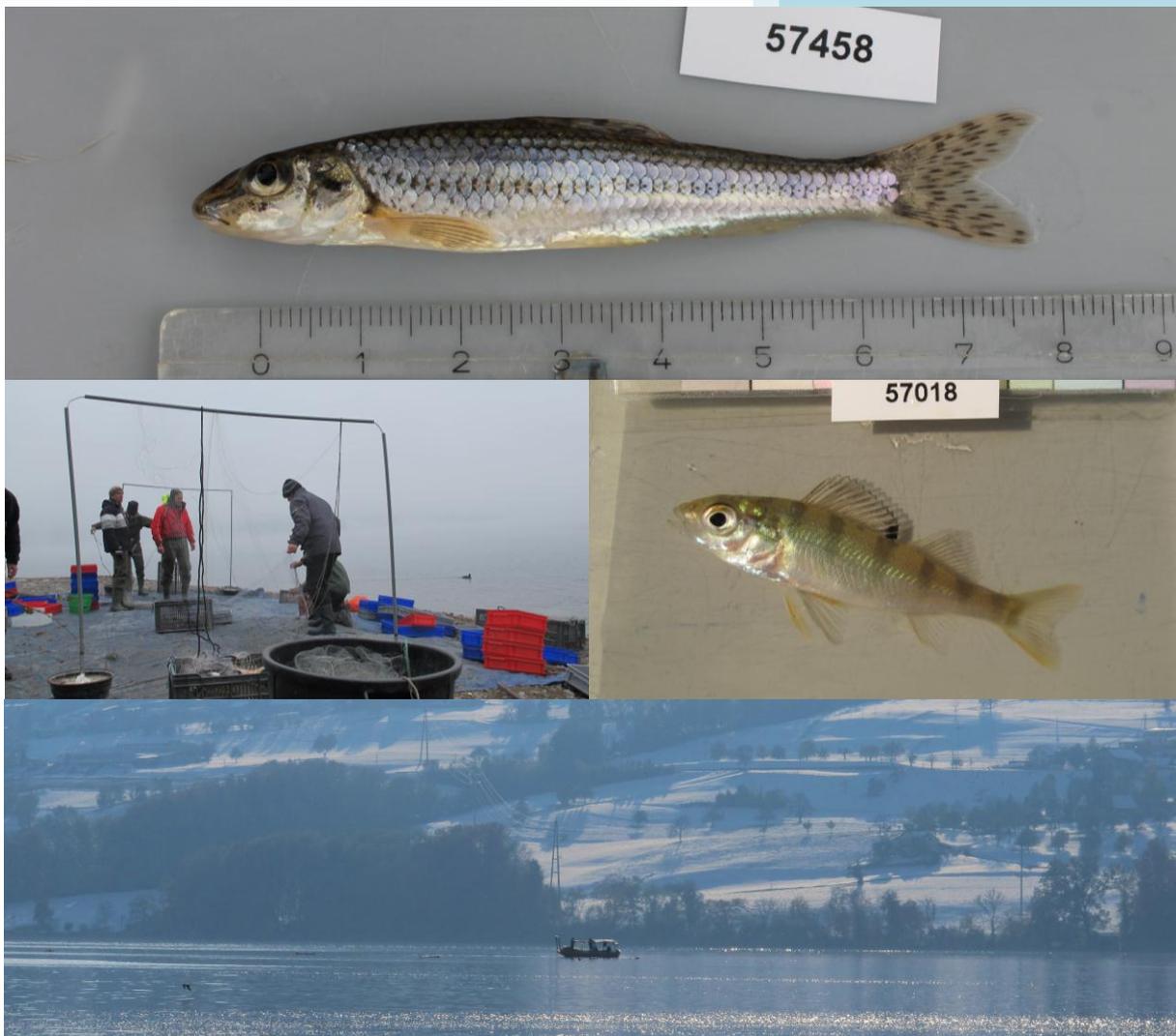


Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Hallwilersee



Impressum

Autoren:

Pascal Vonlanthen
Guy Périat
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
pascal.vonlanthen@eawag.ch

Projektleiter:

Ole Seehausen, Eawag

In Zusammenarbeit mit:

Tim Alexander, Eawag
Jean Guillard, INRA Thonon
Michel Colon, INRA Thonon

Zitiervorschlag:

Vonlanthen P, Périat G, Seehausen O, Alexander T. 2014. Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Hallwilersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Danksagung:

Die Autoren möchten sich recht herzlich bei allen bedanken, die an dem Projekt mitgearbeitet oder das Projekt unterstützt haben. Insbesondere sind dies: David Bittner, Thomas Stucki, Jakob Brodersen, Diego Dagani, Johannes Hellmann, Jonas Streit, Jennifer Pulver, Carmela Doenz, Jessica Rieder, Hervé Decourcière, Daniel Schlunke, Yann Marbach, Jonathan Paris, Gregory Tourreau, François Degiorgi, Michael Gogouilly, Thomas Röösl, Erwin Schaeffer, Arno Stöckli und Jennifer Vonlanthen-Heuck. Finanziert wurde das Projekt vom BAFU, von der Eawag, und von der Sektion Jagd und Fischerei vom Departement Bau, Verkehr und Umwelt vom Kanton Aargau.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ZUSAMMENFASSUNG | 2 |
| 2 | AUSGANGSLAGE | 3 |
| 2.1 | WESHALB EIN „PROJET LAC“ | 3 |
| 2.2 | ZIELSETZUNG | 4 |
| 3 | METHODEN | 5 |
| 3.1 | CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MESSREIHEN | 5 |
| 3.2 | HABITATKARTIERUNG | 5 |
| 3.3 | PROBENAHE DER FISCHE | 5 |
| 3.4 | FISCHFANGSTATISTIKEN | 7 |
| 4 | RESULTATE | 8 |
| 4.1 | PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE DATEN | 8 |
| 4.2 | HABITATKARTIERUNG | 11 |
| 4.3 | STANDARDISIERTE ABFISCHUNG | 13 |
| 4.4 | FISCHEREILICHE ASPEKTE | 22 |
| 5 | SYNTHESE | 28 |
| 5.1 | ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DES HALLWILERSEES | 28 |
| 5.2 | FISCHEREILICHE NUTZUNG | 29 |
| 6 | SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN | 30 |
| 7 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 31 |
| 8 | LITERATURVERZEICHNIS | 32 |
| 9 | ANHANG | 33 |
| 9.1 | ÜBERSICHT FÄNGE: CPUE DER GEFANGENEN FISCHE | 33 |
| 9.2 | RESULTATE DER PERMUTATIONEN | 33 |

1 Zusammenfassung

Um unsere Gewässer effizient zu bewirtschaften und zu schützen, muss der Ist-Zustand bekannt sein. Im „Projet Lac“ wird die Fischartenzusammensetzung in den alpinen Seen zum ersten Mal überhaupt standardisiert erhoben. Dieser Bericht fasst die Resultate für den Hallwilersee zusammen. Über fünf Tage wurden im Herbst 2012 im Hallwilersee insgesamt 160 standardisierte und reproduzierbare Befischungsaktionen durchgeführt. Diese Resultate können in Zukunft als Vergleich für die Entwicklung der Fischgemeinschaft im Hallwilersee herangezogen werden. Darüber hinaus können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

Der Hallwilersee ist heute ein mässig mit Nährstoffen belasteter und warmer See. Dies führt zu einer hohen Primärproduktion, einer Sauerstoffübersättigung im Metalimnion und einem Sauerstoffdefizit im Hypolimnion. Zur Unterstützung der Sanierung wird der See seit Jahren im Sommer mit Sauerstoff versorgt und die Zirkulation im Winter durch Luftzufuhr unterstützt. Trotzdem sind die Fische heute immer noch starken anthropogenen Umweltveränderungen ausgesetzt, die sich auf die Fischartenzusammensetzung auswirken. So stehen beispielsweise den Felchen im Sommer und Frühherbst kaum Lebensräume zur Verfügung, die genügend aber nicht zu viel Sauerstoff enthalten und nicht zu warm sind. Ebenfalls ist keine typische Tiefseefischfauna vorhanden.

Demgegenüber ist nur ein kleiner Teil des Ufers vom Hallwilersee stark verbaut. Die Verbauungen befinden sich insbesondere in Siedlungsnähe oder bei Bootanlegestellen. Der grössere Teil des Litorals besteht aus strukturarmem Feinsediment, das für Fische ein wenig attraktives Habitat darstellt. Die Starke Sedimentierung kann wiederum zumindest teilweise auf die Eutrophierung zurückgeführt werden.

Für die Fischerei zeigen die Resultate des „Projet Lac“, dass der Hallwilersee im Vergleich mit anderen alpinen Seen ein produktiver See ist. Gerade aber die für die Fischerei wichtigsten Felchen finden im Hallwilersee die zum Überleben notwendigen Bedingungen nur teilweise. Um die Fischerei im Hallwilersee zu fördern, muss die Nährstoffbelastung noch weiter reduziert werden. Insbesondere die für die Fischerei wichtigen Felchen würden von einer solchen Entwicklung profitieren. Weiter sind invasive Arten im See stark verbreitet. Erwähnenswert ist diesbezüglich der Kaulbarsch der im Hallwilersee sehr häufig ist.

2 Ausgangslage

2.1 Weshalb ein „Projet Lac“

Zur rechtlichen Verpflichtung

Um unsere Umwelt effizient schützen zu können, muss der Zustand der Ökosysteme bekannt sein. In der Europäischen Union besteht diesbezüglich für Fliessgewässer und Seen eine rechtliche Verpflichtung, die in der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60) geregelt ist. In der Schweiz verpflichtet das Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01) vor dem Bau jeglicher Anlagen, welche die Umwelt beeinträchtigen könnten, eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen, in welcher der Ausgangszustand des Ökosystems bestimmt werden muss (Art. 10b USG). Bezüglich der aquatischen Fauna sind die Kantone gemäss Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF, SR 923.01) verpflichtet, den Bund über das Vorhandensein von gefährdeten Arten (Gefährdungstatus 1-3) zu informieren (Art. 10 VBFG).

In den Alpenrandseen ist die Anwendung der gesetzlichen Verpflichtung oft schwierig oder gar unmöglich. Als Gründe sind insbesondere die Grösse und die Tiefe der Seen aufzuführen, die eine standardisierte Erhebung der Artenvielfalt erschweren. In der Tat ist eher wenig über die Artenvielfalt in den Alpenrandseen bekannt, was auch auf die Fische zutrifft, für welche die Datengrundlage fast ausschliesslich auf den Fischfangstatistiken beruht.

Fische als Bioindikator

Die Artenzusammensetzung der Fischpopulation eines Gewässers stellt allerdings einen hervorragenden Indikator für die Qualität und die Güte eines Ökosystems dar (Degiorgi & Raymond 2000; Karr 1981). Hervorzuheben sind diesbezüglich folgende Punkte:

- Fische sind langlebig und integrieren deshalb Effekte über einen langen Zeitraum.
- Fische nutzen ein grosses trophisches Spektrum, das in Form von Anpassungen an unterschiedliche Nahrungsnischen verdeutlicht wird.
- Fische haben unterschiedliche Ansprüche an die Wasserqualität.
- Die Habitat-Ansprüche variieren zwischen den verschiedenen Arten und zwischen den verschiedenen Altersstadien innerhalb einer Art.

Um Fische erfolgreich als Bioindikator nutzen zu können, müssen standardisierte Methoden angewendet werden, die reproduzierbar und somit vergleichbar sind. Da Fische wandern können, müssen die Methoden zudem simultan in allen Bereichen eines Gewässers angewendet werden. Aus diesem Grunde ist eine standardisierte Befischung der Seen sehr aufwendig und wurde in der Schweiz bisher noch in keinem der grossen und tiefen Alpenrandseen durchgeführt.

Aufgrund dieser Tatsachen, aber auch wegen den ökologischen, ökonomischen, touristischen und sozialen Werten, sollten Fische eine der Prioritäten in einer

nationalen Biodiversitätsstrategie sein. Um dies zu erreichen führt die Eawag mit der Unterstützung verschiedener Partner aus Wissenschaft, Bund, Kantonen und dem Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern zum ersten Mal überhaupt eine standardisierte Inventur der Fischfauna der alpinen und voralpinen Seen durch. Insgesamt sollen von 2010 bis 2014 ca. 24 Seen erforscht werden.

2.2 Zielsetzung

Allgemeine Zielsetzung

Die allgemeinen Zielsetzungen des Projekts können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erhebung des aktuellen Zustandes der Fischbiodiversität in den Alpenrandseen: Zu diesem Zweck werden reproduzierbare und standardisierte Fischfangmethoden angewendet, die einen Vergleich zwischen verschiedenen Seen und eine wissenschaftliche Auswertung der Daten ermöglichen. Um die Biodiversität effizient und reproduzierbar zu ermitteln, werden für gewisse Fischarten morphometrische und genetische Methoden zusätzlich zu der auf äusseren Merkmalen basierenden Taxonomie verwendet.
- Die Zusammenhänge zwischen Umwelt (biotische und abiotische Faktoren) und Artenvielfalt werden ausgearbeitet.
- Um die Proben für die Wissenschaft und für die Zukunft als Referenz sicherzustellen, werden mindestens 30 Individuen pro Art und See sowie verschiedene Proben für genetische und chemische Analysen im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern gesammelt.

Um die Artenvielfalt innerhalb wenig untersuchter Fischtaxa zu erfassen und um die ökologischen und evolutionären Mechanismen, die der heutigen Artenvielfalt der tiefen Alpenrandseen zu Grunde liegen, zu verstehen, werden zusätzliche wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt. Diese bauen auf den erhobenen Daten auf, können allerdings nicht abschliessend im Rahmen des vorliegenden seespezifischen Berichtes behandelt werden. Wo immer möglich fliessen die Resultate allerdings in den Bericht ein.

Spezifische Zielsetzung

Der vorliegende Bericht behandelt spezifisch die Resultate der Abfischungen, die im Hallwilersee vom 29. Oktober bis zum 1. November 2012 durchgeführt wurden. Ein Fokus der Auswertungen wird auf die Artenzusammensetzung und die Habitatnutzung der Fische gelegt.

3 Methoden

3.1 Chemische und physikalische Messreihen

Für die meisten grossen alpinen Seen werden durch die kantonalen Behörden Monitorings von chemischen und physikalischen Parametern durchgeführt. Diese wertvollen Daten werden für die Interpretation der Resultate mit einbezogen.

3.2 Habitatkartierung

Verteilung der Fische im See ist nicht zufällig

In einem ersten Schritt der Datenerhebung wurden die fischrelevanten und unter Wasser liegenden Habitate kartiert. Das zu Grunde liegende Prinzip setzt voraus, dass Fische nicht zufällig in den verschiedenen Habitat-Typen gefangen werden, sondern sich in gewissen litoralen Habitaten oder Tiefen häufiger aufhalten (Degiorgi & Grandmottet 1993). Ein See wird dabei in drei grosse Einheiten zerlegt:

- Die litorale Zone, die im Durchschnitt bis in eine Tiefe von 3m reicht.
- Die sublitorale Zone, zu der ebenfalls die benthische Zone gerechnet wird. Sie entspricht „der Halde“ innerhalb eines Sees.
- Die zentrale Zone, die sich aus pelagialen und profundalen Zonen zusammensetzt.

