

Morphometrische Vermessung von Fischen zur Ermittlung des Phänotyps an ausgewählten Beispielen

PAUL JÄGER

Salzburger Landesregierung, Referat 13/04 Gewässerschutz,
Ulrich-Schreier-Straße 34, A-5020 Salzburg

VERENA GERERER, NICOLE BAYRHAMMER

Institut für Organismische Biologie, Universität Salzburg,
Hellbrunner Straße 34, A-5020 Salzburg

Abstract

The morphometric measurement of fishes is a suitable tool for phenotypological investigations of fishes.

An applied purpose of the morphometric characteristics of different fish species is the dimensioning of passages in fish migration facilities and the determination of necessary water depths in pessimal runs in natural and artificial headwater segments by the residual flow assessment.

Additional informations like habitat preferences and food situation by growth rate, maturity, spawning seasons and spawning behaviour can separate fish populations as ecological phenotypes whose genetic differentiation from the common clade has not occurred yet.

Genetic investigations can clear questions for population-ecological characterisations of fish populations in supplement to the phenologic investigations if these populations are ecological phenotypes of the same genetic form or if they already show a genetic differentiation.

Furthermore it is possible to distinguish autochthonous fish populations from breeding forms or from original autochthonous forms influenced by introduced allochthonous forms.

Einführung

Die morphometrische Vermessung von Fischen wurde in Österreich erstmals von Honsig-Erlenburg (1980) an Saiblingen zur Unterscheidung der verschiedenen Populationen über den Phänotyp im Hallstätter See durchgeführt. Zur Ergänzung von genetischen Untersuchungen an Äschen, Bachforellen und Saiblingen wird diese Vermessungsmethode seit 2001 in Salzburg angewandt, um bei verschiedenen Fischarten mögliche Korrelationen des Genotyps zum Phänotyp bei verschiedenen Populationen derselben Art zu erkennen.

Veröffentlicht wurden die ersten Ergebnisse zum Phänotyp von Bach- und Seeforellen von Lahnsteiner et al. (2003) in *Österreichs Fischerei*. Die Autoren konnten eindeutig Bachforellentämme aus dem 19. Jahrhundert (Museumsfische) von Wildpopulationen aus heutiger Zeit unterscheiden. Ganz eigene Körpermaße haben wiederum Bachforellenpopulationen aus Fischzuchten. Nach Ansicht der Autoren spiegeln sich in diesen verschiedenen Körpermaßen die verschiedenen Umwelt- und Ernährungsbedingungen der Forellenpopulationen wider. Dieser

Trend wird auch mit der Studie Gfrerer (in Druck) bestätigt, welche Wildpopulationen von Bachforellen in verschiedenen Hochgebirgsbächen Salzburgs sowie Fische aus diversen Zuchten phäno- und genotypisch untersucht hat. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zusätzlich die phänotypologische Charakteristik von Hechten aus dem Wallersee untersucht, in welchem Hechte verschiedener Wuchsformen, die zu verschiedenen Zeiten im Frühjahr ablaichen, beobachtet werden konnten. Grund der Annahme ist der Besatz von Hechten aus dem Attersee in den 1960er Jahren. Hier stellte sich vor allem die Frage eines phänologischen Unterschiedes zwischen einstigen Besatzfischen und autochthonen Wallerseehechten.

Die phänotypologische Untersuchung in Kombination mit dem Genotyp bietet weiters die Möglichkeit, verschiedene Ausprägungen derselben genetischen Stammform als Ökophänotypen zu beschreiben oder die bereits genetische Manifestation des jeweiligen Phänotyps zu erkennen. Der Ökophänotyp beschreibt im Gegensatz zu dem Ökotypen eine nicht-genetische Veränderung der sichtbaren Merkmale eines Organismus, die auf eine bestimmte Umweltbedingung zurückgeführt werden kann (Townsend et al., 2003).

Bei der Klärung der Frage der Dimensionierung von Fischwanderhilfen werden immer Maße der größenbestimmenden Fischarten benötigt, die auch aus der Fachliteratur nur über Expertenschätzungen bekannt sind (Jäger et al., 2009).

Auch für die Ermittlung des notwendigen ökologischen Abflusses in Restwasserstrecken sind morphometrische Daten der größenbestimmenden Fischarten in den jeweiligen Gewässerregionen für eine realistische Habitatmodellierung ebenfalls von großer Bedeutung (Jäger et al., 2009).

Im morphometrischen Vermessungssatz des Landes Salzburg wurde als Breitenmaß für die Fische bislang nur die Kopfbreite am Ende des Schädelknochens gemessen. Dieses Maß gilt sicher für viele Fischarten als ausreichend. Einige Fischarten weichen aufgrund ihres Körperbaus jedoch deutlich vom Einheitsfisch nach von Honsig-Erlenburg (1980) ab. Im Zuge der Vermessung konnten zwei weitere Phänotypen, die sich hinsichtlich ihrer größten vertikalen und horizontalen Ausdehnung vom Modellfisch unterscheiden, festgemacht werden.

Ergänzend zu den morphometrischen Daten ist das Körpergewicht der Fische zu erheben, um weitere Korrelationen zu den morphometrischen Daten zu gewinnen.

Die phänotypologische Vermessung von Fischen sollte für eine statistisch abgesicherte Auswertung nachstehender Methodik folgen.

2. Methodik

2.1 Methodik zur Ermittlung von morphometrischen Kenngrößen für Fischpopulationen

Analog zur genetischen Erfassung von Fischpopulationen der gleichen Art sollten, wenn möglich, mindestens 30 Fische verschiedener Größen vermessen werden. Um subjektiv bedingte Messfehler auszuschließen, sollten die Vermessungen einer Population von derselben Person durchgeführt werden. Zur Messung der seitlichen Körpermaße werden Lineal, eine Messhalbschale bzw. ein technischer Messschieber mit einer Mindestgenauigkeit von 1 mm bzw. ein Maßstab ebenfalls mit Millimeter-Einteilung verwendet. Die Körperbreite, gemessen am Ansatz der Rückenflosse, ist mit einer größeren Schublehre (z. B. Werkzeugmacher-Schieblehre Form B) am betäubten, toten oder im Wasser schwimmenden Fisch zu messen.

Die Lage der Vermessungsstrecken mit Ausnahme der Nummern 2a, 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28 und 30 ist in der folgenden Zeichnung schematisch dargestellt (Abb. 2).

2.2 Eingeschränkter Vermessungsumfang

1. Morphometriedaten für die Größenbestimmung von Schlitzbreite und Wasserpolstermächtigkeit von Fischeaufstiegshilfen

- 1 Körperlänge bis Schwanzwurzel
- 2 Körperhöhe Ansatz Rückenflosse
- 2a Körperhöhe bei größter Körperbreite*
- 4 Kopfbreite Ende Schädelknochen

- 14 Länge der Schwanzflosse
- 27 Körperbreite schwimmend über Körperhöhe
- 28 Totallänge mit zusammengelegter Schwanzflosse
- 29 Körpergewicht in Gramm
- 30 Abstand Oberlippe bis größte Körperbreite*

* Bei Fischen, deren Körperform nicht dem Modellfisch entspricht, z. B. beim Hecht, ist die Körperhöhe (2a) im Bereich der größten Körperbreite (27) zu messen. Ergänzend dazu muss als weiterer Längenparameter der Abstand Oberlippe bis größte Körperbreite gemessen werden.

