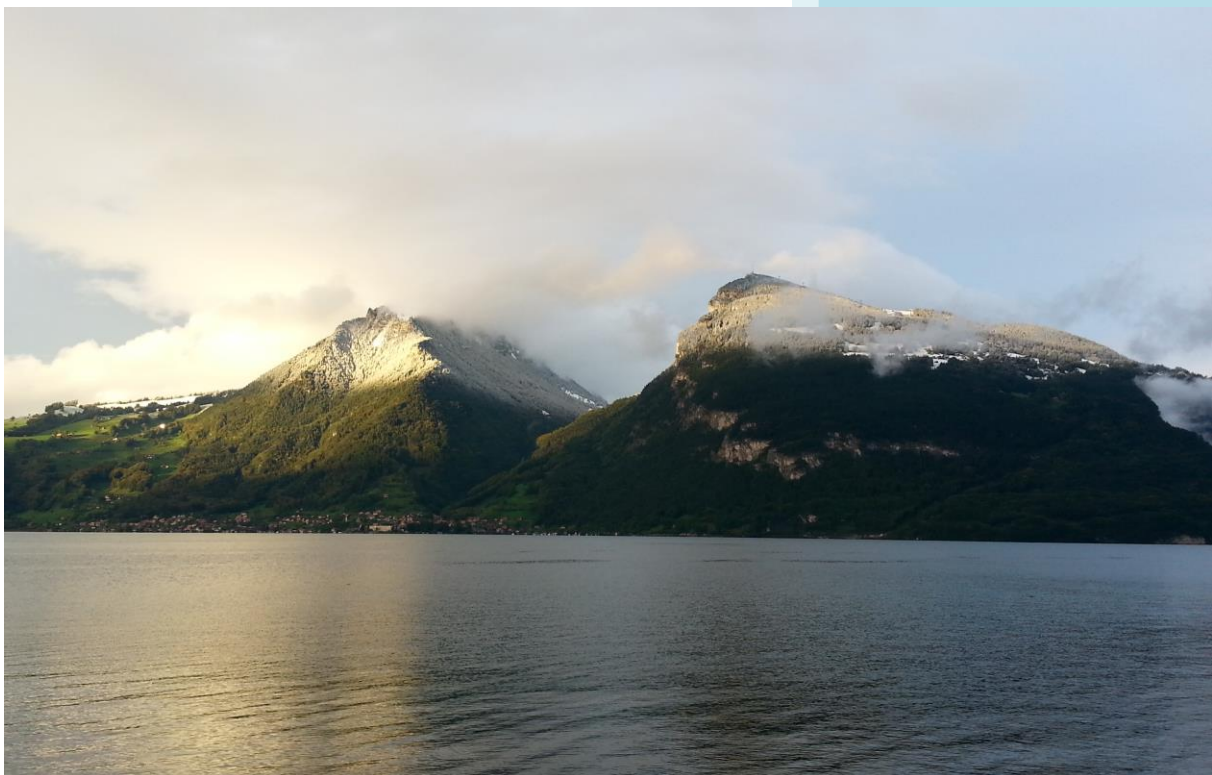


# Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Thunersee



## **Impressum**

### **Autoren:**

Pascal Vonlanthen  
Guy Périat  
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution  
Seestrasse 79  
CH-6047 Kastanienbaum  
[pascal.vonlanthen@eawag.ch](mailto:pascal.vonlanthen@eawag.ch)

### **Projektleiter:**

Ole Seehausen, Eawag

### **In Zusammenarbeit mit:**

Timothy J. Alexander, Eawag  
Carmela Doenz, Eawag  
Johannes Hellmann, Eawag

### **Zitiervorschlag:**

Vonlanthen P., Périat G., Doenz C., Hellmann J., Alexander T.J. , Seehausen O. 2015. Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Thunersee. 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: Thomas Vuille, Christoph Küng, Daniel Bernet, Markus Zeh, Mario Eckart, Mathias Sigrist, Carmela Doenz, Hervé Decourcière, Jonathan Paris, Gregory Tourreau, François Degiorgi, Michael Gogouilly, Thomas Groubatch, Thomas Rösli, Erwin Schaeffer, Jean Guillard, Michel Colon und Jennifer Vonlanthen-Heuck. Finanziert wurde das Projekt vom BAFU, von der Eawag, und vom Fischereiinspektorat des Kantons Bern.

