

Was hat Umweltmanagement mit Evolutionärer Ökologie zu tun?

Reicht eine Schonzeit um gefährdete Populationen nachhaltig zu schützen? Welche Auswirkung hat die selektive Entnahme der grössten Tiere einer Population? Warum sind grossangelegte Medikamenten-Abgabeprogramme zur Ausrottung von Krankheiten nicht immer erfolgreich? Das Wissen um evolutionäre Prozesse ist eine wichtige Entscheidungshilfe im Umweltmanagement. *Text: Kirstin Kopp*



Vario Images

Menschgemachte Evolution: Wegen der intensiven Befischung werden kommerziell genutzte Fischarten immer früher geschlechtsreif.

Evolution wird immer noch oft als Vorgang angesehen, der erst auf einer geologischen Zeitskala sichtbar wird, also viel länger dauert, als dass ihn Menschen wahrnehmen können. Heute wissen wir jedoch, dass sich evolutionäre Veränderungen über die gleichen Zeiträume mani-

festieren können wie ökologische Prozesse, das heisst bereits nach mehreren Generationen. Viele dieser «schnellen» evolutionären Veränderungen sind eine Reaktion auf Umweltveränderungen, die als Stressfaktoren einen Selektionsdruck auf Individuen und Populationen ausüben. Für aquatische Ökosysteme sind Überfischung, Gewässerverschmutzung, der Verlust von Lebensraum, der Klimawandel und invasive Arten solche Stressoren, die zu schneller Evolution führen können (Abb. 1). Wie sich diese evolutionären Vorgänge zeigen und welche Bedeutung sie für das Umweltmanagement haben, diskutierten Fachleute an einem von der Eawag organisierten Symposium.

