

Diss. ETH No. 13706

**Population dynamics of whitefish  
(*Coregonus suidteri* Fatio)  
in artificially oxygenated Lake Hallwil,  
with special emphasis on  
larval mortality and sustainable  
management**

Dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

Carole Andrea Enz

Dipl. Natw. ETH Zurich

born August 3, 1972

Citizen of Schönholzerswilen (TG), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. J. V. Ward, examiner

Prof. Dr. H. Lehtonen, co-examiner

Dr. R. Müller, co-examiner

Kastanienbaum, 2000

---

# SUMMARY

This work basically describes the fish fauna and the dynamics of a whitefish population in a typical eutrophic lake. Because whitefish are commercially important, and because their natural reproduction in eutrophic lakes is ineffective, the life history, management and conservation of whitefish are investigated, taking the example of eutrophic Lake Hallwil in the Swiss Midland.

The structure of today's fish assemblages in Swiss lakes is the result, first of all, of colonization after the last Ice Age some 15,000 years ago. After the retreat of the glaciers, fish immigrated from the previously ice-free regions into the newly-formed lakes. Lake Hallwil is such a post-glacial lake. Today, it is inhabited by twenty fish species. In 1961, a rapid decrease in oxygen concentration due to cultural eutrophication led to a devastating fish kill. In the following years, most of the fish populations successfully recovered on their own (chapter 2). However, in eutrophic lakes, salmonid fish like whitefish are greatly endangered due to unsuccessful natural propagation and the threat of fish kills. In Lake Hallwil, the so called Lake Hallwil "Ballen" (*Coregonus suidteri*, Fatjo), a fast-growing autochthonous coregonid, was commercially important already during the Middle Ages. In 1898, the first algal bloom heralded the beginning of eutrophication. Stocking whitefish larvae to sustain the decreasing whitefish population was conducted already at the beginning of the 20th Century. Nevertheless, whitefish yield continued to decrease due to the negative effects of progressing eutrophication. Following the fish kill of 1961, Lake Hallwil whitefish probably disappeared from the lake. Thanks to stocking Lake Sempach "Ballen", a conspecific whitefish form in a near-by lake, a whitefish population was successfully restored in Lake Hallwil.

Since 1970, an increasing number of whitefish larvae have been pre-fed for at least six weeks in hatcheries prior to stocking in the lake. These pre-fed larvae are expected to survive ten times better in the lake than newly hatched larvae. Larvae are usually reared on live zooplankton or on dry diets. In order to further improve the rearing of whitefish larvae, some feeding experiments were carried out (chapters 3 and 4). Thereby it was found that live zooplankton is still the best diet to rear

---

whitefish larvae. However, low zooplankton density in the lake in spring often leads to difficulties in supplying sufficient numbers of zooplankton in the hatcheries. Nauplii of *Artemia salina*, various dry diets (chapter 3) or frozen zooplankton (chapter 4) may serve as alternative food. The results of the experiments showed that larvae reared on dry diet need an adaptation phase to switch from dry food to live zooplankton (chapter 3). As an important detail when setting up rearing tanks, the water inflow should be placed below the water surface of the tank in order to increase floating time and thus availability of the dry diet (chapter 4).

Thanks to stocking pre-fed larvae, whitefish has been the dominant fish in Lake Hallwil since 1977. Nevertheless, annual yield fluctuates strongly. This is a result of variation in year class strength caused by a number of mortality factors acting primarily during the early life stage of whitefish. Among the mortality factors investigated, intraspecific food competition due to high stock size and cannibalism were found to be unimportant. Larvae and adults showed different food preferences, leading to niche segregation during the most critical time in spring (chapter 5). However, strong evidence for early life mortality due to eutrophication-related processes was found using computer modelling: Sunny weather in May, together with high nutrient concentration, leads to strongly increased algal biomass and photosynthesis. This may result in extreme oxygen supersaturation which causes lethal gas bubble syndrome in the whitefish larvae (chapter 6). The large whitefish stock in Lake Hallwil is certainly of great commercial interest. It also has to be seen as the positive result of fish species conservation. Growth retardation, however, occurred in parallel with increasing whitefish density (chapter 7).