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                   |           |
|----------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>                      | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>AUSGANGSLAGE .....</b>                         | <b>3</b>  |
| 2.1      | WESHALB EIN „PROJET LAC“ .....                    | 3         |
| 2.2      | ZIELSETZUNG .....                                 | 4         |
| <b>3</b> | <b>METHODEN .....</b>                             | <b>5</b>  |
| 3.1      | CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MESSREIHEN .....      | 5         |
| 3.2      | HABITATKARTIERUNG .....                           | 5         |
| 3.3      | FELDAUFNAHMEN DER FISCHE .....                    | 5         |
| 3.4      | FISCHFANGSTATISTIKEN .....                        | 7         |
| <b>4</b> | <b>RESULTATE .....</b>                            | <b>8</b>  |
| 4.1      | PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE DATEN.....            | 8         |
| 4.2      | HABITATKARTIERUNG .....                           | 10        |
| 4.3      | STANDARDISIERTE ABFISCHUNG.....                   | 13        |
| 4.4      | FISCHEREILICHE ASPEKTE .....                      | 27        |
| <b>5</b> | <b>SYNTHESE .....</b>                             | <b>34</b> |
| 5.1      | ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DES THUNERSEES .....        | 34        |
| 5.2      | FISCHEREILICHE NUTZUNG .....                      | 35        |
| <b>6</b> | <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>7</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>                 | <b>37</b> |
| <b>8</b> | <b>ANHANG.....</b>                                | <b>38</b> |
| 8.1      | ÜBERSICHT FÄNGE: CPUE DER GEFANGENEN FISCHE ..... | 38        |
| 8.2      | RESULTATE DER PERMUTATIONEN .....                 | 38        |

## 1 Zusammenfassung

Um unsere Gewässer effizient zu bewirtschaften und zu schützen, muss deren Ist-Zustand bekannt sein. Im „Projet Lac“ wurde die Fischartenzusammensetzung in den alpinen Seen zum ersten Mal überhaupt standardisiert erhoben. Dieser Bericht fasst die Resultate der Befischungen von 2013 im Thunersee zusammen.

Der Thunersee ist heute ein natürlicherweise oligotropher und eher kühler Voralpensee der auch in den grössten Tiefen des Sees über gute Lebensgrundlagen für Fische verfügt. Strukturierte litorale Habitate (Zuflüsse, Blöcke und Kiesel), die den Fischen gute Habitate bieten sind ebenfalls gut vertreten. Allerdings ist nur ca. 28% des Seeufers natürlich. 72% des Ufers ist durch Verbauungen wie Hafenanlagen, Stege für Boote, Blockwürfe oder hart verbaute Seeufer beeinflusst.

Mindestens 21 Fischarten wurden im Rahmen dieses Projektes im Thunersee gefangen. 15 weitere zuvor im See nachgewiesene Arten konnten nicht nachgewiesen werden. Die Fänge werden im Pelagial durch mehrere Felchenarten dominiert. Im Litoral waren insbesondere Egli, Felchen, Rotaugen, Hasel, Elritze und Gropfen häufig. Die Fischartenzusammensetzung im Thunersee entspricht heute der eines natürlichen Felchensees und ist der ursprünglichen Artenzusammensetzung die im 19. Jahrhundert beschrieben wurde sehr ähnlich. Einzigartig am Thunersee ist die hohe Anzahl an endemischen Felchen- und möglicherweise auch Seesaiblingsarten.

Für einen oligotrophen See ist das Wachstum der Kleinfelchen im Thunersee überdurchschnittlich gut, weshalb auch im oligotrophen Zustand eine wirtschaftlich attraktive und ökologisch nachhaltige Fischerei möglich ist. Weiterhin Sorge getragen werden sollte im Rahmen der Bewirtschaftung der verschiedenen endemischen Fischarten. So sollte in Zuchten ein Kreuzen der verschiedenen Felchen- und Saiblingsarten wann immer möglich vermieden werden.

