

## Schweizer Seen als Hotspot der Fischartenvielfalt

Im Forschungsvorhaben *Projet Lac* wurden 35 Seen im Alpenraum erstmals systematisch auf ihre Fischbestände untersucht: Allein in der Schweiz wurden 106 Fischarten nachgewiesen. Mit fast 20 Prozent aller in Europa bekannten Fischarten gehört die Schweiz damit zu den Hotspots für die Fischartenvielfalt. Die Resultate sind die Grundlage zum Schutz dieser noch erhaltenen Vielfalt.

Von Ole Seehausen



Der Bodenersee (25) sowie der Luzerner- und Thunersee (je 24) sind die Seen mit der grössten Anzahl heimischer Arten in der Schweiz und im Alpenraum insgesamt. Hier: Thunersee.

Die Schweiz ist in Mittel- und Südeuropa das Land mit der grössten Häufung grosser und tiefer Seen. Diese Seen sind ein Produkt der Eiszeiten, während denen ihre Trogböden von den riesigen Gletschermassen über Jahrmillionen hinweg aus den Felsen ausgeschliffen wurden. Heute stellen die Alpenrandseen einzigartige Ökosysteme dar, welche von anderen, ähnlichen Ökosystemen geografisch stark isoliert liegen. Ihre Fischartengemeinschaften zeichnen sich durch eine besonders grosse Vielfalt aus, wie es sie sonst in Europa wohl nirgendwo gibt. Der Grund ist, dass in diesen Seen oftmals zahlreiche endemische Kaltwasserfischarten des nördlichen Europas mit Warmwasserfischarten des südlichen Europas zusammentreffen und verschiedene Tiefenzonen in den thermisch stark geschichteten Seen besiedeln. Neben dem grossen Artenreichtum innerhalb einzelner Seen gibt es auch grosse Unterschiede in der Artenzusam-

mensetzung zwischen den Seen. Die Schweiz liegt im Einzugsgebiet der vier grossen Flüsse Rhein, Rhone, Po und Donau, die zu drei verschiedenen Süsswasser-Ökoregionen Europas gehören. Die Seen der unterschiedlichen Flusssysteme, wurden daher von ganz unterschiedlichen Arten besiedelt.

Viele endemische Kaltwasserfischarten mit kleinem Verbreitungsgebiet leben in nur einem See beziehungsweise in benachbarten Seen gemeinsamen geologischen Ursprungs. Dort haben sie sich nach dem Rückzug der pleistozänen Eisschilde entwickelt. Diese Arten haben zwar eine geographisch eng eingegrenzte Verbreitung, kommen jedoch in den jeweiligen Seen oftmals in grosser Zahl vor und sind für die Berufs- und Freizeitfischerei von grosser Wichtigkeit. Gleichzeitig sind sie für den Artenschutz von globaler Bedeutung und reagieren sehr empfindlich auf menschliche Eingriffe.

Bis vor wenigen Jahren hatten sich Forschungsprojekte zu Fischarten der Alpenrandseen zumeist auf einen oder wenige Seen beziehungsweise Seehabitats oder auf eine oder wenige Fischarten beschränkt. Zudem wurden die Daten nicht in einem breiteren ökologischen oder biogeografischen Zusammenhang analysiert. Zwar lagen für alle grossen Seen Fischereistatistiken vor, die Angaben zu Anzahl und Art der gefangenen Fische liefern und wertvolle Erkenntnisse zu den Veränderungen der Seen und der Fischerei im letzten Jahrhundert beigetragen haben. Fischereistatistiken geben jedoch nur Aufschluss über wenige Fischarten und liefern auch nur sehr eingeschränkte Information zur Biodiversität eines Sees.

Im Seenprojekt *Projet Lac* der Eawag, konnten über zehn Jahre hinweg wesentliche Informationslücken zur Verbreitung und Häufigkeit der Fischarten in allen Alpenrandseen geschlossen werden.