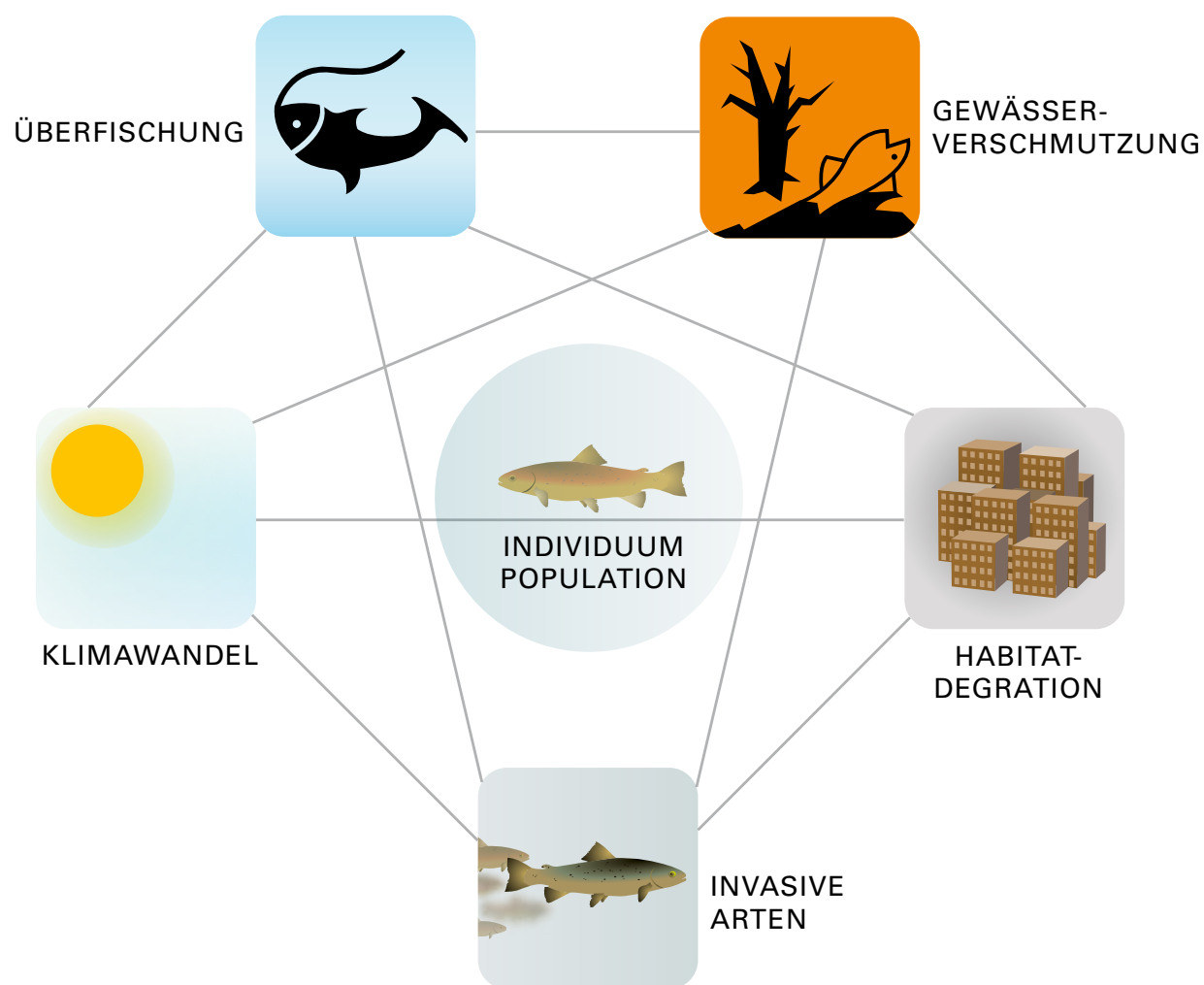


Abb. 1: Im Spannungsfeld vielfältiger Selektionsdrücke: Diverse Stressfaktoren und deren Interaktionen wirken auf Individuen und Populationen aquatischer Ökosysteme ein und treiben evolutionäre Prozesse an.

Akklimatisation an chronische Schadstoffbelastungen

Nicht nur grosse Chemieunfälle wie 1986 im Industriegebiet Schweizerhalle bei Basel, auch eine konstante Verschmutzung mit kleinsten Mengen von Schwermetallen oder Bioziden belasten unsere Gewässer – bloss sind die Effekte kurzfristig nicht sichtbar. Eine niederschwellige Langzeitbelastung führt bei Wasserlebewesen nicht immer zur Vergiftung, sondern kann

eine Akklimatisation bewirken: Durch eine chronische Exposition entwickeln die Organismen eine erhöhte Toleranz gegenüber Schadstoffkonzentrationen, die für sie ursprünglich tödlich waren. So zeigte Frédéric Silvestre von der Universität Namur aus Belgien in Experimenten, dass sich Killifische, die ständig einer Kupferkonzentration von 0,15 Milligramm pro Liter ausgesetzt waren, bereits nach einer Woche eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit bei einer eigentlich letalen Konzentration von 1 Milligramm pro Liter aufwiesen [1].

Akklimatisation ist eine physiologische Antwort des Individuums, mit der dieses innerhalb der Bandbreite möglicher Reaktionen (phänotypische Plastizität) auf Stressfaktoren reagiert. Diese erhöhte Stresstoleranz kann über epigenetische Mechanismen an die nächste Generation weitergegeben werden. Die generationsübergreifende phänotypische Plastizität steht somit an der Schnittstelle zwischen Individuum und Population und zwischen Physiologie und Evolution. Stressoren wirken sich immer auf allen Ebenen eines Ökosystems – von den Zellen über die Individuen bis zu den Populationen – aus und stossen sowohl physiologische, evolutionäre als auch ökologische Prozesse an (Abb. 2). Für ökologische Risikoabschätzungen wäre es deshalb wichtig, möglichst genau zu verstehen, welche Prozesse welche Ebenen beeinflussen und wie sie ineinandergreifen. Denn alle Ebenen sind für die Erhaltung der Ökosystemfunktionen notwendig.