Die sublitoralen und zentralen Zonen werden anhand der Bathymetrie eines Sees bestimmt. Die litorale Zone wird von einem Boot aus vor Ort mit Hilfe von Luftaufnahmen in ArcGIS kartiert. Die Ufer werden sobald das Ufer durch Blockwürfe, Mauern usw. gesichert sind oder eine hohe Bootsdichte (offene Bootsanlegestellen im See) aufweisen als künstlich bezeichnet.

3.3 Feldaufnahmen der Fische

Verschiedene sich ergänzende Methoden

Vier Protokolle werden in jedem See simultan in der Woche vom 29.10.2012 – 1.11.2012 durchgeführt (Abbildung 3-1):

- a) Die Echolotuntersuchungen wurden vom INRA Thonon durchgeführt. Zwei Personen haben dabei Tag- und Nacht-Messungen in Transekten durchgeführt. Folgendes Material wurde für die Messungen verwendet:
 - Echolot SIMAD EK 60 vom Typ split-beam, Frequenz: 70kHz.
 - Ein zirkularer Signalwandler von 11° bei -3 dB, der 70cm unterhalb der Wasseroberfläche platziert ist.
 - Notebook und GPS für die Aufnahme und Verarbeitung der Daten.

Die Rohdaten wurden mit der Software Sonar 5 (Balk & Lindem 2006) analysiert. Um die mittlere Biomasse zu schätzen und Vergleiche zwischen den Seen zu ermöglichen werden die Resultate in „Sa“ wiedergegeben (Maclennan *et al.* 2002). „Sa“ entspricht dabei einer elementaren Einheit, die auf dem Mittelwert der Echolotsignale auf einer Strecke von 250m beruht. Diese Resultate sind proportional zur gemessenen Biomasse. Der See wird bei den Auswertungen in zwei Kompartimente geteilt, das erste beinhaltet die Tiefen von 1.5-15m und das zweite jene von 15m bis zur maximalen Tiefe. Die litorale Zone mit weniger als 5m Tiefe und die obersten 1.5m des Pelagials können mit dieser Methode nicht erfasst werden.

- b) Fische werden mit zwei verschiedenen Kiemennetzmethoden gefangen. Die erste entspricht der in der EU angewandten Methode der Wasserrahmenrichtlinie (prEN 14757; im Dokument als CEN-Methode angesprochen), die eine zufällige Verteilung der Netze vorsieht (Appelberg 2000). Die zweite Methode (im Dokument als Vertikal-Methode angesprochen) wurde an der Universität Besançon ausgearbeitet und durch die EAWAG weiter entwickelt. Dabei werden im Pelagial mit vertikalen Netzen und am Ufer mit benthischen Netzen Habitate gezielt befischt (Degiorgi *et al.* 1994). Die benutzte Netzfläche wird für die Standardisierung der Daten herangezogen.
- c) Verschiedene Uferhabitate mit geringen Wassertiefen (<1m) werden elektrisch befischt. Dabei wird immer ein Durchgang entweder zu Fuss oder mit dem Boot durchgeführt. Die befischte Fläche wird für die Standardisierung der Daten herangezogen.

*Fische für das
Museum*

Die gefangenen Fischarten werden anschliessend identifiziert, vermessen, gewogen, fotografiert und für die Gewebeprobeentnahme sowie die Konservierung im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern vorbereitet.

Beispiel der
Probenahme-
strategie

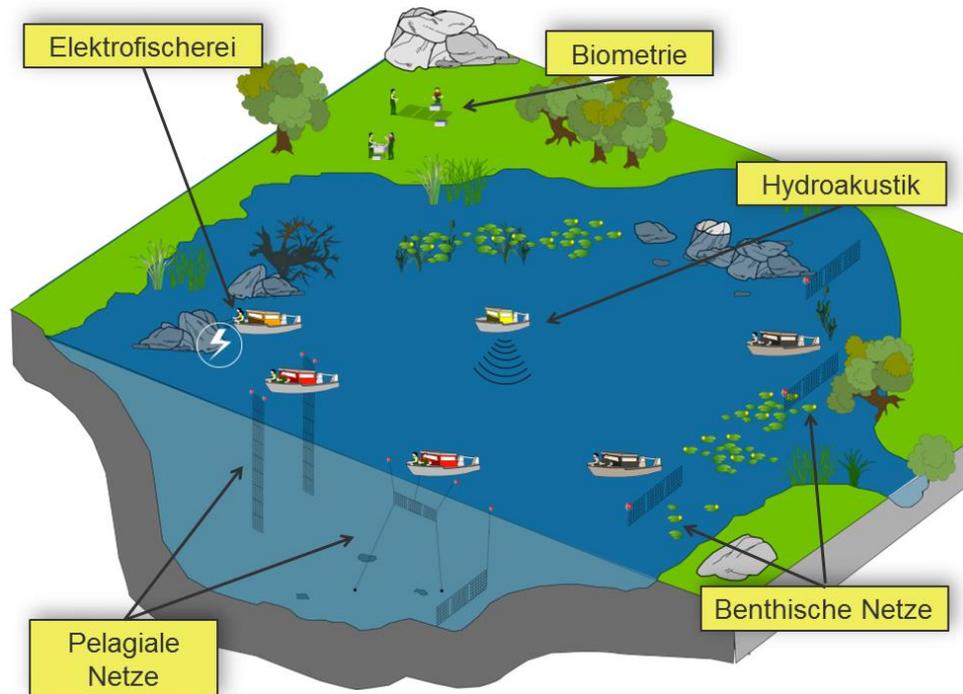


Abbildung 3-1. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Gogouilly)

3.4 Fischfangstatistiken

Die Resultate der „Projet Lac“-Fänge werden mit den Fängen der Angel- und Berufsfischer verglichen. Die Fangstatistiken werden deshalb für gewisse Auswertungen mit einbezogen.

4 Resultate

4.1 Physikalische und Chemische Daten

Verschiedene physikalische und chemische Messreihen werden von der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau durchgeführt. Für die ökologische Bewertung der voralpinen Seen sind unter anderem die Temperatur, die Nährstoffbelastung, der Sauerstoffgehalt und die Trübung von Bedeutung.

Ein warmer See

Die Temperaturprofile aus dem Jahr 2012 zeigen, dass Temperaturschwankungen bis zur maximalen Tiefe von 47m vorkommen (Abbildung 4-1). Die Oberflächentemperatur überschreitet dabei im Sommer die 20 °C-Marke während 4 Monaten. Die in dieser Zeitspanne höchste gemessene Temperatur betrug 28.2°C (Abbildung 4-2). Insgesamt ist der Hallwilersee somit ein warmer Flachlandsee.

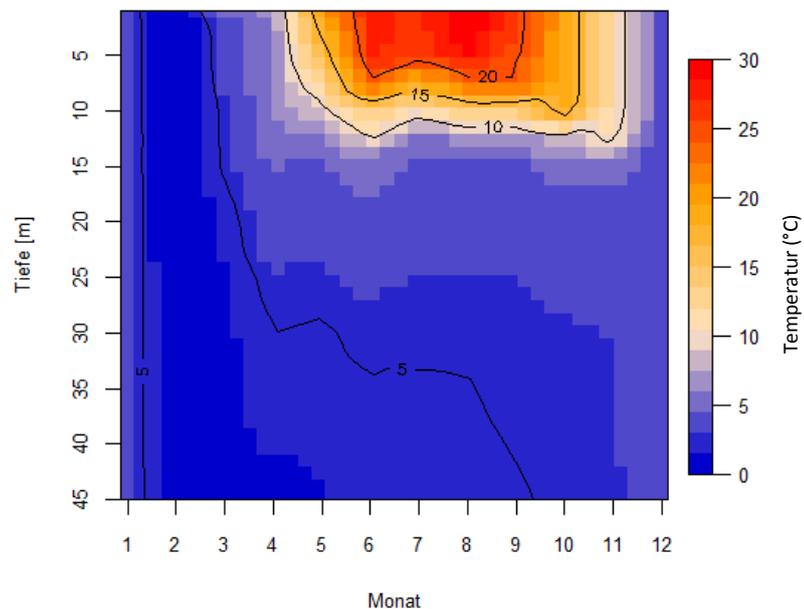


Abbildung 4-1. Temperaturprofile vom Hallwilersee von 2012. Daten: Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau.

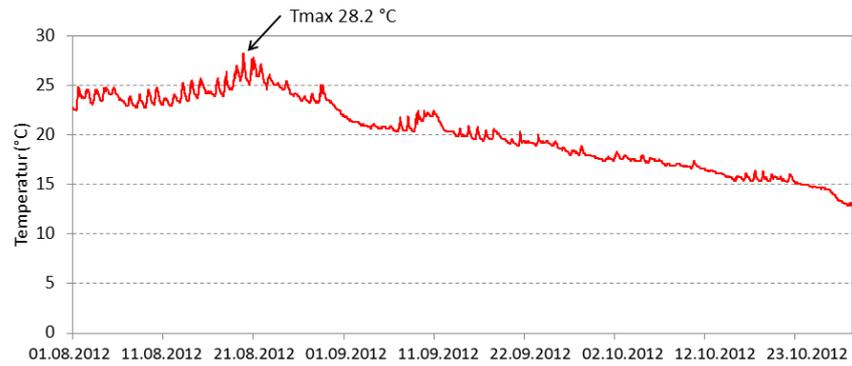


Abbildung 4-2. Entwicklung der Wasser-Oberflächentemperatur im Hallwilersee vom 1. August bis zum 31. Oktober 2012.

*Sauerstoffreiches
Tiefenwasser*

Die Sauerstoffmessungen zeigen, dass in den Sommermonaten zwischen 7 und 15m Tiefe (Metalimnion) eine Sauerstoffübersättigung auftritt (Abbildung 4-3). Dies kann mit der jahreszeitlichen Entwicklung der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) erklärt werden (Pers. Mitteilung A. Stöckli), die sich während der Stagnationsphase im Metalimnion einschichtet. Im Hypolimnion ist im zweiten Halbjahr nur wenig Sauerstoff vorhanden. Der Sauerstoffhaushalt des Sees weicht demzufolge stark von einem natürlichen Zustand ab. Deshalb wird der See seit Jahren im Sommer mit Sauerstoff versorgt und die Zirkulation im Winter durch Luftzufuhr unterstützt.

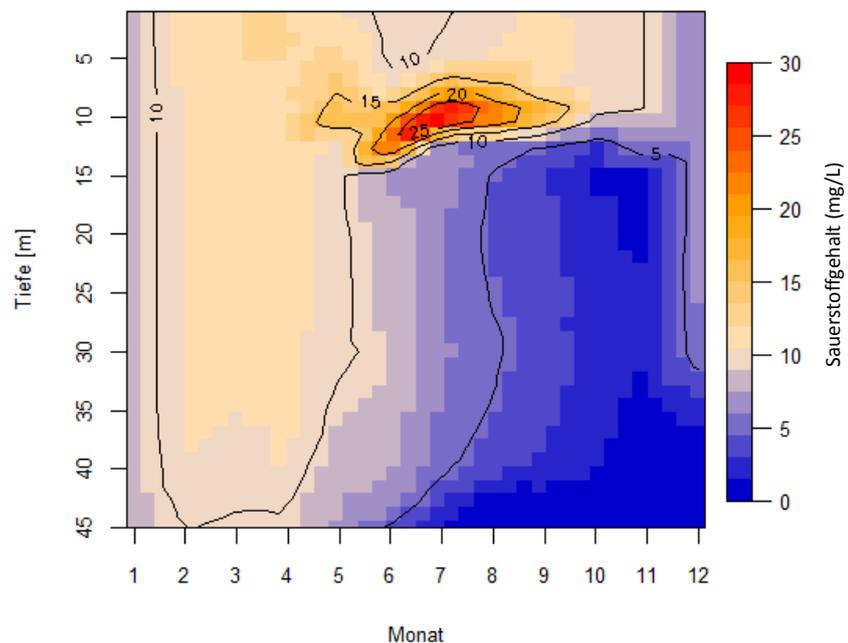


Abbildung 4-3. Sauerstoffprofile vom Hallwilersee von 2012. Daten: Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau.

Nach den extremen Höchstständen in den 70er Jahren hat der Phosphorgehalt in den letzten Jahren abgenommen. Seit 2011 liegt dieser unter 20µg/l.

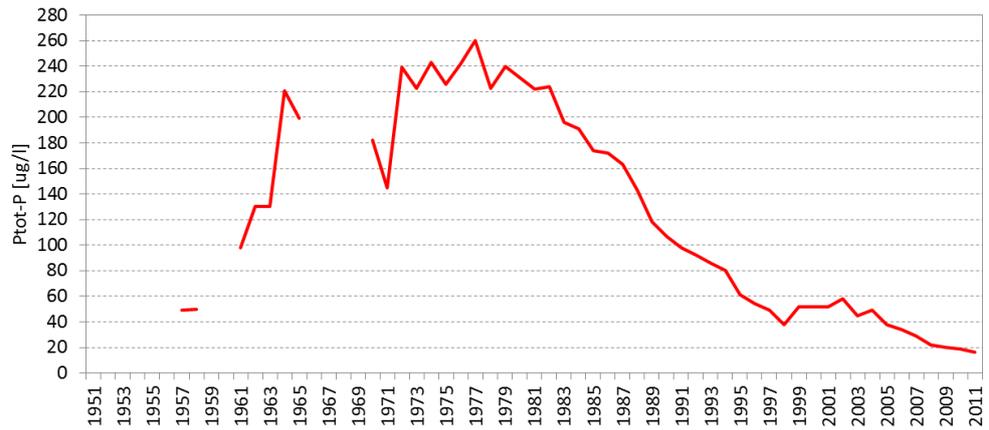


Abbildung 4-4. Entwicklung des Gesamtphosphorgehaltes des Wassers im Hallwilersee von 1950 bis 2011. Daten: Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Die Tiefenmessungen zeigen, dass die Trübung im Verlauf des Jahres und mit der Tiefe stark schwankt (Abbildung 4-5). Ursache sind die Algenblüten, die in gewissen Tiefen auftreten und die gleichzeitig zu der Sauerstoffübersättigung führen.

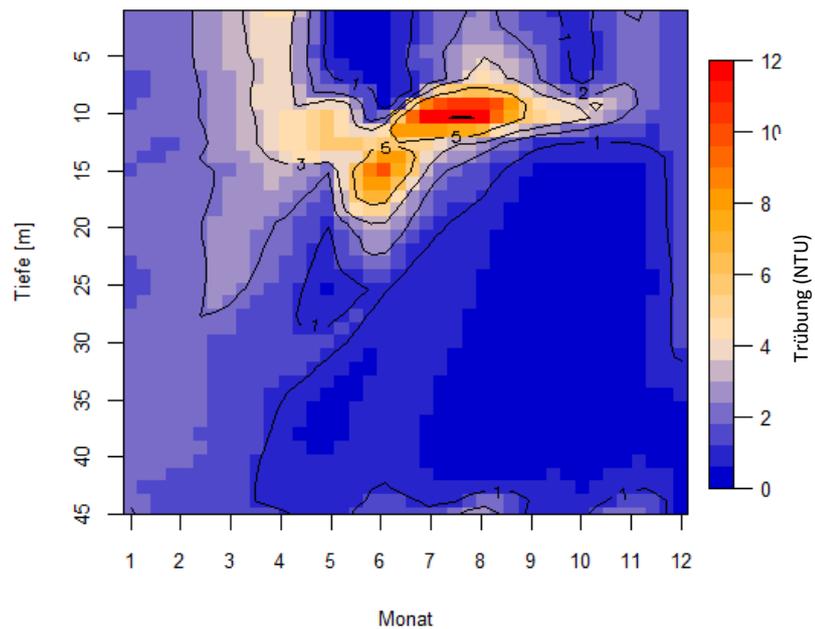


Abbildung 4-5. Entwicklung der Wassertrübung von 2012. Daten: Abteilung für Umwelt, Kanton Aargau

4.2 Habitatkartierung

Wenig mineralische
Habitate

Die Habitatkartierung (Abbildung 4-6) des Hallwilersees zeigt, dass strukturierte litorale Habitate (Zuflüssen, Blöcke und Kiesel), die den Fischen gute Habitate bieten eher wenig vertreten sind (Abbildung 4-7). Die Habitate Schilf und Feinsedimente sind klar am häufigsten vertreten. Auf den ganzen See bezogen ist der Hallwilersee durch eher flache Ufer und somit flächenmässig eher viel Litoral charakterisiert.