Trophic state in terms of total phosphorus concentration of Lake Hallwil decreased since 1977. External and internal restoration measures (chapter 1), in particular sewage diversion and artificial oxygenation since 1986, have had a positive effect on the lake ecosystem. Hypolimnetic oxygenation has enlarged the living space of fish and benthic organisms (chapters 5 and 8). Within the context of these water protection measures, this thesis provides new knowledge on the biology and ecology of Lake Hallwil whitefish in a eutrophic lake undergoing restoration. The results presented herein may set the basis for better conservation and management through improved rearing, stocking and protecting this valuable fish (chapter 8). The new findings may also help to assess, on a more general basis, the

---

usefulness of external and internal lake restoration measures for conservation and management of lake whitefish.

---

# ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich im wesentlichen mit den Themenbereich der Fischfauna und der Populationsdynamik von Coregonen in einem eutrophen See. Weil Felchen fischereiwirtschaftlich von Bedeutung sind und weil die natürliche Fortpflanzung dieser Fische in eutrophen Seen nicht mehr funktioniert, standen in dieser Arbeit Lebenszyklus, Fischereimanagement und Arterhaltung der Felchen im Vordergrund. Das Untersuchungsgewässer, der Hallwilersee, ist ein Beispiel für einen eutrophen Coregonensee im Schweizer Mittelland.

Die heutige Zusammensetzung der Fischgesellschaften in Schweizer Seen ist primär das Ergebnis der Neubesiedlung nacheiszeitlicher Gewässer vor ungefähr 15'000 Jahren. Nach dem Rückzug der Gletscher wanderten Fische aus eisfreien Gebieten in die neuentstandenen Seen ein. Der Hallwilersee ist ein solcher nacheiszeitlicher See. Heute beherbergt er zwanzig verschiedene Fischarten. 1961 führte ein Sauerstoffzusammenbruch als Folge der kulturell bedingten Eutrophierung zu einem verheerenden Fischsterben. In den darauffolgenden Jahren erholten sich die meisten Fischpopulationen von selbst (Kapitel 2). Die lachsartigen Fische jedoch, zu denen auch die Felchen gehören, sind in eutrophen Seen wegen Fortpflanzungsmisserfolg und möglichen Fischsterben bedroht. Der sogenannte Hallwiler «Ballen» (*Coregonus suidteri*, Fatio), eine schnellwüchsige autochthone Felchenform, war bereits im Mittelalter von grosser wirtschaftlicher Bedeutung. 1898 läutete eine erste Algenblüte die beginnende Eutrophierung ein. Bereits zu Beginn des 20sten Jahrhunderts versuchte man mit Besatzmassnahmen, dem Rückgang der Felchen entgegenzuwirken. Trotzdem sanken die Felchenfangertträge kontinuierlich, dies aufgrund der negativen Auswirkungen der zunehmenden Eutrophierung. Nach dem Fischsterben von 1961 sind die Felchen vermutlich aus dem See verschwunden. Dank Besatz mit Brütlingen des Sempacher «Ballen», einer möglicherweise identischen Felchenform aus einem benachbarten See, konnte der Felchenbestand im Hallwilersee neu aufgebaut werden.

Seit 1970 wurden in den Brutanstalten zunehmend auch Felchenbrütlinge während mindestens sechs Wochen angefüttert. Man schätzt, dass diese sogenannten