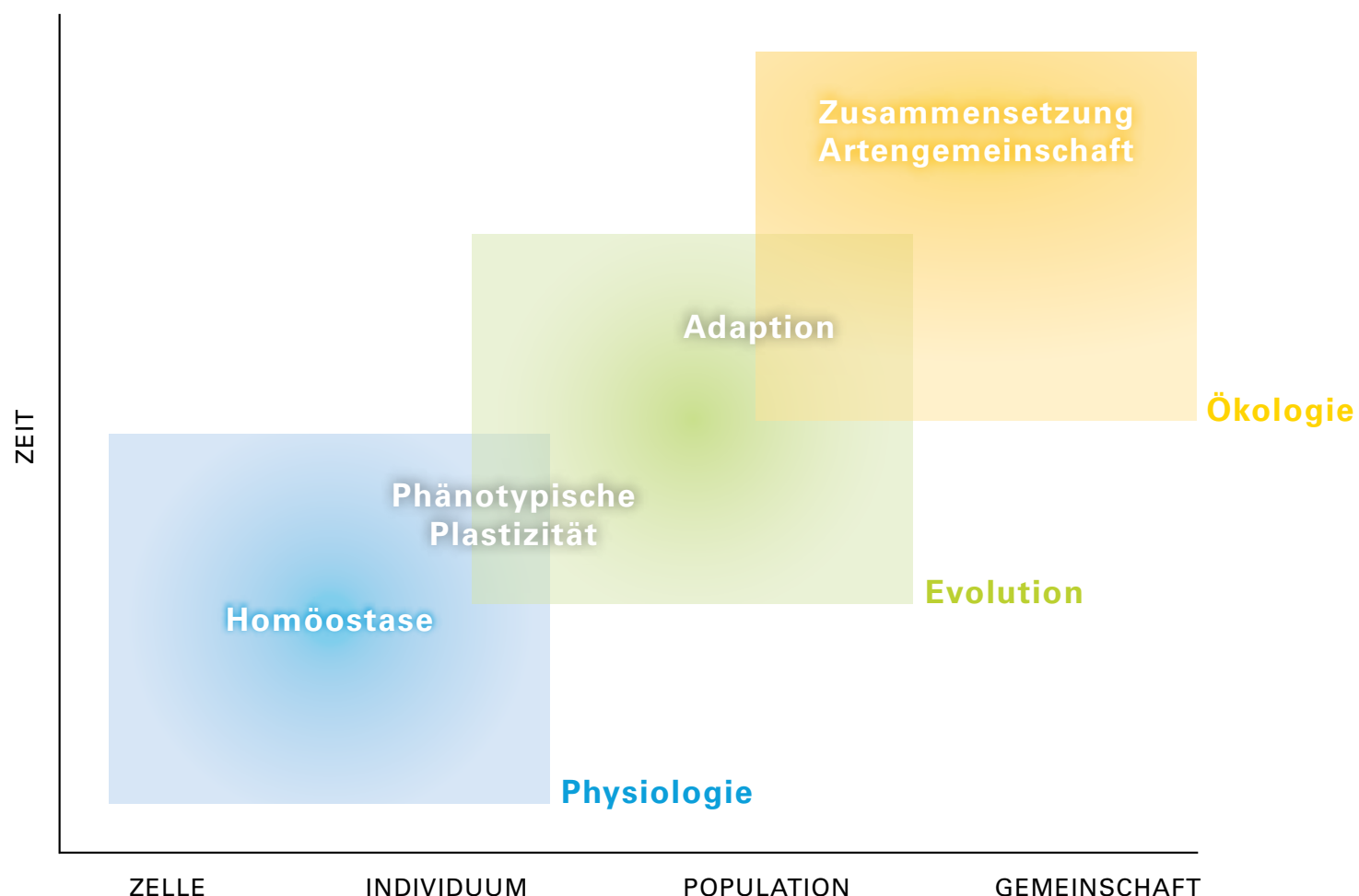


Abb. 2: Umwelteinflüsse wirken sich auf allen Ebenen eines Ökosystems aus: auf die Zellen, das Lebewesen, die Population und ganze Lebensgemeinschaften. Dies setzt physiologische, evolutionäre und ökologische Prozesse in Gang. Als Homöostase bezeichnet man die Aufrechterhaltung eines dynamischen Gleichgewichts, um physiologische Prozesse konstant zu halten. Die lokalen Umweltbedingungen bestimmen die Zusammensetzung einer Artengemeinschaft (species sorting).

