

Späte Laichreife und spontane Triploidie bei Saiblingen – hängt natürliche Aneuploidie mit Fehlentwicklungen und Absterben der Embryos zusammen?

Dr. Viktor Schwinger¹, Ronny Seyfried (Fwm.)¹, Dr. Dennis Kallert⁵, Dr. Per Gunnar Fjellidal⁴, Florian Baiertl (Fwm.)³, Dr. Ievgen Lebeda², Dr. Thomas Speierl¹, Dr. Jens-Eike Täubert³, Prof. Dr. Martin Flajšhans²

¹ Bezirk Oberfranken, Fachberatung für Fischerei bzw. Lehranstalt für Fischerei in Aufseß, Cottenbacher Str. 23, 95445 Bayreuth

² Südböhmische Universität zu Budweis, Fakultät für Fischerei und Gewässerschutz, Forschungsinstitut für Fischerei und Hydrobiologie in Vodňany - Labor für molekulare, zelluläre und quantitative Genetik, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, Tschechien

³ Bezirk Niederbayern, Fachberatung für Fischerei bzw. Fischereilicher Lehr- und Beispielsbetrieb in Lindbergmühle, Maximilianstr. 15, 84028 Landshut

⁴ Institute of Marine Research, Matre Research Station, 5984 Matredal, Norwegen

⁵ Kallert & Loy GbR, Birkenweg 11, 91325 Adelsdorf

Einführung:

Salmoniden zeichnen sich durch einen opportunistischen und phenotypisch sehr plastischen Lebenszyklus sogar innerhalb einer Spezies aus. Auffallend sind dabei insbesondere unterschiedliche Entwicklungsverläufe v. a. in Bezug auf Wachstum und Geschlechtsreife (Thorpe 1990). Für die Fischzucht hat das weitreichende Folgen. Die Auswirkungen zu spät oder zu früh laichreifer Fische für die Laichfisch- oder Speisefischhaltung eines Forellenzuchtbetriebes sind allgemein bekannt und bedürfen hier keiner detaillierten Erläuterung. Vereinfacht kann man sagen, dass viel zu früh geschlechtsreife Fische in der Speisefischerzeugung v.a. die Produktqualität beeinträchtigen, wohingegen in der Laichfischhaltung eine allzu späte Laichreife die Rentabilität der Eiproduktion schmälert. In Schwinger et al. (2014) konnte konkret bei Bachsaiblingen gezeigt werden, wie etwa ein Zehntel einer Bachsaiblingsmilchnerpopulation bereits im ersten Herbst nach dem Schlupf (Größe ca. 11 cm und 10-12 g Körpergewicht) volle Laichreife erreicht hatte. Im Gegensatz dazu deuten langjährige Beobachtungen der o.g. Autoren darauf hin, dass einige Bachsaiblings- und Seesaiblingsexemplare (die i. d. R. im 2. Herbst nach dem Schlupf beim Bachsaibling und im 2.-4. Herbst nach dem Schlupf beim Seesaibling zu 100% laichreif sind) im 5. Lebensjahr keinerlei Pubertäts- oder Laichreifemerkmale aufweisen. Phänotypisch scheinen diese Fische meist deutlich größer als der Populationsdurchschnitt zu sein. Die Verfärbung und Körperform in der Laichzeit (vgl. Abb. 4) ähnelt eher einem „präpubertären Setzling“ (silbrige Flanken, keine oder sehr schwache rote Bauchpartien bei Bachsaiblingen, keine Hochrückigkeit oder Laichhaken bei Milchnern, die Geschlechtspapille ragt in der Laichzeit nicht heraus). Der Ernährungszustand scheint auch nach der Laichzeit im Vergleich zum Populationsdurchschnitt ausgesprochen gut zu sein. Die Körperform dieser Individuen ist kompakt. Die Geschlechtsorgane befinden sich scheinbar im ruhenden präpubertären Entwicklungsstadium (zwei dünne schlauchförmige Organe im kranial-dorsalen Bereich der Leibeshöhle) und

