

Fischzucht: Retter und Gefahr für Fische

Fischzuchtanlagen haben die Fische über eine Zeit gerettet, in welcher kaum Möglichkeiten zur Naturverlaichung bestanden. Was geschieht aber, wenn von zu wenig Laichfischen zu viele Junge produziert werden? Mit dem Computer kann die Wirkung von Fischzuchtanlagen auf die Fischpopulation modelliert werden.

Heinrich Bühler
EAWAG
Postfach 611
8600 Dübendorf
heinrich.buehler@
eawag.ch

Fischzucht ist ein altes Geschäft. Schon die alten Römer hatten Vivarien (Fischteiche). Der wirkliche Beginn der Zucht liegt aber im geschichtlichen Dunkel, denn die Teiche der Römer dienten nur der Aufbewahrung von frischen Fischen bis zum Verzehr. Die erste Mitteilung aus dem Mittelalter ist eine Verfügung von Karl dem Grossen (794/95) über die Errichtung von Fischteichen bei den Königshöfen (Ammacher). Während der Fastenzeit waren Fische als Fleischersatz beliebt, aber nur die wohlhabenden Leute konnten sich dies leisten. Bei den gezüchteten Fischen handelte es sich vorwiegend um Karpfen, so auch im Kanton Zürich. Nachhaltiger Fischertrag war schon im Mittelalter als wichtiges Problem erkannt. Es gab damals schon Schonzeiten und vorgeschriebene Netzmaschenweiten. Die Fischzucht-Anstalten feierten im Jahre 2002 das 150 jährige Jubiläum (Schoch). Mit der Einführung der Fischzucht wurde der Speisezettel erweitert. Nun kamen hauptsächlich lachsartige Fische zum Zug. Diese Anlagen wurden gebaut, um dem drastisch abgenommenen Fischbestand, zwecks Mehrertrag, nachzuhelfen. Der gute Fischertrag der Meere war bekannt, und nun sollte auch der Ertrag der Binnengewässer erhöht werden.

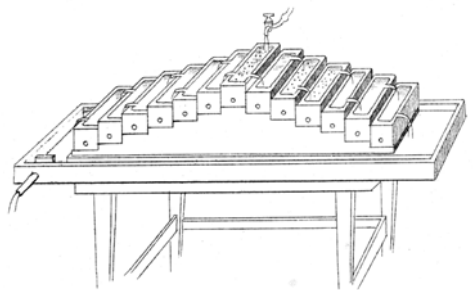
Nun scheint, abgesehen vom Rückgang der Erträge und anderen Schwierigkeiten (siehe "Projekt Fischnetz"), alles gut zu sein und es ist schwierig, die Problematik von der Seite der Nachhaltigkeit und der Fische anzusehen.

In einer gesunden Umwelt geht es nicht nur um eine lange Liste von Pflanzen und Tieren, sondern auch um die Erhaltung der einzelnen Arten selbst.

Für die Erhaltung einer Tierart werden zwei Exemplare gebraucht, weil es Männchen und Weibchen gibt (so steht es schon in der Bibel bei Noah und seiner Arche). Wenn sich diese Paare vermehren, gibt's schnell mehr Fleisch, aber wir sind weit weg von einer stabilen Vermehrungsgemeinschaft, die eine Art im biologischen Sinne erst ausmacht. Das Resultat einer Züchtung, die nur in einem Pärchen seinen Ausgangspunkt hat, ist Inzucht, und Klone sind erfahrungsgemäss empfindlich für Krankheiten (inklusive Verhaltensstörungen).

Auf das Wesentliche verkürzt, nimmt ein Fischzüchter einen kleinen Anteil der natürlichen Population und vermehrt ihn. Weil die Laichfänge gross sind und die Anlagen klein, werden nicht alle gesunden, sondern nur die schönsten Fische gewählt, was die Auswahl weiter einengt. Das wurde schon 1920 so gemacht, hat also Tradition (Plehn). Die gezüchteten Fische werden in grossen Mengen erbrütet, gestreckt und ausgesetzt, wo sie mit der Naturverlaichung in Konkurrenz treten. So können die Nachkommen von wenigen Fischen die natürliche Population überwachsen. Noch schlimmer sind hauseigene Becken mit Elterntieren. Leider sind diese "inhouse-egg-sources" im Kommen. Zwischen diesen Fischen und den Fischen in einer kommerziellen Fischzucht bestehen wesentliche Unterschiede. Die Elterntiere müssen aufwändig jahrelang in grossen Becken mit einer geringen Zahl betreut und gefüttert werden. Die kommerzielle Zucht geht

Fischzuchtanlage
von Costé 1852,
nach G.Schoch
1880



nur bis zur Marktreife. Dabei ist die genetische Diversität höchstens hinderlich, weil sich die Fische in Wachstum und Grösse nicht unterscheiden sollen.