2. Morphometriedaten bei der Fischvermessung von Fischfängen aus Befischungen

- 28 Totallänge mit zusammengelegter Schwanzflosse
- 2 Körperhöhe Ansatz Rückenflosse
- 4 Kopfbreite Ende Schädelknochen
- 29 Körpergewicht in Gramm

Zusätzlich bei Fischen über 70 cm Totallänge:

- 27 Körperbreite schwimmend über Körperhöhe (2) bzw. über 2a und 30

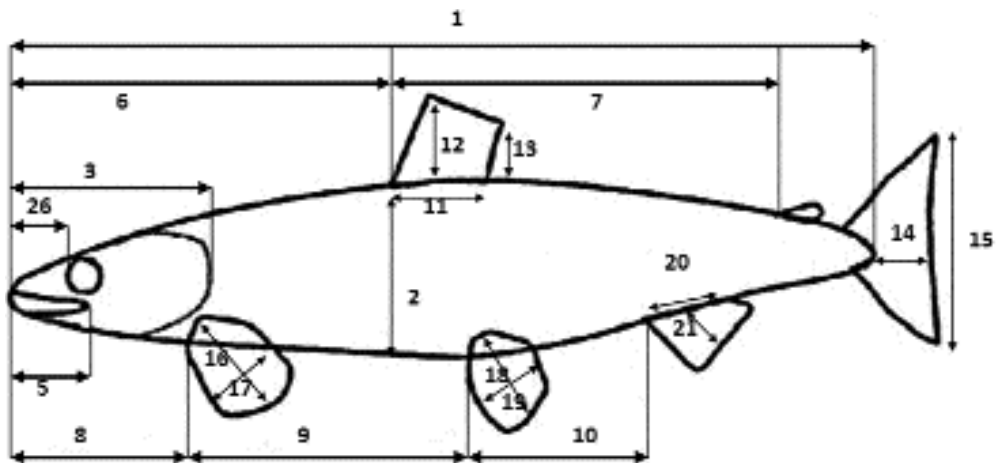


Abb.1: Phänotypologischer Datensatz nach Jäger (2009b)

- | | |
|--|---|
| 1 Standardlänge (<i>Standard length</i>) | 14/15 Länge/Breite Schwanzflosse |
| 2a Körperhöhe bei größter Körperbreite* | 16/17 Breite/Länge Brustflosse |
| 2 Körperhöhe Ansatz Rückenflosse | 18/19 Breite/Länge Bauchflosse |
| 3 Kopflänge bis Ende Kiemendeckel | 20/21 Breite/Länge Afterflosse |
| 4 Kopfbreite Ende Schädelknochen | 22 Länge der Fettflosse |
| 5 Länge des Mundspalts | 23 Breite der Fettflosse beim Knick |
| 6 Abstand Kopfspitze - Rückenflosse | 24 Augendurchmesser |
| 7 Abstand Rückenflosse - Fettflosse | 25 Abstand Mundspalte bis unterer Augenrand |
| 8 Abstand Kopfspitze - Brustflosse | 26 Abstand Oberlippe bis vorderer Augenrand |
| 9 Abstand Brustflosse - Bauchflosse | 27 Körperbreite schwimmend über Körperhöhe |
| 10 Abstand Bauchflosse - Afterflosse | 28 Totallänge (<i>Total length</i>) |
| 11 Länge der Rückenflosse | 29 Körpergewicht in Gramm |
| 12/13 v/h Höhen der Rückenflosse | 30 Abstand Oberlippe bis größte Körperbreite* |

* Bei Fischen, deren Körperform nicht dem Modellfisch entspricht, ist die Körperhöhe (2a) im Bereich der größten Körperbreite (27) zu messen. Ergänzend dazu muss der Abstand Oberlippe bis größte Körperbreite gemessen werden (siehe Bsp. Hecht).

2.3 Fischarten im Hinblick auf die zu vermessenden Parameter

Grundsätzlich können die Fischarten in drei Gruppen eingeteilt werden, bei denen sich die Parameter größte Körperhöhe bzw. -breite unterscheiden. Die übrigen Parameter sind gemäß dem Modellfisch zu erheben (Abb. 1).

Für alle Salmoniden, Aalrutten, Welse und Brachsen gelten entsprechend dem Modellfisch (siehe Abb. 1):

- Größte Körperhöhe = Ansatz Rückenflosse
- Größte Körperbreite = Kopfbreite Ende Schädelknochen
- Am Beispiel des Huchen (Abb. 2)

Für Aiteln und Äschen gelten:

- Größte Körperhöhe (KH) = im Bereich der Rückenflosse
- Größte Körperbreite (KB) = Körperbreite über größter Körperhöhe
- Am Beispiel der Äsche (Abb. 3)

Für den Hecht (Abb. 4) gilt:

- Größte Körperhöhe (KH) = im Bereich der Bauchflosse
- Größte Körperbreite (KB) = Körperbreite über größter Körperhöhe

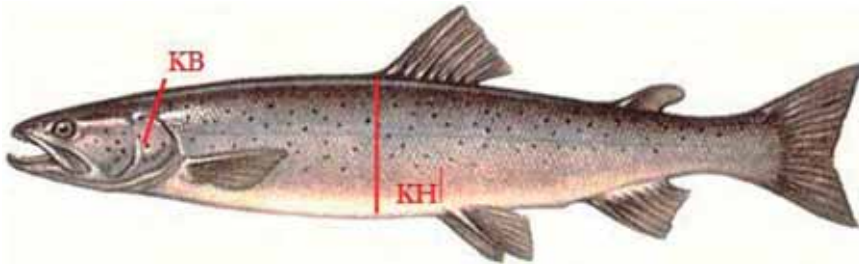


Abb. 2: Huchen (*Hucho hucho* L.); Auszug aus dem Vermessungsschema (aus Gfrerer und Bayrhammer, 2009)

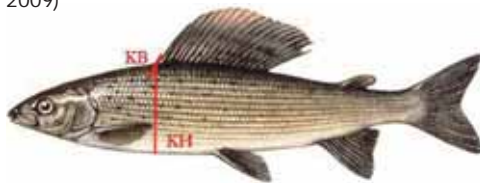


Abb. 3: Äsche (*Thymallus thymallus* L.); Auszug aus dem Vermessungsschema (aus Gfrerer und Bayrhammer, 2009)



Abb. 4: Hecht (*Esox lucius* L.); Auszug aus dem Vermessungsschema (aus Gfrerer und Bayrhammer, 2009)

2.4 Statistische Auswertung nach Lahnsteiner et al. (2003)

A

Um die Fische verschiedener Körpergrößen einer Population vergleichen zu können, werden die Messparameter nach folgender Formel zum Einheitsfisch berechnet:

$$\text{Transformierter Messparameter} = \frac{\text{Messparameter}}{\text{Totallänge}} \times 100$$

Mit dieser Formel lassen sich die Werte auf jede Fischlänge umrechnen. In Gfrerer und Bayrhammer (2009) ist dieses Umrechnungsverfahren für standardisierte Fischlängen zur Ermittlung von Parametern für die Konstruktion von Fischwanderhilfen angewendet worden. Damit konnte ein realistisches Rechenverfahren zur Errechnung von Körpermaßen hinsichtlich der gewünschten Fischlängen erlangt werden.

Verwertet man auch andere Kennzeichen wie zum Beispiel Farbpunkte statistisch, so kann man sie ebenfalls nach dieser Formel auf den Einheitsfisch transformieren.