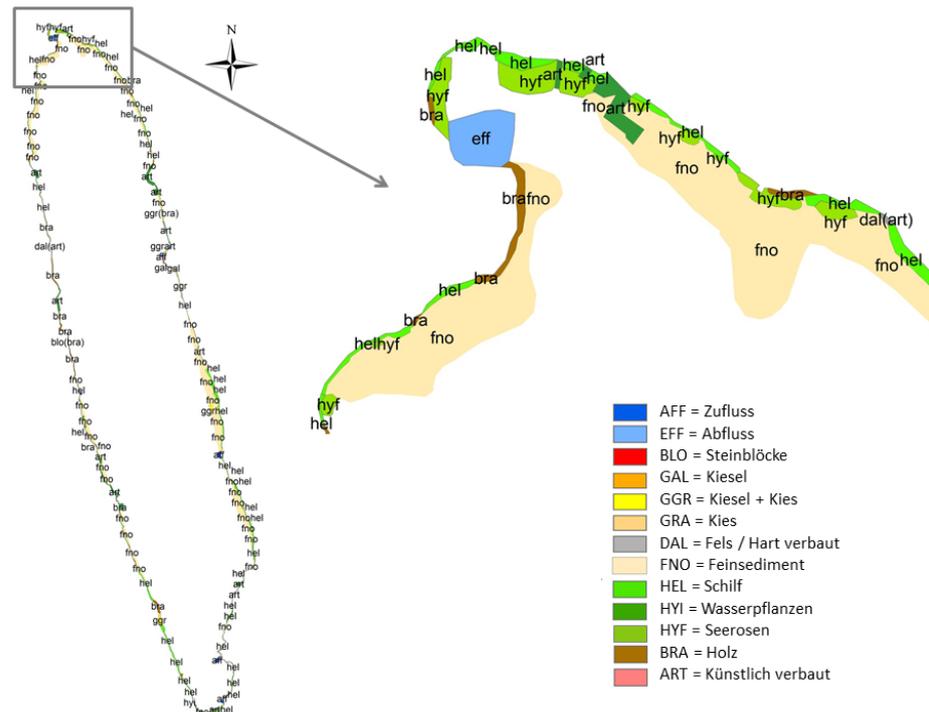


Abbildung 4-6. Ausschnitt der Kartierung der litoralen Habitate des Hallwilersees.

Viele
Feinsedimente.

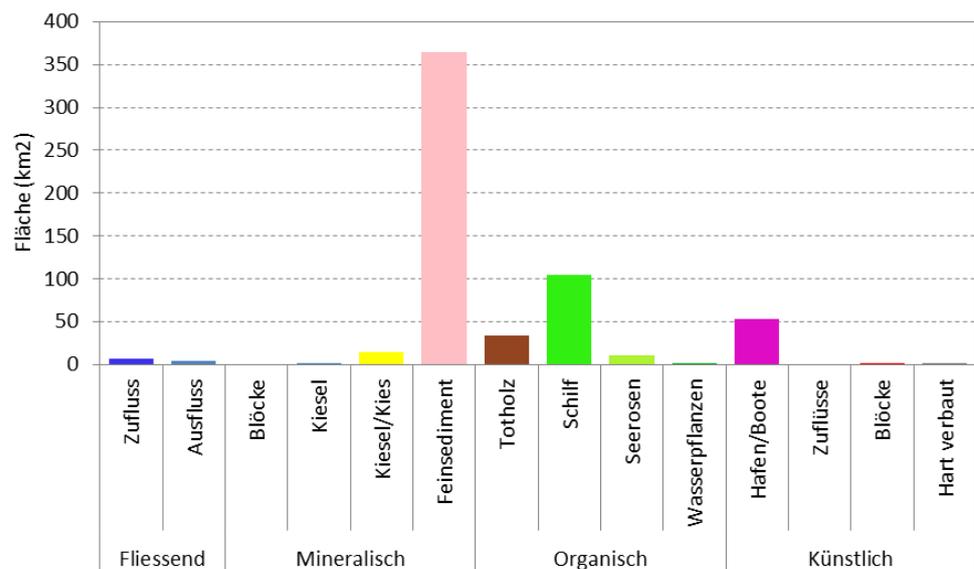


Abbildung 4-7. Fläche der verschiedenen litoralen Habitate im Hallwilersee.

Nur ca. 15% des Seeufers ist durch Verbauungen anthropogen beeinflusst (Abbildung 4-8). Die Verbauungen bestehen dabei flächenmässig zu ca. 90% aus Hafenanlagen und Stegen für Boote und zu 10% aus Blockwürfen oder hart verbauten Seeufern sowie beeinträchtigten Zuflüssen. Die Verbauungen stehen somit grösstenteils in Verbindung mit Hafenanlagen. Anzumerken ist, dass verschiedene Zuflüsse natürliche - wenn auch kleine - Deltas ausbilden können, was in anderen Seen der Schweiz eher selten ist.

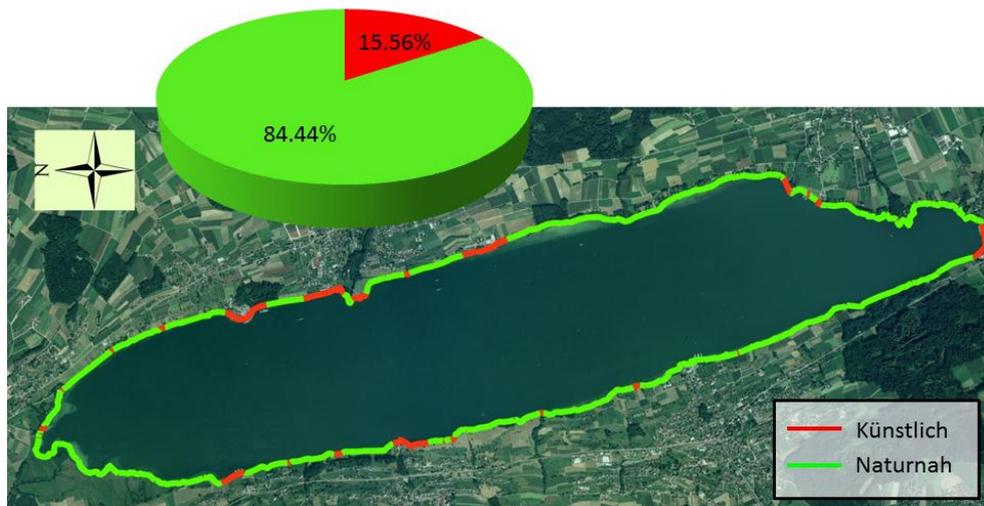


Abbildung 4-8. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Hallwilersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

4.3 Standardisierte Abfischung

4.3.1 Standorte der Probenahmen

160 Befischungs-
aktionen

Über fünf Tage wurden im Hallwilersee insgesamt 50 benthische CEN-, 10 pelagische CEN-, 30 uferhabitatspezifische Vertikal-, und 16 pelagische Vertikal-Netze über Nacht gesetzt. Zusätzlich wurden 54 Uferstrecken elektrisch befischt. Insgesamt sind somit 160 Befischungsaktionen durchgeführt worden (Abbildung 4-9).

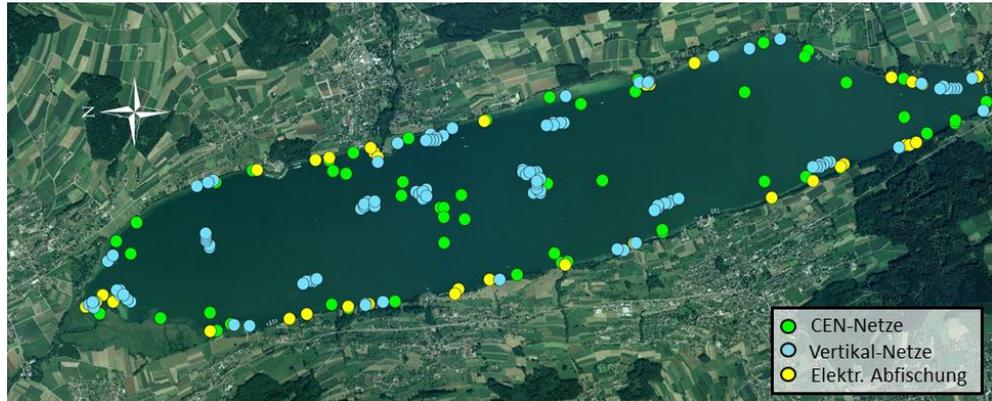


Abbildung 4-9. Karte der Befischungsstandorte im Hallwilersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

4.3.2 Fischbestand und Artenvielfalt

Insgesamt wurden im Hallwilersee 19 Fischarten und 4260 Fische gefangen (Abbildung 4-10, Tabelle 4-1). Anzahlmässig waren die Egli in den Fängen klar am häufigsten vertreten. Auch Kaulbarsche, Rotaugen und Rotfedern waren sehr häufig. Die Felchen kommen erst an fünfter Stelle. Die Biomasse wird vom Alet, den Rotaugen und den Egli dominiert. Der See beherbergt somit noch eine gewisse Anzahl Salmoniden, wird aber klar durch Cypriniden und Perciden dominiert. Der CPUE für die gefangene Anzahl Individuen und der BPUE für die Biomasse ist im Anhang aufgeführt (Tabelle 9-1).

Rotaugen
dominieren
Fischfauna

Fische sind allerdings nicht zufällig im Raum verteilt. Anhand der Projet Lac Daten kann die Häufigkeit und die Biomasse der einzelnen Fischarten für die Verfügbarkeit der verschiedenen Habitate (in diesem Fall das vorhandene Volumen der einzelnen Habitate) korrigiert werden. Dabei wird ersichtlich, dass die Rotaugen die Fischfauna klar dominieren (Abbildung 4-11). Dies insbesondere auch weil sie im Pelagial häufig gefangen wurden, was in anderen Seen eher wenig der Fall ist. Häufige Begleitarten sind Felchen, Kaulbarsch, Flussbarsch, Brachse, Rotfeder und Alet. Die Fischzusammensetzung des Hallwilersees ist somit atypisch für einen Felchensee. Obwohl Felchen häufig vorkommen, dominieren insgesamt die Cypriniden.

Tabelle 4-1. Zusammenstellung der Anzahl der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangmethoden.

| Fischart | | Anzahl Individuen | | | | Biomasse [kg] | | | |
|--------------|--------------------------------|-------------------|------------|------------|-------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Deutsch | Lateinisch | CEN | Elektrisch | Vertikal | Total | CEN | Elektrisch | Vertikal | Total |
| Flussbarsch | <i>Perca fluviatilis</i> | 2317 | 167 | 136 | 2620 | 16.58 | 0.76 | 1.04 | 18.38 |
| Kaulbarsch | <i>Gymnocephalus cernuus</i> | 436 | 8 | 126 | 570 | 5.27 | 0.07 | 2.52 | 7.86 |
| Rotauge | <i>Rutilus rutilus</i> | 278 | - | 253 | 531 | 18.20 | - | 11.92 | 30.11 |
| Rotfeder | <i>Scardinius sp</i> | 96 | 1 | 70 | 167 | 6.80 | 0.00 | 8.52 | 15.32 |
| Felchen | <i>Coregonus sp</i> | 63 | - | 30 | 93 | 6.36 | - | 3.48 | 9.84 |
| Hasel | <i>Leuciscus leuciscus</i> | 29 | 32 | 5 | 66 | 1.72 | 2.61 | 0.35 | 4.69 |
| Gründling | <i>Gobio gobio</i> | 9 | 41 | 4 | 54 | 0.10 | 0.30 | 0.05 | 0.45 |
| Alet | <i>Squalius cephalus</i> | 15 | 17 | 13 | 45 | 12.98 | 11.83 | 19.37 | 44.18 |
| Sonnenbarsch | <i>Lepomis gibbosus</i> | 5 | 20 | 2 | 27 | 0.09 | 0.28 | 0.02 | 0.40 |
| Brachse | <i>Abramis brama</i> | 16 | 1 | 5 | 22 | 9.68 | 3.46 | 3.92 | 17.06 |
| Forelle | <i>Salmo trutta</i> | - | 17 | - | 17 | - | 0.74 | - | 0.74 |
| Schleie | <i>Tinca tinca</i> | 3 | 2 | 5 | 10 | 3.84 | 0.70 | 7.30 | 11.83 |
| Kamberskreb | <i>Orconectes limosus</i> | 8 | - | 2 | 10 | 0.10 | - | 0.01 | 0.11 |
| Schneider | <i>Alburnoides bipunctatus</i> | 1 | 6 | - | 7 | 0.02 | 0.01 | - | 0.03 |
| Hecht | <i>Esox lucius</i> | 2 | 2 | 2 | 6 | 0.66 | 1.22 | 3.13 | 5.01 |
| Groppe | <i>Cottus gobio</i> | - | 6 | - | 6 | - | 0.03 | - | 0.03 |
| Trüsche | <i>Lota lota</i> | 2 | 2 | - | 4 | 0.18 | 0.27 | - | 0.45 |
| Barbe | <i>Barbus barbus</i> | 1 | - | 2 | 3 | 1.93 | - | 3.44 | 5.38 |
| Zander | <i>Stizostedion lucioperca</i> | 1 | - | - | 1 | 0.12 | - | - | 0.12 |
| Karpfen | <i>Cyprinus carpio</i> | - | - | 1 | 1 | - | - | 2.22 | 2.22 |
| Total | | 3282 | 322 | 656 | 4260 | 84.63 | 22.27 | 67.28 | 174.17 |
| Anzahl Arten | | 17 | 14 | 15 | 20 | 17 | 14 | 15 | 20 |

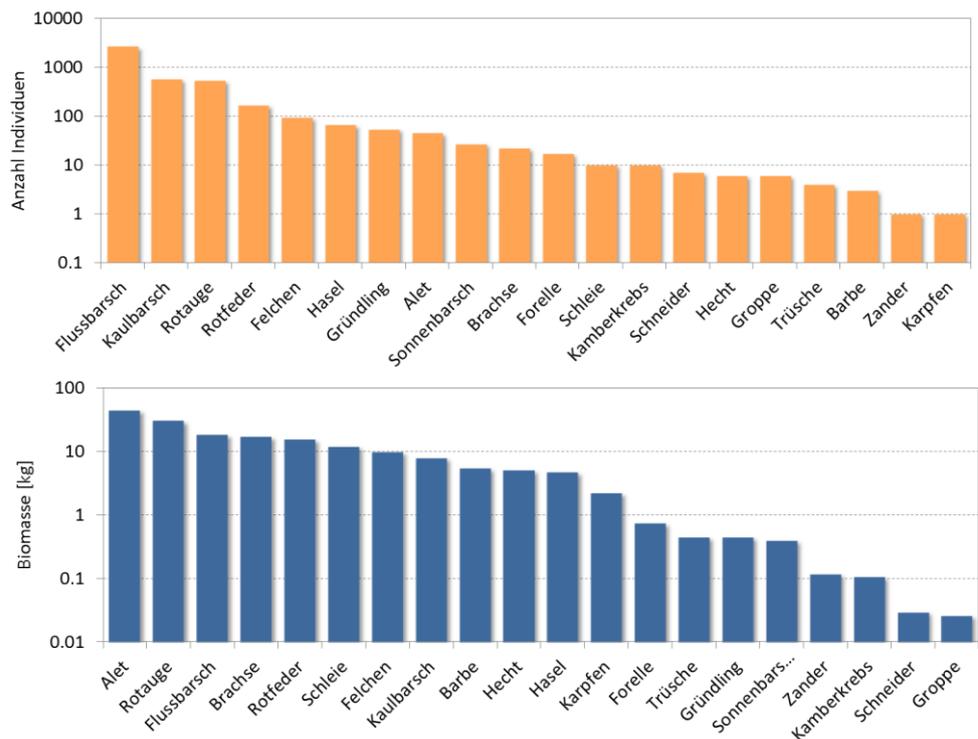


Abbildung 4-10. Grafische Darstellung der im Rahmen vom Projekt Lac gefangenen Fische im Hallwilersee in logarithmischer Skala.

