Fischregionen. Kommen weniger Forellen vor als erwartet, dann wird dies als gewässerökologisches Defizit gewertet.

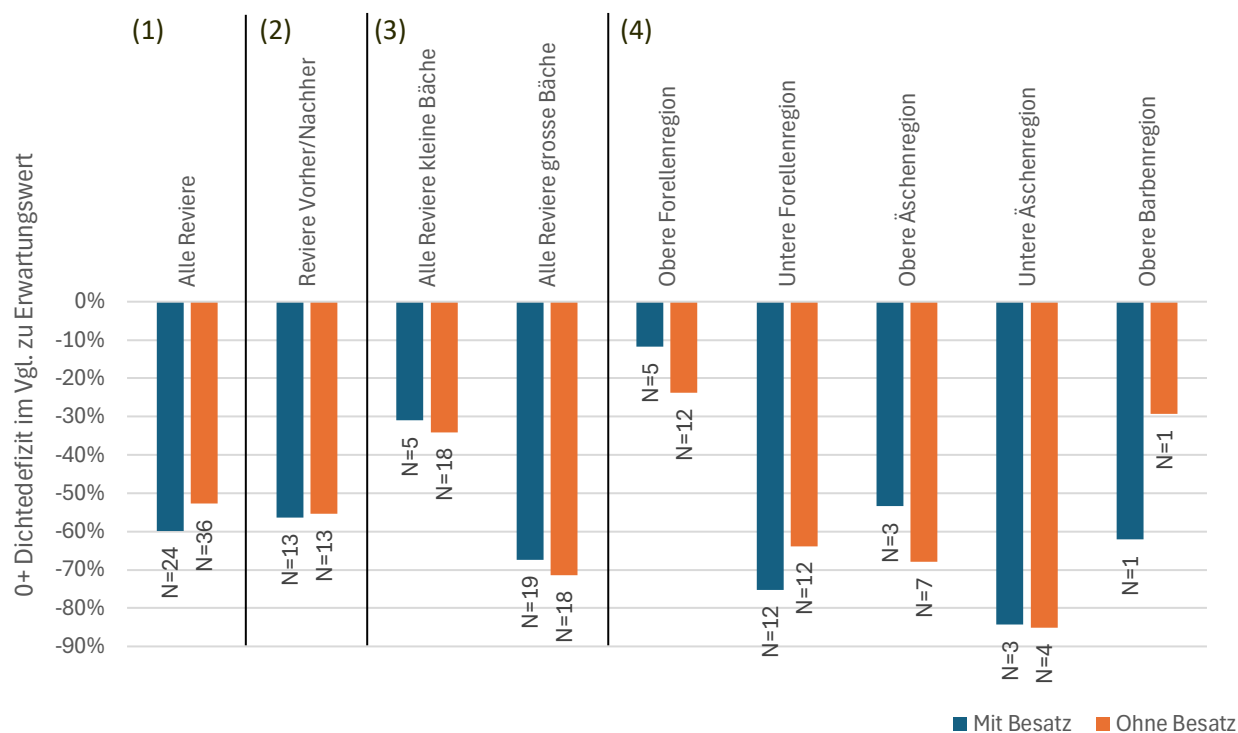


Abbildung 5-5. Beobachtete Defizite bei der Forellensömmerlingsdichte bei quantitativen Bestandsaufnahmen, die im Kanton Aargau durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind von links nach rechts wie folgt dargestellt: (1) für alle Reviere mit quantitativen Befischungsergebnissen; (2) für Reviere, die Befischungen vor und nach dem Besatzstopp aufweisen; (3) für Reviere eingeteilt in kleine und grössere Bäche; (4) für Abfischungsstrecken eingeteilt in verschiedene Fischregionen.

5.3 Hatte der Besatzstopp, bzw. die Anpassung der Bewirtschaftung nach 2018 einen Einfluss auf die Anglerfänge/Forellenbestände in den Gewässern?

5.3.1 Kantonsübergreifende Analyse der Anglerentnahmen

Der Vergleich der normierten Forellenentnahmen mit und ohne Besatzeinfluss zeigt, dass in den Revieren und Jahren ohne Besatzeinfluss durchschnittlich deutlich weniger Forellen entnommen wurden. So sanken beispielsweise in der Forellenregion im Mittel im Zeitraum «ohne Besatz» um ca. 60%. Beim CPUE zeigt sich ebenfalls eine Abnahme, allerdings deutlich weniger stark. So sank der CPUE nur um ca. 30 %. Mittels paarweisem T-Test wurden sowohl für

die Forellenentnahmen als auch für den CPUE der Forellen signifikante Unterschiede zwischen den Zeiträumen «mit Besatz» und «ohne Besatz» festgestellt. In der Äschenregion sanken sowohl die normierte Anzahl der Forellenentnahmen (um ca. 80%) wie auch der CPUE (um ca. 50%) im Zeitraum «ohne Besatz» noch deutlicher. Auch hier waren die festgestellten Unterschiede in den Forellenentnahmen und dem CPUE der Forellen signifikant.

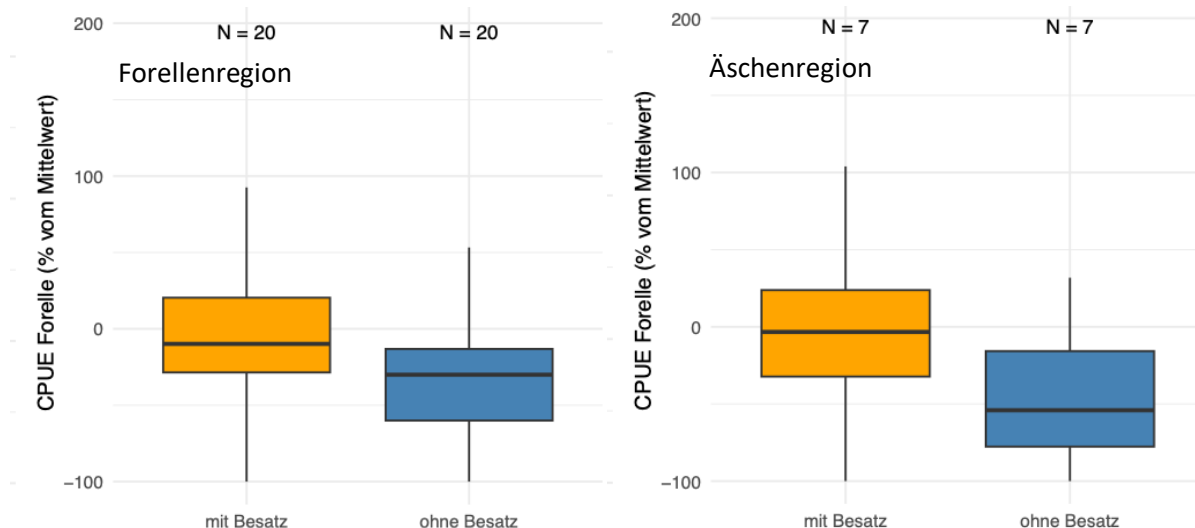


Abbildung 5-6. Vergleich des CPUE der Forellen für Reviere und Jahre mit Besatzeinfluss («mit Besatz»; bis und mit 2. besatzfreies Jahr) und ohne Besatzeinfluss ab 3. besatzfreiem Jahr in der Forellenregion (links) und Äschenregion (rechts). P-Werte der T-Tests: für normierte Anzahl entnommener Forellen in der Forellenregion: <0.005, für normierter CPUE (Forelle) in der Forellenregion: <0.005, für normierte Anzahl entnommener Forellen in der Äschenregion: <0.005, für normierter CPUE (Forelle) in der Äschenregion: <0.005

Ein Rückgang der Forellenentnahmen und des CPUE ist sowohl in Revieren mit als auch ohne Besatz über die Jahre zu beobachten. Lineare Regressionsanalysen zeigen zwar diesen Trend, aber aufgrund niedriger R^2 -Werte ist die Aussagekraft begrenzt und eine hohe Datenstreuung vorhanden. Zudem stammen

die Daten mit Besatz aus früheren Jahren als jene ohne, was zeitliche Effekte (z. B. Klimawandel) mit einbezieht. Ein klarer kausaler Zusammenhang zwischen Besatzstopp und Rückgang kann deshalb nicht zweifelsfrei belegt werden.

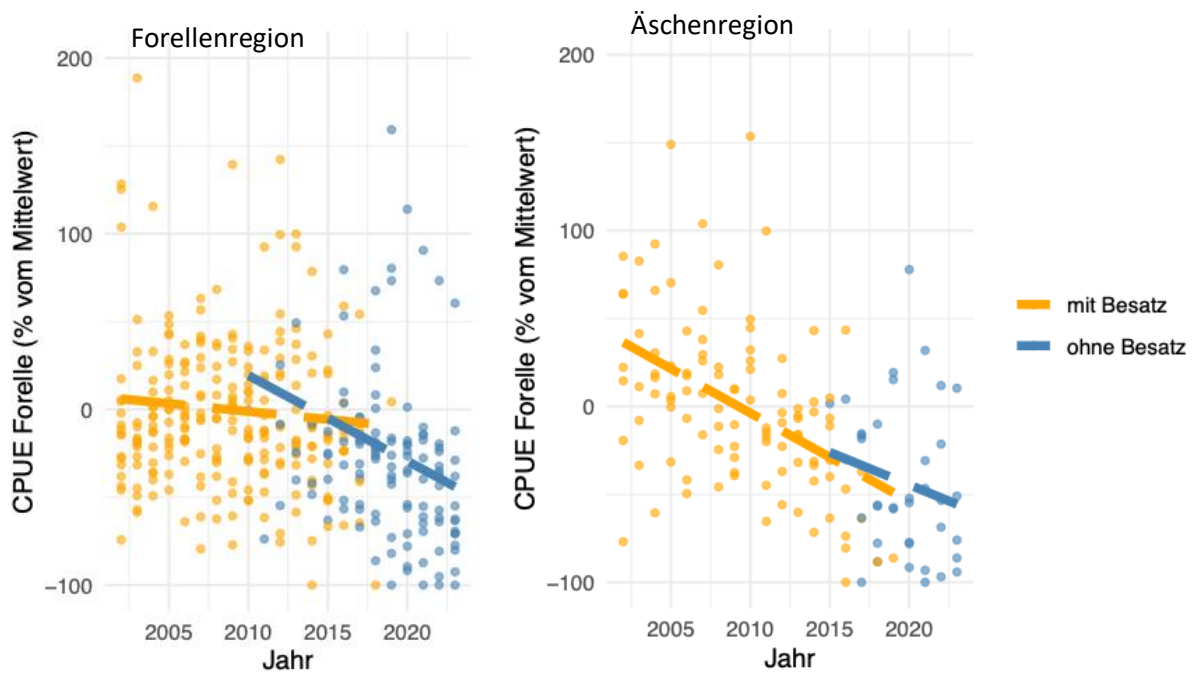


Abbildung 5-7. Entwicklung des normierten CPUE (Forellen) in der Forellenregion (links) und Äschenregion (rechts). Jeweils über alle Jahre und Reviere mit und ohne Besatzeinfluss («mit Besatz»; bis und mit 2. besatzfreies Jahr; «ohne Besatz»; ab 3. besatzfreiem Jahr). Die Regressionsgerade des Zeitraumes «mit Besatz» ist jeweils in Orange, jene «ohne Besatz» hingegen in Blau dargestellt. Bestimmtheitsmass für die linearen Regressionsgeraden: Forellenregion: CPUE (Forellen) normiert «mit Besatz»: $R^2 = 0.005$; «ohne Besatz»: $R^2 = 0.058$; Äschenregion: CPUE (Forellen) normiert «mit Besatz»: $R^2 = 0.216$; «ohne Besatz»: $R^2 = 0.038$.