B

Mittelwertvergleiche werden im SPSS-PC+ Programm mittels ANOVA (Varianzanalyse sowie Post-Hock-Tests) durchgeführt. Wenn der direkte Parametervergleich zwischen Populationen Ziel der Untersuchungen ist, wird eine Diskriminanz- und/oder Faktorenanalyse durchgeführt.

Zusätzlich kann zuvor eine Clusteranalyse zur Ermittlung von phänologischen Zugehörigkeiten angewandt werden.

Um die Unterschiedlichkeit aller Messparameter und damit des Phänotyps von zwei Populationen bestimmen zu können, wird folgende Berechnung angewandt: Für zwei zu vergleichende Populationen werden die Mittelwerte der jeweiligen Messparameter gebildet. Die Differenzen der Mittelwerte werden als absoluter Betrag summiert. Dieser Betrag ist der Variationswert, er ist dimensionslos. Je größer der Variationswert, umso weiter ist der Unterschied zwischen den untersuchten Populationen.

$$V = |(mP1a - mP1b)| + \dots + |(mP28a - mP28b)|$$

V Variationswert P1a Messparameter 1 von Population a
m Mittelwert P28b Messparameter 28 von Population b

Aus der Verrechnung morphometrischer Daten mit dem Körpergewicht lassen sich der Konditionsfaktor nach Fulton (Bagenal, 1978) sowie weitere Korrelationen ermitteln.

2.5 Konstruktion des Phänotyps

Die Konstruktion des Phänotyps des Fischkörpers kann z. B. im Corel-Draw-Zeichenprogramm durchgeführt werden. Die Bauteile des Fischkörpers können mit den Messpunkten über entsprechende Formen im Programm schematisiert und definiert werden. Das Computerprogramm ermöglicht die proportionale und die nicht-proportionale Größenveränderung der einzelnen Bauteile sowie die Positionsveränderung der Bauteile zueinander. Daraus kann der Phänotyp jeder Population individuell konstruiert werden.

Beispiele für eine derartige Rekonstruktion des Fischkörpers anhand der phänotypologischen Vermessungen finden sich in Lahnsteiner et al. (2003).

3. Beispiele der Verwendung phänotypologischer Vermessungen von Fischen

3.1 Ermittlung morphometrischen Daten der für Fischwanderhilfen und Restwasserstrecken größtenbestimmenden Fischarten in Österreich (Auszug aus Gfrerer und Bayhammer, 2009)

Im Rahmen eines mehrwöchigen Programms wurden 11 heimische Fischarten (Bachforelle, Äsche, Aitel, Aalrutte, Barbe, Brachse, Hecht, Wels, Huchen, Seeforelle und Perlfisch), die repräsentativ für die in Salzburg vorkommenden Fischregionen vorgestellt werden, morphometrisch vermessen. Einzig für den Perlfisch wurden bereits erhobene Daten aus Schrempf (2006) verwendet. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der wichtigsten Parameter zu entnehmen. Vergleichend wurden die Werte der Bachforelle aus Zuchtpopulationen und Wildpopulationen angeführt. Zusätzlich konnten zwei verschiedene Äschenstämme (Salza vs. Salzach) für die Vermessung herangezogen werden. Die Abbildung 5 zeigt die Vermessung einer Brachse (Körperhöhe).

Die Fischlängen der in Tab. 1 aufgeführten Fischarten wurden nach eingehender Diskussion und der Analyse bestehender Wanderdaten unter Einbeziehung reproduktionsbiologischer Kriterien (Alter und Länge bei Laichreife, mehrmaliges Abläichen möglich ...) festgelegt. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass die Wanderung für den Großteil der wanderwilligen Individuen und Altersstadien (ab 1+) der Leitfischarten und Begleitfischarten entsprechend der aktuellen gewässertypspezifischen Leitbilder nach dem »Leitfaden für die Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil A1 – Fische«, sichergestellt ist. Die Größen der Fische wurden dementsprechend so definiert, dass davon ausgegangen werden kann, dass die danach bemessene FAH mit hoher



Abb. 5: Vermessung der Körperhöhe einer Brachse

Wahrscheinlichkeit bestmöglich zu Erreichung und Erhalt des guten ökologischen Zustandes gemäß WRRL beiträgt.

Tab. 1: Mittelwerte und Standardabweichung der standardisierten morphometrischen Parameter Körperbreite und Körperhöhe für 11 Fischarten des Landes Salzburg

Transformierte Parameter inkl. Standardabweichung (in cm) und Konditionsfaktor (KF)					
Fischart	N	Länge	Höhe	Breite	KF
Bachforelle wild	15	30	5,8 ± 0,4	2,9 ± 0,2	1,1
Bachforelle Zucht	6	30	6 ± 0,4	3,7 ± 0,1	1,1
Bachforelle wild	15	40	7,7 ± 0,5	3,8 ± 0,3	
Bachforelle Zucht	6	40	8 ± 0,5	5 ± 0,2	
Bachforelle wild	15	50	9,7 ± 0,6	4,8 ± 0,4	
Bachforelle Zucht	6	50	10 ± 0,6	6,2 ± 0,2	
Äsche Salzach	23	40	7,6 ± 0,7	4,2 ± 0,5	
Äsche Salzach	23	50	9,5 ± 0,8	5,2 ± 0,6	
Äsche Salza	10	40	8,9 ± 0,6	4,5 ± 0,3	
Äsche Salza	10	50	11,1 ± 0,7	5,7 ± 0,4	
Aitel	10	40	8,4 ± 0,6	4,9 ± 0,2	1,1
Aitel	10	50	10,5 ± 0,7	6,1 ± 0,3	
Aalrutte	10	60	7,4 ± 1,2	7,6 ± 0,6	0,6
Aalrutte	10	70	8,6 ± 1,4	8,7 ± 0,5	
Barbe	1	60	10,5	6,5	
Huchen	30	80	13,1 ± 1,6	9,6 ± 0,8	1,1
Huchen	30	100	16,4 ± 1,9	12,0 ± 1	
Huchen	30	120	19,5 ± 2,3	14,2 ± 1,2	
Seeforelle	12	90	18,5 ± 2,2	10,9 ± 0,4	1
Seeforelle	12	100	20,6 ± 2,6	12,1 ± 0,4	
Hecht	57	60	8,6 ± 0,8	5,7 ± 0,6	0,6
Hecht	57	90	12,4 ± 1,2	8,3 ± 1	
Hecht	57	100	14,3 ± 1,4	9,5 ± 1	
Brachse	10	40	12 ± 0,5	3,9 ± 0,1	1
Brachse	10	50	15 ± 0,7	4,9 ± 0,2	
Brachse	10	60	18 ± 0,8	5,9 ± 0,2	
Wels	8	100	15,5 ± 0,9	14,6 ± 0,8	0,7
Wels	8	120	18,9 ± 1,1	17,5 ± 0,9	
Wels	8	150	23,3 ± 1,4	21,9 ± 1,1	
Wels	8	200	31 ± 1,9	29,2 ± 1,4	
Perlfisch	20	70	12,6 ± 0,6	6,7 ± 0,3	
Perlfisch	20	90	16,2 ± 0,8	8,6 ± 0,4	

3.2 Unterscheidung des Phänotyps bei Äschenpopulationen (Auszug aus Gfrerer und Bayrhammer, 2009)

Bei der Ermittlung morphometrischer Daten für Fischwanderhilfen wurden zwei verschiedene Äschen-Stämme herangezogen. Dabei wurde der eingeschränkte Messumfang verwendet. Die Äschen stammen einerseits aus der Salza, welche dankenswerterweise von Prof. Jungwirth zur Verfügung gestellt wurden, und andererseits aus der Salzach (Fischereiverein Hallein). Die

Auswertung der erhobenen Daten zeigte, dass sich die zwei Populationen in den Maßen Schwanzlänge, Körperhöhe, Kopfbreite und Körperbreite signifikant unterscheiden (Tab. 2). Die Mittelwerte der Salza-Äschen liegen ebenso wie die gesamten Werte über den Messdaten bzw. den Mittelwerten der Salzach-Äschen.