Ist die Fischzucht ein Risiko?

Ist die Fischzucht für den natürlichen Fischbestand ein Risiko? Wenn ja, wie gross ist dieses, wann werden erste Veränderungen sichtbar, und wann ist es zu spät?

Diese Fragen dürfen nicht nach Gefühl, sondern müssen mit mathematischen Methoden beantwortet werden. Dabei geht es um Zahlen, Wahrscheinlichkeiten und Codes. Für das intuitive Verständnis genügt das Anschauen der folgenden Abbildungen. Für eine Überprüfbarkeit müssen jedoch die Annahmen offen gelegt werden. Die analytische Lösung dieses Problems ist für Mittelwerte beschrieben (BUWAL 2002). Ich zog es vor, ein Computerprogramm zu schreiben, welches in der Lage ist die Wahrscheinlichkeiten zu berechnen. Dazu wurden Genetik und Biologie soweit nötig programmiert. Die eine Hälfte der Gene kommen von der Mutter und die andere vom Vater. Die Resultate sind seit Mendel 1866 bekannt. Der Rest geschieht mit Würfeln.

Das Computer-Modell

Modelle beschreiben nur den Teil der Welt, der momentan von Interesse ist. Sie bestehen immer aus Verkürzungen und Verallgemeinerungen. So wird in diesem Fall nur der vermehrungsfähige Teil der Population betrachtet. In einer nachhaltigen Umgebung ist diese Zahl konstant. Sie wird eingeschränkt durch das Futterangebot und durch natürliche oder künstliche Barrieren, welche Wanderungen verhindern. Eine weitere Einschränkung kann eine Überfischung sein, bei der die meisten Tiere vor Erreichen der Laichreife gefangen werden.

Nun gibt es noch andere Angaben, welche benötigt werden:

- Die Zahl der Fische, welche gestreift werden, sowie der Erfolg der

künstlichen Zucht. Hier wird eine minimale Grösse von 20 Prozent angenommen, da sonst der Nutzen den Aufwand nicht lohnt. Diese Zahl festzustellen dürfte bei der praktischen Anwendung auf sehr grosse Probleme stossen (Farbstoffmarkierung wurde versucht).

Ferner wird noch eine Zahl benötigt, welche eine weitere Aussage über die Populationsgrösse bedeutet, nämlich die Zahl der erfolgreichen Nachkommen pro Paar. Es ist ein Unterschied, ob alle Ursprungspaare ihre Vererbung weiter tragen, oder ob nur ein Teil davon erfolgreich ist. Der Idealfall von erfolgreichen Nachkommen ist exakt ein Paar. Pro Weibchen beginnt dieser Vorgang mit mehr als 40'000 Eier, welche während der Entwicklung der Eier und nach dem Schlüpfen der Fische, einer lebenslangen Selektion unterworfen sind, bis sich schliesslich im Durchschnitt zwei wieder fortpflanzen, um die konstante Zahl zu erhalten. Eine Zahl von 4 ± 3 Nachkommen ist etwas realistischer. Ohne Naturvermehrung und mit einer begrenzten Populationsgrösse steigt das Risiko für den Verlust an genetischer Information. Ein Tier reicht aus, um seine Genetik weiter tragen zu können. Je kleiner die Population ist, um so wichtiger wird ein einziges Tier. Bei einer unendlich grossen Population gilt die Regel von Hardy-Weinberg, (eines der Grundgesetze der Genetik), dass kein Verlust eintritt.

Überraschende Resultate der Rechnungen

Als Beispiele wurden drei verschiedene Szenarien gewählt:

1. Ein Kleinsee, dessen Fischbestand beinahe ausschliesslich durch die Zucht

Für den Besatz sollten genug Laichfische gestreift werden (im Bild eine Äsche) um einer genetischen Verarmung der Population vorzubeugen.



Bild R. Müller EAWAG

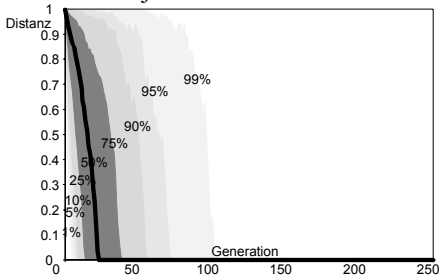
sichergestellt wird,

2. derselbe Kleinsee ohne Fischzucht

3. ein grösseres Gewässer mit moderater Fischzucht (möglichst nahe der Realität).