lassen keine Rückschlüsse in Bezug auf die Geschlechtszugehörigkeit zu. In einigen Fällen sind sogar keine Geschlechtsorgane in der Leibeshöhle vorhanden. Die Wachstumseigenschaften solcher Fische sind noch unbekannt. In den vergangenen Jahren wurden in den beiden fischereilichen Bezirkslehranstalten Aufseß und Lindbergmühle Fische mit o.a. Merkmalen herausselektiert und deren Ploidiegrad (die Zahl der vorhandenen Chromosomensätze in den Zellen eines Lebewesens) bestimmt. Somit können ggf. Rückschlüsse

auf die Eignung dieser Saiblingspopulationen zur weiteren selektiven Zucht getroffen werden.

Material und Methoden:

Probenentnahme:

Die Probenahme erfolgte im März 2017. Bei den 40 untersuchten Fischen handelte es sich um Bachsaiblinge (*Salvelinus fontinalis*) und Seesaiblinge (*Salvelinus alpinus*) (vgl. Tab. 1). Nach ordnungsgemäßer Betäubung und Tötung der Fische wurde

Probenr.	Länge	Gewicht	Phenotyp	Fischart	Geschlecht	Entwicklungsgrad - Gonaden	Fultons K	Kanal Nr.	Ploidie	Gewebe
1	450	1518	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,67	52,16	2n	Blut
2	480	1768	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,60	51,00	2n	Blut
3	350	642	steril	BsA	Rogner	keine sichtbaren Ansätze	1,50	51,00	2n	Blut
4	460	1526	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,57	52,00	2n	Blut
5	440	1401	steril	BsA	Rogner	asymmetrisch, rechter Eierstock unterentwickelt	1,64	47,27	2n	Flosse
6	465	1323	steril	BsA	Milchner	Rudimentär	1,32	51,46	2n	Blut
7	450	1457	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,60	45,98	2n	Flosse
8	470	1440	steril	BsA	unklar	keine sichtbaren Ansätze	1,39	70,70	3n	Flosse
9	480	1793	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,62	51,42	2n	Blut
10	470	1338	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,29	51,00	2n	Blut
11	510	1933	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,46	52,48	2n	Blut
12	450	1247	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,37	51,00	2n	Blut
13	460	1474	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,51	51,00	2n	Blut
14	430	1315	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,65	51,00	2n	Blut
15	480	1581	steril	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,43	51,00	2n	Blut
16	400	803	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,25	52,03	2n	Blut
17	425	770	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,00	50,82	2n	Blut
18	440	1161	fruchtbar	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,36	44,31	2n	Flosse
19	490	1653	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,41	51,56	2n	Blut
20	430	1102	fruchtbar	BsA	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,39	70,86	3n	Blut
21	420	898	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,21	56,26	2n	Blut
22	410	925	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,34	51,00	2n	Blut
23	410	734	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,06	44,30	2n	Flosse
24	410	758	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,10	50,54	2n	Blut
25	410	885	fruchtbar	BsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,28	74,92	3n	Blut
26	420	1006	steril	BsL	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,36	50,54	2n	Blut
27	430	1316	steril	BsL	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,66	50,75	2n	Blut
28	465	1219	steril	BsL	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,21	47,41	2n	Flosse
29	470	1322	steril	BsL	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,27	46,45	2n	Blut
30	400	939	steril	BsL	Rogner	2 Fäden, Schläuche	1,47	50,33	2n	Blut
31	580	2124	steril	SsL	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,09	48,43	2n	Flosse
32	515	1696	steril	SsL	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,24	47,48	2n	Flosse
33	540	1889	steril	SsL	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,20	53,61	2n	Blut
34	570	1998	steril	SsL	Milchner	2 Fäden, Schläuche	1,08	56,75	2n	Blut
35	520	1810	steril	SsL	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,29	55,67	2n	Blut
36	580	2955	fruchtbar	SsA	Rogner	Gonaden vorhanden	1,51	47,34	2n	Flosse
37	600	2306	fruchtbar	SsA	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,07	47,40	2n	Flosse
38	530	1489	fruchtbar	SsA	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,00	80,59	3n	Blut
39	550	2040	fruchtbar	SsA	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,23	56,46	2n	Blut
40	560	2036	fruchtbar	SsA	unklar	2 Fäden, Schläuche	1,16	85,80	3n	Blut