In der Forellenregion hat sich der Rückgang nach dem Besatzstopp leicht verstärkt, insbesondere beim CPUE (-4.9 %/Jahr gegenüber -0.9 %/Jahr). In der Äschenregion nimmt zwar die Entnahme stärker ab, der CPUE zeigt aber kaum Veränderungen. Der Einfluss des Besatzstopps scheint daher regional unterschiedlich zu sein. Weitere Einflussfaktoren wie das Anglerverhalten (z. B. vermehrtes Zurücksetzen von Fischen), nicht gemeldete Entnahmen und unterschiedliche Besatzmengen über die Jahre erschweren eine eindeutige Interpretation.

Der beobachtete Rückgang setzt sich also auch nach dem Besatzstopp fort. Ein möglicher Effekt des Besatzstopps ist vor allem beim CPUE in der Forellenregion erkennbar, in der Äschenregion weniger. Revierspezifische Analysen und Angaben zum Anglerverhalten sind notwendig, um fundierte Aussagen zum Einfluss von Besatzmassnahmen auf den Anglererfolg treffen zu können.

In einer multivariaten statistischen Analyse wurde Schliesslich geprüft, ob Besatz Variation in

Anglerfängen signifikant erklären kann, wenn auch Umweltbedingungen berücksichtigt werden. Variationen bei den Besatzmassnahmen, auch mit Verzögerungen von bis zu 3 Jahren, konnten keine signifikante Menge an Variationen bei der Fangrate pro Aufwandseinheit zwischen den Jahren in den Revieren erklären. Es gab auch keine signifikante Beziehung zu den Besatzmassnahmen, wenn kleine (<2 ha), mittlere (2-7 ha) und grosse Reviere (> 7 ha) separat getestet wurden.

Es konnte statistisch ein generell negativer Trend beim Fangerfolg der Angelfischer festgestellt werden. In der Forellenregion hat sich dieser nach Besatzstopp leicht verschärft. Es bleibt allerdings unklar wie stark sinkende Forellenbestände oder Änderungen im Anglerverhalten diesen Trend beeinflussen. Ein negativer Effekt des Besatzstopps auf den Anglererfolg kann damit weder belegt noch ausgeschlossen werden. Allerdings konnten Besatzmassnahmen keine signifikante Menge an Variationen bei der Fangrate pro Aufwandseinheit zwischen den Jahren in den Revieren erklären

5.3.2 Kantonsübergreifende Analyse der Bestandsdaten

Alle verfügbaren Daten von quantitativen Befischungen, die für den Kanton Aargau verfügbar waren, wurden für diese Analysen ausgewertet. Diese Daten belegen über alle untersuchten Gewässer gesehen ein mittleres Defizit bei der gesamten Forellendichte von ca. 50-55 % (Abbildung 5-8). Demnach liegt kantonsweit in vielen Gewässern ein deutliches Defizit an Forellen vor. Dieses Defizit ist in grösseren Fließgewässern deutlich höher als in kleinen Bächen. Zudem ist das Defizit zumindest in den Gewässern der oberen Forellenregion eher gering, während es in allen anderen Fischregionen sehr hoch ist. Interessanterweise ist dieses Defizit in Jahren ohne Besatz im Durchschnitt aber nicht höher als in Jahren mit Besatz (Abbildung 5-8). Dies auch nicht im Durchschnitt der 12 untersuchten Strecken, die sowohl mit als auch ohne Besatzeinfluss befischt wurden. Damit zeigen die Daten, dass zwar ein deutliches Defizit in der Forellendichte vorhanden ist. Allerdings führen Besatzmassnahmen nicht zu einer Verringerung dieses Defizits.

Werden die vorhandenen Zeitreihen betrachtet, dann zeigt sich, dass je nach Gewässer und Revier im

Gewässer das Defizit stark unterschiedlich sein kann [6]. Es zeigt sich auch, dass die Defizite in Zeitreihen oftmals sehr stark schwanken, und das meistens unabhängig davon ob besetzt wurde oder nicht. Einzig im Mittellauf des Steinerkanals / Rohrer Giessen wurden nach dem Besatzstopp gar keine Forellen mehr gefangen. Der Forellenbestand war allerdings schon vor dem Besatzstopp mit lediglich 26 kg/ha Forellen sehr gering. Das Defizit ist trotzdem ohne Besatz grösser als mit Besatz. Dieses Gewässer ist zudem insofern interessant, als dass es durch Grundwasser gespiesen ist. Damit ist das Wasser im Sommer kühl und eigentlich für Forellen gut geeignet. Welche Probleme im Steinerkanal vorliegen und die zu diesem Befund führen ist nicht bekannt.

Es liegen nur wenige Zeitreihendaten vor, weshalb ein direkter Effekt von Besatzstopp nur unzureichend beurteilt werden kann. Die meisten Daten zeigen jedoch, mit der Ausnahme des Steinerkanals, keinen ersichtlichen Effekt der Besatzstopps auf die vorhandenen Forellenbestände.

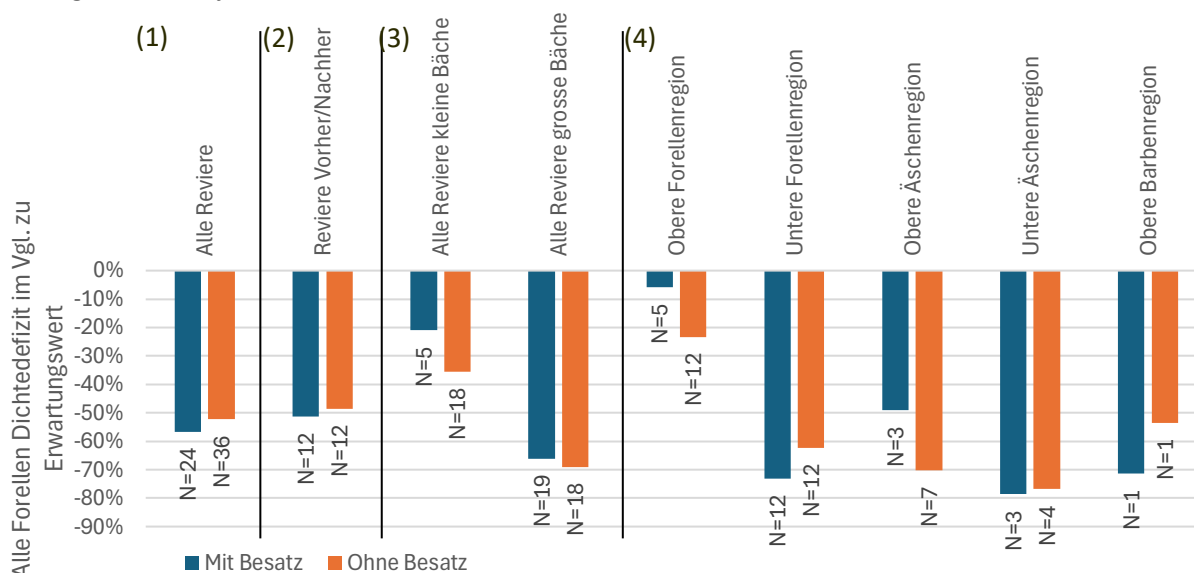


Abbildung 5-8. Beobachtete Defizite bei der Forellendichte bei quantitativen Bestandsaufnahmen, die im Kanton Aargau durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind von links nach rechts wie folgt dargestellt: (1) für alle Reviere mit quantitativen Befischungsergebnissen; (2) für Reviere, die Befischungen vor und nach dem Besatzstopp aufweisen; (3) für Reviere eingeteilt in kleine und grössere Bäche; (4) für Abfischungsstrecken eingeteilt in verschiedene Fischregionen.

5.4 Anpassung Bewirtschaftung Surbreviere

5.4.1 Ausgangslage und vorgenommene Untersuchungen

Im Rahmen der Untersuchungen, die von 2018 bis 2023 an der Surb und einigen Zuflüssen stattfanden, wollte der Kanton Aargau herausfinden, wie sich die Umstellung der Bewirtschaftung auf den Forellenbestand und die Entnahmen der Angelfischer auswirkt.

In den Fischerei-Revieren 43, 44 und 47 wird seit 2018 vollständig auf Besatz mit Forellen verzichtet. In den Revieren 45 und 46 werden seit 2018 nur Forellen besetzt, die von Elterntieren desselben Gewässerabschnitts der Surb abstammen. Diese Wildfische werden kurz vor der Fortpflanzung im Rahmen eines Laichfischfangs in der Surb gefangen und danach künstlich verpaart. Ihre Nachkommen werden im folgenden Jahr als Brütlinge in ehemaligen Aufzuchtgewässern (Seitengewässer der Surb) und später als Sömmerlinge aus der Fischzucht Bremgarten (naturnahe Haltungsbedingungen) im Hauptlauf der Surb eingesetzt.

Die Laichtiere wurden nach dem Streifen in die Surb zurückgesetzt. Dieses Vorgehen deckt sich mit den neusten Empfehlungen für die fischereiliche Besatzbewirtschaftung des Bundes [46] und aus populationsgenetischer Perspektive [45, 79]. Da viele Jungfische aus kleinen Seitengewässern auf natürliche Weise abwandern [77], wurde ab 2018 auf die Abfischung der Seitengewässer verzichtet. Die letzten solchen Abfischungen fanden 2017 statt.

Im Rahmen der getätigten Untersuchungen wurden alle Fang- und Monitoringdaten des Kantons Aargau ausgewertet. Zudem wurden gezielte Erhebungen des Forellenbestands in den verschiedenen Surb-Revieren und in den Zuflüssen vorgenommen. Weiter wurden alle Besatzfische genetisch markiert und deren Anteil im Bestand über mehrere Jahre (2018-2022) ermittelt.