Oligotrophe Seen wie dies der Thunersee ist, die durch die Verschmutzungen des letzten Jahrhunderts nicht grundlegend verändert wurden, sind seltene Ökosysteme im Alpenraum. Die Umweltbelastungen des letzten Jahrhunderts haben dieses Ökosystem ins Wanken gebracht, doch anders als in anderen Seen waren die Veränderungen weniger umfangreich, sodass der Thunersee heute limnologisch einer der am wenigsten beeinträchtigten grossen Alpenrandseen ist. Der See ist deshalb für die Fischartenvielfalt mit einer für Voralpenseen typischen Artenzusammensetzung und mit mehreren einzigartigen endemischen Arten von grösstem Wert und muss unbedingt erhalten bleiben.

## 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 gewisser Anlagen, welche die Umwelt beeinträchtigen könnten, eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen, in welcher der Ausgangszustand des Ökosystems bestimmt werden muss (Art. 10b USG). Vor jeglichem Eingriff in Gewässern muss eine Bewilligung der Fischereibehörde ausgestellt werden (BGF Art. 7-9). 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 (Gefährdungsstatus 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 (6). 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 sollten von 2010 bis 2014 24 Seen erforscht werden.

## 2.2 Zielsetzung

### *Allgemeine Zielsetzungen*

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. Zur Identifikation von Arten wird das biologische Artkonzept verwendet. Dabei ist eine Art eine Gruppe natürlicher Populationen, die sich untereinander kreuzen können und von anderen Gruppen reproduktiv isoliert sind. Dabei sind die Isolationsmechanismen zwischen den einzelnen Arten biologischer Natur, also nicht ausschliesslich auf äusseren Gegebenheiten wie räumlicher oder zeitlicher Trennung basierend. Die in diesem Dokument beschriebenen Arten sind zum Teil taxonomisch nicht beschrieben und sind deshalb auch nicht im Anhang 1.66 der VBGF aufgeführt.

### *Spezifische Zielsetzung*

Der vorliegende Bericht behandelt spezifisch die Resultate der Abfischungen, die im Thunersee vom 7. bis 11. Oktober 2013 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. 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 mit sichtbaren baulichen Massnahmen) aufweisen als künstlich bezeichnet. Eingezäunte Schilfbestände und Boote die im freien Wasser an Bojen fixiert waren wurden als natürliche Ufer eingestuft.

### 3.3 Feldaufnahmen der Fische

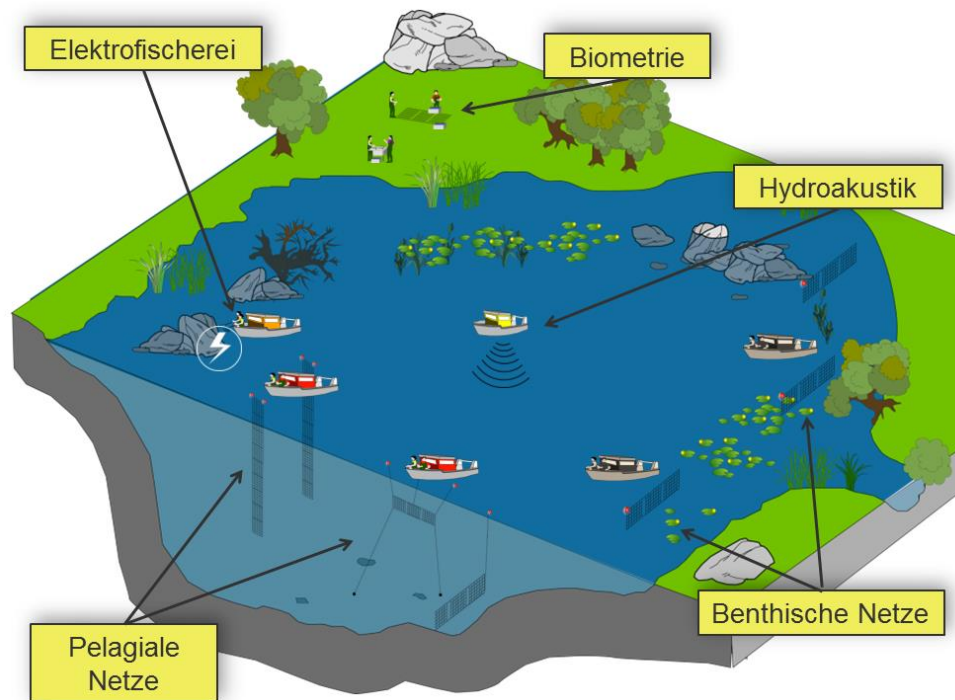
*Verschiedene  
sich ergänzende  
Methoden*

Vier Protokolle werden in jedem See simultan 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 SIMRAD 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 analysiert. Um die mittlere Biomasse zu schätzen und Vergleiche zwischen den Seen zu ermöglichen werden die Resultate in „Sa“ wiedergegeben (59). „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.