Dazu wurden mehrere standardisierte Beforschungs-Methoden angewandt und kombiniert mit modernen Identifikations-Methoden und neusten systematischen und taxonomischen Erkenntnissen. In allen Seen wurden dieselben Methoden angewandt, so dass die Fischgemeinschaften verglichen werden konnten. 35 Seen in der Schweiz und benachbarten Regionen wurden untersucht. Dabei wurden über 106 verschiedene Fischarten nachgewiesen. Mit beinahe 20 Prozent aller in Europa bekannten Fischarten (525 Arten) gehört die Schweiz, die nur 0,4 Prozent der europäischen Landfläche ausmacht, zu den Regionen mit dem höchsten Fischartenreichtum. Bei unseren Erhebungen fingen wir auch fünf Arten, deren Vorkommen in der Schweiz zuvor nicht bekannt war sowie mehrere für die Wissenschaft neue Arten. Letztlich wurden nördlich der Alpen zwei Arten nachgewiesen, deren Vorkommen bisher nur von südlich der Alpen bekannt war.

### Die Fischvielfalt der Schweizer Seen

Die Familie der Lachsfische (*Salmonidae*) beherbergt die grösste Zahl einheimischer Fischarten in der Schweiz (44 Arten), gefolgt von der Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*: 27 Arten). Diese beiden Familien sind in Europa generell die artenreichsten, allerdings mit einem umgekehrten Dominanzverhältnis (236 Karpfenfischarten und 98 Lachsfischarten). Die meisten der für den Artenschutz besonders wertvollen 41 endemischen Arten gehören zur Familie der Lachsfische, hierbei handelt es sich vor allem um unterschiedliche Felchen- (*Coregonus* spp.) und Saiblingsarten (*Salvelinus* spp.). In den Alpenrandseen kommen auch mindestens 31 in einigen Seen als gebietsfremd (ursprünglich aus Europa) oder exotisch (aus Asien oder Nordamerika) eingestufte Fischarten vor. Die meisten gehören ebenfalls zur Familie der Lachsfische (11 Arten) oder der Karpfenfische (8 Arten). Die üb-

rigen in der Schweiz heimischen Arten, verteilen sich auf 16 weitere Familien. Die Daten zeigen auch, dass viele Arten lokal extrem selten vorkommen.

Die meisten endemischen Fischarten wurden entweder in den Offen- oder Tiefenwasserhabitats von nährstoffarmen Seen nachgewiesen. Die grösste Gesamtzahl an Fischarten wurde dagegen in der flachen Uferzone nachgewiesen. Das Verhältnis zwischen Reichtum an endemischen Arten und Gesamtartenreichtum ist folglich im Freiwasser und Tiefenwasser viel höher als am Ufer. In den Uferzonen fand sich die grösste Anzahl Fischarten im Mündungsbereich von Bächen und Flüssen. In wärmeren Uferbereichen waren Häufigkeit und Biomasse am grössten. In nährstoffarmen Seen war der Unterschied bezüglich der Fischbiomasse zwischen Ufer und Tiefenwasser weniger ausgeprägt: Sogar in den tiefsten Schichten dieser Seen wurden noch Fische ge-

fangen. In sehr nährstoffreichen Seen wurden ab 30 Meter Tiefe praktisch keine Fische mehr gefangen, weil während der Sommer-Schichtung dort der Sauerstoff komplett fehlte. Der Klimawandel hat in einigen Seen, zum Beispiel im Untersee des Zürichsees, solche Trends verschärft: Wegen des wärmeren Oberflächenwassers im Winter wird das Zeitfenster verkürzt, in dem die vertikale Durchmischung zu einer Sauerstoffanreicherung im Tiefenwasser führt. In anderen Seen, die nach der Nährstoffbelastung des letzten Jahrhunderts wieder nährstoffärmer sind, sind die Tiefenwasserarten wegen des Sauerstoffmangels in den Jahren der Eutrophierung ausgestorben. Die Tiefwasserbereiche dieser Seen sind deshalb heute nur spärlich von Fischen besiedelt, obwohl sie erneut als Lebensraum genutzt werden könnten. Dies legt nahe, dass die ursprünglich im Tiefwasser lebenden Arten und Populationen von Fischen speziell angepasst waren an diesen Lebensraum und den überlebenden Flachwasserarten diese Anpassungen fehlen.