Als abschreckendes Szenario dient mit Beispiel eins ein See mit einem kleinen Fischbestand und beinahe ausschliesslich künstlicher Erbrütung, unter Verwendung von lokalen Laichfischen.

Wir gehen von folgenden Annahmen aus: Zahl der laichreifen Fische: 100, davon Laichfang: 10, Besatzerfolg: 90% und Gene in je 2 verschiedenen Form-



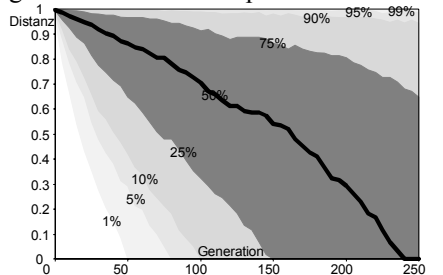
en. Natürlich ist dies eine katastrophal ungünstige Annahme, da das Gewässer sehr klein ist und nur fünf Milchner und fünf Weibchen gestreift werden. Allerdings ist dies leider nicht reine Utopie: mit dieser Zahl der Laichfische ist es möglich, 100'000 Fingerlinge zu produzieren, was für den Einsatz ausreicht.

Die senkrechte Achse der Darstellung bedeutet die Distanz vom Klon. Beim Wert 1 ist der Abstand maximal, bei Null ist es ein Klon.

Die Ergebnisse überraschen: In der Hälfte der Fälle wird der Klon bereits nach 23 Generationen erreicht. In weniger als 1% der Fälle wurde auch nach 55 Generationen noch nichts verloren. Im ungünstigsten Fall befindet sich nach zwei Generationen nur noch ein Klon im See. Dies bedeutet aber nun nicht, dass die Fische ausgestorben wären, sondern nur, dass sich die Fische besser gleichen, als ein Ei dem andern. Damit ist die Möglichkeit verschwunden, sich einer geänderten Umwelt anpassen zu können. Eine Krankheit trifft damit alle oder keinen.

Weitere übliche Eingriffe sind die Kalterbrütung¹ und die "Trockenbefruchtung"² und, beide bevorzugen die künstliche Brut. Die Kalterbrütung gab es übrigens schon 1880, dies sogar in transportabler Form, was das (heute verpönte) Verschleppen von Eiern ermöglichte.

Das Gegenstück bildet diese Abbildung: ein kleines Gewässer mit ausschliesslicher Naturvermehrung. Eigentlich sollte eine Population von



100 Stück zu klein sein, um sich einigermassen genetisch stabil zu erhalten, aber offenbar reicht auch diese Grösse meistens für 50 Generationen; mit der vorsichtigen Annahme, dass die Fische in ihrem Leben nur einmal zur Eiablage kommen, was ohne intensive Befischung kaum der Wahrheit entsprechen dürfte. Beschönigend wirkt, dass keine Selektion wirksam sei.

In der nächsten Abbildung werden realistische Annahmen gezeigt.

Die Prognose dieser Annahmen ist ein 25prozentiges Risiko für einen Klon nach 220 Generationen. Eine Populationsgrösse von nur 240 Stück erzeugt eine ähnliche Abbildung.

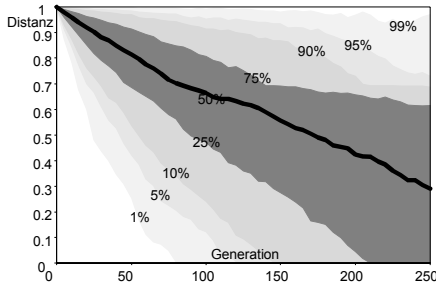
Grafik links:
Kleines Gewässer mit ausschliesslich Fischbesatz, in der Hälfte der Fälle wird der Klon bereits nach 23 Generationen erreicht. Wahrscheinlichkeiten für Einzelgene, Annahmen: 100 Fische, davon Laichfang 20, Besatzerfolg: 90% und Genen mit je zwei Allelen, 2 ± 1 Junge pro Paar.

Grafik rechts:
Sehr kleines Gewässer mit Naturvermehrung (ohne Einsatz), die Klonbildung erfolgt in der Hälfte der Fälle erst nach 250 Jahren. Annahmen: 100 Fische, 2 ± 1 Junge pro Paar.

¹ Bei der Kalterbrütung wird der Fischlaich mit gekühltem Wasser erbrütet, was zu einer Entwicklungsverzögerung führt, die es ermöglicht, die Jungfische zu einem für die Entwicklung optimalen Zeitpunkt ins Gewässer zu entlassen. Daraus resultiert ein klarer Selektionsvorteil.