Tab. 2: **Mittelwerte und Standardabweichung der standardisierten morphometrischen Parameter der vermessenen Äschen aus der Salza und der Salzach** (Ursprungswerte in [cm])

Parameter	Herkunft	N	Mittelwert	Std.Abweichung	Minimum	Maximum
Schwanzlänge	Salza	10	5,6	0,3	5,24	6,16
	Salzach	23	4,82	0,47	3,91	5,99
Körperhöhe	Salza	10	22,13	1,46	19,07	23,85
	Salzach	23	18,93	1,67	16,09	22,59
Kopfbreite	Salza	10	10,01	0,83	8,84	11,28
	Salzach	23	9,06	0,76	7,64	10,71
Körperbreite	Salza	10	11,35	0,87	10	12,86
	Salzach	23	10,39	1,22	8,51	13,2

Die Abbildungen 6 und 7 veranschaulichen die Zusammenhänge Körperhöhe sowie Körperbreite. Der stark abweichende Korrelationskoeffizient bei den Salza-Äschen ($R^2 = 0,3113$ und $0,111$) lässt sich durch die schwierigen Messbedingungen begründen. Die Salza-Äschen wurden nämlich bei der Vermessung nicht betäubt. Bei den Mittelwerten wurde zusätzlich eine Differenzierung zwischen männlichen und weiblichen Tieren durchgeführt, da sich die Äschen zur Zeit der Vermessung in ihrer reproduktiven Phase befanden.

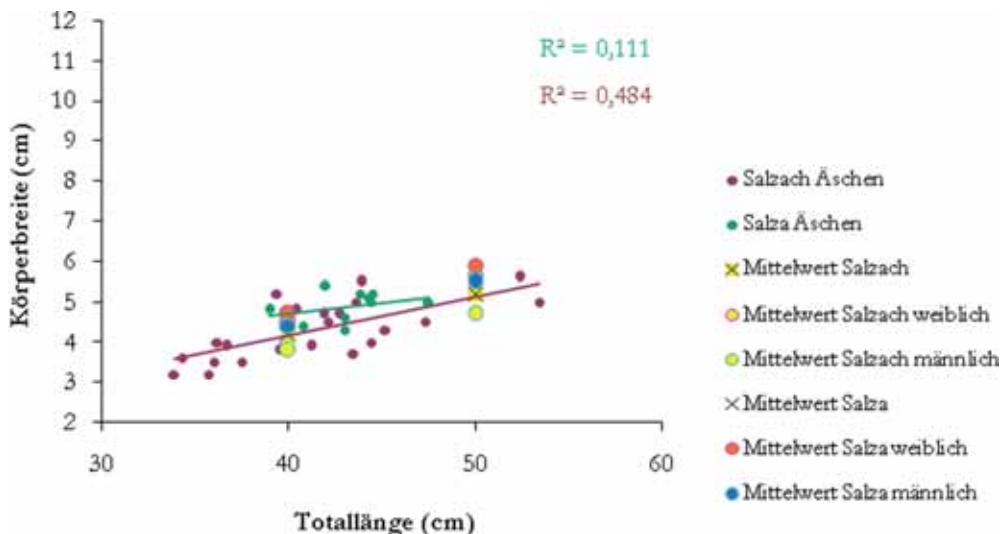


Abb. 6: Zusammenhang Körperbreite–Totallänge, Unterscheidung Salza- und Salzach-Äschen

Der phänotypische Unterschied ist bei der Körperhöhe noch deutlicher ausgeprägt zwischen Salzach- und Salza-Äschen (Abb. 7). Hier ist keine Überlappung der Mittelwerte zwischen Salza- und Salzach-Äschen mehr festzustellen. Die Salza-Äschen waren deutlich hochrückiger als die der Salzach.

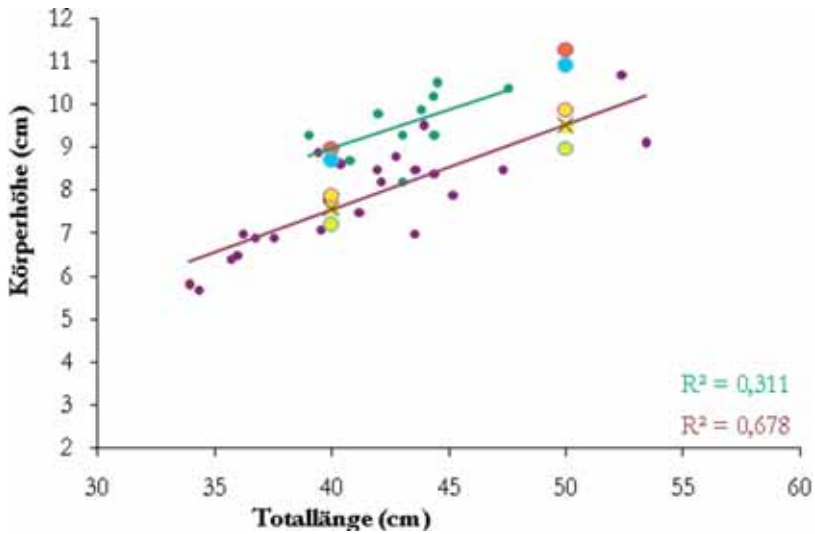


Abb. 7: Zusammenhang Totallänge–Körperhöhe, Unterscheidung Salza- und Salzach-Äschen

3.3 Unterscheidung des Phänotyps bei Hechten aus dem Wallersee

Bei den Hechten handelt es sich um Netzfänge aus dem Wallersee (Abb. 9), welche während der Laichzeit gefangen wurden (Fischzucht Kapeller, März–April 2009). Es besteht die Möglichkeit der Einkreuzung anderer Hechtstämme in die ursprüngliche Wallersee population mit Besatzfischen, unter anderem aus dem Attersee (mündliche Mitteilung Chr. Kapeller sen.).



Abb. 9: Untersuchungsgebiet Wallersee; rot markiert. Quelle: SAGIS & Google Earth

Abbildung 8 zeigt zwei mögliche Phänotypen. Bei den beiden Individuen handelte es sich um mit Eiern gefüllte Rogner. Individuum A hatte eine Länge von 77,2 cm, B eine Länge von 71,4 cm.

Die Laichzeiten der Hechte im Wallersee haben sich an die Frühjahrsschneeschmelze mit höheren Wasserständen und dadurch optimal verfügbaren Laicharealen im Einzugsgebiet des Sees im März angepasst.

Die Besatzhechte stammen aus dem Attersee, in welchem die höheren Frühjahrswasserstände aus der Schneeschmelze etwa einen Monat später auftreten.