Dominanz der Rotaugen in der Fischfauna

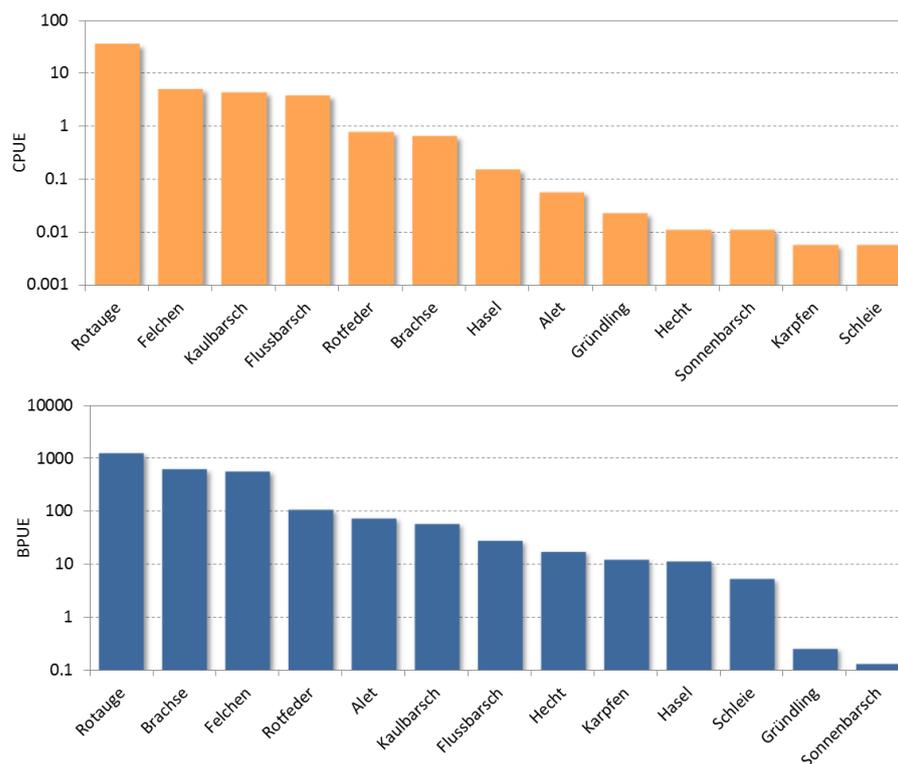


Abbildung 4-11. Die Anzahl (oben) und die Biomasse (unten) der im Hallwilersee mit den Vertikalnetzen gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche und die Habitatverfügbarkeit. Die Y-Achse ist in logarithmischer Skala dargestellt, um die Differenzen ersichtlich darzustellen.

4.3.3 Museumssammlung

281 Individuen und 19 Arten im Museum

Von den gefangenen Fischen wurden 281 in die Museumssammlung vom Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern aufgenommen (Tabelle 4-2). Insgesamt 272 weitere genetische Proben wurden in die Eawag Fischprobensammlung aufgenommen.

Tabelle 4-2. Liste der im naturhistorischen Museum von Bern und an der Eawag aufbewahrten Fische oder Proben.

| Sammlung | Museum | Eawag |
|--|------------|------------|
| Fischart | | |
| Brachse <i>Abramis brama</i> | 11 | |
| Schneider <i>Alburnoides bipunctatus</i> | 6 | |
| Barbe <i>Barbus barbus</i> | 3 | |
| Felchen <i>Coregonus sp</i> | 31 | 53 |
| Groppe <i>Cottus gobio</i> | 6 | |
| Karpfen <i>Cyprinus carpio</i> | 1 | |
| Hecht <i>Esox lucius</i> | 6 | |
| Gründling <i>Gobio gobio</i> | 27 | 19 |
| Kaulbarsch <i>Gymnocephalus cernuus</i> | 20 | 22 |
| Sonnenbarsch <i>Lepomis gibbosus</i> | 17 | 6 |
| Hasel <i>Leuciscus leuciscus</i> | 18 | 38 |
| Trüsche <i>Lota lota</i> | 4 | |
| Flussbarsch <i>Perca fluviatilis</i> | 30 | 49 |
| Rotaugen <i>Rutilus rutilus</i> | 28 | 71 |
| Forelle <i>Salmo trutta</i> | 17 | |
| Rotfeder <i>Scardinius sp</i> | 20 | 4 |
| Alet <i>Squalius cephalus</i> | 30 | 10 |
| Zander <i>Stizostedion lucioperca</i> | 1 | |
| Schleie <i>Tinca tinca</i> | 5 | |
| Total | 281 | 272 |

4.3.4 Historische Artenvielfalt

Heute eine
geringe Arten-
vielfalt

Im Rahmen des Proje Lac wurden insgesamt 19 Fischarten gefangen. Dabei konnte keine bisher unbekannt Art festgestellt werden. Auch die sonst im Schweizer Mittelland weit verbreiteten südliche Rotfeder (*Scardnius hesperidicus*) wurde im Hallwilersee nicht festgestellt. Im See wurden bisher 30 Arten dokumentiert. Der Rapfen, der Seesaibling, die Regenbogenforelle, die Elritze, die Bartgrundel, die Nase und die Laube, sind auch aufgrund der Fischfangstatistiken im See heute wohl noch kaum vorhanden. Die Äsche und der Aal sind vermutlich selten da nur Einzelnachweise in den Fischfangstatistiken auftauchen. Der Wels ist den Fänger der Fischer in den letzten Jahren immer häufiger vertreten und gilt im See nicht als selten. Wieso im Rahmen dieses Projektes keine gefangen wurde bleibt unklar. Dass wir in unseren Fängen keine Blicken feststellen konnten, weist darauf hin, dass auch diese im Vergleich zu den Brachsen eher selten sind. Forellen wurden nur bei Elektroabfischungen in Zuflussnähe gefangen. Es muss daher davon ausgegangen werden dass die Forellendichte im See nicht sehr hoch ist. Dazu kommt, dass sich adulte Tiefe bereits zur Reproduktion in Fließgewässern aufhielten und deshalb nicht gefangen wurden.

Leider konnten keine historischen Dokumente gefunden werden, welche die Artenvielfalt vor der Eutrophierung beschreiben. Aufgrund der Informationen über die Felchen und der warmen Temperaturverhältnisse an der Seeoberfläche (Brutschy & Güntert 1924) ist davon auszugehen, dass der Hallwilersee schon früher einen hohen Cyprinidenbestand aufwies (im Gegensatz zu den grossen und tiefen Voralpenseen). Typische Arten für kühle Voralpenseen (wie Elritze, Bartgrundel) waren im See wohl kaum vertreten und wenn dann wohl nur in Assoziation mit einmündenden Fließgewässern. Andere Arten waren im See wohl nur in der Tiefe als noch Sauerstoff vorhanden war zu finden (z.B. Groppe, evtl. Seesaibling). Auffällig ist, dass der Hallwilersee heute stark dem Zustand ähnelt, welcher bereits nach der Jahrhundertwende vorherrschte (Sauerstoffmangel in der Tiefe, starke Entwicklung der Burgunderalge). Dieser hatte massive Auswirkungen auf die Fischfauna (Brutschy & Güntert 1924; Güntert 1921; Keller 1945). Schliesslich wurden sechs exotische Fischarten im See nachgewiesen, wovon heute mindestens noch drei im See vorkommen (Kaulbarsch, Sonnenbarsch, Zander). Der Kaulbarsch ist dabei im See sehr häufig.

| Familie | Code | Art | 1991 | 2003 | 2002-12 | 2012 | |
|----------------------------------|------|------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | Pedroli et al | BAFU | Fischerei | ProjetLac | |
| Percidae | PER | <i>Perca fluviatilis</i> | Flussbarsch | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | SAN | <i>Stizostedion lucioperca</i> | Zander | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | GRE | <i>Gymnocephalus cernuus</i> | Kaulbarsch | | 1 | 1 | 1 |
| Centrarchidae | PES | <i>Lepomis gibbosus</i> | Perche soleil | | 1 | 1 | 1 |
| Cyprinidae | GAR | <i>Rutilus rutilus</i> | Rotauge | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | ROT | <i>Scardinius erythrophthalmus</i> | Rotfeder | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | CCO | <i>Cyprinus carpio</i> | Karpfen | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | BRE | <i>Abramis brama</i> | Brachse | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | BRB | <i>Blicca bjoerkna</i> | Blicke | 1 | 1 | 1 | |
| | ABL | <i>Alburnus alburnus</i> | Laube | | 1 | | |
| | BAF | <i>Barbus barbus</i> | Barbe | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | GOU | <i>Gobio gobio</i> | Gründling | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | CHE | <i>Squalius cephalus</i> | Alet | 1 | 1 | | 1 |
| | VAN | <i>Leuciscus leuciscus</i> | Hasel | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | ASP | <i>Leuciscus aspilus</i> | Rapfen | | | 1 | |
| | TAN | <i>Tinca tinca</i> | Schleie | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | VAI | <i>Phoxinus phoxinus</i> | Elritze | | 1 | | |
| | SPI | <i>Alburnoides bipunctatus</i> | Schneider | | 1 | 1 | 1 |
| | HOT | <i>Chondrostoma nasus</i> | Nase | | | 1 | |
| Salmonidae | TRL | <i>Salmo trutta</i> | Forelle | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | OBL | <i>Salvelinus umbla</i> | Seesaibling | | 1 | 1 | |
| | TAC | <i>Oncorhynchus mykiss</i> | Regenbogenforelle | 1 | 1 | 1 | |
| | COR | <i>Coregonus sp</i> | Coregoniden | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Esocidae | BRO | <i>Esox lucius</i> | Hecht | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Gadidae | LOT | <i>Lota lota</i> | Trüsche | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nemacheilidae | LOF | <i>Barbatula barbatula</i> | Bartgrundel | 1 | 1 | 1 | |
| Cottidae | CHA | <i>Cottus gobio</i> | Groppe | | 1 | | 1 |
| Thymallidae | OBR | <i>Thymallus thymallus</i> | Äsche | | 1 | 1 | |
| Siluridae | SIL | <i>Silurus glanis</i> | Wels | | | 1 | |
| Anguillidae | ANG | <i>Anguilla anguilla</i> | Aal | 1 | 1 | 1 | |
| Anzahl einheimische Arten | | | | 17 | 23 | 20 | 16 |
| Anzahl eingeführte Arten | | | | 6 | 2 | 4 | 6 |
| Total Anzahl Arten | | | | 30 | 19 | 27 | 26 |

Tabelle 4-3. Artenfundliste im Hallwilersee. Die Fänge des „Projet Lac“ sind rot umrandet.

4.3.5 CEN Netze und Konfidenzintervalle

Schätzung der Konfidenzintervalle

Die Streuung der Anzahl Fische, die pro Netz in den verschiedenen Tiefen (Replikate) gefangen wurden, ist für zukünftige Vergleiche mit dem heutigen Zustand der Fischfauna wichtig. Um die Streuung zu bestimmen, wurden mit 10'000 Permutationen theoretische Fänge berechnet (pelagische und benthische CEN Netze separat). Die Resultate wurden anschliessend benutzt, um die 5% und 95%-Konfidenzintervalle für jede Art zu schätzen.

Die Resultate (Abbildung 4-12, Tabelle 9-2) zeigen, dass für die Felchen die Streuung eher hoch ist. Für die Hasel und das Rotauge ist die Varianz etwas geringer. Grob geschätzt kann eine Zunahme oder eine Abnahme der Fänge einer Art um mehr als ca. 50% als signifikant betrachtet werden. Insgesamt entspricht diese Varianz den Erwartungen der CEN prEN 14757 Norm. Zukünftige representative Abfischungen können somit statistisch mit denen von 2012 verglichen werden.

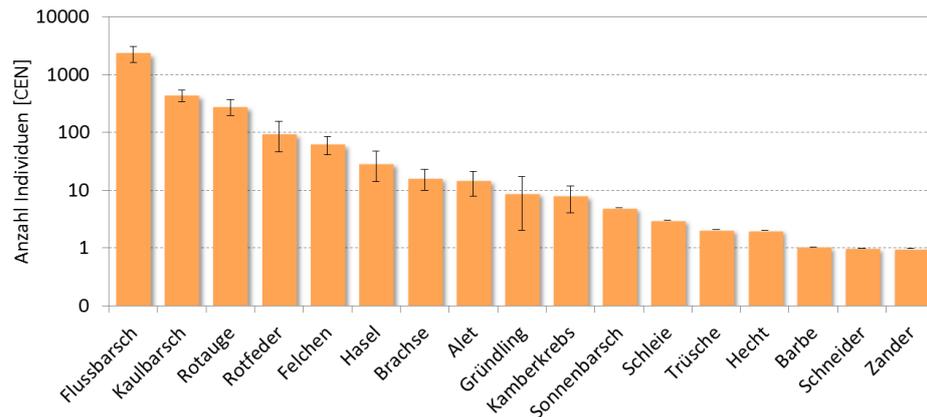


Abbildung 4-12. Anzahl Fische, die pro Art in den CEN-Netzen gefangen wurden. Angegeben sind ebenfalls die 5% und 95%-Konfidenzintervalle, die anhand einer Permutation mit 10'000 Stichproben geschätzt wurden.

4.3.6 Habitatnutzung

4.3.6.1 Pelagial – Benthisch

Hohe Dichte an Kaulbarschen in benthischen Netzen

Gewisse Fischarten bevorzugen die pelagischen, andere eher die benthischen Habitate in einem See. Im Fall des Hallwilersees war - wie in allen bisher untersuchten Seen - die grösste Artenvielfalt in den benthischen Netzen zu finden. Dominant waren dabei insbesondere die Flussbarsche, Kaulbarsche und Rotaugen. Andere, normalerweise in Felchenseen häufige Arten wie Trüsche und Hasel, waren zwar vorhanden aber eher in geringer Anzahl. Besonders auffällig ist die sehr hohe Dichte an invasiven Kaulbarschen. Im Pelagial sind die Felchen wie zu erwarten die häufigste Art. Besonders und unüblich ist eine hohe Dichte Rotaugen, die vermutlich auf die noch sehr hohe Produktivität und/oder auf die hohen Wassertemperaturen zurückzuführen ist (Abbildung 4-13).