² Unter der Trockenbefruchtung versteht man das Melken des Weibchens in ein feuchtes Gefäss. Dann wird der Samen des Männchens darüber gemolken. Dieses Verfahren gibt wesentlich weniger unbefruchtete Eier, als wenn man die Eier in einem grossen Wasservolumen befruchtet.

Grössere Populationsgrößen vermindern die Gefahr der Klonbildung.
Annahme: 1000 Fische, 40 gestreifte Laichfische mit 50% Erfolg und drei Allelen pro Gen, 4 ±2 Junge pro Paar.



Die Aussagen können auf einen einfachen Nenner gebracht werden: mit Hilfe des künstlichen Besatzes (und grossem Erfolg) wird die Populationsgrösse (genetisch gesehen) auf die Anzahl der gestreiften Laichfische reduziert. Mit einem ungünstigen Verhältnis von der Zahl der laichreifen Fische und der Zahl der laichreifen Fische im See, ist es möglich noch wesentlich schlechtere Verhältnisse zu schaffen.

Fazit:

Die in dieser Form durchgeführte Fischzucht kann ein Risiko für einen natürlichen Fischbestand darstellen.

Die anderen Antworten sind weniger einfach. Sie hängen von den jeweiligen Zahlen ab. Nur eines ist klar: wenn die bisherige Praxis weiter geführt wird, steigt das Risiko mit jedem Einsatz. Wenn mit Generationszeiten von 3 Jahren gerechnet wird, und einigermaßen guten Bedingungen, so ist nach 300 Jahren ein Verlust offensichtlich. Bei schlechteren Umständen geht es einiges rascher. Es ist fast sicher, dass seltene Genformen bereits verloren gingen. Dies bedeutet, dass der Punkt an dem eine vollständige Rückkehr noch möglich war, bereits vorbei ist. Je effizienter die Fischzuchtanstalten sind, desto grösser ist das Risiko und desto schneller treten Verluste ein. Auch bei einer kleinen Population (100) wird ein Verlust recht spät sichtbar. Schon 7 Gene verursachen genügend Unterschiede für lauter verschiedene Fische. Ohne genetische Analyse ist die Suche nach quasi-eineiigen Zwillingen die einzige Möglichkeit, etwas direkt zu sehen.

Es gibt bereits ein dokumentiertes Gewässer (Brotherswater, England),

welches mit Felchen-Klonen bestückt ist (ob dies auf Einsätze zurückgeht, ist mir nicht bekannt) (Beaumont 1995).

Der grundsätzliche Fehler ist, dass eine Wildpopulation so behandelt wird, als ob es sich um Nutztiere handeln würde. Wenn nun auch noch dem Fisch-"Unkraut", also den für den Menschen nicht nutzbaren Fischen, mit ähnlichen Massnahmen "geholfen" wird, so werden auch diese Populationen genetisch geschädigt.

Ich sehe nur zwei Möglichkeiten, um diesem Problem beizukommen. Die erste ist konservativ und besteht darin, die Fischzuchtanlagen möglichst rasch zu schliessen und gleichzeitig die Fischlaichgründe wieder herzustellen. Dies dürfte nur mit Wasserbau möglich sein. Die zweite Möglichkeit ist futuristisch, aber machbar: die Laichfische müssen zukünftig nicht nur nach Gesundheitszustand, sondern auch nach seltenen Allelen (genetischer Fingerabdruck) ausgesucht werden, und zwar so, dass sie den natürlichen Bestand möglichst gut ergänzen. Der Nachteil dabei ist, dass diese "Auswahl des Stärksten" nicht mehr durch die Natur, sondern durch den Menschen gemacht wird.

Ein Paradigmawechsel ist dringend nötig

Bisher ging es um die Fischer und nicht um die Fische. Die Reihenfolge muss umgekehrt werden, um mögliche Folgen mindestens etwas zu mindern. Die BUWAL-Mitteilungen zur Fischerei Nr.73, 2002 haben dies bereits eingeleitet.