Die Wissenschaft kann hier einen Beitrag leisten. Eawag-Forscher Francesco Pomati hat zusammen mit Kollegen zum Beispiel untersucht, in welchem Mass physiologische, evolutionäre oder ökologische Prozesse ablaufen, wenn Phytoplanktongesellschaften mit dem Biozid Triclosan behandelt werden, das sich in Gewässern nachweisen lässt [2]. Mit einem mathematischen Verfahren (Price-Gleichung) konnten die Forschenden nachweisen, dass die von Triclosan ausgelösten phänotypischen Veränderungen nach zwei Generationen durch evolutionäre Prozesse und Akklimatisation entstehen, das heisst, dass eine Anpassung stattfindet.

Besserer Schutz für Lachse dank genetischer Analysen

Die Zerstörung des natürlichen Lebensraumes und die Fischereiindustrie machen dem Atlantischen Lachs (*Salmo salar*) in Finnland das Leben schwer. In 23 von ursprünglich 25 Lachs-Flüssen schwimmen keine Lachse mehr, meistens weil Dämme die Wanderung der Fische vom Meer zurück zu ihren Laichgebieten behindern. Ein Fünftel aller in Europa gefischten Lachse stammt aus dem finnischen Fluss Teno. Bis vor kurzem versuchte man die Lachse des Teno und seiner Zuflüsse zu schützen, indem nur zwischen Mai und August jeweils von Dienstag bis Sonntag gefischt werden durfte. Dabei vernachlässigte man aber, dass die Zuflüsse verschiedene genetische Varianten beherbergen könnten. Um die Bestände nachhaltig zu schützen, sollten nur grosse und genetisch ähnliche Populationen befischt werden. Ebenfalls keine Berücksichtigung fand, ob die Populationen sich zu unterschiedlichen Zeiten fortpflanzen, was sich auf den Zeitpunkt ihrer Rückwanderung vom Meer in die Laichgewässer auswirken würde. Mit genetischen Analysemethoden fanden Wissenschaftler im Teno 14 genetisch unterschiedliche Lachspopulationen, wobei die Bestände in den Zuflüssen eine kleinere genetische Diversität aufweisen und sich stärker voneinander unterscheiden als die Populationen des Unterlaufs [3]. Mit diesem Wissen konnten sie die flussaufwärts wandernden Lachse anhand deren genetischen Fingerabdrücke einer Population zuweisen. Demnach waren die ersten Rückkehrer Individuen aus den empfindlicheren Zufluss-Populationen [4]. Für die Schutzbemühungen waren die Resultate von grossem Wert. Indem die Sportfischerei nun zu Beginn der Lachswanderung gebannt und danach auf Populationen des Unterlaufs beschränkt wird, haben die 14 Lachspopulationen des Teno langfristig gute Überlebenschancen.

Immer kleinere Fische

Wenn die Fischerei einen Grossteil einer Population abfischt, hat dies unmittelbare zahlenmässige und genetische Konsequenzen. Langfristig geht dadurch phänotypische Variation zum Beispiel für die Körpergrösse verloren, wie dies bei vielen kommerziell genutzten Fischarten der Fall ist. So zeigt der Vergleich heutiger Trophäenfotos mit solchen von vor 100 Jahren, dass die Fische früher einiges grösser waren. Viele dieser Fischarten investieren ihre Energie zu Beginn des Lebens in Wachstum, denn grosse Fische haben weniger natürliche Feinde und eine höhere Überlebenschance. So ist es eine vorteilhafte Strategie, erst ab einer bestimmten Körpergrösse Energie in die Fortpflanzung zu stecken. Die Fischindustrie befischt aber hauptsächlich die grossen Grössenklassen und verhindert so deren Fortpflanzung. Arten, die früh geschlechtsreif werden und ihre Ressourcen in

Fortpflanzung anstatt Wachstum investieren, hinterlassen in diesem Fall im Verhältnis mehr Nachkommen.