Tabelle 1: Ergebnisse der Durchflusszytometrie. BsA – Bachsaibling Aufseß, BsL – Bachsaibling Lindbergmühle, SsA – Seesaibling Aufseß – diese Fische wurden jedoch aus Lindbergmühle einige Monate zuvor bezogen, SsL – Seesaibling Lindbergmühle. Bemerkenswert ist v. a. ein triploider Bachsaiblingsrogner mit vorhandenen Gonaden (Fisch Nr. 25)

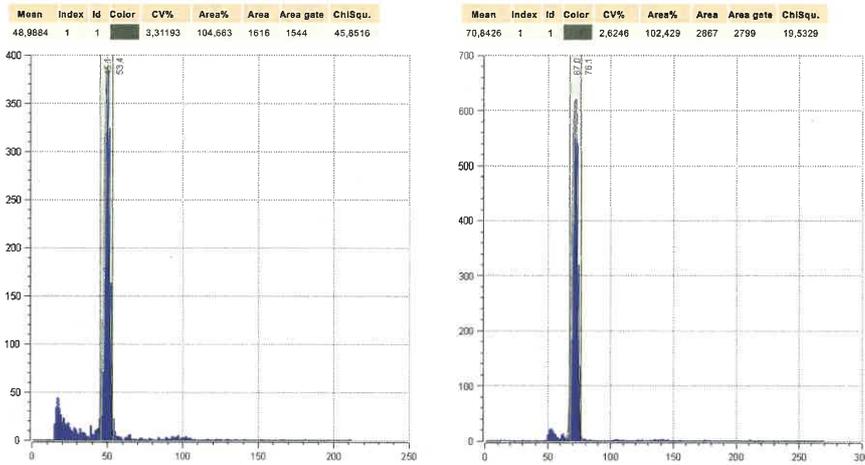


Abb. 1: Durchflusszytometrische Messungen bzw. die Histogramm-Peaks der Fluoreszenzintensität im Zellkern eines diploiden (links, Kanal Nr. 48,98) und triploiden Bachsaiblings (rechts, Kanal Nr. 70,84). Die Histogramme wurden weiterhin durch Software Cyto 0.3 (Wolf & Daniel Co., Tschechien) verarbeitet



Abb. 2: Verfärbung und typisch herausragende Geschlechtspapille eines geschlechtsreifen Rogners am 14.11.2017 kurz vorm Abstreifen. Das kontrastreiche schwarz-rote Farbmuster und angeschwollene Haupt sind besonders zu beachten