Felchenarten (*Coregonus* spp.) weisen in den meisten grossen Alpenrandseen die höchsten Fischbiomassen auf. Darin zeigt sich ihre zentrale Bedeutung für ein See-Ökosystem. In Seen mit höheren Phosphorkonzentrationen war die Abundanz und Biomasse von Felchen tendenziell geringer und diejenige des Barsches (*Perca fluviatilis*) höher. Die höhere Abundanz

und Biomasse der Felchen in nährstoffarmen Seen basiert zumeist auf kleineren Felchenarten. In den Kiemennetzfängen im flachen Wasser waren in den meisten Seen Barsch, Rotaugen (*Rutilus* spp.), Alet (*Squalius* spp.) und Rot-/Schwarzfeder (*Scardinius* spp.) dominant. Barsche und Rotaugen waren in den ufernahen Bereichen vieler kleinerer und auch mehrerer grösserer Seen häufig. Ausnahmen von diesen Trends bildeten der Lago Maggiore, wo im offenen Wasser der Agone (*Alosa agone*, ein Heringsartiger) dominierte und die Alpenseen von Sils und Poschiavo, wo standortfremde Seesaiblinge (*Salvelinus umbla*), einheimische und eingeführte Forellen (*Salmo* spp.) und die exotische Kanadische Seeforelle (*Salvelinus namaycush*) vorherrschten.

#### Geographische Unterschiede in der Artenzusammensetzung

Die Zusammensetzung der Artengemeinschaften ist eng mit der geografischen Lage des Sees assoziiert, das heisst dem zugehörigen Flusseinzugsgebiet sowie der Lage des Sees: nördlich oder südlich der Zentralalpen, alpin, perialpin oder voralpin. Seen innerhalb der gleichen Flusseinzugsgebiete (Rhein, Rhone, Po) weisen generell eine ähnlichere Zusammensetzung der einheimischen Fischgemeinschaften auf. Die Unterschiede in der Artenzusammensetzung zwischen den Einzugsgebieten gehen auf die verschiedenen eiszeitlichen Rückzugsgebiete zurück. Die südlichen perialpinen Seen im Einzugsge-

biet des Po wurden überwiegend von Fischen wiederbesiedelt, die in den stromabwärtsliegenden Teilen des Einzugsgebiets nahe der Adria Zuflucht gefunden hatten. Die nördlichen Voralpenseen wurden von Arten verschiedenster Herkunft besiedelt – ein Hinweis auf die Verbindung zu den eiszeitlichen Tieflandrefugien der drei grossen Flusseinzugsgebiete (Rhein, Rhone und Donau). Elf Gattungen haben verschiedene Vertreter nördlich und südlich der Alpen. Genetische Analysen legen nahe, dass diese Arten – trotz der geographischen Nähe – selten nahe miteinander verwandt sind, sondern jeweils näher verwandte Arten in anderen Regionen von Europa haben: Darin spiegelt sich die unterschiedlichen Evolutionsgeschichte auf beiden Seiten der Alpen wider, die in erster Linie durch die Trennwirkung der Alpen und nicht durch die pleistozänen Gletscherzyklen bedingt sind. Die wenigen einheimischen Fischarten in den geografisch isolierten Alpenseen (Sils und Poschiavo) waren Kaltwasserarten. Die grossen Seen im Einzugsgebiet des Rheins weisen, mehr als jene der Rhone und des Po, zahlreiche endemische Arten auf. Wahrscheinlich ist dies auf die Grösse vieler Seen im Rheineinzugsgebiet und das verbreitete Vorkommen der Gattungen *Coregonus* und *Salvelinus* zurückzuführen. Diese Gattungen sind nach dem Ende der Eiszeit wahrscheinlich mit als erstes in die Seen eingewandert und daraus haben sich viele neue Arten (Neoendemiten) entwickeln

Mehrere noch unbeschriebene endemische Groppenarten bewohnen die tiefen Alpenrandseen. Die Abbildung zeigt zwei unterschiedliche Groppen aus dem Thunersee: links eine Flachwassergroppe aus der Uferzone, rechts eine Tiefwassergroppe aus über 100 Meter Tiefe.