Sowohl Modellierungen als auch empirische Daten zeigen, dass kommerziell genutzte Fischarten immer jünger geschlechtsreif werden. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass dies die Folgen eines evolutionären Prozesses sind. Die Fische haben sich dem Selektionsdruck der Befischung angepasst. Eine solche evolutionäre Anpassung lässt sich nicht kurzfristig rückgängig machen und wird auch ökonomische Konsequenzen für die Fischindustrie haben. Wenn es darum geht, mit welchen Massnahmen die Fischerei ihre natürlichen Ressourcen in Zukunft bewirtschaften soll, sollten die Erkenntnisse der Evolutionsforschung unbedingt einfließen [5]. Fischpopulationen werden vielerorts aufgebessert, indem man die Gewässer mit Jungfischen besetzt. Oftmals stammen diese aber nicht von lokalen Populationen. Der Besatz mit fremden Fischen kann dazu führen, dass die einheimische genetische Diversität vermischt wird und verloren geht. Irene Keller von der Eawag und Kollegen konnten beispielsweise nachweisen, dass in den Einzugsgebieten von Rhone, Rhein, und Po die genetische Vielfalt von Forellen stark zurückgegangen ist infolge intensiven Besatzes mit gebietsfremden Fischen in der Vergangenheit [6]. Die Auswahl geeigneter Laichfische ist heute dank genetischer Methoden einfach zu treffen. Doch auch mit Wildfischen, die für Besatzmassnahmen in Zucht aufgezogen werden, ist Vorsicht geboten, wie Untersuchungen von Eawag-Forscher Hitoshi Araki und seinen Mitarbeitenden zeigen. Demnach können sich wilde Forellen, die in einer typischen Brutstätte aufgezogen werden, während ihrer Entwicklung morphologisch Zuchtformen angleichen.

Parasiten weichen auf andere Wirte aus

Wenn grosse Anteile einer Population entnommen werden, ändert sich der Lauf der Evolution. Dies gilt es nicht nur bei der Überfischung, sondern auch bei der Bekämpfung von Krankheiten zu beachten. Bilharziose ist eine der vernachlässigten tropischen Krankheiten, die durch Pärchenegeln der Gattung *Schistosoma* ausgelöst und im Süsswasser auf den Menschen übertragen wird. Diese artenreiche Gruppe parasitischer Saugwürmer benötigt einen Säugetier-Endwirt und benutzt Wasserschnecken als Zwischenwirte. Neben den drei Arten *Schistosoma japonicum*, *S. mansoni* und *S. haematobium*, die den Menschen infizieren, haben sich viele weitere Arten auf andere Säugetiere spezialisiert. Weltweit waren 2011 über 200 Millionen Menschen betroffen. Mit grossangelegten Medikamenten-Abgabeprogrammen versucht man der Krankheit Einhalt zu gebieten. Doch das stellt auch einen Selektionsdruck für die Parasiten dar. So führte die jahrzehntelange Medikamentenabgabe in China dazu, dass *S. japonicum* in gewissen Regionen neben dem Menschen nun auch neue Endwirte, etwa Huf- und Nagetiere, infiziert [7]. Die Krankheit wird damit sehr schwierig zu kontrollieren, da Wildtiere ein fast unerschöpfliches Reservoir für Reinfektionen darstellen. Zudem lässt sich der Parasit in den Tieren schlecht bekämpfen.