5.4.2 Erkenntnisse

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass in den **Zuflüssen** kein eindeutig positiver oder negativer Einfluss von Besatzmassnahmen auf den Forellenbestand nachgewiesen werden kann. Die Aufgabe der Abfischungen der Aufzuchtgewässer hat aber dazu geführt, dass sich der Forellenbestand in diesen Gewässern erholt hat, und dass dort adulte Fische in guten Dichten nachgewiesen werden können. **Ein Besatz in den Zuflüssen ist demnach nicht notwendig, um den Bestand zu erhalten und sollte deshalb in allen Zuflüssen aufgegeben werden. Auf Abfischungen und Umsiedlungen von Forellen der Zuflüsse in die Surb sollte, wie in den letzten Jahren, verzichtet werden, da ein Teil der Jungforellen natürlicherweise aus eigenem Antrieb in die Surb abwandert.**

Für die **Surb** sind die Ergebnisse nicht eindeutig. **Klar ist, dass Besatzfische, die von lokalen Elterntieren gewonnen werden, besser überleben als frühere**

Besatzfische aus der Fischzucht Nadler. Allerdings werden in den besetzten Revieren nicht höhere Jungfischdichten beobachtet und der Grossteil der durch Angelfischer gefangenen Forellen stammen aus der Naturverlaichung (Abbildung 5-9). Ob der Besatz tatsächlich additiv ist in der Surb kann anhand der vorhandenen Daten nicht abschliessend beurteilt werden. **Demnach dürfte der Besatz auch in der Surb, wenn überhaupt, nur einen geringen Einfluss auf die Bestandsentwicklungen haben. Auch in der Surb dürften die vorherrschenden Umweltbedingungen die Entwicklung des Forellenbestands massgeblich steuern** – nicht die Besatzmassnahmen. Die negativen Auswirkungen der Umwelteinflüsse auf den Forellenbestand nehmen vom Oberlauf in Richtung Unterlauf deutlich zu (Abbildung 5-10). Um die Ergebnisse zum Besatzerfolg einordnen zu können, müssen daher auch die lokalen Umweltbedingungen

in der Surb und mögliche Einflussgrößen auf den Bestand bekannt sein.

Die Auswertungen der vorliegenden Umweltdaten haben gezeigt, dass 2021, dem Jahr mit den höchsten Dichten an Adultfischen, auch das Jahr mit den deutlich niedrigsten Sommertemperaturen und höchsten Sommerabflüssen in der Surb war. Die Forellen hatten demnach in diesem Jahr deutlich weniger Stress und überlebten daher besser als in den anderen Jahren. Im Verlauf der letzten Jahre haben die Wassertemperaturen der Surb deutlich zugenommen und die Niederwassermengen im Sommer deutlich abgenommen.

Ebenso fällt auf, dass in Jahren mit stärkeren Winterhochwassern (2015, 2018, 2021) geringere Dichten an Sömmerlingen beobachtet wurden. Die Häufigkeit dieser starken Winterhochwasser hat aber im Verlauf der letzten Jahre lokal nicht zugenommen. Vermehrte Winterhochwasser kommen daher als Erklärung für abnehmende Forellenbestände in der Surb nicht in Frage.

Die Studie kommt insgesamt zur Schlussfolgerung, dass Besatzmassnahmen mit juvenilen Forellen den Forellenbestand an adulten Fischen und damit das Ertragspotential der Surbreviere kaum positiv beeinflussen kann.

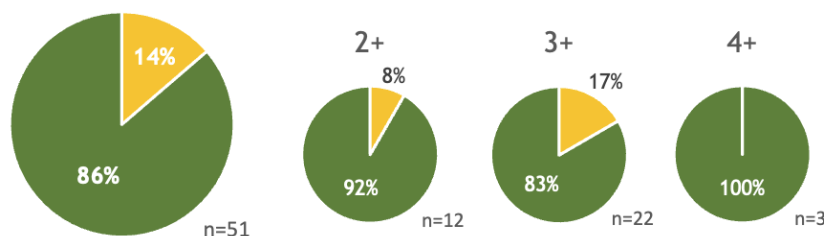


Abbildung 5-9: Der Anteil der Besatzfische (gelb) und der Wildfische an den Fängen der Angler der Surb. Ganz links das Total der Fänge zwischen 2020 und 2022, rechts etwas kleiner dargestellt die Fänge aufgeschlüsselt nach Jahrgang.

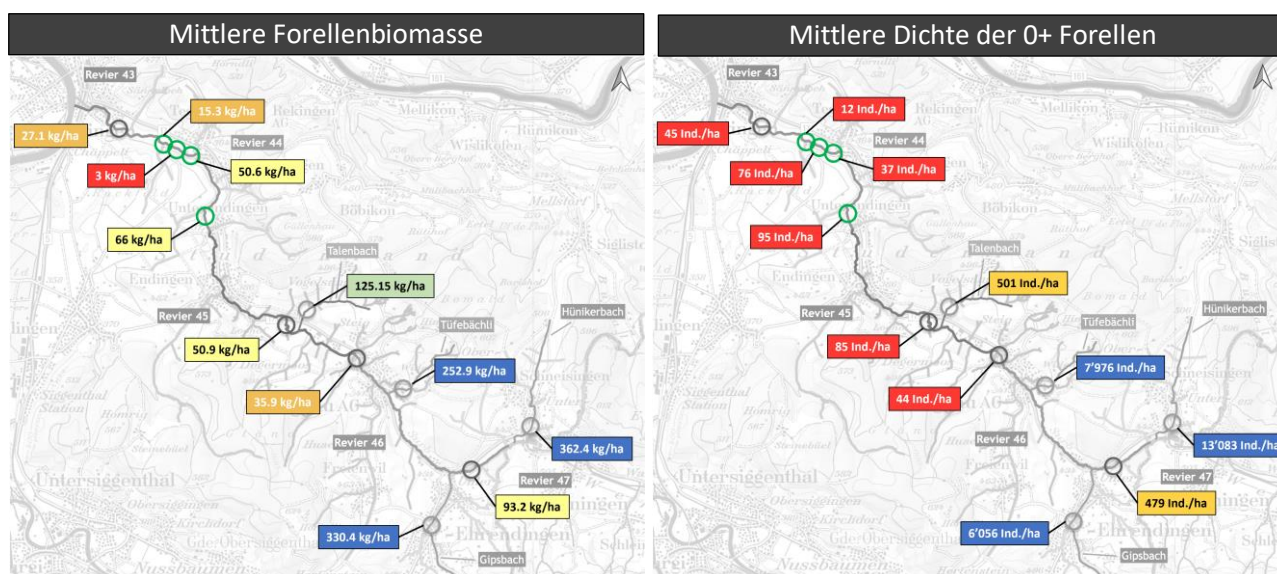


Abbildung 5-10. Mittlere Forellenbiomasse (Links) und Dichte der 0+ Forellen (rechts) in der Surb und ihren Zuflüssen. In Strecken mit einer blauen Hintergrundfarbe wird der Erwartungswert für ein Gewässer der Forellenregion erfüllt. Mit abnehmender Biomasse werden die Felder grün (leichtes Defizit), gelb (mässiges Defizit), orange (starkes Defizit) und rot (sehr starkes Defizit) eingefärbt. Die Befischungsdaten wurden auf jeweils eine Hektare hochgerechnet.

5.5 Besatzstopp Wyna – Auswirkungen auf Forellenbestand und PKD-Befall

5.5.1 Ausgangslage und vorgenommene Untersuchungen

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung des Instituts für Fisch- und Wildtiergesundheit (FIWI) wurden drei Strecken der Wyna von 2015 bis 2024 jährlich quantitativ befischt. Bei der Studie wurde versucht zu verstehen, wie der Besatzstopp und die Krankheit PKD den Forellenbestand in verschiedenen Strecken der Wyna beeinflusst haben.

Für sechs weitere Strecken liegen Bestandserhebungen in einem einzelnen Jahr vor, die eine feinere räumliche Auflösung erlauben. Zudem können anhand der Daten von Gontenschwil zwei revitalisierte mit einer verbauten Strecke verglichen werden. Insgesamt erfolgten an neun Stellen Fischbestandskontrollen (Abbildung 5-11).

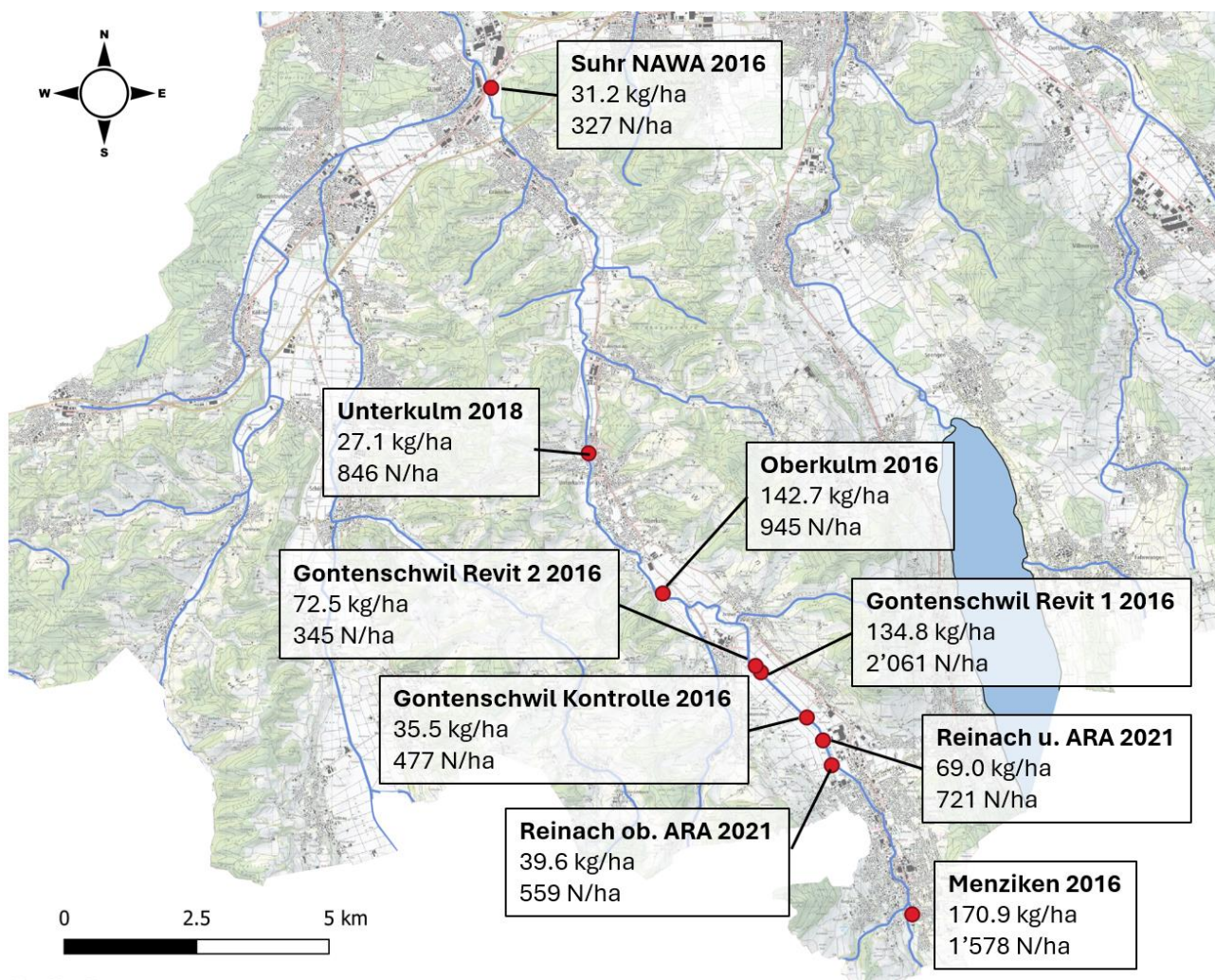


Abbildung 5-11. Kartenausschnitt mit den Befischungsstrecken an der Wyna. Kästchen: Dichte und Biomasse der 2016 – 2021 gefangenen Forellen.