Beispiel der  
Probenahme-  
strategie



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

- 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 .
- c) 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 . Die benutzte Netzfläche wird für die Standardisierung der Daten herangezogen.
- d) 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.

Die gefangenen Fische werden anschliessend identifiziert (wenn immer möglich auf Artniveau), vermessen, gewogen, fotografiert und für die Gewebeprobeentnahme sowie die Konservierung im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern vorbereitet.

### 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.

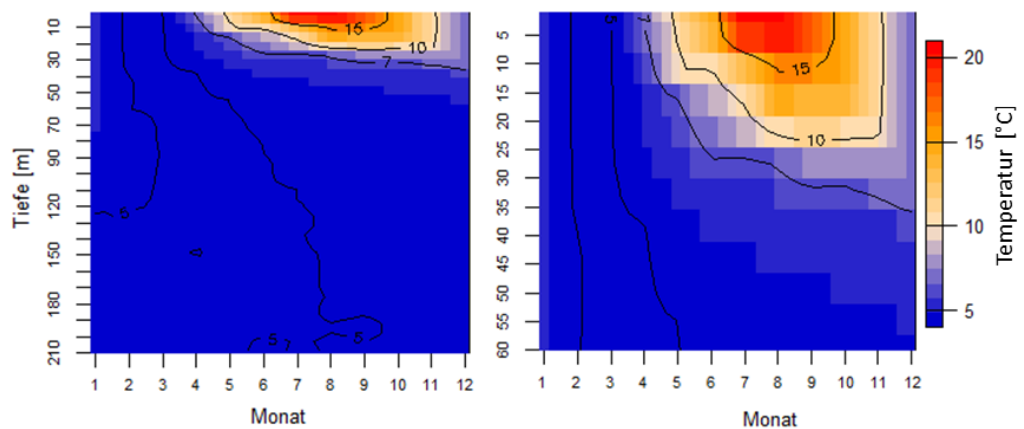
## 4 Resultate

### 4.1 Physikalische und Chemische Daten

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

*Ein eher kühler  
See*

Die Temperaturprofile aus dem Jahr 2013 zeigen, dass Temperaturschwankungen bis in Tiefen von 50m vorkommen (Abbildung 4-1). Die Oberflächentemperatur im Sommer überschreitet die 20 °C-Marke dabei nicht jedes Jahr, sondern nur in sehr warmen Sommern wie jenem im Jahr 2003. Die von 2003 bis 2014 höchste gemessene Temperatur stammt vom 11. August 2003 und betrug 21.87°C. Die mittlere Temperatur der wärmsten Monatsmessung jedes Jahres betrug 19.11°C. Insgesamt ist der Thunersee somit ein eher kühler Alpenrandsee. Von 1880 bis 1898 wurden jedoch nie eine Oberflächentemperatur von mehr als 18°C gemessen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass sich die Oberflächentemperatur des Thunersees innerhalb von ca. 100 Jahren etwas erwärmt hat.

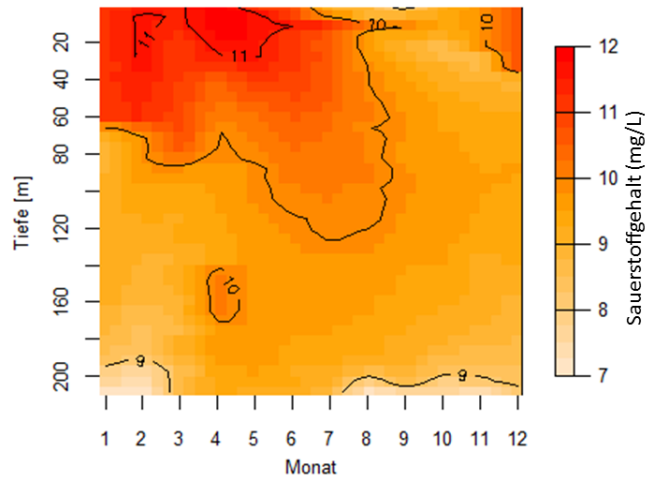


**Abbildung 4-1.** Temperaturprofile vom Thunersee von 2013. Daten: Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern.