Der Bau von Dämmen, neue landwirtschaftliche Praktiken und die Klimaerwärmung haben die Bedingungen für diese Parasiten in den letzten Jahrzehnten ebenfalls stark verändert. In Afrika

hat der Dammbau neue aquatische Lebensräume geschaffen, die von verschiedenen Schistosoma-Arten erobert wurden. Auch in diesen Regionen waren die Bekämpfungsmassnahmen weniger erfolgreich als erwartet. So fanden Wissenschaftler, dass in den bekämpfungsresistenten Gebieten die für Menschen gefährliche Art *S. haematobium* mit *S. bovis* hybridisiert, die nur Rinder als Endwirt benutzt [8]. Die Hybriden können nun sowohl Menschen als auch Rinder befallen. Die Schistosoma-Arten spezialisierten sich im Lauf ihrer Evolution auf unterschiedliche Endwirte, sind aber teilweise nahe miteinander verwandt. Deshalb können sie bei hohem Bekämpfungsdruck leicht auf neue Wirte überspringen oder miteinander hybridisieren, was in beiden Fällen zur Erweiterung des Wirtsspektrums führt. Bei Bekämpfungsstrategien ist es deshalb wichtig, auch die evolutionäre Geschichte solcher Krankheitserreger zu beachten.

Flexibleres Umweltmanagement für komplexe Systeme

Die Intensität und Geschwindigkeit mit der sich die globalen Ökosysteme im letzten Jahrhundert verändert haben, ist beispielslos. Als Reaktion darauf werden Massnahmen gefordert, um die Veränderungen rückgängig zu machen oder deren Wirkungen abzumildern. Oft geht dabei vergessen, dass ein Ökosystem ein komplexes Netzwerk darstellt und eine einzelne Veränderung eine Kaskade von Reaktionen im ganzen System auslöst. Die Anzahl Studien zu anthropogenen Veränderungen, die Kaskadeneffekte und schnelle Evolution dokumentieren, häufen sich. In vielen Fällen ist es möglich, die Richtlinien an die Erkenntnisse der evolutionäre Prozesse anzupassen, wie das Beispiel der Lachse im Teno zeigt. Allerdings sind die Reaktionen auf die getroffenen Massnahmen nicht immer voraussagbar und bringen nicht immer den gewünschten Erfolg. Für die Entscheidungsträger ist dies eine schwierige Situation, denn die Gesellschaft erwartet die richtigen Management-Entscheidungen. Eine zukunftsfähige Strategie wäre ein flexibles und lernfähiges Umweltmanagement, wo Entscheidungsträger, Praktiker und Wissenschaftler gemeinsam nach Lösungen suchen, die einen gewissen Anpassungsspielraum zulassen.

[>>Eawag-Symposium](#)



Kirstin Kopp
Abteilung Aquatische Ökologie
kirstin.kopp@eawag.ch

- [1] Silvestre F., Gillardin V., Dorts J. (2012): Proteomics to assess the role of phenotypic plasticity in aquatic organisms exposed to pollution and global warming. *Integr Comp Biol.* 52(5), 681–694
- [2] Pomati F., Nizzetto L. (2013): Assessing triclosan-induced ecological and trans-generational effects in natural phytoplankton communities: a trait-based field method. *Ecotoxicology* 22 (5), 779–794
- [3] Vähä J.-P., Erkinaro J., Niemelä E., Primmer C. R. (2007): Life-history and habitat features influence the within-river genetic structure of Atlantic salmon. *Molecular Ecology* 16 (13), 2638–2654
- [4] Vähä J.-P., Erkinaro J., Niemelä E., Primmer C. R. (2008): Temporally stable genetic structure and low migration in an Atlantic salmon population complex: implications for conservation and management. *Evolutionary Applications* 1 (1), 137–154
- [5] Ane T Laugen et al. (2012): Evolutionary impact assessment: accounting for evolutionary consequences of fishing in an ecosystem approach to fisheries management. *Fish and Fisheries*. doi: 10.1111/faf.12007
- [6] Keller I., Schuler J., Bezault E., Seehausen O. (2012): Parallel divergent adaptation along replicated altitudinal gradients in Alpine trout. *BMC Evolutionary Biology* 12 (210), doi:10.1186/1471-2148-12-210
- [7] Tine Huyse et al. (2009): Bidirectional Introgressive Hybridization between a Cattle and Human Schistosome Species. *PLoS Pathogens* 5 (9), e1000571
- [8] Santamaría L., Méndez P. F. (2012): Evolution in biodiversity policy – current gaps and future needs. *Evolutionary Applications* 5 (2), 202–218