5.5.2 Erkenntnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Dichte und Biomasse der Forellen je nach untersuchter Strecke sehr stark variieren (Abbildung 5-11). Der Vergleich von revitalisierten mit einer verbauten Kontrollstrecke bei Gontenschwil zeigt zudem, dass die Gewässerstruktur die Bachforellendichte und -biomasse sehr entscheidend beeinflusst. In der revitalisierten Strecke wurden zwei bis vier Mal höhere Forellenbiomassen festgestellt im Vergleich zur Kontrollstrecke [6].

Im Verlauf der Zeit hat sich der Forellenbestand in keiner der drei Strecken massgeblich verändert [80, 81]. Es konnte also trotz Besatzstopp und trotz starkem PKD-Befall in den unteren beiden Strecken

keine negative Entwicklung festgestellt werden. Es zeigt sich aber auch, dass die Dichten der 0⁺-Forellen von Jahr zu Jahr stark schwankten. Dies dürfte auf den jeweiligen Fortpflanzungserfolg im Zusammenhang mit Winterhochwassern und auf der jährlich schwankenden Intensität des PKD-Befalls zurückzuführen sein. In der Wyna bei Menziken konnte bei histologischen Untersuchungen keine befallene Bachforelle nachgewiesen werden, obwohl die Wassertemperatur dort über längere Zeit weit über den Schwellenwert von 15°C stieg. In den flussabwärts folgenden beiden Strecken war histologisch an 92 – 100% der Tiere eine Infektion nachweisbar [82].

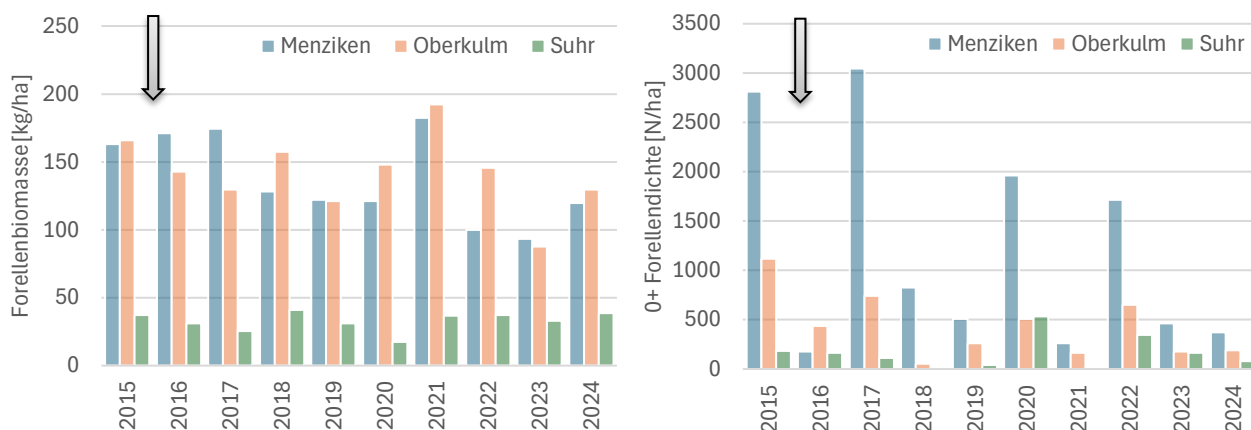


Abbildung 5-12. Links Biomasse aller gefangenen Forellen und recht Dichte der gefangenen 0+ Forellen in verschiedenen Strecken der Wyna von 2015 bis 2024. Grauer Pfeil: Besatzstopp.

Weiter wurden 2016 die von der Fischzucht Nadler stammenden letztmals besetzten Forellen markiert. Vier Jahre nach dem Besatz konnte keine besetzte Forelle in der Wyna mehr nachgewiesen werden. Die besetzten Fische konnten sich demnach, obwohl sie im ersten Jahr als 0⁺ Fische im Fischbestand noch dominant waren, nicht durchsetzen und verschwanden aus dem System.

Der Forellenbestand in der Wyna hat sich nach dem Besatzstopp 2016/17 und trotz Vorhandensein von PKD insgesamt nicht signifikant verändert. Es treten jedoch Fluktuationen auf, die auf Variationen in den Umweltbedingungen zurückzuführen sein dürften.

5.6 Besatz Markierungsversuch grosse Flüsse

Das Ziel der Untersuchung war, den Anteil der Besatzfische am Forellenbestand in Rhein, Aare und Limmat mit einem Markierungsexperiment abschätzen zu können.

Um die Besatzfische zu erkennen, wurde der genetische Fingerabdruck von ihnen und ihren Elterntieren bestimmt. Als erstes wurde dafür den Elterntieren, die in den Zuchten gestreift wurden, eine Gewebeprobe entnommen. Diese Gewebeproben wurden mit Mikrosatelliten charakterisiert. Somit konnten die Nachkommen, die als Besatzfische zurück in Aare, Limmat und Rhein gelangten, den Eltern zugeordnet werden.

In einem zweiten Schritt wurde in den Jahren 2018 bis 2023 potenziellen Nachkommen, zugeordnet über die Länge der gefangenen Forellen, Gewebeproben entnommen. Diese Forellen wurden bei verschiedenen Monitoringprojekten oder durch Angelfischer in Aare, Limmat oder Rhein gefangen und beprobt. Es fanden keine gezielten Befischungen durch das Projekt selbst statt. Danach wurden die potenziellen Nachkommen genetisch charakterisiert. Anschliessend konnten aus Besatz stammende Fische identifiziert und von Forellen aus Naturverlaichung unterschieden werden.

Von den 15 untersuchten Proben konnte eine Gewebeprobe den Elterntieren der Pachtvereinigung Stausee Wettingen (PSW, Limmat) zugeordnet werden (Abbildung 4 27). Dabei handelt es sich um einen Sömmerling, der am 20. September 2022 in beim Kraftwerk Aue in der Limmat gefangen wurde. Der Fisch konnte einem Elternteil zugeordnet werden, der im Winter 2021/22 in der Fischzucht der PSW gestreift wurde. Die restlichen Fische konnten keinen Elterntieren zugewiesen werden.

Aufgrund der niedrigen Stichprobengrösse können für die drei Besatzprojekte keine Rückschlüsse auf ihren Erfolg gezogen werden. Bei dem Besatzfisch, der in der Limmat gefangen wurde, handelte es sich um einen Sömmerling. Der Besatzfischanteil ist in der Regel in dieser Altersklasse am höchsten.

Die Untersuchung zeigt, dass es sehr schwierig war, an Probematerial von potenziellen Nachkommen zu kommen. Es wurden zu wenige Tiere rückgefangen, um über den Besatzerfolg eine Aussage machen zu können. Die genetische Vielfalt der Elterntiere war generell jedoch gering, was einen negativen Einfluss auf die Nachkommen haben könnte.

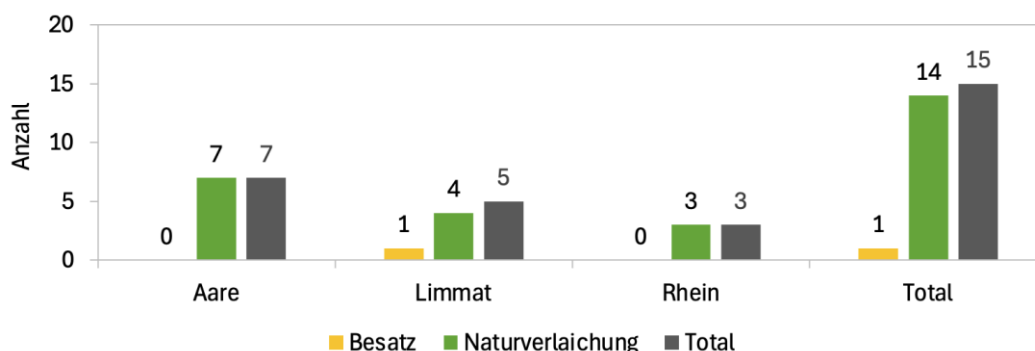


Abbildung 5-13: Übersicht zu den genetischen Analysen der potenziellen Nachkommen an den drei Gewässern Aare, Limmat und Rhein.

6 Empfehlungen für zukünftige Besatzmassnahmen von Forellen

6.1 In welchen Gewässern könnten/sollten Besatzmassnahmen von Forellen aus ökologischen Gründen wieder aufgenommen werden?

Ein Besatz ist aus ökologischer Sicht nur in zwei Situationen sinnvoll:

- a) Wenn eine Population lokal ausgestorben ist (z.B. wegen Gewässerverschmutzungen) und wenn der Gewässerabschnitt nicht natürlicherweise von Quellpopulationen wiederbesiedelt werden kann.
- b) Wenn eine Fischart oder Population akut vom Aussterben bedroht ist, weil ein spezifisches Altersstadium wegen vorübergehend nicht behebbaren Umweltdefiziten nicht überleben und nicht aus anderen Gewässerabschnitten zuwandern kann. Oder wenn starke Inzucht auftritt (sehr kleine effektive Populationsgrössen).

Beim ersten Beispiel spricht man von einer Wiederansiedlungsmassnahme. Dabei sollte der Besatz idealerweise durch eine Translokation von wilden

Fischen aus nahegelegenen Gewässern erfolgen. In der Zweiten Situation wäre ein Kompensationsbesatz möglich. Dabei ist wichtig, dass der bestehende Flaschenhals beim Überleben der Forellen mit der Besatzmassnahme umgangen wird. Ein Besatz wird nur dann Wirkung zeigen, wenn der Flaschenhals umgangen werden kann.

Zu beachten gilt es hier, dass für Forellen ein ökologischer Besatz aufgrund ihrer Verbreitung und der grundsätzlich funktionierenden Naturverlaichung wohl nur selten sinnvoll sein wird. Eine Wiederansiedlung könnte aber für andere Fischarten, die heute in vielen Gewässern im Kanton fehlen, sinnvoll sein. Insbesondere wenn typische Arten nicht natürlicherweise einwandern können, z.B. wegen Wanderhindernissen. Typische Beispiele für solche Arten wären z.B. das Bachneunauge oder der Strömer.