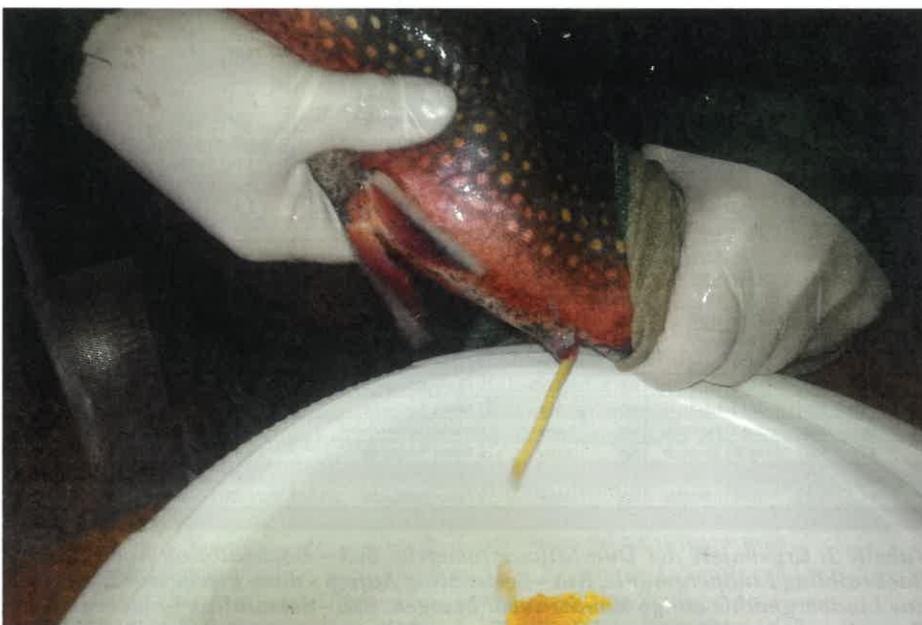


Abb. 3: Abstreifen des Rogners

Blut und Gewebe (Flossenschnitt) entnehmen. Fische der Nummern 16-25 (Esaiblinge) und 36-40 (Seesaiblinge) die als vermeintlich diploide Referenz der Tabelle 1 bezeichnet auch als „fruchtbar“, weil sie im Herbst 2016 zur künstlichen Vermehrung verwendet wurden. Fische, die als „steril“ bezeichnet wurden waren Individuen im 4.-5. Lebensjahr ursprünglich zur Produktion später reifer Bach- bzw. Seesaiblingsstämme genommen sollten. Da sie aber selbst nach 4-5 Jahren keine Geschlechtsprodukte lieferten (v. a. die Bachsaiblinge), bestanden hinsichtlich der Fruchtbarkeit und der Ploidie Zweifel. Die Proben wurden bei der Auswertung im Labor jeweils in 1 ml Ringerlösung, bestehend aus physiologischer Kochsalzlösung und Ethanol (die Ethanolkonzentration betrug 1 %) aufbewahrt auf Eis gekühlt. Die Flossenstücke die als Rückstellprobe für den Fall einer möglichen Histogramm-Wiedergabeschärfe Blutproben.

Analyse des Ploidiegrades

Die Bestimmung des Ploidiegrades erfolgte mittels Durchflusszytometrie (Zellvermessung). Eingesetzt wurde ein Durchflusszytometer Partec CCA 1 (Partec GmbH, Deutschland) mit dem Mittelwert-Kanal Nr. 51,22 für Blutzellen und dem Mittelwert-Kanal 45,85 für Flossengewebezellen der Fische bzw. Referenzen registriert. Die relative DNA-Gehalte im Zellkern der Blutzellen wurde mit Fluoreszenzfarbstoff 4',6-diamidino-2-phenylindol (DAPI; Absorptionsemissionsmaximum 358/461 nm) (Mitsunobu, 1994) verwendet. Die Durchflusszytometrie misst die Fluoreszenzintensität des gefärbten Zellkern-DNA-Komplexes. Der Histogramm-Peak der Fluoreszenzintensität im Zellkern der Blutzellen wurde dem Mittelwert-Kanal Nr. 51,22 für Blutzellen und dem Mittelwert-Kanal 45,85 für Flossengewebezellen der Fische bzw. Referenzen registriert. Die relative DNA-Gehalte im Zellkern der 3n-Fische ist 1,5-mal höher als bei den 2n-Fischen. Die relative Fluoreszenzintensitätswerte werden bei den 3n-Fischen ein 1,5-mal höherer Fluoreszenzintensitätswert gemessen. Die Proben wurden individuell mit einer Flussgeschwindigkeit von $0,4 \mu\text{s}^{-1}$ analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Der Korpulenzfaktor (Fultons K) der „sterilen“ Bachsaiblinge war im Vergleich zu den „fruchtbaren“ deutlich höher (1,24 im Mittel). Ihre gute Kondition auf das Ausbleiben energetisch aufwendiger physiologischer Prozesse vor und während der Laichzeit zurückzuführen. Der Entwicklungsgrad deutete meistens ein präpubertäres Entwicklungsstadium an. Die Fische würden vermutlich im Herbst 2017 oder 2018 laichreif. In der Gattung *Salvelinus* kommt jedoch auch der Begriff spontane Sterilität vor. Diese ist mit sog. Mosaizismus verbunden (als