Das Bild zeigt eine wahrscheinlich bislang unbeschriebene Elritzenart im Thunersee. Sie scheint endemisch in einigen präalpinen Seen der Alpennordseite vorzukommen.

können. Die meisten nicht einheimischen und exotischen Arten wurden hingegen in den südlichen, perialpinen Seen des Po-Einzugsgebiets gefunden. Grössere Seen bieten eine grössere Vielfalt an unterschiedlichen ökologischen Nischen, so dass darin mehr Arten nebeneinander existieren können. Sofern die Seen tief genug sind, um im Sommer Kaltwasserrefugien in der Tiefe zu bieten, welche mit genügend Sauerstoff bis zum Grund versorgt sind, haben sich Kaltwasserfischen an diese extremen Umgebungen angepasst und Tiefwasserendemiten sind entstanden. Grössere Seen können auch grössere Populationen von den meisten Arten beherbergen. Damit sinken die Risiken, dass Schwankungen in der Jahrgangsstärke (demografische Stochastik) oder Umweltveränderungen zum lokalen (und bei endemischen Arten möglicherweise globalen) Aussterben führen. Die Seen im Einzugsgebiet des Rheins und des Po sind über Flüsse recht gut miteinander vernetzt, während jene im oberen Rhone- und Donaulauf stärker isoliert sind. So entstanden im Rhein- und Po-Einzugsgebiet grössere Meta-Gemeinschaften von Fischarten und -populationen. Dies wiederum trägt zu einer häufigeren (Wieder-)besiedlung dieser Seen und den Fortbestand der Arten in den Seen bei.

#### Bedrohung der Vielfalt

Die stärkere Erwärmung des Oberflächenwassers infolge des Klimawandels beeinträchtigt in einigen Seen die vertikale Durchmischung und verursacht beziehungsweise verschärft somit den Sauerstoffmangel im Tiefenwasser. In der Folge ist der Transport von Nährstoffen aus dem Tiefenwasser an die Oberfläche reduziert und begünstigt so die Ausbreitung von Blaualgen, welche Stickstoff aus der Atmosphäre fixieren und für das Zooplankton nicht nutzbar sind. Weniger Vermischung wirkt sich auch auf die Fischgemeinschaften aus, weil sich der potenziell besiedelbare Lebensraum im See reduziert, Refugien im Kaltwasserbereich nicht nutzbar sind und die Auswahl und Abundanz an Fischnährtieren verändert wird.

Zu den häufigsten exotischen oder standortfremden Arten in den Alpenrandseen gehören der Eurasische Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernua*), der Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*), das Rotaugen (*Rutilus rutilus*) und verschiedene Felchenarten (*Coregonus* spp.) in den südlichen perialpinen Seen. Häufig vorkommende gebietsfremde Wirbellose wie die Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*), die Quagga-Muschel (*Dreissena bugensis*) und die Asiatische Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*) führen in vielen Seen zu grossflä-

chigen Veränderungen am Seegrund und damit auch am Habitat der Fische und ihrer Nahrung. Dadurch wird möglicherweise das Nahrungsnetz des Sees verändert – mit noch weitgehend unbekanntem, aber potentiell weitreichenden Folgen für die einheimischen und gebietsfremden Arten.

Die Wiederherstellung der Schlüsselfaktoren des Seeökosystems (z.B. profundale und litorale und profundale Habitate, Wasserqualität und Nährstoffe) und die Wiederherstellung einer möglichst naturnahen Fluss-See-Vernetzung, schaffen die besten Voraussetzungen für den Schutz und die Erhaltung der einheimischen Fischarten. Effektives Monitoring und der Erhalt der Fischbiodiversität setzen fundierte Kenntnisse der Artenvielfalt, Ökologie und Verbreitung, Taxonomie und der Wechselwirkungen zwischen den Arten voraus. Letztlich ist Artenvielfalt immer dann bedroht, wenn sie nicht bekannt beziehungsweise nicht wahrgenommen wird. Leider ist das bei den «Kleinfischen» der Schweiz noch bis heute der Fall. Die taxonomische Beschreibung bislang unbeschriebener Fischarten ist für den Schutz der Artenvielfalt daher unabdingbar, nimmt aber viel Zeit in Anspruch. Es ist wichtig, dass das Verständnis dafür zunimmt.



#### Ole Seehausen

leitet die Abteilung Fischökologie und -evolution an der Eawag. Er ist zudem Professor für aquatische Ökologie und Evolution an der Universität Bern und Mitdirektor des Instituts für Ökologie und Evolution der Universität Bern.

#### Ole Seehausen

Eawag  
Seestrasse 79, 6048 Kastanienbaum  
ole.seehausen@eawag.ch, 058 765 21 21