6.2 In welchen Gewässern könnten/sollten Besatzmassnahmen aus fischereilichen Gründen wieder aufgenommen werden?

Ein Besatz aus fischereilicher Sicht ist wirksam, wenn der fangbare Fischbestand durch die Besatzmassnahme gesteigert wird. Wenn dieses Ziel nicht erreicht wird, dann macht ein Ertragsbesatz keinen Sinn. In der Realität ist dies z. B. der Fall, wenn die natürliche Fortpflanzung nicht oder kaum möglich ist und auch keine Fische natürlich zuwandern können (z. B. aus Zuflüssen). Dies wird in der Regel festgestellt, wenn über mehrere Jahre keine oder viel zu wenige Jungfische im gesamten Gewässersystem beobachtet werden und wenn die Bestandsgrösse von adulten Fischen aufgrund der aktuell vorherrschenden Umweltbedingungen deutlich unter den Erwartungen liegt. Ein Fehlen von Jungfischen in einzelnen

Jahren gehört zur natürlichen Dynamik und hat in der Regel keinen Einfluss auf die adulten fangfähigen Forellen. Liegt ein Defizit bei der Naturverlaichung nachweislich vor, dann ist ein Ertragsbesatz mit Jungfischen (Brütlinge/Vorsommerlinge) aus fischereilicher Sicht sinnvoll.

In allen anderen Situationen ist ein Besatz mit Forellen in frühen Altersstadien für die Fischerei nicht ertragssteigernd, da die Lebensraumkapazität für adulte, fangbare Fische nicht durch die Rekrutierung beschränkt wird, sondern durch den verfügbaren Lebensraum der Adulttiere. In solchen Situationen

führt einzig ein Massfischbesatz zu höheren Erträgen in der Angelfischerei.

Es stellt sich nun aufgrund der durchgeführten Untersuchungen die Frage, ob eine Wiederaufnahme von Besatzmassnahmen für die Fischerei als sinnvoll erachtet wird. **Anhand der vorliegenden Ergebnisse und aufgrund der Angaben aus der wissenschaftlichen Literatur ist die Schlussfolgerung für Gewässer der Forellen- und Äschenregion klar: Ein flächendeckender Besatz mit juvenilen Forellen ist nicht sinnvoll und wirkt nicht ertragssteigernd.** Es konnte nur ein Fall gefunden werden, bei dem ein Besatz mit juvenilen Forellen möglicherweise einen positiven Effekt auf den Ertrag hatte (Mittellauf des Steinerkanals).

Der Kanton sollte daher gewässerspezifisch mittels lokalen Wissens prüfen, in welchen Gewässern ein Ertragsbesatz mit juvenilen Forellen sinnvoll sein könnte. Falls Besatzmassnahmen wiederaufgenommen werden, sollte jeweils auch geprüft werden, ob der Besatz den erwünschten Erfolg mit sich bringt [45]. Aufgrund der uns vorliegenden Ergebnisse erscheint dies nur im Mittellauf des Steinerkanals der Fall zu sein. Da nicht für alle Reviere ausreichend Daten vorliegen, um dies zweifelsfrei einordnen zu können, kann nicht ausgeschlossen werden, dass dies noch in weiteren Gewässern im Kanton der Fall sein könnte.

Für Gewässer der Barben- und Brachmenregion ist ein Besatz mit juvenilen Forellen ebenfalls nicht zielführend. Diese Gewässer weisen eine geringe Aufnahmekapazität für Forellen auf. Es handelt sich

nicht um das Hauptverbreitungsgebiet von Forellen, weshalb grundsätzlich von einem geringen Besatzerfolg auszugehen ist, wenn juvenile Stadien verwendet werden. In diesen Gewässern der Barben- und Brachmenregion wäre aus fischereilicher Sicht ein Besatz mit fangbaren Fischen die wirkungsvollste Massnahme, um den Ertrag kurzfristig zu steigern. Während ein Massfischbesatz fischereilich in der Regel erfolgreich ist, birgt dieser auch gewisse Risiken für bestehende Forellenpopulationen und andere Lebewesen in den Gewässern, weshalb dieser in Gewässern der Forellen- und Äschenregion nicht umgesetzt werden sollte. Zudem sollte die Massnahme von den Angelfischern explizit gefordert werden. Viele Fischer wollen in ihren Gewässern keine Zuchtforellen fangen, sondern möglichst wilde Forellen. Zudem gibt es schweizweit in vielen Gewässern die Möglichkeit, auf Zuchtfische zu angeln.

Um den Forellenertrag langfristig und nachhaltig steigern zu können muss der Lebensraum aufgewertet werden. Verschiedene Wirkungskontrollen von Revitalisierungen haben gezeigt, dass sich damit der Forellenbestand eines Gewässers erhöhen lässt. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass ausreichend Strukturen und Adulthabitate entstehen. Zudem sollten Massnahmen umgesetzt werden, welche die Auswirkungen des Klimawandels auf den Abfluss und die Wassertemperatur mildern (Themenbereiche Schwammlandschaft und Beschattung). Von solchen Massnahmen profitieren schlussendlich nicht nur Forellen, sondern alle Lebewesen die direkt oder indirekt von der Gewässerqualität abhängig sind.

6.3 Falls Besatzmassnahmen wieder aufgenommen werden sollten, wie sollen Besatzfische produziert werden, um die Risiken für die natürlichen Bestände zu minimieren und die Überlebenschancen der Besatzfische zu maximieren?

Die Broschüre nachhaltiger Fischbesatz vom BAFU gibt einen guten Überblick über wichtige Punkte, die bei der Besatzfischproduktion beachtet werden sollten [46]. Mit einer umsichtigen Bewirtschaftung, welche die genetische Vielfalt und die lokale

Anpassung berücksichtigt, ist es möglich, den negativen Einfluss von Besatzfischen auf die Wildfische zu verringern. Der Besatzversuch mit lokalen Elterntieren in der Surb hat gezeigt, dass die Überlebensfähigkeit lokal produzierter Besatzfische deutlich

höher ist als bei Besatzfischen, die von standortfremden Elterntieren gewonnen werden. Der Kanton Aargau hat diesbezüglich bereits Bewirtschaftungseinheiten für die Forelle definiert (Abbildung 6-1), die für einen lokalen Besatz idealerweise eingehalten werden [83]. Ein Besatz nach geografisch definierten Bewirtschaftungseinheiten schont Anpassungen der lokalen Populationen an ihre Standorte und erhält die genetische Vielfalt zwischen den Populationen. Mit einer genügend grossen Anzahl Elterntiere, einem ausgewogenen Geschlechterverhältnis und möglichst vielen Paarungskombinationen kann ein Verlust der genetischen Vielfalt in Grenzen gehalten werden [46].

In der Surb wurden die Elterntiere im Gewässer selbst gefangen. Bei diesem Laichfischfang werden Elterntiere gefangen, kurzfristig in Fischzuchten gehalten, anschliessend gestreift und wieder im Gewässer freigelassen. Aus genetischer Sicht ist diese Vorgehensweise ideal, da dadurch lokal angepasste Fische ins Gewässer entlassen werden, die von Eltern abstammen, die keinerlei Domestikation erfahren haben. Die Erfahrungen aus der Surb haben aber auch Nachteile eines Laichfischfangs gezeigt. So nahm die Gewässerstrecke, die im Rahmen des Laichfischfanges befischt werden musste, über die Jahre deutlich zu. Es konnten immer weniger Laichtiere auf der gleichen Strecke gefangen werden. Zudem zeigen die genetischen Ergebnisse, dass der überwiegende Teil der wieder ausgesetzten adulten Forellen im Jahr danach nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Die festgestellte Mortalität lag dabei um 30-40 % höher als dies natürlicherweise erwartet werden würde [7]. Auch wenn damit nicht eindeutig bewiesen ist, dass der Laichfischfang zu einer erhöhten Mortalität führt, ist dies doch sehr plausibel, da Fische durch das Handling geschädigt werden können.

Es stellt sich daher die Frage, ob bei schwachen Forellenbeständen ein Laichfischfang durchgeführt werden sollte oder nicht. Der Vorteil liegt in der guten genetischen Qualität der Besatzfische. Der Nachteil in einer möglicherweise hohen Mortalität von adulten Forellen, was wiederum negativ für die

Ertragsfähigkeit des Gewässers und den Erfolg der Angelfischer ist. Zudem können beim Laichfischfang bestehende Laichgruben beeinträchtigt werden. Deshalb schlagen wir für die Gewinnung von Besatzfischen für die Zukunft folgendes Vorgehen vor:

- 1) **Für Wiederansiedlungen** sollten Translokationen vorgenommen werden. Dazu werden juvenile Forellen (0+ und 1+) aus geografisch nah gelegenen Gewässern entnommen. Diese Gewässer sollten ähnliche Umwelteigenschaften aufweisen wie die zu besetzenden Gewässern. Es muss darauf geachtet werden, dass nicht mehr als 50% des bestehenden Bestands entnommen wird. Zudem wird darauf geachtet, dass im Gewässer ein guter Forellenbestand vorhanden ist.
- 2) **Für einen Ertrags-/ Kompensationsbesatz** mit juvenilen Forellen wird empfohlen auf einen Laichfischfang zu verzichten. Trotzdem sollte Domestikation möglichst vermieden werden. Ein Gewässer produziert i.d.R. deutlich mehr juvenile Forellen als adulte. Wir schlagen daher vor, dass für die Gewinnung von Besatzfischen in der zu besetzenden Bewirtschaftungseinheit an verschiedenen Gewässerstrecken juvenile Forellen zu entnehmen (0+/1+) und in der Zucht zu adulten Forellen aufzuziehen. Dies vor allem dann, wenn die Anzahl Adultfische im Gewässer gering ist und grosse Strecken befischt werden müssen. Diese können anschliessend in der Zucht über mehrere Jahre gestreift werden. Es sollte eine ausreichend hohe Anzahl Fische in die Zucht genommen werden ($N > 200$). Es sollte nicht mehr als 50% des lokal vorhandenen Bestands entnommen werden. Die daraus gewonnen Besatzfische können anschliessend in der Bewirtschaftungseinheit ausgesetzt werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil Adultfische zu schonen und den fangbaren Fischbestand zu erhalten. Zudem dürfte der Fang dieser Fische deutlich weniger aufwändig sein als ein Laichfischfang. Als Nachteile sind der höhere Aufwand durch die Aufzucht der Elterntiere und das etwas höhere Domestikationsrisiko anzusehen. Wir sind aber der Ansicht, dass die Vorteile überwiegen, da sich die im Gewässer belassenen adulten Forellen

natürlich fortpflanzen können und so den Bestand ebenfalls mit maximal lokal angepassten Jungfischen stützt.