Abb. 4: Farbmuster- und Körperformunterschiede zwischen blanken Bachsaiblingen (im Bild die zwei obigen) und einem geschlechtsreifen Bachsaiblingsrogner (unten) am 14.11.2017 in der Laichzeit. Bei den blanken Exemplaren (4-5 sömmerig) fehlt komplett die Hochrückigkeit und angeschwollene Haut, Kiemendeckelpartien sowie Brustflossenbereich sind nicht grauschwarz, Flanken und Bauchpartien sind schimmernd silbrig oder nur leicht rosa-silbern wie bei Juvenilen

saik bezeichnet man in der Genetik ein Individuum, in dessen Körper Zellen mit unterschiedlichen Karyotypen und/oder Genotypen vorkommen, wobei sämtliche Körperzellen von derselben befruchteten Eizelle abstammen). Das Mosaik wurde bisher in der Gattung *Salvelinus* beim Bachsaibling (Allen und Stanley 1978) und beim Japanischen Saibling (*Salvelinus leucomaenis*) (Yamaki et al. 1999) nachgewiesen (siehe weiter unten im Text). Unter den „sterilen“ Fischen wurde nur ein einziges triploides Bachsaiblingsexemplar (Fisch Nr. 8) festgestellt. Der Fisch ähnelte phänotypisch einem Rogner und hatte

keine Gonadenansätze. Dieses Phänomen ist bei Salmoniden bekannt. Natürlich oder spontan triploide Fische können durch die spontane Retention des zweiten Polkörperchens nach der Befruchtung überreifer Eier mit normalem Spermatozoid entstehen (Piferrer et al. 2009; Glover et al. 2015). Unter den im Herbst 2016 zur Vermehrung verwendeten „fruchtbaren“ Bach- und Seesaiblingen wurden sowohl bei Milchnern als auch bei Rognern mehrere triploide Exemplare detektiert. Beim Bachsaibling wurde die spontane Triploidie bereits bei einem Laichstamm in Phillips Hatchery in Maine (Nordamerika)



Abb. 5: Bauchpartien- und Geschlechtspapillen im Detail am 14.11.2017. Ein blanker Bachsaibling (oben) und ein laichreifer Bachsaiblingsrogner (unten)

festgestellt (Allen und Stanley 1978). In fünfzehn 3-sömmerigen Bachsaiblingen mit unterentwickelten oder ganz fehlenden Gonaden wurden sogar 2n-3n-4n-5n Mosaiken nachgewiesen. Die Autoren setzen die Entstehung dieser Exemplare mit Aussetzen der Eier sehr kalten Temperaturen während des Abstreifens und nach der Befruchtung in Verbindung (das Aushärten der Eier nach der Befruchtung erfolgte im Außenbetrieb während eines eisigen Wetters). Übrigens war der Anlass dieser Studie vor fast 40 Jahren genauso wie in unserem Fall. Den Autoren wurde auffällig, dass einige 3-sömmerige Bachsaiblinge in ihrem Laichfischstamm noch nicht geschlechtsreif sind. Das Mosaik des Japanischen Saiblings in Versuchen von Yamaki et al. (1999) war ein 1n-2n Rogner bei dem sowohl äußerlich normal wachsende als auch degenerierte Oozyten auftreten. Äußerlich war dieser Fisch von den anderen nicht zu unterscheiden und seine Entdeckung war ein Zufall. Bei künstlich erzeugten 3-sömmerigen 3n-Seesaiblingen konnten 51 % und 13 % geschlechtsreife Milchner und Rogner nachgewiesen werden (Gillet et al. 2001), wobei die relative Fruchtbarkeit (Eiermenge/kg Lebendgewicht) der 3n-Rogner mehr als 50 % geringer war als die relative Fruchtbarkeit der 2n-Rogner. Die Eier der 3n-Rogner wurden in diesem Versuch mit Spermatozoiden von 2n Milchnern befruchtet. Alle starben vor dem Schlupf ab. Die 3n-Milchner konnten nicht abgestreift werden. Im Gegensatz zur weißen Farbe der Hoden der 2n-Seesaiblinge, waren die Hoden der 3n-Seesaiblinge rosa verfärbt. Beim Atlantischen Lachs (Fjellidal et al. 2014), Kabeljau (Feindel et al. 2010) und Masu-Lachs (Kitamura et al. 1991) wurden Paarungsversuche triploider Milchner mit diploiden Rognern beobachtet. Die triploiden Milchner des Atlantischen Lachses produzierten in Versuchen von Fjellidal et al. (2014) eine üblich laufende Milch, genauso wie unsere triploiden