*Sauerstoffreiches  
Tiefenwasser*

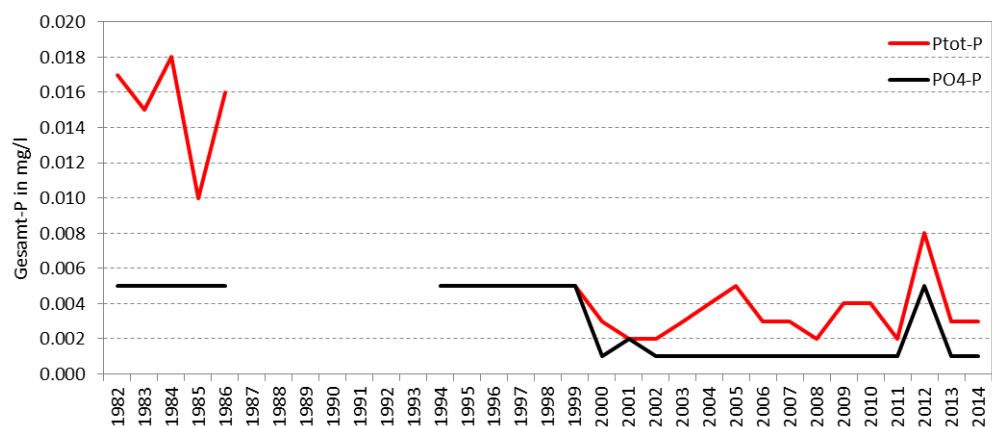
Die Sauerstoffmessungen zeigen, dass die gesamte Wassersäule des Thunersees das ganze Jahr mit genügend Sauerstoff versorgt ist (Abbildung 4-2). In den Sommermonaten entsteht im Metalimnion keine Sauerstoffübersättigung. Im Hypolimnion ist meistens mehr als 4 mg/l Sauerstoff vorhanden. Nur an der tiefsten Stelle im See zwischen 208-213m Tiefe kann eine leicht erhöhte Sauerstoffzehrung festgestellt werden. Dabei kann der Sauerstoffgehalt für kurze Zeit unter den Wert von 4mg/l fallen (wie zum Beispiel im November 2008). Dies wird aber mit der Winterzirkulation jeweils wieder ausgeglichen. Somit steht den

Fischen im Thunersee die meiste Zeit des Jahres die gesamte Wassersäule als Lebensraum zur Verfügung.



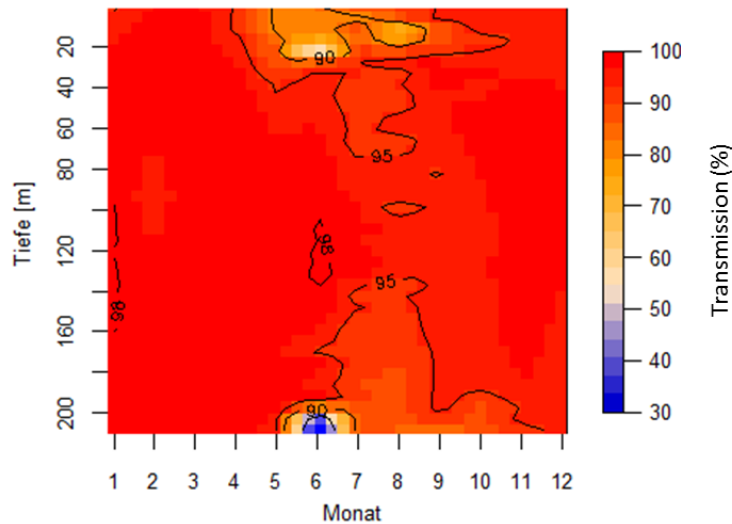
**Abbildung 4-2.** Sauerstoffprofile vom Thunersee von 2013. Daten: Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern.