Abb. 8: Zwei verschiedene Hechte aus dem Wallersee

Durch Vermessung der Hechte zu unterschiedlichen Zeitperioden sollte der Nachweis der Einkreuzung geliefert werden. Insgesamt konnten 73 Individuen mittels des gesamten Messumfanges vermessen werden. Dabei wurden die Hechte nach ihren Befischungs- bzw. Laichzeiträumen in drei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe (ZR 1) wurde vom 15. bis 30. März 2009, die zweite Gruppe (ZR 2) vom 1. bis 15. April 2009 und die dritte Gruppe (ZR 3) vom 16. April bis zum Ende der Laichzeit (Anfang Mai 2009) eingeteilt. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind aus Platzgründen nicht angeführt. Die wesentlichen Aussagen sind über den Bonferroni-Mehrheitsvergleich sowie der Diskriminanzanalyse zu entnehmen.

Ein multipler Parametervergleich gibt Aufschluss über Unterschiede der einzelnen Parameter. Der Bonferroni-Mehrfachvergleich zeigt signifikante Unterschiede bei Körperbreite, Abstand Kopfspitze–Körperhöhe, Abstand Kopfspitze–Brustflosse, Höhe Rückenflosse vorne, Breite Brustflosse, Breite Bauchflosse und Kopfspitze Auge (Tab. 3).

Tab. 3: **Signifikante Unterschiede mittels Bonferroni-Mehrfachvergleichs innerhalb der drei Zeiträume** (die mittlere Differenz ist auf der Stufe 0,05 signifikant)

Parameter	ZR1–ZR2	ZR1–ZR3	ZR3–ZR2
Körperbreite			0,042
Kopfspitze–Körperhöhe	0,032		
Kopfspitze–Brustflosse		0,000	0,014
Rückenflosse vorne	0,000	0,026	0,077
Brustflosse Breite	0,041	0,000	
Bauchflosse Breite		0,022	
Kopfspitze–Auge		0,026	

Die Gruppenzugehörigkeits-Klassifikation, die mittels Diskriminanzanalyse erzeugt wird, gibt Aufschluss über die Vorhersagbarkeit einzelner Individuen und ihre Gruppenzugehörigkeit. Mit einer 83,8%igen Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit ist die Einteilung in die 3 Gruppen statistisch untermauert. Lediglich die Gruppe ZR 2 gruppiert sich zu je 15,4% zu den beiden anderen Gruppen. Das spricht für eine morphometrische Übergangsform zwischen ZR 1 und ZR 3 (Tab. 4).

Tab. 4: **Zugehörigkeiten aus der Group-Membership-Klassifikation**
83,8 % sind korrekt klassifiziert

		GruppenID	Predicted Group Membership			Total
			ZR1	ZR2	ZR3	
Original	Count	ZR1	21	2	0	23
		ZR2	4	18	4	26
		ZR3	0	2	23	13
	%	ZR1	91,3	8,7	0	100
		ZR2	15,4	69,2	15,4	100
		ZR3	0	8	92	100

Tab. 5: **Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktion aus der kanonischen Diskriminanzanalyse unter Verwendung der 26 vermessenen Parameter**

	Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten	% der Varianz	Wilks' Lamda	Sig.
F1	$1,233x_1 - 0,362x_2 + 0,449x_3 - 0,568x_4 + 0,017x_5 - 1,055x_6 - 0,634x_7 - 0,069x_8 - 0,065x_9 + 0,744x_{10} + 0,596x_{11} - 0,067x_{12} - 0,698x_{13} + 0,446x_{14} + 0,134x_{15} + 0,168x_{16} + 0,538x_{17} + 0,632x_{18} + 0,035x_{19} + 0,236x_{20} + 0,526x_{21} - 0,366x_{22} + 0,013x_{23} - 0,355x_{24} + 0,292x_{25} + 0,822x_{26}$	62,4	0,086	0,000
F2	$0,679x_1 - 0,573x_2 + 0,405x_3 + 0,055x_4 + 0,517x_5 - 0,332x_6 - 0,554x_7 + 0,34x_8 + 0,272x_9 - 0,363x_{10} + 0,161x_{11} - 0,268x_{12} - 0,278x_{13} + 0,778x_{14} + 0,09x_{15} - 0,043x_{16} + 0,48x_{17} - 0,253x_{18} + 0,205x_{19} - 0,162x_{20} + 0,951x_{21} - 0,022x_{22} - 1,006x_{23} + 0,318x_{24} + 0,033x_{25} + 0,161x_{26}$	37,6	0,351	0,000

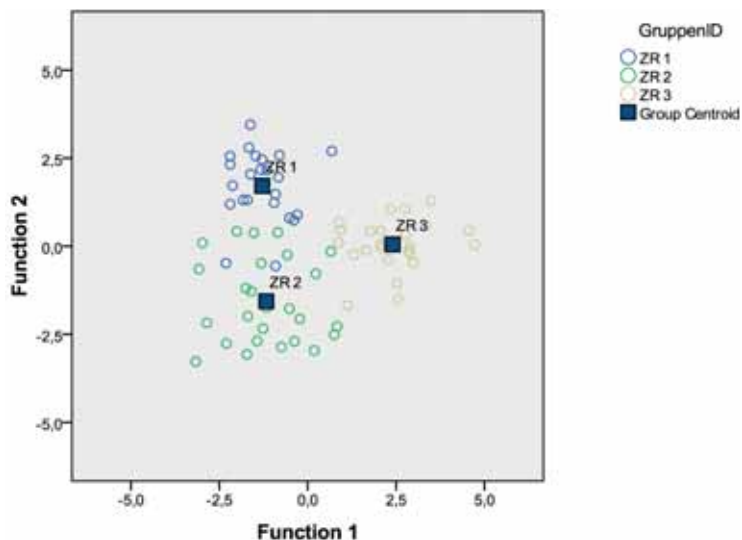


Abb. 10: Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktion inklusive der Gruppenzentroiden

Aus der Diskriminanzanalyse ergaben sich zwei kanonische Diskriminanzfunktionen (Tab. 5). Diese zeigen 100% der Gesamtvarianz. Die grafische Darstellung der kanonischen Diskriminanzfunktionen ist in Abb. 10 dargestellt. Aus der Darstellung geht hervor, dass sich die Gruppen ZR 1 und ZR 3 voneinander unterscheiden, die Gruppe ZR 2 sich beiden Gruppen annähert.

3.4 Phänotypologischer Vergleich von 3 Bachforellenpopulationen aus Salzburgs Gebirgsbächen, genotypische Absicherung

Im Sommer und Herbst 2008 wurden im Zuge einer Diplomarbeit vier verschiedene Bachforellenpopulationen im Land Salzburg sowie weitere Zuchtformen morphometrisch vermessen und genetisch analysiert. Die genetischen Analysen sind von Herrn Dr. Steven Weiss vom Institut Zoologie der Universität Graz durchgeführt worden. Die Vermessung stand im Zusam-