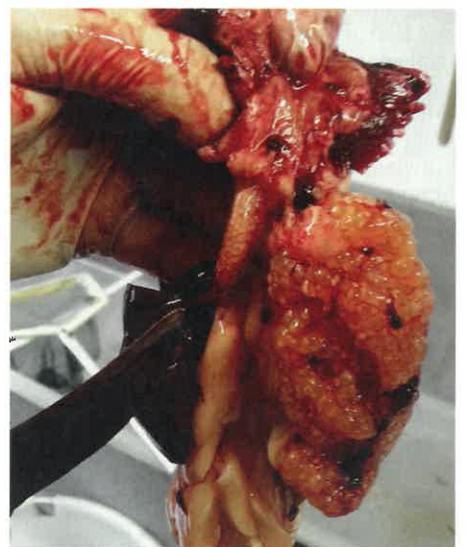


Abb. 6: Asymmetrische Wachstumsanomalie der Eierstöcke beim „sterilen“ Bachsaibling (Fisch Nr. 5) im März 2017

Bachsablingsmilchner bzw. wie regulär diploide Milchner. Das Sperma triploider Milchner scheint zumindest fallweise befruchtungsfähig zu sein. Die befruchteten Eier bzw. Brut einer 2n x 3n-Kreuzung weisen jedoch sehr schlechte Überlebensraten auf. In Befruchtungsversuchen von Cotter et al. (2000) zeigte die atlantische Lachsbrut aus der Verpaarung eines 2n-Rogners und eines 3n-Milchners Überlebensraten von nur 1,6% bis zur ersten Anfütterung. Meistens sterben die Embryos noch während der Entwicklung im Ei ab.

Im letzten Jahrzehnt führten unbefriedigende Vermehrungserfolge, Entwicklungsstörungen und Totalausfälle in der Salmonidenvermehrung an der Lehranstalt für Fischerei in Aufseß zu aufwendigen und vielfältigen wissenschaftlichen Untersuchungen. Kallert (2014) schlussfolgerte in seinem Endbericht, dass die Aneuploidie (numerische Chromosomenaberration bei der einzelne Chromosomen zusätzlich zum üblichen Chromosomensatz vorhanden sind oder fehlen) der Embryonen als mögliche Ursache in Betracht gezogen werden muss. Die Kreuzung zwischen triploiden Milchnern und diploiden Rognern führt zu solcher Aneuploidie, da der DNA-Gehalt im Sperma triploider Fische zwischen haploid und diploid liegt (Peruzzi et al. 2009). Die resultierenden Nachkommen, sofern überlebensfähig, potenzieren bei deren weiterer Vermehrung als Laichfische das Aneuploidie-Problem beträchtlich, was vermutlich für das vielerorts beobachtete Eiverluste- und Fehlentwicklungs-Geschehen („Small-Eye-Syndrome“, SES, siehe Kallert et al. 2012) verantwortlich sein dürfte. Fehler bei der künstlichen Befruchtung, wie z.B. die Verwendung unreifer Gameten und ungünstiger Temperaturregime während der Erbrütung, kommen zusätzlich zu „spontanen Mutation“ als weitere Ursachen für die Entstehung aneuploider/triploider Salmoniden in Betracht. Beispielsweise im Sperma triploider Schleien streute der DNA-Gehalt zwischen Haploidie und Diploidie (Linhart et al. 2006) und die Verwendung dieses Spermas zur Befruchtung diploider Eier führte zu triploiden Nachkommen deren Genotypzusammensetzung sowohl maternal vererbte Mikrosatelliten-Allele vom Rogner als auch ein zusätzliches Allel vom Milchner aufwies. Die Überlebensraten solcher Embryonen bewegten sich zwischen 0 bis 5,1 %. Im Einzelfall waren Überlebensraten von 27,4 % zu verzeichnen (Hulák et al. 2009).