Obwohl das Modell keine expliziten Aussagen über die Fisch-Erträge macht, hat es doch Folgen darauf: Ein Produktionsmaximum ist äusserst labil und kann nur dann langfristig gehalten werden, wenn noch ein zweites, intaktes Gewässer gleicher Grösse zwecks Naturvermehrung zur Verfügung steht. Möglicherweise ist dies etwas bössartig formuliert, hat aber viel Wahres. Eine weitere, kaum akzeptable Alternative wäre der Einsatz von Gentechnologie, denn wer formuliert die Ziele, wessen

natur und mensch

Nummer 1/2003

Rheinaubund Postfach 1157, CH-8201 Schaffhausen

Gene sollen geholt werden, wer garantiert den Erfolg, und wer hindert die Fische am entweichen? Müsste die Wasserversorgung ihr Trinkwasser in Zukunft mit GVO-haltig bezeichnen? Oder werden Erinnerungen an das menschenverzehrende Monster wach (RTL-Film "Das Biest im Bodensee", 1999) ?

Aus dem Modell geht hervor, dass eine vernünftige Populationsgrösse 800 erwachsene und fruchtbare Exemplare übersteigen sollte. Wobei jede Angabe einer Zahl mit einer Verlustwahrscheinlichkeit gekoppelt ist. Idealerweise sollte diese Wahrscheinlichkeit übereinstimmen mit der Wahrscheinlichkeit für eine positiv wirkende Mutation, wofür mir jede Angabe fehlt. Im Mittel reichen diese 800 vermutlich für zirka 1000 Jahre. (In der Hoffnung es werde in dieser Zeit etwas Besseres erfunden.)

Die Fischpopulationen sind zusätzlich vielen anderen Gefahren ausgesetzt (siehe Fischnetz EAWAG).

Dass eine derartige Arbeit erst zum 150-jährigen Jubiläum der Fischzuchten gemacht wurde, liegt unter anderem daran, dass die Rechenleistungen der Computer erst seit kurzen genügend hoch sind.

Zusammenfassung

Die künstliche Fischzucht war eine Möglichkeit, den Fischen über eine Zeit zu helfen, in der die natürliche Vermehrung kaum möglich war. In vielen Gewässern ist diese Zeit vorbei. Nun sollten die Auswirkungen der "Kunst" überdacht werden.

Besatzmassnahmen können die innerartlichen Diversitäten einer Fischpopulation bleibend schädigen. Die dadurch bewirkten Veränderungen sind bei einer guten Naturverlaichung schleichend und erst nach Jahrzehnten bemerkbar.

Vermieden werden kann die Schädigung entweder mit Unterlassen des Besatzes oder mit genetic fingerprinting der zu streifenden Laichfische (d.h. viel zusätzlichem Aufwand) oder mit sehr viel Glück. Es ist nicht sinnvoll, bei der Auswahl Schönheitskonkurrenzen zu veranstalten.

Auch kleine Gewässer mit einer guten Naturverlaichung stabilisieren die Diversität besser als ein Kunstbesatz. Wesentlich dabei ist eine möglichst grosse natürliche Population, d.h. Gewässer ohne Wanderungsbarrieren.

Die langfristig beste Massnahme zum Schutz der innerartlichen Diversität besteht in einer Förderung der Naturverlaichung, resp. im Erhalten oder der Schaffung gesunder Laichgründe.

Diese Forderung muss mit einem naturnahen Zustand eines Gewässers verknüpft werden (Bruterfolg).

Sie gilt nicht nur für die Nutz-Fische, sondern auch für das so genannte Fisch-"Unkraut".

Literatur

Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF) 923.01, vom 24. November 1993 (Stand am 16. Januar 2001)

Ammacher, Urs 1996: Zürcher Fischerei im Spätmittelalter. Mitt. Antiq. Ges. in Zürich 392pg.

Beaumont, A.R., J. Bray, J.M. Murphy and I.J. Winfield, 1995: Genetics of whitefish and vendace in England and Wales.. J. Fish Biol. 46:880-890.

Lagiader, Carlo R. & Daniel Hefti 2002: Genetische Aspekte des Schutzes und der nachhaltigen Bewirtschaftung von Fischarten. BUWAL Mitteilungen zur Fischerei Nr.73, 115S.

Ruhlé, Christian (1976): Die Bewirtschaftung des Seesaiblings (Salvelinus alpinus salvelinus L.) im Zugersee, 221S.

Plehn, Marianne (1920): Fischzucht

Schinz, Hch. Rud. 1848: Die Lachse. Neuj. Naturf. Ges. Zürich 50

Schinz, H.R. 1847: Die Forellen. Neuj. Naturf. Ges. Zürich 49

Schoch, Gustav 1880: Die Technik der künstlichen Fischzucht. Neuj. Naturf. Ges. Zürich 82

Wagner, Benno, H.Löffler, T.Kindle, M.Klein und E.Staub (Eds.) 1993: Bodenseefischerei, Thorbecke 172 pg. (+13 weitere Autoren)

(Bemerkung Dem Layout von Natur und Mensch nachempfunden.)