Der Gesamtposphorgehalt (P<sub>tot</sub>-P) hat seit 1982 deutlich abgenommen (Abbildung 4-3). War aber im Vergleich mit anderen Schweizer Seen immer tief. Der biologische verfügbare Phosphor (PO<sub>4</sub>-P) war stets in einer Konzentration im See vorhanden, die unterhalb der Bestimmungsgrenze lag. Der See war somit stets in einem oligotrophen Zustand.



**Abbildung 4-3.** Entwicklung des Gesamtposphorgehaltes des Wassers im Thunersee von 1950 bis 2011. Daten: Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Die Tiefenmessungen zeigen, dass die Trübung im Verlauf des Jahres insbesondere in der Sprungschicht etwas schwankt (Abbildung 4-4). Ursache sind entweder Starkniederschläge oder die Einschichtung des mit Gletscherschliff getrübbten Kanderwassers in dieser Tiefe (pers. Mitteilung Markus Zeh).



**Abbildung 4-4.** Entwicklung der Wassertrübung von 2012 (gemessen als Transmission bei 10cm Weg und mit einer Wellenlänge von 660nm). Daten: Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern. **Habitatkartierung**

#### *Wenig mineralische Habitats*

Die Habitatkartierung (Abbildung 4-5) des Thunersees zeigt, dass strukturierte litorale Habitats (Zuflüsse, Blöcke und Kiesel), die den Fischen gute Habitats bieten, gut vertreten sind (Abbildung 4-6). Feinsedimente, Sand oder auch Vegetation wie Schilf oder Hydrophyten sind weniger häufig. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Thunersee hoch. Auf den ganzen See bezogen ist der Thunersee, mit der Ausnahme des Westufers oberhalb von Thun, das durch eine sehr grosse Kieselfläche dominiert wird, durch eher steile Ufer und somit flächenmässig eher wenig Litoral charakterisiert.

Nur ca. 28% des Seeufers können heute als natürlich bezeichnet werden. 72% sind durch Verbauungen anthropogen beeinflusst (Abbildung 4-7). Die Verbauungen bestehen dabei flächenmässig zu ca. 57% aus Hafenanlagen und Stegen für Boote und zu je ca. 20% aus Blockwürfen oder hart verbauten Seeufern. Die Verbauungen stehen grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Das Ufer des Thunersees ist somit stark verbaut.

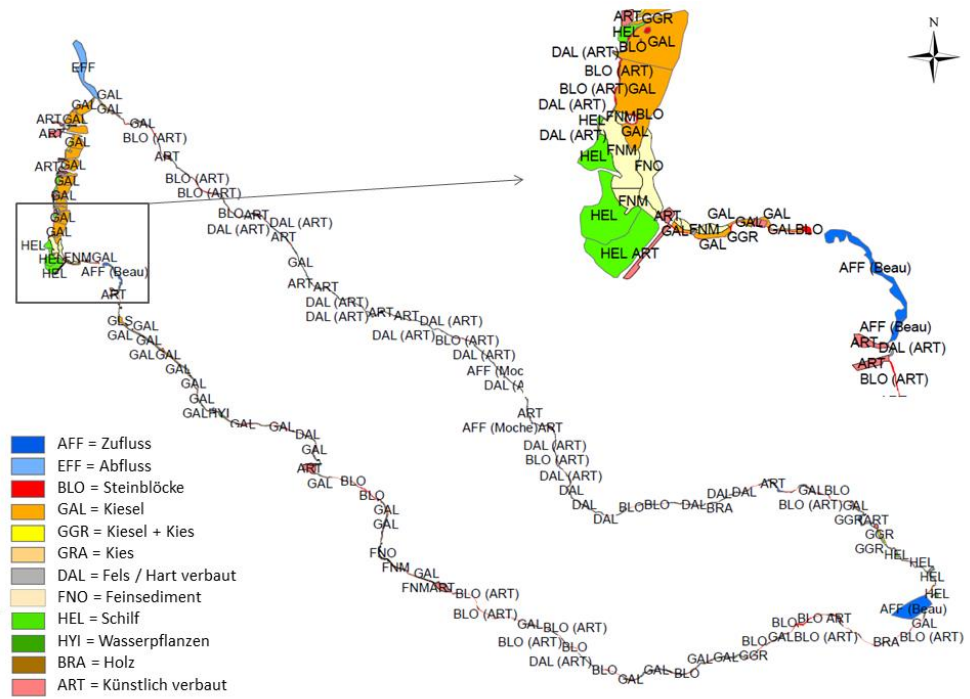


Abbildung 4-5. Ausschnitt der Kartierung der litoralen Habitate des Thunersees.