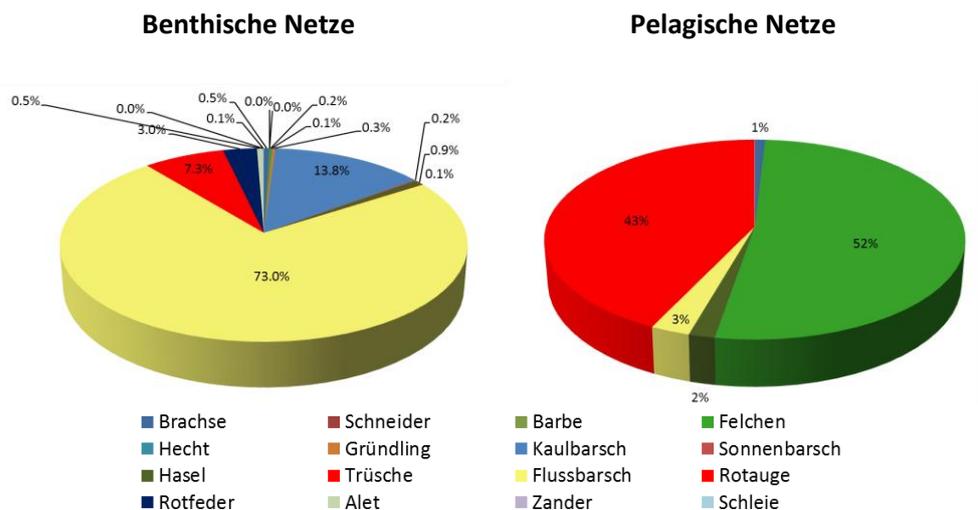


Abbildung 4-13. Nutzung der pelagischen und benthischen Habitate durch die verschiedenen Fischarten (CEN Netze).

4.3.6.2 Tiefe

Nur wenige Fische
in der Tiefe

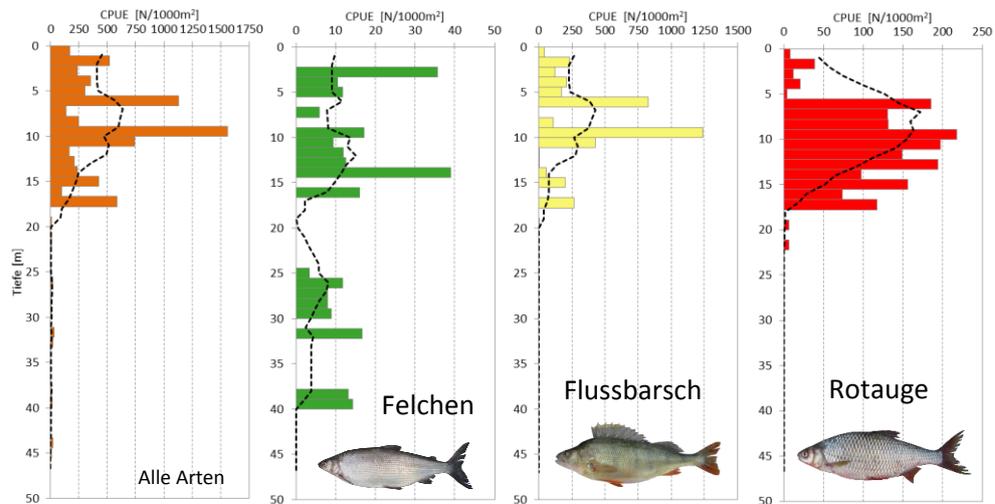


Abbildung 4-14. Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für die Tiefe. Die schwarz gestrichelte Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 7m Tiefe.

Da die Abfischungen im Hallwilersee relativ spät im Jahr erfolgten, finden wir die höchste Fischdichte nicht wie üblich in den ersten 10m Tiefe, sondern im Schnitt gegen 10m Tiefe (Abbildung 4-14). Auffällig ist, dass die Felchen Ende Oktober bereits die gesamte Seetiefe besiedeln, dies obwohl in der Tiefe eher wenig Sauerstoff zur Verfügung stand (Abbildung 4-3). Über alle Arten gesehen, wurden insgesamt jedoch nur sehr wenige Fische unterhalb von 17m gefangen, was im November in etwa der Sauerstoffgrenze von 4mg/l entspricht.

4.3.6.3 Uferhabitate

Habitate sind
nicht alle gleich
attraktiv

Die Befischung der Uferhabitate zeigt, dass die Anzahl Fische und die verschiedenen Fischarten nicht zufällig in den Habitaten verteilt sind. Insbesondere die strukturierten mineralischen Substrate Kies, Kiesel und Blöcke sowie Vegetation aber auch Zu- und Abflüsse scheinen eine höhere Fischdichte aufzuweisen. Substrate wie Feinsediment und Felsen waren für die Fische weniger attraktiv. Insbesondere Feinsedimente sind im Hallwilersee, vermutlich auch aufgrund der Eutrophierung der letzten Jahre sehr häufige Habitate.

Die Elektrofischereifänge und die Netzfänge komplementieren sich gut, da bei den Netzen Arten gefangen werden, die sich aktiv bewegen. Bei der Elektrofischerei hingegen fliehen die im offenen Wasser stehenden Fische und somit werden insbesondere die Arten gefangen, die in strukturierten Uferbereichen Schutz suchen. Im Hallwilersee waren kleine Uferfischarten, die üblicherweise in Seen vorkommen wie z.B. Schmerle, Groppe, Elritze, Stichling, Gründling selten oder nicht vertreten. Aus diesem Grunde wurden bei den Elektroabfischungen nur wenige Fischarten gefangen (hauptsächlich Egli).

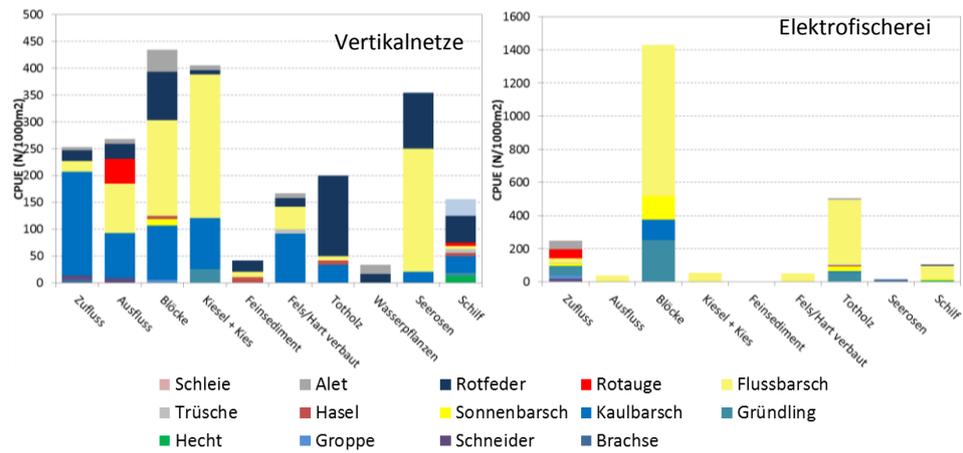


Abbildung 4-15. Anzahl für den Aufwand korrigierte Fische, die bei den verschiedenen Habitaten gefangen wurden.

4.3.7 Geografische Verteilung der Fänge

Eher homogene Verteilung

Bei der geografischen Verteilung können insbesondere die typischen pelagischen (Felchen) und littoralen (Egli, Rotaue) Muster der Artenverteilung festgestellt werden. Ansonsten sind keine auffälligen geografischen Muster feststellbar, wie dies beispielsweise in gewissen grossen Seen der Fall ist (Genfersee, Lago Maggiore, Neuenburgersee, Lago die Garda). Erwähnenswert ist die Beobachtung, dass Kaulbarsche überall in hoher Dichte vorkommen (Abbildung 9-1).

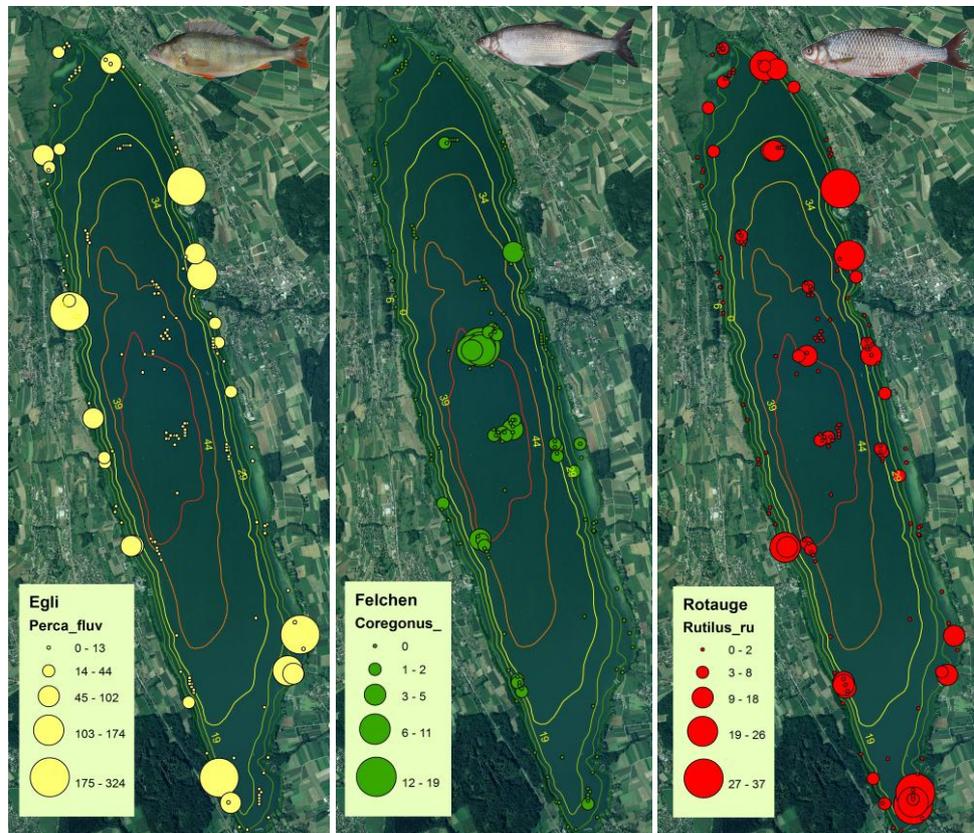


Abbildung 4-16. Felchen-, Flussbarsch- und Rotaugenfänge im Hallwilersee (alle Protokolle).

4.3.8 Echolotaufnahmen

Die Echolotaufnahmen zeigen im südlichen Teil des Hallwilersees ein erhöhte Fischdichte im Pelagial (Abbildung 4-17). Sie zeigen auch, dass die Fischdichte in Ufernähe zu nimmt. Die wichtigste Beobachtung ist vielleicht, dass die tief beobachteten Fische alle im Bereich der Luft/Sauerstoff zufuhr befanden. Ansonsten sind die tiefen Bereiche unterhalb vom 15m im Hallwilersee mehr oder weniger Fischfrei. Was die Resultate der Netzfänge bestätigt.

Ca. 54% der erfassten Signale in der oberen Schicht sind Fische mit einer Grösse <14cm. Somit gibt es im Pelagial des Hallwilersee tendenziell ein recht grosses Anteil grosser Fische. Die Fischdichte ist insgesamt im Vergleich mit anderen Seen jedoch gering.

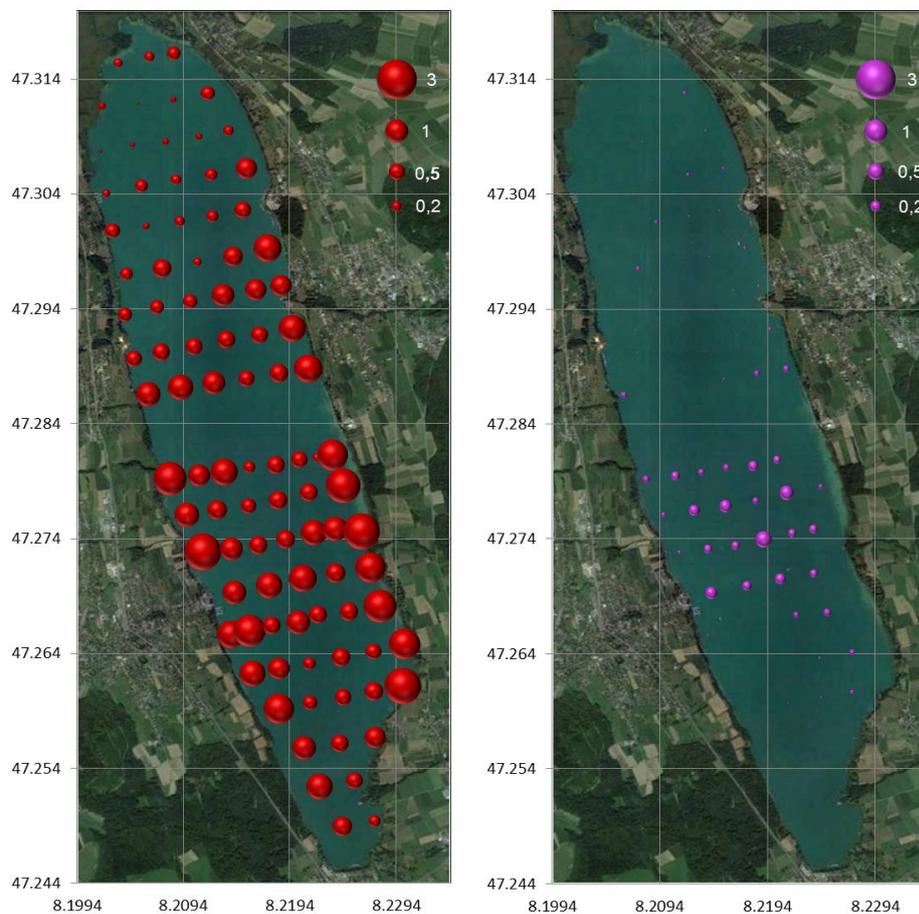


Abbildung 4-17. Echolotsequenzen der oberen (links: 5-15m) und der unteren Seeschicht (rechts: 15m-Seegrund) des Hallwilersees durchgeführt bei Nacht.

4.4 Fischereiliche Aspekte

4.4.1 Fischfangstatistik

Bei der Entwicklung der Berufsfischerfänge sind starke Schwankungen zu erkennen. Diese sind insbesondere auf die hohe Variabilität der Felchenfänge zurückzuführen. In den letzten Jahren betragen die Felchenfänge ca. 10 Tonnen pro Jahr und waren nach sehr tiefen Fängen Mitte der 2000er Jahre leicht steigend. Andere Fischarten werden zwar auch gefangen, stellen aber keinen nennenswerten Anteil am Gesamtfang dar. Die Berufsfischerfänge geben demzufolge nur einen beschränkten Einblick in die Häufigkeit der 30 Fischarten des Hallwilersees.