---

Vorsommerlinge im See eine zehnmal höhere Überlebensrate als frischgeschlüpfte Brütlinge haben. Die Felchenlarven werden mit lebendem Zooplankton oder mit Trockenfutter gefüttert. Um die Aufzuchttechnik zu verfeinern, wurden Fütterungsexperimente durchgeführt (Kapitel 3 und 4). Die Ergebnisse zeigten, dass lebendes Zooplankton nach wie vor das beste Aufzuchtfutter für Felchenlarven darstellt. Allerdings führen niedrige Zooplanktondichten im See im Frühjahr immer wieder zu Nahrungsengpässen in den Brutanstalten. Als alternative Futtermittel können Nauplien des Salinenkrebsses (*Artemia salina*), verschiedene Trockenfuttermittel (Kapitel 3) oder gefrorenes Zooplankton (Kapitel 4) verwendet werden. Die Versuchsergebnisse weisen zudem darauf hin, dass mit Trockenfutter gefütterte Larven bei der Umstellung auf lebendes Zooplankton eine Anpassungsphase durchmachen (Kapitel 3). Von zentraler Bedeutung bei der Felchenaufzucht mit Trockenfutter ist die Positionierung des Wassereinlaufs im Aufzuchtbecken: Der Einlauf muss unter der Wasseroberfläche münden, um die Verweilzeit des Trockenfutters auf der Wasseroberfläche zu verlängern und dadurch die Verfügbarkeit der Nahrung zu verbessern (Kapitel 4).

Dank dem Besatz mit Vorsommerlingen sind die Felchen seit 1977 die dominierende Fischart des Hallwilersees. Trotzdem schwanken die Jahresfangerträge enorm. Dies ist eine Folge der von Jahr zu Jahr schwankenden Jahrgangsstärken, verursacht durch eine ganze Reihe von Mortalitätsfaktoren, die hauptsächlich im frühen Lebensstadium der Felchen wirken. Diese Faktoren können unter Umständen ganze Felchenjahrgänge auslöschen. Zwei der untersuchten potentiellen Mortalitätsfaktoren, intraspezifische Nahrungskonkurrenz wegen hoher Populationsdichte und Kannibalismus, zeigten sich als vernachlässigbar. Felchenbrütlinge und adulte Felchen haben während der kritischen Frühjahrsperiode unterschiedliche Nahrungspräferenzen. Dies führt zu einer ausgeprägten Nischenseparation (Kapitel 5). Im Computermodell zeigte sich, dass eutrophierungsbedingte Prozesse im wesentlichen für die zeitweise sehr hohen Mortalitätsraten während der Larvenentwicklung verantwortlich sind. Sonniges Wetter im Mai, zusammen mit hoher Nährstoffkonzentration, führt zu stark erhöhter Algenbiomasse und Photosyntheseaktivität. Dadurch kann sich eine extreme Sauerstoffübersättigung aufbauen, die das tödliche Gasblasensyndrom bei Felchenlarven bewirkt (Kapitel 6). Der reiche Felchenbestand des Hallwilersees ist fischereiwirtschaftlich von grosser Bedeutung. Dies kann als positives Ergebnis der Bestandserhaltung durch die Besatzmassnahmen angesehen werden. Fischereiwirtschaftlich negativ zu werten

---

ist hingegen der beobachtete Wachstumsrückgang wegen der hohen Felchenbestandsdichte (Kapitel 7).

Seit 1977 hat sich der trophische Zustand des Hallwilersees signifikant verbessert. Externe und interne Sanierungsmassnahmen, speziell die Fernhaltung der Abwässer, aber auch die künstliche Seebelüftung, haben sich positiv auf das Ökosystem des Sees ausgewirkt (Kapitel 1). Die künstliche Sauerstoffanreicherung im Hypolimnion hat den Lebensraum für Fische und Bodentiere wesentlich vergrössert (Kapitel 5 und 8). Die Ergebnisse dieser Dissertation sind im Rahmen dieser Seesanieierungsmassnahmen zu sehen, da sie neue Erkenntnisse zur Biologie und Ökologie der Hallwiler «Ballen» in einem künstlich belüfteten, eutrophen See vermitteln. Weiter liefert diese Arbeit Grundlagen für die Arterhaltung und die fischerliche Bewirtschaftung der einzigartigen Hallwiler «Ballen» in Form von Empfehlungen für Aufzucht, Besatz und Fischerei (Kapitel 8). Die neuen Erkenntnisse können schliesslich auch in einem etwas allgemeineren Rahmen dazu dienen, den Erfolg von externen und internen Sanierungsmassnahmen im Hinblick auf den Erhalt und die Bewirtschaftung von Felchenbeständen in eutrophen Seen zu beurteilen.