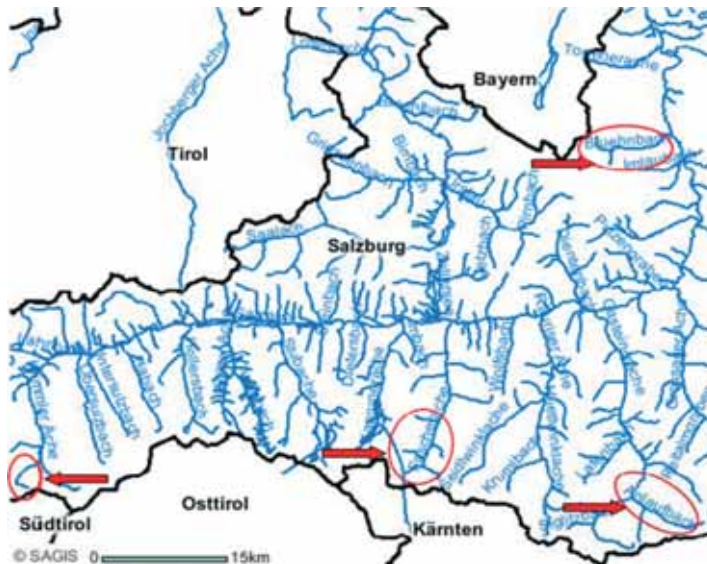


Abb. 11: Untersuchungsgebiete: Blühnbach, Anlaufbach, Fuscher Ache, Windbach; rot markiert

menhang mit dem Auffinden autochthoner Bachforellenformen im Land Salzburg und deren genetische sowie morphometrische Differenzierung untereinander sowie zu gängigen Zuchtformen. Die Ergebnisse der deskriptiven Statistik sind ebenfalls aus Platzgründen nicht angeführt. Die Abkürzungen bedeuten: FUA – Fuscher Ache, AB – Anlaufbach, BB – Blühnbach, WB – Windbach, FZ OÖ – Fischzucht Oberösterreich, FZ Hallein – Fischzucht des Halleiner Fischereivereins, FZ Misch – Fischzucht Bayrammer Mischformen. In Abbildung 11 ist die Lage der Bäche im Land Salzburg zu entnehmen. Die Abbildung 12 zeigt die drei autochthonen Typen aus der Fuscher Ache, dem Anlaufbach und dem Blühnbach.

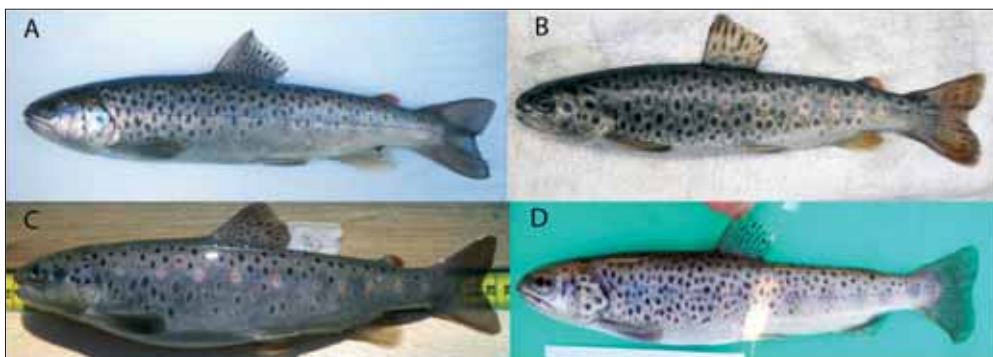


Abb. 12: Autochthone Formen im Land Salzburg:
A: Fuscher Ache, B: Anlaufbach, C: Blühnbach Typ 1, D: Blühnbach Typ 2

Der Bonferroni-Mehrfachvergleich zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Zucht Oberösterreich und allen nativen Formen hinsichtlich der Körperhöhe, Länge der Schwanzflosse, Breite der Brustflosse und dem Abstand Mundspalt–Auge. Signifikant sind darüber hinaus die Unterschiede bei der Breite der Afterflosse und dem Augendurchmesser (Tab. 6).

Tab. 6: **Signifikante Unterschiede mittels Bonferroni-Mehrfachvergleichs innerhalb nativer Bachforellen und Zuchtformen** (die mittlere Differenz ist auf der Stufe 0,05 signifikant)

Parameter	FUA-FZ OÖ	WB-FZ OÖ	BB-FZ OÖ	AB-FZ OÖ	FUA-FZ Misch	AB-FZ Misch	FZ OÖ-FZ Hallein
Körperhöhe	,000	,004	,001	,000		,042	
Länge Mundspalt	,007						
Abstand Kopfspitze–Brustflosse	,042						,014
Abstand Rückenflosse–Fettflosse		,004					
Abstand Brustflosse–Bauchflosse	,000		,002				
Abstand Bauchflosse–Afterflosse	,001	,038					
Höhe Rückenflosse vorne					,006	,021	
Höhe Rückenflosse hinten							
Länge Schwanzflosse	,000	,004	,000	,000			,000
Breite Brustflosse	,003	,000	,000	,000			
Länge Brustflosse					,015		
Breite Afterflosse	,001	,042	,001				
Augendurchmesser	,000				,000	,001	
Abstand Mundspalt–Auge	,003	,001	,000	,000			,003
Abstand Kopfspitze–Auge	,000						

Für die Diskriminanzanalyse der Bachforellen sind neben der morphometrischen Daten auch die Daten aus der faktoriellen Komponentenanalyse der Mikrosatellitenloci von Weiss (2009) hinzugezogen worden. Dies erschien aufgrund der Fragestellung sinnvoll, da dadurch eine bessere Gruppenauflösung gegeben ist.

Die Gruppenzugehörigkeits-Klassifikation ergab eine 96,4% igen Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit, die als hoch eingestuft ist (Tab. 7).

Tab. 7: **Zugehörigkeiten aus der Group-Membership-Klassifikation**
96,4% sind korrekt klassifiziert

Pop ID	Predicted Group Membership							Total	
	FUA	BB	AB	WB	FZ OÖ	FZ Hallein	FZ Misch		
Original Count	FUA	21	1	0	0	0	0	0	22
	BB	0	14	0	0	0	0	0	14
	AB	1	1	11	0	0	0	0	13
	WB	0	0	0	9	0	0	0	9
	FZ OÖ	0	0	0	0	15	0	0	15
	FZ Hallein	0	0	0	0	0	5	0	5
	FZ Misch	0	0	0	0	0	0	6	6
%	FUA	95,5	4,5	0	0	0	0	0	100
	BB	0	100	0	0	0	0	0	100
	AB	7,7	7,7	84,6	0	0	0	0	100
	WB	0	0	0	100	0	0	0	100
	FZ OÖ	0	0	0	0	100	0	0	100
	FZ Hallein	0	0	0	0	0	100	0	100
	FZ Misch	0	0	0	0	0	0	100	100

Aus der Diskriminanzanalyse ergaben sich sechs kanonische Diskriminanzfunktionen. In Tabelle 8 sind die ersten beiden angeführt. Sie zeigen 72,9% der Gesamtvarianz. Die grafische Auflösung der kanonischen Diskriminanzfunktionen (F1 und F2) ist in Abbildung 13 dargestellt. Aus der Darstellung geht hervor, dass sich die drei Zuchtformen von den Nativen voneinander unterscheiden. Die Zucht Oberösterreich unterscheidet sich von den nativen Formen am weitesten. Der Windbach zeigt eine gewisse Nähe zu den Zuchten Misch und Hallein.