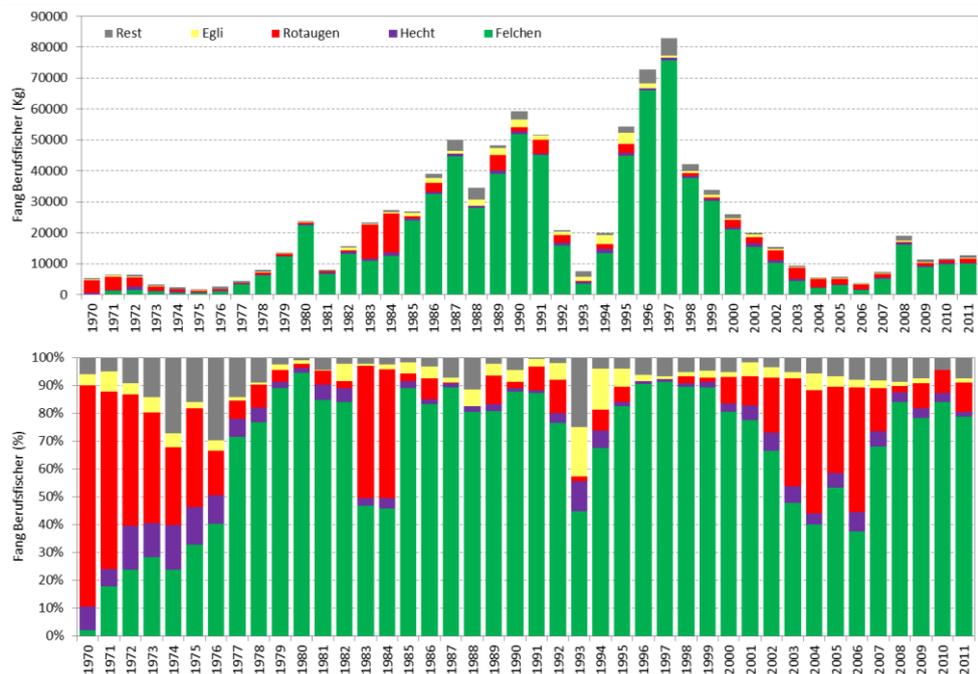


Abbildung 4-18. Entwicklung der Berufsfischerfänge im Hallwilersee von 1970-2011 (Daten: BAFU und Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau).

Auffallend ist ebenfalls, dass die relative Häufigkeit der verschiedenen Fischarten in den Fängen der Berufsfischer sich stark von den standardisierten Fängen des „Projet Lac“ unterscheidet (Abbildung 4-19). Bei den Fängen der Berufsfischer sind klar die Felchen am häufigsten vertreten. Bei den standardisierten Fängen des „Projet Lac“ sind indes die Rotaugen im See am häufigsten. Diese Resultate zeigen somit, dass standardisierte und nicht gezielte Abfischungen notwendig sind, um eine objektive Einschätzung der Fischartenzusammensetzung zu erhalten.

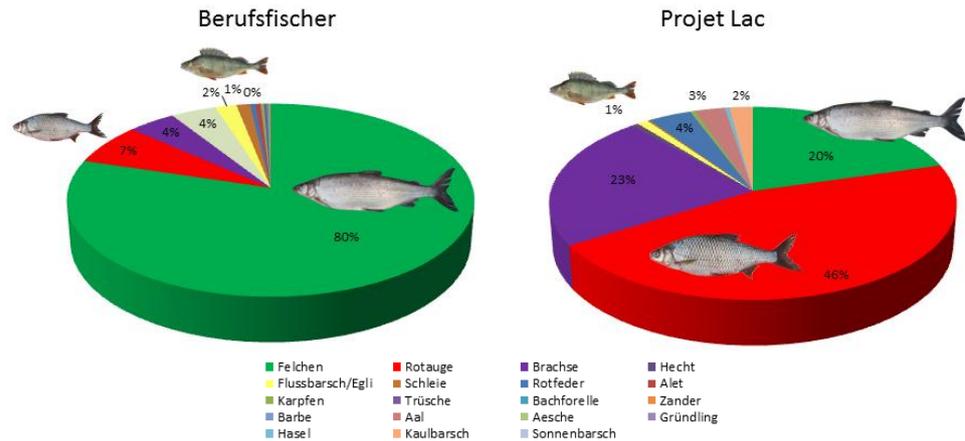


Abbildung 4-19. Verteilung der Berufsfischerfänge und der standardisierten „Projet Lac“-Fänge (Biomasse) auf die verschiedenen Fischarten.

4.4.2 Längenselektivität der Maschenweiten

Berufsfischerei zielt auf grosse Fische

Die Längenselektivität der Netze ist abhängig von der Fischart (Fujimori & Tokai 2001; Regier & Robson 1966). Bei den Felchen und den Eglis sind die Maschenweiten eher grössenselektiv als beispielsweise für Seeforellen und Seesaiblinge. Anhand der standardisierten Fänge kann für jede Fischart und für jede Maschenweite die Verteilung und somit die Selektivität bestimmt werden (Abbildung 4-20). Welche Fischlängen durch die im Hallwilersee erlaubte Maschenweite von 38mm gefangen werden, ist in Abbildung 4-21 dargestellt. Auffallend ist zum Beispiel, dass Kaulbarsche und Egli mit den eingesetzten Maschenweiten kaum gefangen werden können. Die Fischerei zielt somit vorwiegend auf grössere Fischarten.

4.4.3 Längenverteilung

Wenig grosse Felchen

Die Längenverteilungen (Abbildung 4-21) zeigt, dass bei den Felchen grössere Fische eher selten zu sein scheinen, was auf einen recht hohen Befischungsdruck hinweist. Die Altersverteilung des Monitorings zeigt auch, dass alte Felchen im See eher selten sind (Müller 2014a). Bei den Eglis fällt die hohe Anzahl an Jungfischen auf. Dies ist auch im schweizweiten Vergleich auffällig (Abbildung 9-2).

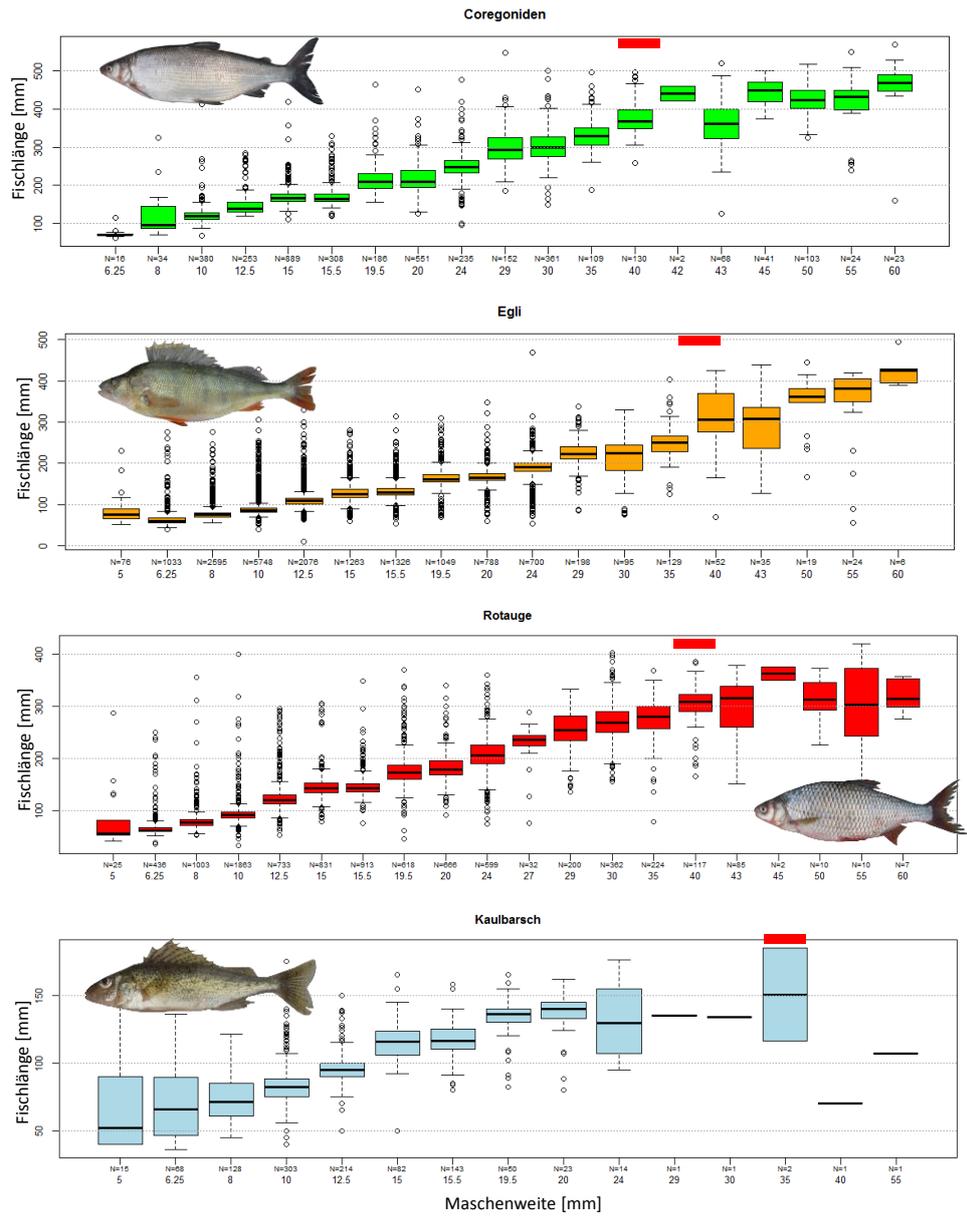


Abbildung 4-20. Längenselektivität der Netzmaschen (alle Fänge „Projet Lac“ 2010-2013). Rot markiert sind die durch die Fischerei benutzten Maschenweiten.

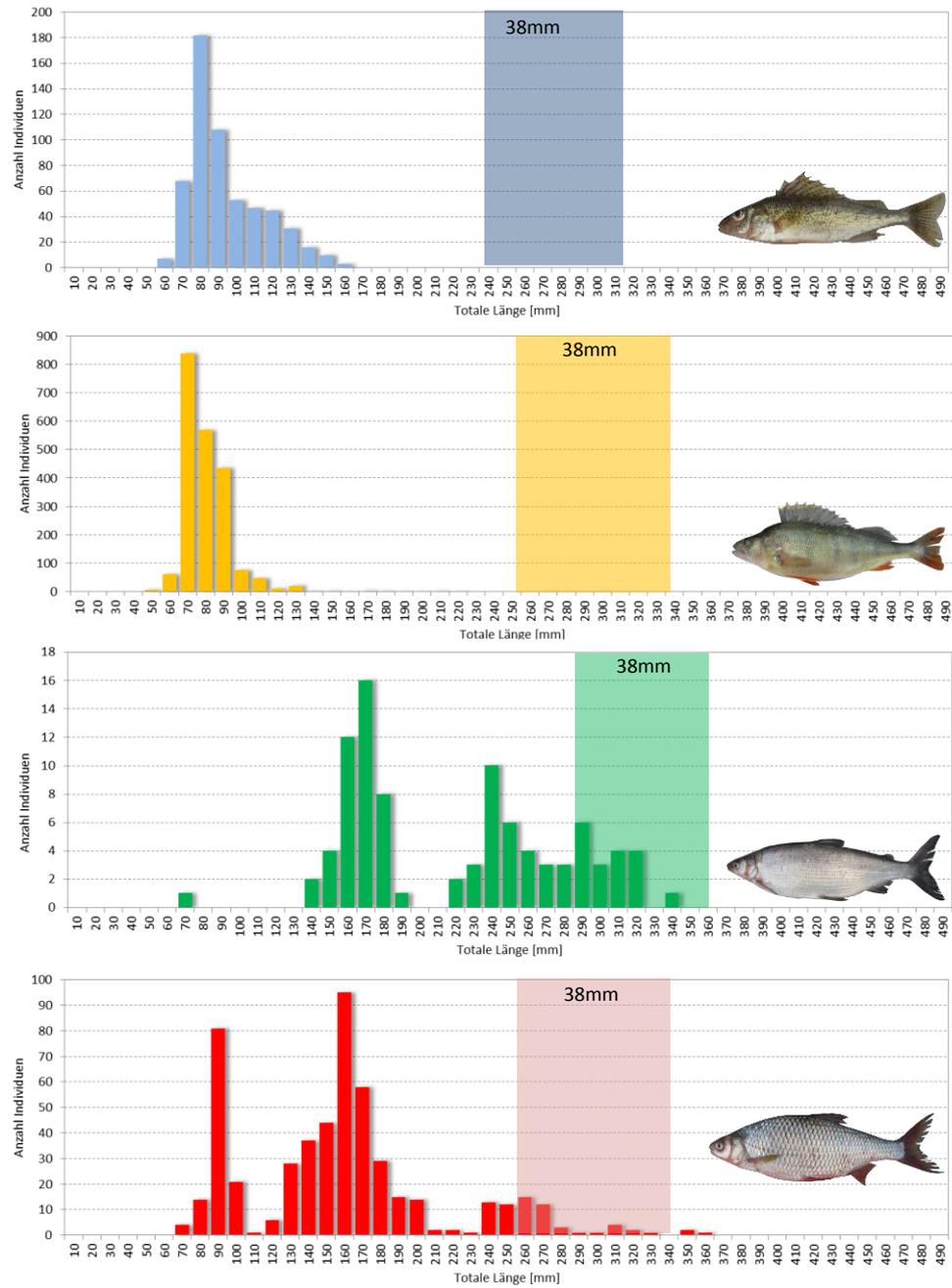


Abbildung 4-21. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche, Rotaugen und Kaulbarsche der „Projet Lac“-Fänge. Der farbige Hintergrund entspricht den Fischlängen die mit den erlaubten Maschenweiten gefangen werden.

4.4.4 Vergleich der Fänge mit anderen Seen

Heute ein
Cyprinidensee

Im Vergleich mit anderen Schweizer Seen und aufgrund der für die Netzfläche und die Verfügbarkeit der Habitate korrigierten Fängen entspricht der Hallwilersee heute einem Cyprinidensee und ähnelt in der Fischartenzusammensetzung anderen warmen und nährstoffreichen Seen wie dem Murtensee oder dem Luganosee.

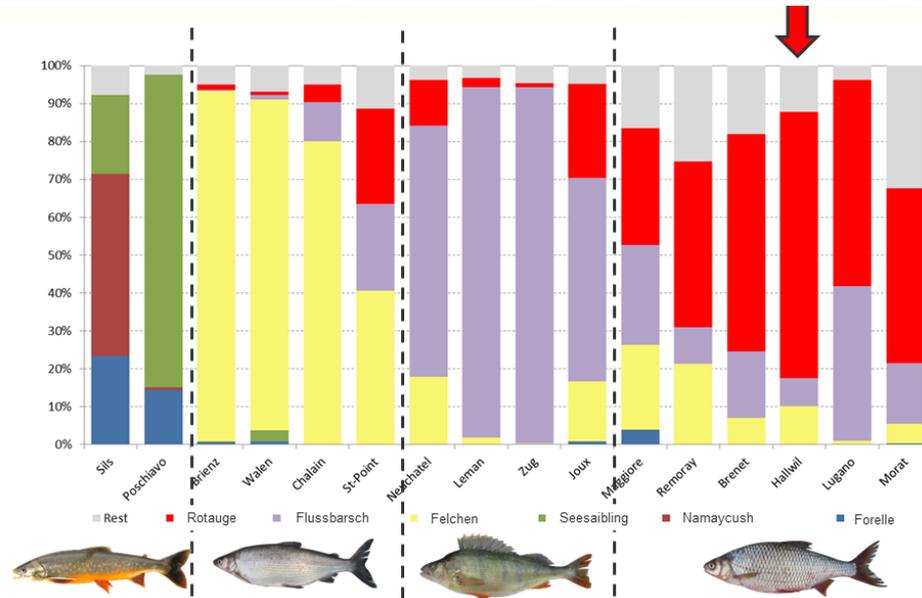


Abbildung 4-22. Vergleich der für den Aufwand und für die Fläche korrigierten Fänge in den verschiedenen Seen. Repräsentiert sind die Fänge der Vertikalnetze.