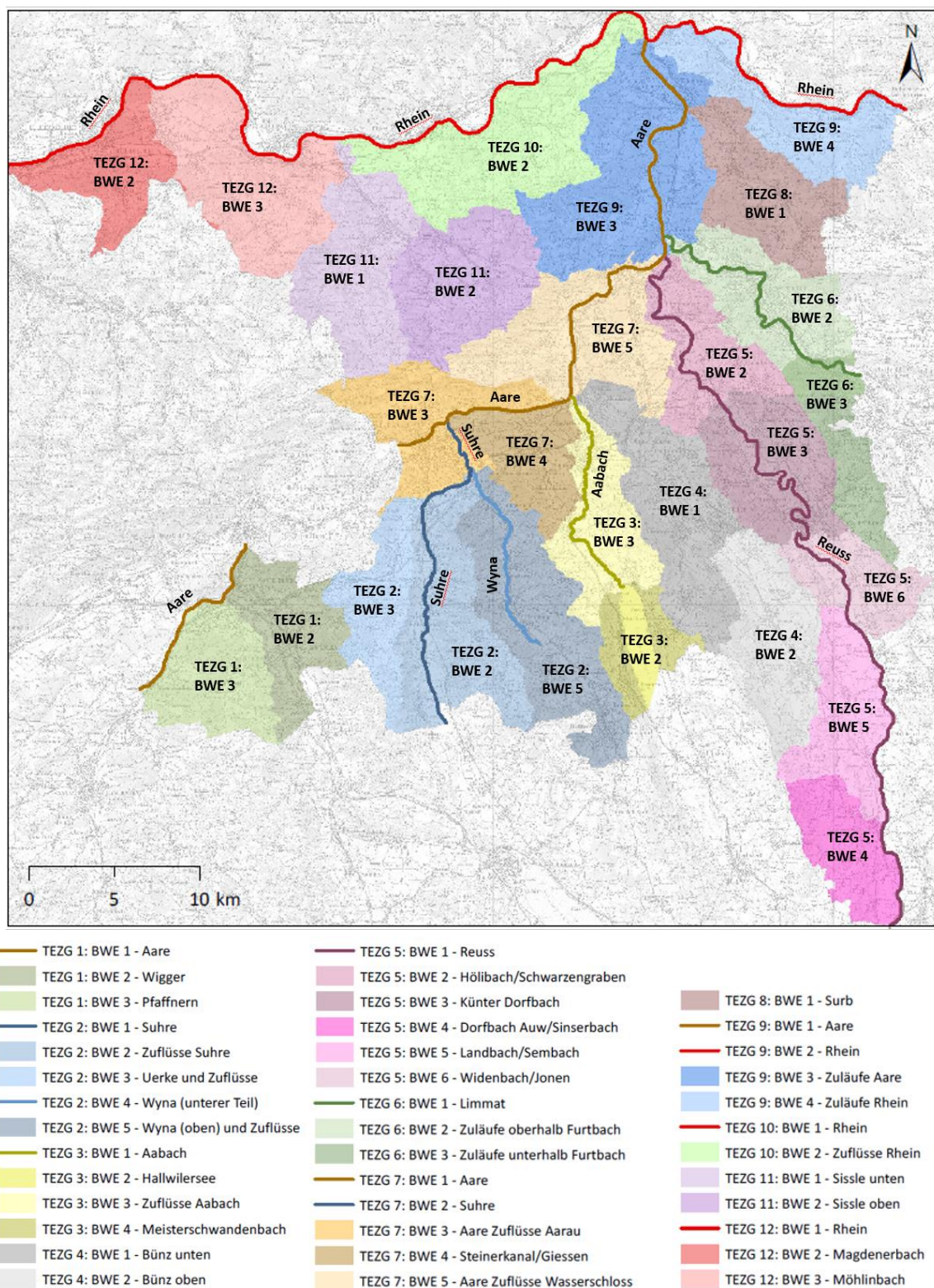


Abbildung 6-1. Übersicht über die im Kanton Aargau ausgeschiedenen Bewirtschaftungseinheiten (BWE). Insgesamt wurden 35 BWE definiert. Aare, Limmat, Reuss, Rhein, Suhre, Wyna und Aabach gelten jeweils als eine BWE, auch wenn sie in der Legende mehrfach vorkommen.

3) **Für einen allfälligen Massfischbesatz** müssen ebenfalls atlantische Forellen eingesetzt werden. Dabei ist die lokale Anpassung weniger ein Thema als für juvenile Forellen, da grundsätzlich nicht erwünscht ist, dass diese Massfische lange im System überleben. Im Gegenteil, diese sollten möglich rasch von Angelfischern entnommen werden. Trotzdem wird immer das Risiko bestehen, dass auch solche Forellen überleben und sich später mit wilden Forellen natürlich fortpflanzen. Wir empfehlen daher, dass von der Aufzucht von lokal angepassten Forellen (siehe Punkt 2) profitiert wird. Dies z.B. indem grosse adulte Forellen als Massfische ausgesetzt werden, wenn sie in der Zucht nicht mehr verwendet werden. Zudem können die aus diesen Elterntieren gewonnen Jungfische zu Adultfischen

aufgezogen und anschliessend ausgesetzt werden. Ein Massfischbesatz sollte nur in Gewässerabschnitten erfolgen, in denen mögliche negative Auswirkungen auf wilde Forellenpopulationen und auf andere schützenswerte Lebewesen als vertretbar eingestuft wird.

Bei jeglicher Besatzmassnahme ist darauf zu achten, dass die Risiken für wilde Forellenbestände minimiert werden. Mit dem oben beschriebenen vorgehen werden lokale Anpassungen von Forellen möglichst erhalten und das Risiko diesbezüglich sollte vertretbar sein. Es ist aber darauf zu achten, dass Besatzfische gesund sind und keine Krankheiten verbreiten [46]. Dies sollte vor den Besatzmassnahmen durch einen Tierärztlichen Befund bestätigt werden.

7 Schlussfolgerungen

Sowohl die wissenschaftliche Literatur als auch die vorhandene Datenlage im Kanton Aargau zeigen, dass der Forellenbestand eines Gewässers massgeblich von den Umweltbedingungen und damit von der Aufnahmekapazität der Gewässer gesteuert wird. Diesen Bedingungen sind Besatzforellen genauso ausgesetzt wie natürlich rekrutierte Forellen mit dem Unterschied, dass natürlich rekrutierte

Forellen besser mit diesen Bedingungen umgehen können. Besatzmassnahmen mit Forellen werden nur dann zu einem höheren Bestand und damit Fang der Angelfischer führen, wenn der Besatz nach dem durch die Umweltbedingungen verursachten Flaschenhals in der Entwicklung der Forellenpopulation durchgeführt wird.

7.1.1 Wirkung von Besatzmassnahmen

Heute werden Besatzmassnahmen im Kanton Aargau meistens mit frühen Altersstadien durchgeführt (Brütlinge oder Sömmerlinge). Es wird also davon ausgegangen, dass die natürliche Fortpflanzung nicht ausreicht, um die Aufnahmekapazität der Gewässer auszuschöpfen. Sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse, also auch die Daten vom Kanton Aargau zeigen, dass in der Regel die Defizite in den meisten Gewässern nicht bei der natürlichen Fortpflanzung liegt. Diese reicht in der Regel aus, um die Aufnahmekapazität der Gewässer auszuschöpfen. Ein zusätzlicher Besatz führt also nicht zu einem besseren Forellenbestand, sondern führt zu einer Erhöhung der innerartlichen Konkurrenz und einer erhöhten Mortalitätsrate. Schwache Jahre beim Erfolg der natürlichen Fortpflanzung werden durch spätere bessere Jahre ausgeglichen. **Damit kann ein Besatz mit frühen Altersstadien Umweltdefizite nicht umschiffen und muss daher kantonsweit als nicht erfolgreich und nicht als zielführend angesehen werden.** Nur in wenigen Fällen scheint die natürliche Fortpflanzung nicht auszureichen (z.B. Mittellauf Steinerkanal). In diesen Fällen könnten ein Besatz mit juvenilen Forellen einen Bestand fördern und fischereilich nutzbar machen.

Dieser Befund bedeutet allerdings nicht, dass es im Kanton Aargau keine Defizite im Forellenbestand

hat. Im Gegenteil, die Daten zeigen klar, dass die Sömmerlingsdichte sowie die Gesamtforellendichte und -biomasse in vielen Gewässern zu gering sind. Nur in kleineren Bächen ist der Forellenbestand oftmals gut. Besatzmassnahmen vermögen diese Defizite allerdings nicht zu kompensieren, weil die Hauptdefizite nicht beim Erfolg der natürlichen Vermehrung liegen, sondern beim Lebensraum, der auch die späteren Altersstadien beeinträchtigt.

Anhand der vorliegenden Daten kann nicht ausgeschlossen werden, dass es nebst dem Steinerkanal noch weitere Ausnahmen von den hier getroffenen Schlussfolgerungen gibt. Die Faktenlage ist insgesamt aber so klar, dass Besatz mit frühen Altersstadien als Massnahme höchstens in Ausnahmefällen zweckdienlich sein dürfte (Vgl. Kap. 5.1). **Sowohl aus ökologischer als auch aus fischereilicher Sicht werden daher im Kanton Aargau Besatzmassnahmen mit frühen Altersstadien heute generell als nicht sinnvoll und zielführend erachtet.** Ein Besatz mit frühen Altersstadien ist nur sinnvoll, wenn die Forelle lokal, z.B. nach einem Fischsterben, ausgestorben ist und das Gewässer nicht natürlich wiederbesiedeln kann. Dies dürfte im Kanton Aargau eher selten der Fall sein.

7.1.2 Wirkung von Verbesserungen der Umweltbedingungen

Demgegenüber ist unbestritten, dass sich Verbesserungen der Umweltbedingungen positiv auf den Forellenbestand auswirken. In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Massnahmen getroffen, um die Gewässerqualität im Kanton Aargau zu verbessern. Dazu gehören insbesondere Revitalisierungen, die Verbesserung der Wasserqualität durch den Ausbau von ARA's und die Vernetzung der Gewässer. Gerade die Wirkungskontrollen von Revitalisierungen zeigen, dass sich diese positiv auf den Forellenbestand auswirken (z.B. in der Wyna bei Gontenschwil).