Tab. 8: **Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktion aus der kanonischen Diskriminanzanalyse unter Verwendung der 25 vermessenen Parameter sowie der Werte aus der faktoriellen Komponentenanalyse der Mikrosattelitenloci durch Herrn S. Weiss**

	Standardisierte kanonische Diskriminanzkoeffizienten	% der Varianz	Wilks' Lamda	Sig.
F1	$-0,26x_1+0,28x_2+0,31x_3-0,43x_4-0,436x_5+0,879x_6-0,202x_7+0,194x_8+0,172x_9-0,049x_{10}-0,07x_{11}+0,063x_{12}+0,398x_{13}+0,034x_{14}+0,085x_{15}+0,098x_{16}+0,05x_{17}-0,112x_{18}+0,218x_{19}-0,425x_{20}-0,275x_{21}+0,112x_{22}-0,22x_{23}-0,537x_{24}+0,143x_{25}+0,907x_{26}+0,072x_{27}$	53,0	,001	,000
F2	$-0,137x_1-0,267x_2+0,041x_3+0,477x_4-0,532x_5-0,962x_6+0,696x_7+0,336x_8-0,524x_9+0,212x_{10}-0,287x_{11}+0,301x_{12}-0,232x_{13}-0,302x_{14}+0,187x_{15}+0,069x_{16}-0,33x_{17}+0,773x_{18}+0,012x_{19}-0,123x_{20}-0,325x_{21}+0,530x_{22}-0,556x_{23}+0,685x_{24}+0,214x_{25}+0,360x_{26}+0,421x_{27}$	19,6	,009	,000

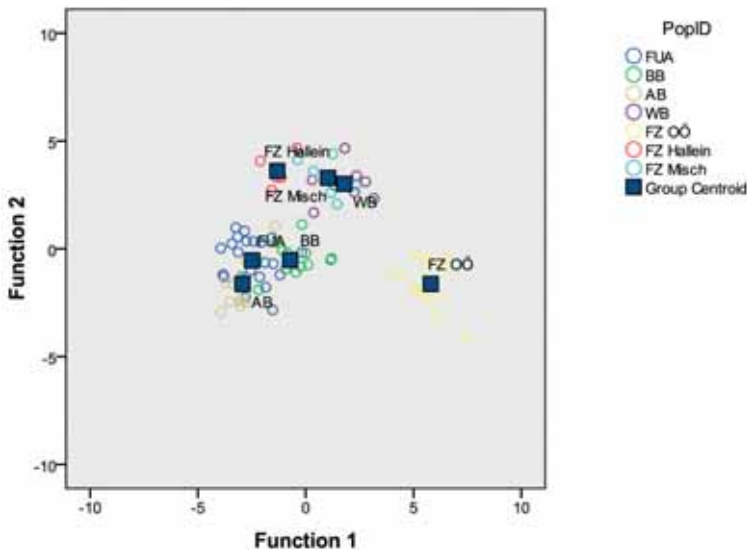


Abb. 13: Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktion inklusive der Gruppenzentroiden

4. Diskussion der Ergebnisse, Kombination mehrerer populationsökologischer Informationen

4.1 Äschen – Phänotypologische Differenzierung

Die morphometrische Diversität zwischen den Äschenpopulationen der Salza und der Salzach könnte einerseits aufgrund unterschiedlicher Lebensraumbedingungen entstanden sein, was den Begriff des Ökophänotypen bestätigen würde. Andererseits könnte auch eine genotypische Differenzierung manifestiert sein. Da jedoch keine genetischen Untersuchungen dieser Äschenpopulationen bekannt sind, bleibt die genaue Ursache vorerst Spekulation.

4.2 Hechte – Phänotypologische Differenzierung und Differenzierung über Laichzeiten

Bei den Hechten des Wallersees konnte der Nachweis erbracht werden, dass es sich bei den rezenten Formen jedenfalls um verschiedene Phänotypen handelt. Vor allem die Gruppe ZR 1 und ZR 3 unterscheiden sich in den meisten Parametern signifikant. Die Gruppe ZR 2 stellt hingegen eine Mischform dar. Dies kann mit Hilfe der Zugehörigkeitsklassifizierung gezeigt werden. Zu gleichen Teilen gruppieren sich Individuen der ZR-2-Gruppe zur ZR 1 und 3. Aus der Diskriminanzanalyse der Messergebnisse lassen sich zwei verschiedene Hechtstämme und Übergangsformen ableiten. Dies bestätigt die Annahme, dass zwei verschiedene Hechtpopulationen im Wallersee vorhanden sind. Die Fremdpopulation hat ihre Laichzeiten noch nicht an das natürliche Temperatur- und Wasserstandsregime des Wallersees angepasst und keinen eigenen Ökophänotyp gebildet. Vermischungen der Populationen finden statt.

Aus Untersuchungen von Saiblingspopulationen in Hochgebirgsseen geht hervor, dass die Anpassung der Laichzeiten von Saiblingsstämmen aus den großen Seen des Alpennordrandes an die Klimabedingungen im Hochgebirge im Verlauf von etwa 300 Jahren stattgefunden hat. Die Saiblinge im Hochgebirge sind je nach Höhenlage bereits im Juli–August laichreif, während die Talpopulationen erst im Frühwinter zu laichen beginnen (Jäger et al., 2005). Sie haben damit eigene Ökophänotypen vom gleichen genetischen Stamm gebildet.

4.3 Bachforellen – Phänotypologische Differenzierung, genotypische Differenzierung, Differenzierung über Laichzeiten und Differenzierung über den Fischlebensraum

Die phänotypologische Vermessung von autochthonen Bachforellenpopulationen sowie diversen Zuchtformen zeigte eine hohe Differenzierungsmöglichkeit zwischen nativen und aus der Zucht stammenden Fischen. Dies konnte bereits Lahnsteiner et al. (2003) nachweisen.

Autochthone Fischpopulationen haben sich bezüglich Körperbau, Wüchsigkeit, Laichverhalten und Laichzeiten optimal an die besonderen Lebensraumbedingungen ihrer Heimatgewässer angepasst (Gfrerer, in Druck,) und eigene Ökophänotypen gebildet.

Die Laichzeiten der heimischen Bachforellen verschieben sich mit zunehmender Höhenlage ihrer Heimatgewässer von Oktober in den November.

Forellen aus Fischzuchten haben Phänotypen gebildet, welche vor allem über Selektionsmechanismen gezüchtet wurden. Sie unterscheiden sich ganz deutlich in Körperbau, Wüchsigkeit, Laichverhalten und Laichzeiten von den Wildformen.

Eine mögliche Anpassung von Besatzfischen an die veränderten Lebensbedingungen in einem neuen Lebensraum kann jedenfalls nur über viele Generationen hinweg erfolgen, wie das Beispiel der Saiblinge in den Hochgebirgsseen zeigt.

Aufgrund der ähnlichen Lebensbedingungen innerhalb der untersuchten Gebirgsbäche war eine rein phänotypologische Differenzierung der drei Wildpopulationen nur bedingt möglich, die Besatzfischpopulation war eindeutig von den Wildpopulationen abweichend.

Fischpopulationen können sich phänotypisch und genotypisch von einander unterscheiden, wenn die Isolierung ausreichend lange Zeiträume dauerte (Lahnsteiner & Jagsch, 2003; Jäger et al., 2005; Umweltbundesamt Berlin, 2001). Um dies festzustellen, wurde auch der Genotyp der diskutierten Forellenpopulationen untersucht (Weiss, 2009) und die genotypische mit der phänotypischen Information kombiniert für die statistischen Analysen verwendet. Die Kombination der Informationen von Phänotyp und Genotyp führte zu einer deutlich klareren Gruppierung der untersuchten Populationen. Für eine weitere Differenzierung der Populationen kann die Unterscheidung ihres aktuellen Gewässerlebensraumes als Teil des natürlichen Fischlebensraumes einer Region und/oder als sekundärer Fischlebensraum, ein Besatzgewässer, nützlich sein.