Die Fänge der Berufsfischer sind im Hallwilersee, korrigiert für die Seefläche (also kein CPUE) im oberen Mittelfeld (Abbildung 4-23). Wirtschaftlich ist der Hallwilersee somit für die Fischerei interessant. Da die Fischerei aber hauptsächlich auf einer Art, den Felchen, basiert, ist die Berufsfischerei stark von der Entwicklung der Felchen abhängig.

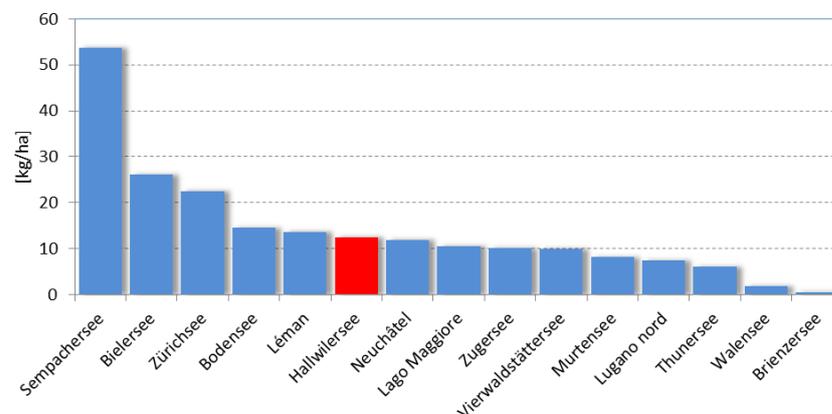


Abbildung 4-23. Fänge der Berufsfischer von 2011 in verschiedenen Schweizer Seen (Daten BAFU) korrigiert für die Seefläche.

Zusammenhang
Phosphor und
Fänge

Der Vergleich der Phosphorkonzentrationen, die im Wasser gemessen wurden, mit den standardisierten Fängen zeigt, dass die Anzahl und die Biomasse der Felchen mit zunehmendem Phosphor in den Seen im Durchschnitt abnimmt. Sowohl bei der Anzahl als auch bei der Biomasse gibt es im Bereich von 10-30 ug/l Phosphor im Wasser einige Ausreisser nach oben. Es handelt sich dabei um eher flache Seen, die trotz relativ hohem Phosphorgehalt eine recht hohe Felchendichte aufweisen. Der Hallwilersee gehört zu diesen Seen. Es ist jedoch ersichtlich, dass die meisten dieser Seen eine sehr niedrige Felchendichte aufweisen. Die höchste Felchendichte kann in oligotrophen Seen beobachtet werden. Mesotrophe oder eutrophe Seen stellen somit keine guten Lebensbedingungen für die Felchen dar. Sie ermöglichen aber unter Umständen, bedingt durch ein rascheres Wachstum der Felchen, eine wirtschaftliche attraktive Berufsfischerei.

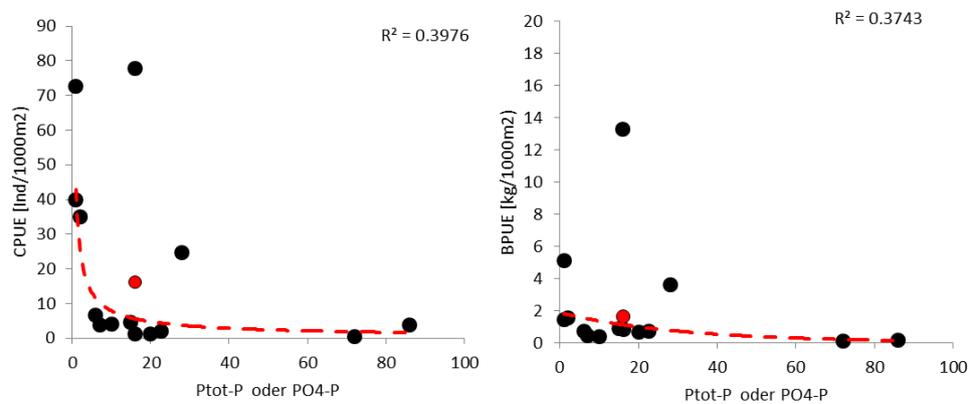


Abbildung 4-24. Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt von 15 Seen und dem für den Aufwand korrigierten Felchenfang in den CEN Netzen des „Projet Lac“ als Anzahl Individuen (links) und als Biomasse (rechts). Rot eingezeichnet ist der Hallwilersee.

5 Synthese

5.1 Ökologische Bewertung des Hallwilersees

5.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers

Nährstoffreich und sauerstoffarm

Der Hallwilersee ist heute ein mässig mit Nährstoff belasteter und warmer See. Der Hallwilersee hat allerdings eine hocheutrophe Vergangenheit, welche sich heute noch auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Sees auswirken. Im Vergleich mit anderen Schweizer Seen zu einer ist die Primärproduktion im Hallwilersee hoch. Dieses Algenwachstum führt Ende des Sommers zu einer stark erhöhten Trübung und zu einer Sauerstoffübersättigung in 10m Tiefe. In der zweiten Jahreshälfte führt die Sauerstoffzehrung zu einer deutlichen Verringerung der Sauerstoffsättigung in der Tiefe des Sees. Zur Unterstützung der Seesanieung wird der Hallwilersee seit 1986 im Sommer mit Sauerstoff versorgt und im Winter als Unterstützung für die Zirkulation belüftet. Trotzdem sind die Fische des Hallwilersees heute immer noch starken anthropogenen Umweltveränderungen ausgesetzt, die sich auf die Fischartenzusammensetzung auswirken. So stehen beispielsweise den Felchen im Sommer und Frühherbst kaum Lebensräume zur Verfügung, die genügend aber nicht zu viel Sauerstoff enthalten und nicht zu warm sind. Ein weiteres typisches Anzeichen ist die fehlende Tiefenfauna bei den Fischen (Groppen, Felchen, Trüschchen, Seesaiblinge). Dieser Zustand ähnelt somit stark dem Zustand, der in den 1920er Jahren beschrieben wurde, als die Felchenbestände im See massiv zusammengebrochen sind (Brutschy & Güntert 1924; Güntert 1921). Dies obwohl sich die Phosphatbelastung in den letzten Jahren verbessert hat und die gesteckten Sanierungsziele teilweise erreicht wurden.

5.1.2 Uferhabitate

Hoher Anteil an naturbelassenem Ufer

Insgesamt bestätigen unsere Resultate, dass natürliche und gut strukturierte litorale Habitate nicht nur in Fliessgewässern für die Fischfauna wichtig sind, sondern auch in Seen (Vadeboncoeur *et al.* 2011). Im Hallwilersee ist nur ein kleiner Teil des Ufers stark verbaut. Dies ist insbesondere in Siedlungsnähe oder bei Bootanlegestellen der Fall. Ein grosser Teil des Litorals besteht jedoch aus strukturarmen Feinsediment, das für Fische ein wenig attraktives Habitat darstellt. Der hohe Feinsedimentanteil ist zumindest teilweise eine direkte Konsequenz der Eutrophierung des letzten Jahrhunderts.

5.1.3 Artenvielfalt

Der Hallwilersee ist ein Cyprinidensee

19 Fischarten wurden im Rahmen dieses Projektes im Hallwilersee gefangen, wobei drei standortfremde Arten festgestellt werden konnten. Elf weitere bisher im See beschriebene Arten konnten nicht gefangen werden. Die Fänge werden im

Pelagial durch Felchen und Rotaugen dominiert. Im Litoral waren insbesondere Egli, Rotaugen und Kaulbarsche häufig. Es konnten keine bisher unbekannt Arten im Hallwilersee gefangen werden. Die Fischartenzusammensetzung im Hallwilersee entspricht heute der eines Cyprinidensees. Dies kann zumindest teilweise durch die hohe Oberflächentemperatur des Wassers und durch die Nährstoffbelastung und den assoziierten Konsequenzen wie beispielsweise Sauerstoffmangel im Hypolimnion oder Sauerstoffübersättigung im Metalimnion erklärt werden.

Leider lagen uns keine historischen Dokumente vor, die einen Vergleich des heutigen Fischartenspektrums mit dem Referenzzustand zulässt. Die vorliegenden Dokumente zeigen jedoch, dass der heutige Zustand stark dem aus dem Anfang des 20. Jahrhunderts ähnelt, als Fischer bereits über ein Verschwinden der Felchen klagten, das nicht durch Besatzmassnahmen kompensiert werden konnte und somit nicht auf eine fehlende natürliche Reproduktion zurückgeführt werden konnte.

5.2 Fischereiliche Nutzung

Die Berufsfischerei im Hallwilersee basiert hauptsächlich auf dem Fang der Felchen. Selten wird auch auf Hecht gefischt. So werden heute nur grössere Maschenweiten eingesetzt. Andere Fischarten wie Egli werden kaum von den Berufsfischern befischt. Die Fischerei des Hallwilersees ist somit stark abhängig von der Entwicklung der Felchenfänge. Der schweizweite Vergleich der Felchenvorkommen zeigt klar, dass diese oligotrophe und saubere Seen bevorzugen und in diesen Seen in hohen Dichten vorkommen. Mit zunehmender Eutrophierung werden Felchen jedoch seltener. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Felchen des Hallwilersees und somit auch die Fischerei von einer weiteren Verringerung der Nährstoffbelastung profitieren würden. Zwei Gründe unterstützen diese Annahme: Erstens weisen Untersuchungen der Entwicklung der Felcheneier im See nach wie vor auf eine nicht funktionierende natürliche Reproduktion hin (Müller 2014b). Zweitens sind kühle, sauerstoffreiche aber nicht übersättigte Bereiche im See im Sommer wenig vertreten, was die Entwicklung der Salmoniden im See beeinträchtigt.

Ein Grossteil der Fische im Hallwilersee bleibt durch die Berufsfischerei ungenutzt. Es sind hauptsächlich Cypriniden wie Rotaugen oder Brachsen, die kaum Bedeutung für die Fischerei haben, aber auch Eglis, die durchaus genutzt werden könnten, auch wenn ihre durchschnittliche Grösse heute im Hallwilersee eher klein ist.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ein beeinträchtigt Ökosystem

Die kleineren Felchenseen des Mittellandes wurden in den letzten 150 Jahren allesamt stark durch Nährstoffe belastet. Der Hallwilersee gehört zu diesen Seen. Die Belastung des Hallwilersees mit Phosphor wurde bis heute auf ein Niveau vermindert, welches eine nachhaltige Gesundung ermöglichen sollte. Leichte Entlastungen werden durch eine weitere Verbesserung des Zustands des obenliegenden Baldeggersees noch erwartet. Obwohl sich die organische Belastung seit der Einführung der Phosphatfällung in Kläranlagen massiv verbessert hat, leidet der Hallwilersee noch heute an den Konsequenzen dieser Verschmutzung.

Gut erhaltene Ufermorphologie

Ansonsten ist der Hallwilersee durch eine relativ gut erhaltene Ufermorphologie charakterisiert, die aber ebenfalls durch die Eutrophierung beeinflusst wurde, insbesondere der grosse Anteil an Feinsedimenten kann zumindest teilweise auf diese zurückgeführt werden. Somit sind natürliche Flachwasserbereiche mit Kies und Kiesel, die für die Fische attraktive Habitate darstellen, im Hallwilersee eher selten.

Fischereiliche Nutzung

Für die Fischerei zeigen die Resultate des „Projekt Lac“, dass der Hallwilersee im Vergleich mit anderen alpinen Seen ein produktiver See ist. Gerade aber die für die Fischerei wichtigsten Felchen finden die notwendigen Bedingungen zum Überleben im Hallwilersee nur beschränkt vor. Um eine nachhaltige Felchenfischerei im Hallwilersee zu erreichen, muss die Nährstoffbelastung noch weiter reduziert werden, bis die Primärproduktion reduziert und die Sauerstoffsättigung der Wassers ganzjährig und in allen Tiefen normale Werte erreicht. Vergleiche mit anderen kleinen Seen, die weniger belastet sind als der Hallwilersee (zum Beispiel Lac de Chalain oder Lac Saint-Point aus dem Jura), lassen vermuten, dass eine weitere Verbesserung der Wasserqualität sich sehr positiv auf das fischereiliche Potential auswirken wird, speziell für Felchen aber auch für Egli. Die Bemühungen zur Sanierung des Hallwilersees sollten demzufolge weiterverfolgt und wenn notwendig gar intensiviert werden.

7 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 3-1. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Gogouilly)..... | 7 |
| Abbildung 4-1. Temperaturprofile vom Hallwilersee von 2012. Daten: Amt für Umwelt, Natur und Landschaft, Kanton Aargau. | 8 |
| Abbildung 4-2. Entwicklung der Wasser-Oberflächentemperatur im Hallwilersee vom 1 August bis zum 31 Oktober 2012. | 9 |
| Abbildung 4-3. Sauerstoffprofile vom Hallwilersee von 2012. Daten: Amt für Umwelt, Natur und Landschaft, Kanton Aargau. | 9 |
| Abbildung 4-4. Entwicklung des Gesamtphosphorgehaltes des Wassers im Hallwilersee von 1950 bis 2011. Daten: Bafu. | 10 |
| Abbildung 4-5. Entwicklung der Wassertrübung von 2012. Daten: Amt für Umwelt, Natur und Landschaft, Kanton Aargau. | 10 |
| Abbildung 4-6. Ausschnitt der Kartierung der litoralen Habitats des Hallwilersees. | 11 |
| Abbildung 4-7. Fläche der verschiedenen litoralen Habitats im Hallwilersee. | 11 |
| Abbildung 4-8. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Hallwilersee (Luftaufnahmen © Swisstopo). | 12 |
| Abbildung 4-9. Karte der Befischungsstandorte im Hallwilersee (Luftaufnahmen © Swisstopo)..... | 13 |
| Abbildung 4-10. Grafische Darstellung der im Rahmen vom Projet Lac gefangenen Fische im Hallwilersee in logarithmischer Skala. | 14 |
| Abbildung 4-11. Die Anzahl (oben) und die Biomasse (unten) der im Hallwilersee mit den Vertikalnetzen gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche und die Habitatverfügbarkeit. Die Y-Achse ist in logarithmischer Skala dargestellt um die Differenzen ersichtlich darzustellen. | 15 |
| Abbildung 4-12. Anzahl Fische, die pro Art in den CEN Netzen gefangen wurden. Angegeben sind ebenfalls die 5% und 95%-Konfidenzintervalle, die anhand einer Permutation mit 10'000 Stichproben geschätzt wurden. | 18 |
| Abbildung 4-13. Nutzung der pelagischen und benthischen Habitats durch die verschiedenen Fischarten (CEN Netze). | 18 |
| Abbildung 4-14. Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für die Tiefe. Die schwarz gestrichelte Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 7m Tiefe. | 19 |
| Abbildung 4-15. Anzahl für den Aufwand korrigierte Fische, die bei den verschiedenen Habitats gefangen wurden. | 20 |
| Abbildung 4-16. Coregonen-, Flussbarsch- und Rotaugenfänge im Hallwilersee (alle Protokolle). | 20 |
| Abbildung 4-17. Entwicklung der Berufsfischerfänge im Hallwilersee von 1970-2011 (Daten: BAFU und Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau) | 22 |
| Abbildung 4-18. Verteilung der Berufsfischerfänge und der standardisierten Projet Lac Fänge (Biomasse) auf die verschiedenen Fischarten. | 23 |
| Abbildung 4-19. Längenselektivität der Netzmaschen (Alle Fänge Projet lac 2010-2013)..... | 24 |
| Abbildung 4-20. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche, Rotaugen und Kaulbarsche der Projet Lac Fänge. | 25 |
| Abbildung 4-21. Vergleich der für den Aufwand und für die Fläche korrigierten Fänge in den verschiedenen Seen. Repräsentiert sind die Fänge der Vertikalnetze. | 26 |
| Abbildung 4-22. Fänge der Berufsfischer von 2011 in verschiedenen Schweizer Seen (Daten Bafu) korrigiert für die Seefläche. | 26 |
| Abbildung 4-23. Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt von 15 Seen und dem für den Aufwand korrigierten Felchenfang in den CEN Netzen des „Projet Lac“ als Anzahl Individuen (links) und als Biomasse (rechts). Rot eingezeichnet ist der Hallwilersee..... | 27 |
| Abbildung 9-1. Geografische Verteilung der Kaulbarsche im Hallwilersee (alle Protokolle)..... | 34 |
| Abbildung 9-2 Längenverteilung der Felchen, Egli und Rotaugen in verschiedenen Seen..... | 35 |