Schlussfolgerungen für die Praxis

1) Bei spät laichreifen Bach- oder Seesaiblingen handelt es sich vornehmlich nicht um Triploide. Dieser Phänotyp hängt u. E. mit der enormen Plastizität im Lebenszyklus der Salmoniden zusammen. Die Optionen im Umgang mit diesem Phänotyp in der selektiven Zucht (v. a. beim Bachsaibling) müssen künftig dringend geprüft werden. Das Vorkommen dieses Phänotyps wurde auch bei

heimischen Bachforellen beobachtet (Schwinger, pers. Beobachtungen). Ggf. kann sich in diesem Fall offensichtlich auch um Mosaiken handeln, deren Nachweis nur durch aufwändige zytologische Methoden erfolgen kann.

- 2) Dennoch kommen spontan Triploide bei Bach- und Seesaiblingen vor. Von insgesamt 40 untersuchten Laichfischen aus 2 Fischzuchtanlagen waren 5 triploid (12,5 %). Glover et al. (2015) untersuchten zwischen 2007-2014 in 55 norwegischen Lachsfarmen mehr als 4000 Fische. Im Schnitt wurden in jedem Untersuchungs-jahr und jeder Region Norwegens etwa 2 % spontane Triploide festgestellt, wobei die Häufigkeitsfrequenz streute gewaltig zwischen 0-28 %. Die Verwendung von Sperma von nur einem triploiden Milchner kann zu beträchtlichen Fehlentwicklungen und einer hohen Eisterblichkeit während der Erbrütung führen. Evtl. könnten auch lebensfähige aneuploide Rogner existieren (z.B. mit nur 1-3 Chromosomen-duplikationen, was zu mosaikartig falsch haploiden Gameten führen würde. Hierfür sprechen wiederum unsere früheren Ergebnisse, wonach die Fehlentwicklungen eindeutig maternal festgelegt waren (Kallert 2014).
- 3) Wenn auch nicht jeder Totalausfall, jede Entwicklungsstörung oder jede hohe Sterblichkeit der Embryos durch fruchtbare triploide Elterntiere im Laichfischstamm erklärt werden kann, sollte der Einfluss aneuploider oder triploider Laichfische auf den Vermehrungserfolg in weiteren Versuchen verifiziert werden.
- 4) Liegen bei der künstlichen Vermehrung regelmäßig Probleme mit hoher Sterblichkeit oder Entwicklungsschwierigkeiten vor, ist die durchflusszytometrische Überprüfung des Ploidiegrades der Laichfische ratsam. Sofern die Möglichkeit besteht diese Analysen auch am lebenden Exemplar durchzuführen, können triploide Exemplare sehr effektiv identifiziert und aus der Vermehrung ausgeschlossen werden. Eine individuelle Markierung der Laichfische im Vorhinein ist für diesen Fall jedoch notwendig. Entsprechende Genehmigungspflichten sind zu beachten.
- 5) Die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen für die Salmonidenzucht in den letzten Jahren, besonders das in vielen Bereichen rückläufige Wasserdargebot und die zunehmende Gewässererwärmung könnten auch die zur Entstehung aneuploider/triploider Salmoniden führenden Umstände begünstigen. Demnach kommt nach wie vor besonders den artgerechten Haltungsbedingungen und -möglichkeiten der Laichfischstämme eine besondere Bedeutung zu. Weitere Untersuchungen zu den beobachteten Phänomenen sind für die zukünftige praktische Zuchtarbeit unerlässlich.