Aus der Geschichte der nacheiszeitlichen Besiedlung der Salzburger Gewässer mit Fischen ergibt sich, dass nur Gewässer, die zum natürlichen Fischlebensraum in den Salzburger Gewässern zählen, von Forellen nach der letzten Eiszeit besiedelt werden konnten.

Der oberste Bereich der Fuscher Ache, der Anlaufbach und der Blühnbach sind vor ca. 14.500 Jahren für Bachforellen der Salzach erreichbar gewesen. Diese Gewässer gehören zum primären Fischlebensraum in Salzburg. Sie sind heute natürlich isolierte Gewässer und als solche Teil des natürlichen Fischlebensraumes in Salzburg. Solche Gewässer können dann, wenn

sie nicht fischereiwirtschaftlich überformt wurden, wertvolle Bestände ursprünglicher Forellenpopulationen beinhalten.

Das Krimmler Achenal oberhalb des großen Wasserfalles war nie natürlich von Fischen aus der Salzach erreichbar, ebenso wie der Windbach. Solche Gewässer sind von Natur aus fischleer; werden sie mit Fischen besetzt, so werden sie Besatzgewässer im sekundären Fischlebensraum (Jäger, 2004; und Ibetsberger et al., 2009).

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Bachforellenpopulationen dieser Studie zeigen, dass sich die autochthonen Forellenpopulationen des Anlaufbaches, des Blühnbaches sowie der Fuscher Ache als Ökophänotypen im natürlichen Fischlebensraum und als genetisch eigenständige Populationen deutlich von den Forellen aus Fischzuchten und den Besatzfischen im Windbach, einem sekundären Fischlebensraum, abgrenzen.

Bachforellen des Windbaches im Krimmler Achenal konnten genetisch eindeutig als Zuchtformen vom Anraser See, einem Forellenstamm aus dem südlichen Alpenbereich, identifiziert werden und damit den Status des Windbaches als Besatzgewässer auch fischökologisch zusätzlich belegen.

Im Hinblick auf die dringliche Forderung der Ökologen (Odum, 1972), das Genpotenzial einer Region möglichst unverfälscht zu erhalten und damit das Anpassungspotenzial dieser Region an allenfalls sich verändernde Umweltbedingungen möglichst hoch zu halten, ist der Besatz mit gebietsfremden Fischen vom Süden der Alpen in einen hochalpinen Bergbach nördlich der Alpen, auch außerhalb des natürlichen Fischlebensraumes, als Faunenverfälschung mit all ihren möglichen Folgen für die regionalen Fischpopulationen im anschließenden natürlichen Fischlebensraum (Umweltbundesamt Berlin, 2001) entbehrlich.

LITERATUR

- Bagenal, T., 1978: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Blackwell Scientific Publications. London.
- Gfrerer, V.: Untersuchungen an autochthonen Bachforellenpopulationen im Land Salzburg. Ökologie, Phänologie, Genetik. Diplom., Univ. Salzburg, in Druck.
- Gfrerer, V. und N. Bayrhammer, 2009: Erhebung der Morphometrieditaten von 11 Fischarten für die Größenbestimmung von Schlitzbreiten und Wasserpolstermächtigkeit von Fischaufstiegshilfen. Reihe Gewässerschutz, 17. Amt der Salzburger Landesregierung.
- Honsig-Erlenberg, W., 1980: Die Variation morphometrischer und biochemischer Merkmale des Seesaiblings *Salvelinus alpinus* im Hallstättersee. Diss., Univ. Wien, 123 pp.
- Ibetsberger, H., Jäger, P. und M. Häupl, 2009: Die nacheiszeitliche Entwicklung des Salzburger Gewässersystems. Reihe Gewässerschutz, 14. Amt der Salzburger Landesregierung.
- Jäger, P., Mühlmann, H. und S. Raudaschl, 2004: Hydromorphologische Fließgewässeraufnahme von Salzburg. Erhebung signifikanter hydromorphologischer Belastungen im Sinne der WRRL. Reihe Gewässerschutz, 9. Amt der Salzburger Landesregierung. 1–70, 14 Karten
- Jäger, P., Lahnsteiner, F. und D. Zick, 2005: Woher stammen die Saiblinge in Salzburgs Hochgebirgsseen? Phänotypische und genotypische Untersuchungen von Saiblingspopulationen. Reihe Gewässerschutz, 7. Amt der Salzburger Landesregierung.
- Jäger, P., 2009: Morphometrische Vermessung von Fischen zur Ermittlung des Phaenotypes. Amt der Salzburger Landesregierung. Downloads Gewässerschutz, pp 5. www.salzburg.gv.at/downloads.
- Jäger, P., Zitek, A. und R. Schrempf, 2009: Stand der Technik beim Bau von Fischwanderhilfen. Reihe Gewässerschutz, 17. Amt der Salzburger Landesregierung.
- Jäger, P., Zitek, A., Schrempf, R. und A. Unterweger, 2009: Salzburger Restwasserleitfaden – Bemessung der fischökologisch notwendigen Mindestwasserführung und Durchführung von fischökologischen Untersuchungen für Ausleitungsstrecken. Reihe Gewässerschutz, 17. Amt der Salzburger Landesregierung. Downloads Gewässerschutz, www.salzburg.gv.at/downloads.
- Lahnsteiner, F., Jagsch, A. und P. Jäger, 2003: Unterschiede im Phaenotyp von Bachforellen und Seeforellen aus rezenten Wildpopulationen, aus Wildpopulationen des 19. Jahrhunderts und aus Zuchten. Österr. Fischerei, 56, 298–306.
- Lahnsteiner, F. und A. Jagsch, 2003: Der Genotyp rezenter österreichischer *Salmo trutta*-Populationen im Vergleich zu Populationen des 19. Jahrhunderts, basierend auf RFLP und mtDNA. Österr. Fischerei 56, 268–274.
- Odum, P., 1972: Ökologie. 2. Auflage, BLV München - Bern, 161 pp.
- Schrempf, R., 2006: Untersuchungen am Perlfisch *Rutilus meidingerii*. Reproduktionsbiologie und Ökologie in der Ischler Ache, Wolfgangsee und Populationsgenetik und Phänotyp der österreichischen Populationen. Diplom., Univ. Salzburg.
- Twonson, C. R., Harper, J. L. und M. E. Begon, 2003: Ökologie. Springer, Berlin.
- Umweltbundesamt Berlin, 2001: Molekulare und populationsökologische Charakterisierung autochthoner und durch Besatz beeinflusster Salmonidenpopulationen Bachforelle, Alpenseesaiblinge in Bayern. Forschungsbericht 296 85 900, UBA-FB 000 188. 206 pp.
- Weiss, S., Kopun, Th. und K. Winkler, 2009: Genetische Charakterisierung von ca. 140 Bachforellen *Salmo trutta f. fario* L. aus Gewässern Salzburgs. Reihe Gewässerschutz, 18. Amt der Salzburger Landesregierung.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichs Fischerei](#)

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: [63](#)

Autor(en)/Author(s): Jäger Paul, Gfrerer Verena, Bayrhammer Nicole

Artikel/Article: [Morphometrische Vermessung von Fischen zur Ermittlung des Phänotyps an ausgewählten Beispielen 14-28](#)