8 Literaturverzeichnis

- Appelberg M (2000) Using fish to assess environmental disturbance of Swedish lakes and streams - a preliminary approach. *Fiskeriverket information* **1**, 1-28.
- Balk H, Lindem T (2006) Sonar 4, Sonar 5, Sonar 6 – Post-processing Systems. Operator Manual. Lindem Data Acquisition, Oslo.
- Brutschy A, Güntert A (1924) Gutachten über den Rückgang des Fischbestandes im Hallwilersee. *Archiv Fur Hydrobiologie* **14**, 523-571.
- Degiorgi F, Grandmottet J-P (1993) relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre, définition de modalités spatiales d'une stratégie de prélèvement reproductible. *Bull. Fr. de pisc.* **329**, 199-220.
- Degiorgi F, Guillard J, Grandmottet JP, Gerdaux D (1994) Deux techniques d'échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre utilisées en France, bilan et perspectives. *Hydroécol. appl.* **5**, 27-42.
- Degiorgi F, Raymond J-C (2000) Guide technique. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante. (ed. Agence de l'eau Csdlp), Lyon.
- Fujimori Y, Tokai T (2001) Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fisheries Science* **67**, 644-654.
- Güntert A (1921) *Der Hallwilersee - Ein verschwindender Glacialesee und seine Tiefenfauna*, Universität Basel.
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**, 21-27.
- Keller R (1945) *Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee*, Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich.
- MacIennan D, Fernandes PG, Dalen J (2002) A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Marine Scien.*, 365-369.
- Müller R (2014a) Fischereibiologische Untersuchungen am Hallwilersee. Limnos Fischuntersuchungen, Horw.
- Müller R (2014b) Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2014. Limnos, Horw.
- Regier HA, Robson DS (1966) Selectivity of Gill Nets Especially to Lake Whitefish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **23**, 423-&.
- Vadeboncoeur Y, McIntyre PB, Vander Zanden MJ (2011) Borders of Biodiversity: Life at the Edge of the World's Large Lakes. *Bioscience* **61**, 526-537.

9 Anhang

9.1 Übersicht Fänge: CPUE der gefangenen Fische

Tabelle 9-1. Zusammenstellung der Anzahl und der Biomasse der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangarten, korrigiert für den Fangaufwand (Anzahl Individuen pro 1000m² Netzfläche oder Elektrofischfangfläche).

| Fischart | | CPUE (Anzahl Individuen/1000m ²) | | | | | BPUE (kg/1000m ²) | | | | |
|--------------|--------------------------------|--|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | | CEN | | Elec. | Vertikal | | CEN | | Elec. | Vertikal | |
| Deutsch | Lateinisch | benthisch | pelagisch | | benthisch | pelagisch | benthisch | pelagisch | | benthisch | pelagisch |
| Flussbarsch | <i>Perca fluviatilis</i> | 1028.44 | 1.82 | 131.29 | 81.15 | 7.26 | 7.34 | 0.04 | 0.60 | 0.60 | 0.06 |
| Kaulbarsch | <i>Gymnocephalus cernuus</i> | 193.78 | - | 6.29 | 75.92 | 6.58 | 2.34 | - | 0.05 | 1.77 | 0.08 |
| Rotauge | <i>Rutilus rutilus</i> | 102.22 | 29.09 | - | 5.24 | 41.68 | 7.21 | 1.19 | - | 0.95 | 1.83 |
| Rotfeder | <i>Scardinius sp</i> | 42.67 | - | 0.79 | 50.61 | 2.02 | 3.02 | - | 0.00 | 5.69 | 0.34 |
| Coregoniden | <i>Coregonus sp</i> | 2.22 | 35.15 | - | - | 5.06 | 0.20 | 3.58 | - | - | 0.59 |
| Hasel | <i>Leuciscus leuciscus</i> | 12 | 1.21 | 25.16 | 3.49 | 0.17 | 0.72 | 0.06 | 2.05 | 0.24 | 0.01 |
| Gründling | <i>Gobio gobio</i> | 4 | - | 32.23 | 3.49 | - | 0.04 | - | 0.24 | 0.04 | - |
| Alet | <i>Squalius cephalus</i> | 6.67 | - | 13.36 | 10.47 | 0.17 | 5.77 | - | 9.30 | 15.80 | 0.21 |
| Sonnenbarsch | <i>Lepomis gibbosus</i> | 2.22 | - | 15.72 | 1.75 | - | 0.04 | - | 0.22 | 0.02 | - |
| Brachse | <i>Abramis brama</i> | 6.67 | 0.61 | 0.79 | 0.87 | 0.67 | 4.30 | 0.00 | 2.72 | 0.01 | 0.66 |
| Forelle | <i>Salmo trutta</i> | - | - | 13.36 | - | - | - | - | 0.58 | - | - |
| Schleie | <i>Tinca tinca</i> | 1.33 | - | 1.57 | 4.36 | - | 1.71 | - | 0.55 | 6.37 | - |
| Kambersch | <i>Orconectes limosus</i> | 3.56 | - | - | 1.75 | - | 0.04 | - | - | 0.01 | - |
| Schneider | <i>Alburnoides bipunctatus</i> | 0.44 | - | 4.72 | - | - | 0.01 | - | 0.01 | - | - |
| Hecht | <i>Esox lucius</i> | 0.89 | - | 1.57 | 1.75 | - | 0.30 | - | 0.96 | 2.73 | - |
| Groppe | <i>Cottus gobio</i> | - | - | 4.72 | - | - | - | - | 0.02 | - | - |
| Trüsche | <i>Lota lota</i> | 0.89 | - | 1.57 | - | - | 0.08 | - | 0.21 | - | - |
| Barbe | <i>Barbus barbus</i> | 0.44 | - | - | 1.75 | - | 0.86 | - | - | 3.00 | - |
| Zander | <i>Stizostedion lucioperca</i> | 0.44 | - | - | - | - | 0.05 | - | - | - | - |
| Karpfen | <i>Cyprinus carpio</i> | - | - | - | 0.87 | - | - | - | - | 1.93 | - |
| Total | | 1408.88 | 67.88 | 253.14 | 243.47 | 63.61 | 34.03 | 4.87 | 17.51 | 39.16 | 3.78 |

9.2 Resultate der Permutationen

Tabelle 9-2. Zusammenstellung der Konfidenzintervallschätzung für die Fänge mit den CEN Netzen. Angegeben sind die minimale Anzahl (Min), die mittlere Anzahl (Mittel) die Maximale Anzahl (Max) der geschätzten Fischfänge, die pro Art für den gegebenen Aufwand erwartet werden können, die untere Konfidenzgrenze (5%), der beobachtete Wert (Beobachtet) und die obere Konfidenzgrenze (95%).

| Fischart | | Anzahl Fische | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Deutsch | Lateinisch | Min. | Mittel | Max. | 0.05 | 0.95 |
| Flussbarsch | <i>Perca fluviatilis</i> | 1033 | 2338 | 3767 | 1631 | 3057 |
| Kaulbarsch | <i>Gymnocephalus cernuus</i> | 279 | 441 | 619 | 341 | 547 |
| Rotauge | <i>Rutilus rutilus</i> | 112 | 279 | 463 | 198 | 371 |
| Rotfeder | <i>Scardinius sp</i> | 25 | 94 | 235 | 46 | 154 |
| Coregoniden | <i>Coregonus sp</i> | 26 | 62 | 115 | 41 | 85 |
| Hasel | <i>Leuciscus leuciscus</i> | 8 | 29 | 72 | 14 | 48 |
| Brachse | <i>Abramis brama</i> | 6 | 16 | 30 | 10 | 23 |
| Alet | <i>Squalius cephalus</i> | 2 | 15 | 26 | 8 | 21 |
| Gründling | <i>Gobio gobio</i> | 0 | 9 | 33 | 2 | 17 |
| Kambersch | <i>Orconectes limosus</i> | 1 | 8 | 18 | 4 | 12 |
| Sonnenbarsch | <i>Lepomis gibbosus</i> | 0 | 5 | 17 | 0 | 11 |
| Schleie | <i>Tinca tinca</i> | 0 | 3 | 10 | 0 | 7 |
| Trüsche | <i>Lota lota</i> | 0 | 2 | 10 | 0 | 6 |
| Hecht | <i>Esox lucius</i> | 0 | 2 | 7 | 0 | 4 |
| Barbe | <i>Barbus barbus</i> | 0 | 1 | 5 | 0 | 3 |
| Schneider | <i>Alburnoides bipunctatus</i> | 0 | 1 | 5 | 0 | 3 |
| Zander | <i>Stizostedion lucioperca</i> | 0 | 1 | 5 | 0 | 3 |
| Total Anzahl | | 1492 | 3306 | 5437 | 2295 | 4372 |

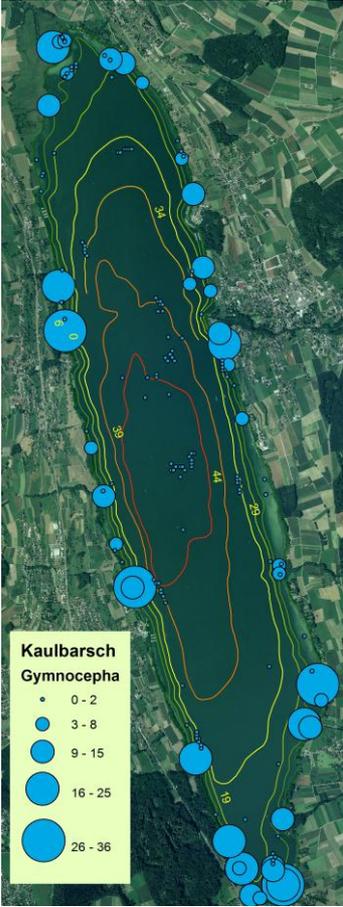


Abbildung 9-1. Geografische Verteilung der Kaulbarsche im Hallwilersee (alle Protokolle).

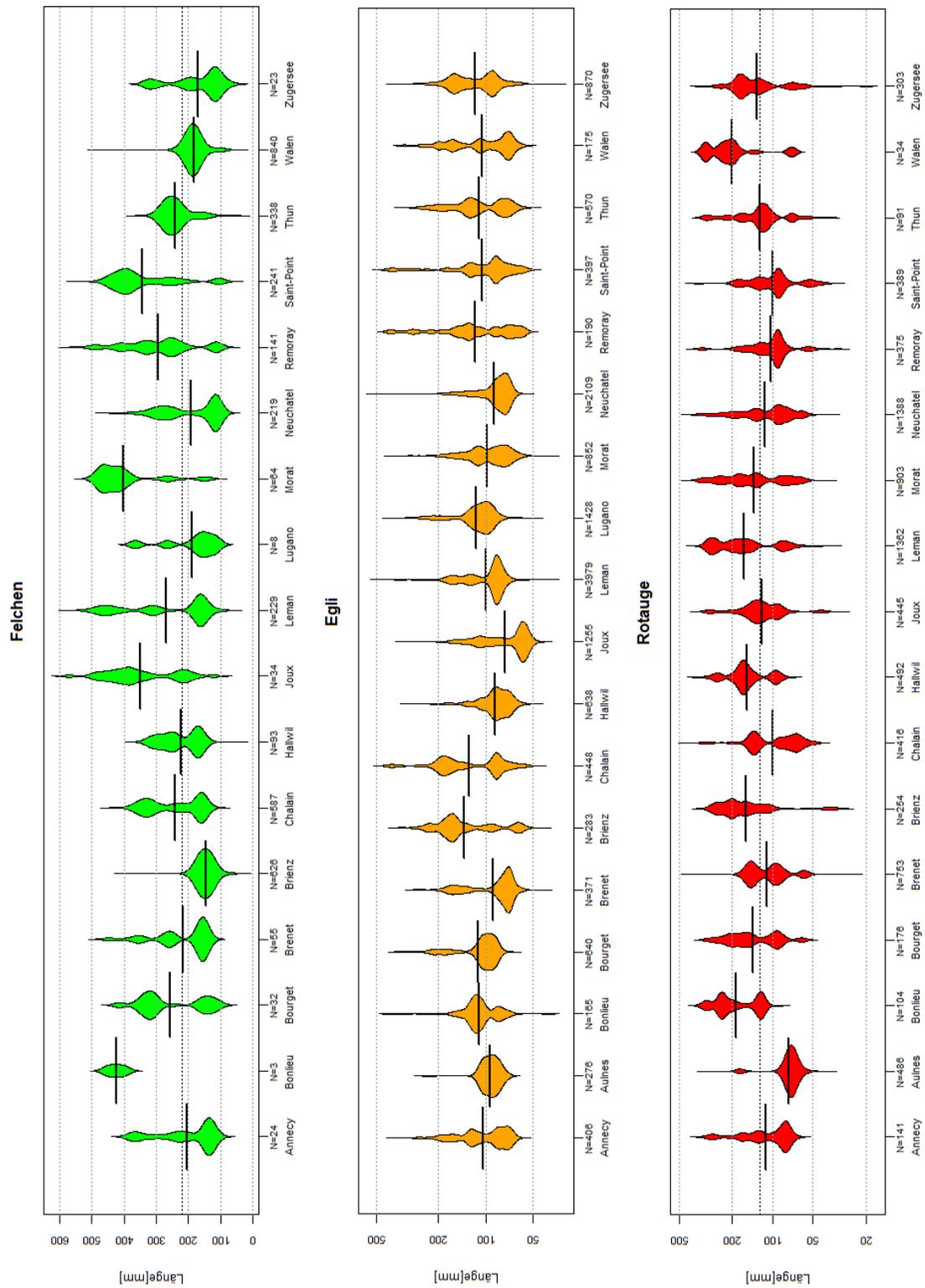


Abbildung 9-2 Längenverteilung der Felchen, Egli und Rotaugen in verschiedenen Seen.