Allerdings sind die Fänge der Angelfischer und vermutlich auch die Forellenbestände im Kanton Aargau und auch schweizweit im selben Zeitraum deutlich zurückgegangen. Wie kann es sein, dass die Umweltbedingungen an gewissen Orten verbessert werden und die Forellenbestände trotzdem zurückgehen? Die Analysen vom Kanton Aargau zeigen, dass der Rückgang der Fänge stark mit niedrigen Sommerabflüssen und der Erwärmung der Gewässer in

Zusammenhang zu bringen sind. Davon betroffen sind insbesondere die grossen und mittelgrossen Gewässer des Kantons. Wenn in Betracht gezogen wird, dass die Temperatur die Fischregion und damit die Aufnahmekapazität für Forellen eines Gewässers massgeblich und stark beeinflusst, kann diese Entwicklung nachvollzogen werden. Auch wenn der Klimawandel sicherlich nicht die einzige Ursache für den Forellenrückgang ist, dürfte er sicherlich ein wichtiger Treiber sein und beeinflusst zudem viele weitere Faktoren. Zu erwähnen gilt es hier noch, dass oftmals nicht alle Beeinträchtigungen berücksichtigt und behoben werden können und weitere kommen dazu (z.B. Mikroverunreinigungen, Pestizide, usw.).

Auch wenn der Kanton Aargau gegen die Klimawandel selbst nichts bewirken kann, steht ausser Frage, dass auch Forellen von Umweltmassnahmen profitieren. Idealerweise werden diese so umgesetzt, damit auch Klimabedingte Konsequenzen, wie etwa die Erwärmung der Gewässer, damit bekämpft werden.

7.1.3 Wie weiter mit Forellenbesatz im Kanton Aargau

Grundsätzlich sollte in allen Gewässern auf Forellenbesatz verzichtet werden, sofern keine Situation vorliegt, die einen Besatz erfordert. Falls ein Besatz getätigt werden soll, dann muss darauf geachtet werden, dass dieser möglichst nachhaltig erfolgt. Wir schlagen dabei für **Wiederansiedlungen vor, Translokationen von juvenilem Fisch aus nahen, ökologisch ähnlichen Gewässern vorzunehmen**, wobei maximal 50 % des Bestands entnommen werden und nur bei gutem Ausgangsbestand.

Für Ertrags- oder Kompensationsbesatz wird empfohlen, auf den Laichfischfang zu verzichten. Stattdessen sollen in der jeweiligen BWE juvenile Forellen (0+/1+) entnommen und in der Zucht zu adulten Tieren aufgezogen werden. Diese können über mehrere Jahre verwendet werden. Der Aufwand für die Aufzucht ist zwar höher, doch der Vorteil liegt in der Schonung der adulten Wildfische, deren natürliche Fortpflanzung so erhalten bleibt.

Auch beim Massfischbesatz – also dem Aussetzen fangfähiger Fische – sollte möglichst auf lokal gezüchtete Forellen zurückgegriffen werden. So könnten z.B. grosse Zuchtfische, die nicht mehr als Elterntiere verwendet werden, als Massfische dienen. Ebenso ist es möglich, deren Nachkommen zu adulten Tieren aufzuziehen und einzusetzen.

Eine gut durchgeführte Besatzmassnahme führt aber nicht zwingend zum Erfolg, weshalb der Erfolg systematisch überprüft werden sollte, um die Massnahmen weiter zu optimieren. Zudem ist bei allen Besatzmassnahmen entscheidend, die Risiken für Wildbestände zu minimieren. Das vorgestellte Vorgehen bewahrt lokale Anpassungen, begrenzt genetische Risiken und trägt zur Gesundheit der Fischbestände bei – vorausgesetzt, alle Besatzfische werden vor dem Einsatz tierärztlich untersucht.

8 Literaturverzeichnis

1. Vonlanthen, P., N. Achermann, S. Rossbacher, W. Dönni, J. Guthruf, A. Gousskov, C. Zaugg, J. Plomb, and T. Alexander. 2024. *NAWA TREND Biologie - 4. Kampagne (2023) - Fachbericht Fische*. Bundesamt Für Umwelt (BAFU). Ittigen: argeNOWA.
2. Friedl, C. 1999. *Fischrückgang in schweizerischen Fliessgewässern*. Mitteilungen Zur Fischerei Nr. 63. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
3. Staub, E., M. Blardone, M. Droz, A. Hertig, E. Meier, E. Soller, P. Steiner, and D. Zulliger. 2003. *Angelfang, Forellenbestand und Einflussgrößen: Regionalisierte Auswertung mittels GIS*. Fischnetz-Publikationen Teilprojekt-Nr. 02/03. Bern: BUWAL/EAWAG.
4. Zaugg, C., W. Dönni, R. Kaufmann, and E. Staub. 2003. *Zeitreihen von Bachforellenbeständen in repräsentativen Gewässerstrecken der Schweiz*. Bericht Im Auftrag Der BUWAL, Sektion Fischerei. Bern: BUWAL, Sektion Fischerei, Bern.
5. Linløkken, A.N., E.H. Wedul, K. Langdal, and O. Berge. 2019. Effects of brown trout (*Salmo trutta* L.) stocking and catchrelease practice on angling catches in the River South Rena in southeast Norway. *Journal of Applied Ichthyology*: 1–8. <https://doi.org/10.1111/jai.13909>.
6. Achermann, N., P. Vonlanthen, T. Kreienbühl, L. Ninck, W. Dönni, and J. Guthruf. 2025. *Erfolgskontrolle der Bewirtschaftung der Forellen im Kanton Aargau - Schlussbericht 2025*. Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr Und Umwelt Abteilung Wald, Sektion Jagd Und Fischerei, Kanton Aargau. Luzern.
7. Vonlanthen, P., T. Kreienbühl, W. Dönni, N. Achermann, and J. Guthruf. 2024. *Erfolgskontrolle der Bewirtschaftungsumstellung der Forellen in der Surb - Schlussbericht 2024*. Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr Und Umwelt Abteilung Wald, Sektion Jagd Und Fischerei. Cordast.
8. Arlinghaus, R., R. Müller, T. Rapp, and C. Wolter. 2017. *Nachhaltiges Management von Angelgewässern: Ein Praxisleitfaden*. Besatzfisch - Sozial-Ökologische Nachhaltigkeitsforschung. Berlin: IGB Leibnitz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei.
9. Fischnetz. 2004. *Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht*. Dübendorf: Trägerschaft des Projektes "Fischnetz."
10. Wasseragenda 21. 2025. *Strukturierungsmassnahmen im Wasserbau - Handbuch mit Grundlagen zu Planung, Bau und Wirkungskontrolle*. Zürich: Wasseragenda 21.
11. Elliott, J.M. 1994. *Quantitative ecology and the brown trout*. Oxford University Press.
12. Lorenzen, K. 2005. Population dynamics and potential of fisheries stock enhancement: practical theory for assessment and policy analysis. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 171–189.
13. Armstrong, J.D., P.S. Kemp, G. J. A. Kennedy, M. Ladle, and N.J. Milner. 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research* 62: 143–170.
14. BAFU (Hrsg.), N. 2024. *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer - Fische (Stand 2024)*. Umwelt Vollzug, Wasser. Bern: Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt (BAFU).
15. Huet, M. 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Revue Suisse d'Hydrologie* 11: 332–351.
16. Fierz, J. M. 2009. Einfluss von Habitatsparametern auf die Populationsstruktur und Biomasse von Bachforellen (*Salmo trutta fario*) sowie die Artenvielfalt der Fischfauna. MsC, Zürich: Universität Zürich.
17. Fausch, K.D. 1983. Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Can. J. Zool.* 62: 441–451.
18. Gorman, O. T., and J. R. Karr. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* 59: 507–515.

19. Mueller, M., J. Pander, and J. Geist. 2011. The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology* 45: 1450–1461.
20. Vonlanthen, P., N. Sarbach-Remund, and T. Kreienbühl. 2021. *Wirkungskontrolle Revitalisierung Wigger - Gewässermorphologie, Fische und Makrozoobenthos*. Auftraggeber: Kanton Aargau, Abtei-Lung Landschaft Und Gewässer Und Abteilung Gewässer Und Wald, Sektion Jagd Und Fischerei. Cordast: Aquabios GmbH.
21. Aquabios. 2016. *Mikrohabitate und Fischbestand in der Bünz - Erfolgskontrolle von Revitalisierungsmassnahmen in der Bünz*. Düringen: Auftraggeber: Kanton Aargau, Abteilung Landschaft und Gewässer und Abteilung Gewässer und Wald, Sektion Jagd und Fischerei.
22. Aquabios. 2017. *Erfolgskontrolle Revitalisierung Wyna Gontenschwil - Mikrohabitate und Fische*. Cordast: Auftraggeber: Kanton Aargau, Abteilung Landschaft und Gewässer und Abteilung Gewässer und Wald, Sektion Jagd und Fischerei.
23. Dönni, W. 2016. *Lebensraumaufwertung an der Uerke - Fischökologische Erfolgskontrolle*. Luzern: Fischwerk GmbH.
24. Küttel, S., A. Peter, and A. Wüest. 2002. *Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer*. Rhône-Thur Projekt. Kastanienbaum: EAWAG.
25. Elliott, J.M. 1981. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts. In *Stress and Fish*, 209–245. London: Academic Press.
26. Varley, M.E. 1967. *British Freshwater Fishes - Factors Affecting their Distribution*. London: Fishing News (Books) Limited.
27. Müller, R. 1997. *Vorlesungsskript Fischkunde der Schweiz*. Vorlesungsmanuskript ETH.
28. Holzer, G., A. Peter, H. Renz, and E. Staub. 2003. *Fischereiliche Bewirtschaftung heute - vom klassischen Fischbesatz zum ökologischen Fischereimanagement*. Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz». Kastanienbaum, EAWAG.
29. Tockner, K., F. Malard, and J.V. Ward. 2000. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14: 2861–1883.
30. Kondolf, G.M. 2000. Assessing Salmonid Spawning Gravel Quality. *Transactions of the American Fisheries Society* 129: 262–281.
31. Junk, W.J., P.B. Bayley, and R.E. Sparks. 1989. the Flood Pulse Concept in River - Floodplain Systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106. Proceedings of the International Large River Symposium: 110–127.
32. Unfer, G., C. Hauer, and E. Lautsch. 2011. The influence of hydrology on the recruitment of brown trout in an Alpine river, the Ybbs River, Austria. *Ecology of Freshwater Fish* 20: 438–448.
33. Schwarzenbach, R.P., T. Egli, T.B. Hofstetter, U. von Gunten, and B. Wehrli. 2010. Global Water Pollution and Human Health. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 35: 109–136.
34. Scott, G., and K.A. Sloman. 2004. The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquatic Toxicology* 68: 369–392.
35. Kidd, K.A., P.J. Blanchfield, K.H. Mills, V.P. Palace, R.E. Evans, J.M. Lazorchak, and R.W. Flick. 2007. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *PNAS* 104: 8897–8901.
36. Schäfer, R.B., T. Caquet, K. Siimes, R. Mueller, L. Lagadic, and M. Lless. 2007. Effects of pesticides on community structure and ecosystem functions in agricultural streams of three biogeographical regions in Europe. *Science of the Total Environment* 382: 272–285.
37. Steiner, P., C. Elmiger, and D. Dagani. 2020. *Berechnung von Schäden bei Fischsterben in Fliessgewässern - Grundlage und Vorgehen*. Umwelt Vollzug, Biodiversität. Bern: Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU.