Literaturverzeichnis:

- Allen, S.K., Stanley, J.G. (1978): Reproductive sterility in polyploid brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Trans Am. Fish. Soc. 107, 473-478.
- Cotter, D., O'Donovan, V., Maoiléidigh, Ó., Rogan, Roche, N., Wilkins, N. P. (2000): An evaluation of the use of triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) in minimizing the impact of escaped farmed salmon on wild populations. *Aquaculture* 186: 61-75.
- Feindel, N. J., Benfey, T.J., Trippel, E.A. (2010): Competitive spawning success and fertility of triploid male Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquacult Environ Interact* 1: 47-55.
- Fjellidal, P. G., Wennevik, V., Fleming, I. A., Hansen, T., Glover, K. A. (2014): Triploid (sterile) farmed Atlantic salmon males attempt to spawn with wild males. *Aquacult Environ Interact* 5: 155-162.
- Glover, K. A., Abdullah, S. M., Dahle, G., Sørvik, A. E., Wennevik, V., Skaala, Ø., Morton, H. C., Hansen, T. J., Fjellidal, P. G. (2015): The frequency of spontaneous triploidy in farmed Atlantic salmon produced in Norway during the period 2007-2014. *BMC Genetics* 16: 37.
- Hulák, M., Kašpar, V., Psenicka, M., Gela, D., Linhart, O., 2010. Does triploidization produce functional sterility of triploid males of tench (*Tinca tinca* L.)? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 307-315.
- Kallert, D. M. (2014): Genetische Vielfalt und Pflanzungserfolg, Fehlentwicklungen und Eiverluste bei der heimischen Bachforelle. *Bezirk O. Franken*, 121 S.
- Kallert, D. M., Eszterbauer, E., Forró, B., Seyfried, Švinger, V., Klupp, R., Speierl, T.,
- Wedekind, H. (2012): Small eye syndrome (SES): Mortality among developing brown trout embryos. *Tagung der Europäischen Gesellschaft der Fischthologen (EAFP)*, 18.-22. November, Bautzen. 1. Tagung.
- Kitamura, S., Ogata, H., Onozato, H. (1991): Triploid masu salmon *Oncorhynchus masou* noroncourtship behavior. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 57: 14-1660.
- Linhart, O., Rodina, M., Flajšhans, M., Mavrodiev, Nebesařová, J., Gela, D., Kocour, M., 2006. Study on sperm of diploid and triploid tench, *Tinca tinca* (L.). *Aquaculture International* 14 (1-2): 9-25.
- Otto, F.J. (1994): High resolution analysis of nuclear DNA employing the fluorochrome DAPI. In: Izykiewicz Z., Robinson J.P., Crissman H.A. (eds.) *Flow Cytometry*, 2nd edition, Part A. Vol.41 of *Methods in Cell Biology*, Academic Press, London: 217.
- Peruzzi, S., Rudolfsen, G., Primicerio, R., Frant, M., Kauric, G. (2009): Milt characteristics of diploid and triploid Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquacult Res* 40: 1160-1169.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, J.-C., Flajšhans, M., Haffray, P., Colombo, L., (2009): *Polyloid and Shellfish: Production, Biology and Application to Aquaculture for Performance Improvement and Genetic Containment*. *Aquaculture* 293 (3-4): 156.
- Schwinger, V., Fabianek, M., Trnka, P., Kallert, D., Fjellidal, P. G., Hansen, T. (2014): Frühe schlechtsreife beim Bachsaibling – eine unerwünschte Eigenschaft einer für die intensive Aquakultur hoffnungsvollen Salmonidenart. *Fischer & Teichwirt* 11/14: 406-410.
- Vindeløv L.L., Christensen I.J. (1994): Detergent proteolytic enzyme-based techniques for nuclear DNA content analysis. In: Darzynkiewicz Z., Robinson J.P., Crissman H.A. (eds.) *Flow Cytometry*, 2nd edition, Part A. Vol.41 of *Methods in Cell Biology*, Academic Press, London: 219 - 227.
- Yamaki, M., Kawakami, K., Taniura, K., Arai, Y. (1999): Live haploid-diploid mosaic charr *Salvelinus leucomaenis*. *Fish. Sci.* 65, 736-741.