38. Jungwirth, M., S. Muhar, and S. Schmutz. 2000. Fundamentals of fish ecological integrity and their relation to the extended serial discontinuity concept. *Hydrobiologia* 422/423: 85–97.
39. Northcote, T.G. 2010. Controls for trout and char migratory / resident behaviour mainly in stream systems above and below waterfalls / barriers: a multidecadal and broad geographical review. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 487–509.
40. FIBER. 2006. *PKD - Die Proliferative Nierenkrankheit*. Kastanienbaum: Schweizerische Fischereiberatung (FIBER).
41. Zimmerli, S., D. Bernet, P. Burkhardt-Holm, H. Schmidt-Posthaus, P. Vonlanthen, T. Wahli, and H. Segner. 2007. Assessment of fish health status in four Swiss rivers showing a decline of brown trout catches. *Aquatic Sciences* 69: 11–25.
42. Kennedy, GJA, and JE Greek. 1988. Predation by cormorants, *Phalacrocorax carbo* (L.), on the salmonid populations of an Irish river. *Aquaculture Research* 19. Wiley Online Library: 159–170.
43. Hydra, and BiCon. 2022. *Vorstudie für ein mögliches Kormoranmanagement am Bodensee - Einfluss des Kormorans am Bodensee auf Fischbestände, Fischarten und fischereilichen Ertrag in Relation zu anderen Wirkfaktoren als Grundlage für eine ergebnisoffene Beurteilung der Notwendigkeit eines Kormoranmanagements*. Studie Im Auftrag Des Landwirtschaftlichen Zentrum Für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild Und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW).
44. Achermann, N. 2019. Differences in survival between artificially reared and wild brown trout (*Salmo trutta*). MSc, Kastanienbaum: University of Zürich, EAWAG.
45. Vonlanthen, P., and D. Hefti. 2016. *Genetik und Fischerei - Zusammenfassung der genetischen Studien und Empfehlungen für die Bewirtschaftung*. Umwelt-Wissen Nr. 1637. Bundesamt für Umwelt.
46. BAFU. 2018. *Nachhaltiger Fischbesatz in Fliessgewässern. Rahmenbedingungen und Grundsätze*. Umwelt-Wissen Nr. 1823. Bern: Bundesamt für Umwelt.
47. Cowx, I. G. 1994. Stocking strategies. *Fisheries Management and Ecology* 1: 15–30.
48. Araki, H., B. Cooper, and M. S. Blouin. 2007. Genetic Effects of Captive Breeding Cause a Rapid, Cumulative Fitness Decline in the Wild. *Science* 318: 100–103.
49. Araki, H., B. A. Berejikian, M. Ford, and M. S. Blouin. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evolutionary Applications*: 342–355.
50. Araki, H., and C. Schmid. 2010. Is hatchery stocking a help or harm? Evidence, limitations and future directions in ecological and genetic surveys. *Aquaculture* 308: 2–11.
51. Guillerault, N., D. Hühn, J. Cucherousset, R. Arlinghaus, and C. Skov. 2018. Stocking for Pike Population Enhancement. In *Biology and Ecology of Pike*, ed. C. Skov and P. A. Nilsson. London: CRC Press.
52. Radinger, J., S. Matern, T. Kleefoth, C. Wolter, F. Feldhege, C.T. Monk, and R. Arlinghaus. 2023. Ecosystem-based management outperforms species-focused stocking for enhancing fish populations. *Science* 379: 946–951.
53. Young, K. A., C. Adams, A. Ferguson, C. Garcia de Leaniz, S. Gephard, N. Metcalfe, P. McGinnity, et al. 2014. *A scientific consensus on salmon stocking*.
54. Snyder, N. F. R., S. R. Derrickson, S. R. Beissinger, J. W. Wiley, T. B. Smith, W. D. Toone, and et al. 1996. Limitations of captive breeding in endangered species recovery. *Conservation Biology Letters* 10: 338–348.
55. Fraser, D. J. 2008. How well can captive breeding programs conserve biodiversity? A review of salmonids. *Evolutionary Applications* 1: 535–586.
56. Périat, G., P. Vonlanthen, and A. Roulin. 2023. *Fischbesatz in der Schweiz - Synthese der Erfolgskontrollen*. Umwelt Wissen. Ittigen: Bundesamt für Umwelt.

57. George, A.L., B.R. Kuhajda, J.D. Williams, M.A. Cantrell, P.L. Rakes, and J.R. Shute. 2015. Guidelines for Propagation and Translocation for Freshwater Fish Conservation. *Fisheries* 34: 529–545. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-34.11.529>.
58. Fitch, L. A. 1977. *Trout stocking in streams: A review*. Alberta: Alberta Department of Recreation, Parks, and Wildlife, Fish and Wildlife Division: Lethbridge.
59. Naeslund, I. 1998. Survival and dispersal of hatchery-reared brown trout (*Salmo trutta*) released in small streams. In *Stocking and Introduction of Fish*, ed. I. W. Cowx. Cornwall, Great Britain: Fishing News Books, Blackwell Science, Ltd. MPG Books, Ltd. Bodmin.
60. Arlinghaus, R., E.M. Cyrus, E. Eschbach, M. Fujitani, D. Hühn, F. Johnston, T. Pagel, and C. Riepe. 2015. *Hand in Hand für eine nachhaltige Angelfischerei - Ergebnisse und Empfehlungen aus fünf Jahren praxisorientierter Forschung zu Fischbesatz und seinen Alternativen*. Besatzfisch - Sozial-Ökologische Nachhaltigkeitsforschung. IGB Leibnitz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei.
61. Petrosky, C.E., and T.C. Bjornn. 1988. Response of Wild Rainbow (*Salmo gairdneri*) and Cutthroat Trout (*S. clarki*) to Stocked Rainbow Trout in Fertile and Infertile Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45: 2087–2105.
62. Vincent, E.R. 1987. Effects of Stocking Catchable-Size Hatchery Rainbow Trout on Two Wild Trout Species in the Madison River and O'Dell Creek, Montana. *North American Journal of Fisheries Management* 7: 91–105.
63. Huet, M. 1994. The evaluation of the fish productivity in fresh waters (The coefficient of productivity k). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*: 524–528.
64. Schweizer, H. U., H. Roth, and E. Staub. 1985. Berechnung der Schäden bei Fischsterben in Fliessgewässern. *Schriftenreihe Fischerei* 44: 1–62.
65. Vuille, T. 1997. *Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern*. Bern: Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern.
66. Baer, J., V. George, S. Hanfland, R. Lemcke, L. Meyer, and S. Zahn. 2007. *Gute fachliche Praxis fischereilicher Besatzmaßnahmen*. , Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V.
67. Wyley, R. W., R. A. Whaley, J. B. Satake, and M. Fowden. 1993. Assessment of stocking hatchery trout: A Wyoming perspective. *North American Journal of Fisheries Management* 13: 160–170.
68. Wang, S., J.J. Hard, and F. Utter. 2002. Genetic variation and fitness in salmonids. *Conservation Genetics* 3: 321–333.
69. Epifanio, J.M., and R.S. Waples. 2015. Artificial propagation of freshwater fishes: benefits and risks to recipient ecosystems from stocking, translocation and re-introduction. In *Conservation of Freshwater Fishes*, 399–436. Cambridge: Cambridge University Press.
70. Schindler, D.E., Hilborn, R., Chasco, B., Boatright, C.P., Quinn, T.P., Rogers, L.A., Webster, M.S. 2010. Population diversity and the portfolio effect in an exploited species. *Nature* 465: 609–612.
71. Ford, M.J. 2002. Selection in Captivity during Supportive Breeding May Reduce Fitness in the Wild. *Conservation Biology* 16: 815–825.
72. McGinnity, P., P. Prodöhl, A. Ferguson, R. Hynes, N. Maoiléidigh, N. Baker, D. Cotter, et al. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 270: 2443–2450.
73. Vincent, E. R. 1960. Some influences of domestication upon three stocks of brook trout (*Salvelinus fontinalis* Mitchell). *Transactions of the American Fisheries Society* 89: 35–52.

74. Pinter, K., G. Unfer, B. Lundsgaard-Hansen, and S. Weiss. 2017. Besatzwirtschaft in Österreich und mögliche Effekte auf die innerartliche Vielfalt der Bachforellen. *Österreichs Fischerei* 70: 15–33.
75. Eby, L.A., W.J. Roach, L.B. Crowder, and J.A. Stanford. 2006. Effects of stocking-up freshwater food webs. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 576–584.
76. Alvarez, D., and A.G. Nicieza. 2003. Predator avoidance behaviour in wild and hatchery-reared brown trout: the role of experience and domestication. *Journal of Fish Biology* 63: 1565–1577.
77. Kreienbühl, T., and P. Vonlanthen. 2017. *Schalchmatthaubächli - Abwanderung von Forellen (Salmo trutta) aus einem Seitengewässer*. Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr Und Umwelt, Sektion Jagd Und Fischerei, Kanton Aargau. Thun: ECQUA.
78. Kreienbühl, T., P. Vonlanthen, L. Hoppler, and M. Breitenstein. *Inventar der Laichgebiete der Forellen in den kleinen Fliessgewässern des Kantons Aargau*. Auftraggeber: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr Und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd Und Fischerei, Aarau. Aquabios GmbH. ECQUA, WFN AG.
79. Largiader, C. R., and D. Hefti. 2002. *Genetische Aspekte des Schutzes und der nachhaltigen Bewirtschaftung von Fischarten*. MITTEILUNGEN ZUR FISCHEREI NR. 73. Bern: Bundesamt für Umwelt.
80. Schmidt-Posthaus, H. 2024. *Sind Besatzmassnahmen in PKD-positiven Gewässerabschnitten nötig oder kontraindiziert? - Untersuchungen zu Bachforellenbestand, PKD Prävalenz und Ausprägung im Zusammenhang mit Befischungsdruck sowie Habitat- und Umweltparametern - Zwischenbericht 2024*. Auftraggeber: Bundesamt Für Umwelt (BAFU), Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften. Bern: Institut für Fisch- und Wildtiergesundheit (FIWI).
81. Saura Martinez. 2025. Are Wild and Farm Brown Trout alike? Exploration of Environmental factors, Immunity, and Population Dynamics in the Context of Proliferative Kidney Disease. Doctor of Veterinary Medicine and Philosophy (DVM, PhD), Bern: Vetsuisse Faculty of the University of Bern.
82. Schmidt-Posthaus, H. 2020. *Einfluss von Besatzmassnahmen auf PKD (Proliferative Nierenerkrankung) - Ergebnisse der Untersuchungen 2019*. Auftraggeber: Bundesamt Für Umwelt (BAFU). Bern: FIWI.
83. Vonlanthen, P., T. Kreienbühl, and C. Schmid. 2017. *Populationsgenetische Untersuchung der Forellen im Kanton Aargau*. Cordast: Aquabios GmbH.