Viele Kieselufer im Thunersee

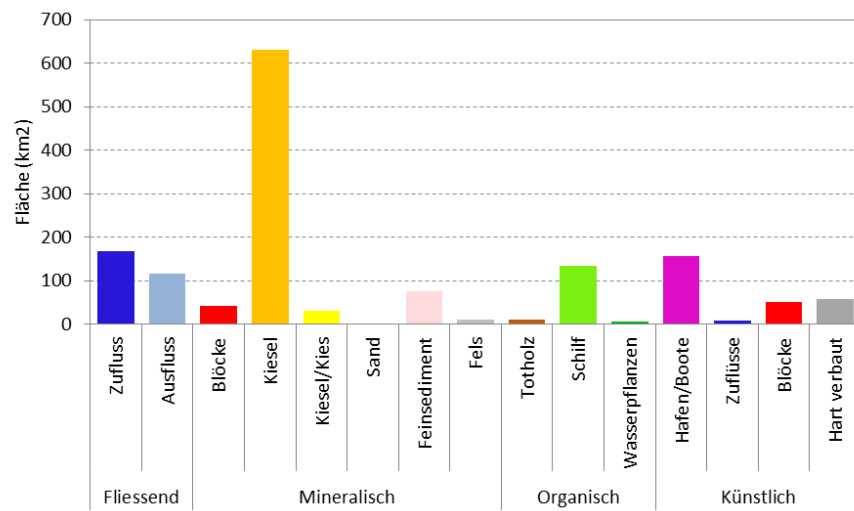
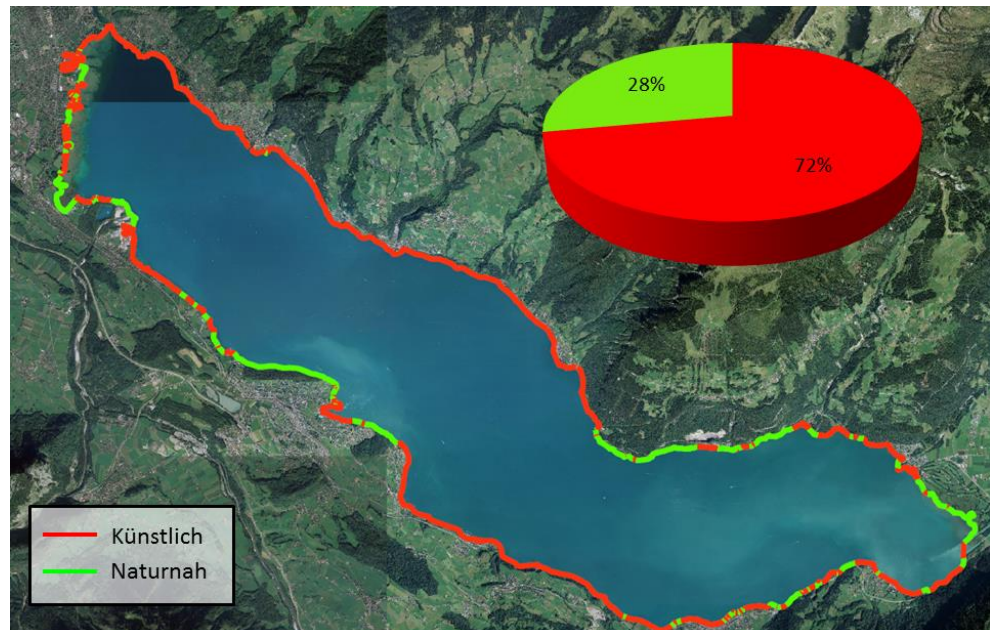


Abbildung 4-6. Fläche der verschiedenen litoralen Habitate im Thunersee.



**Abbildung 4-7.** Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Thunersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).



## 4.3 Standardisierte Abfischung

### 4.3.1 Standorte der Probenahmen

194 Befischungsaktionen

Über fünf Tage wurden im Thunersee insgesamt 87 benthische CEN-, 12 pelagische CEN-, 44 uferhabitatspezifische Vertikal-, und 17 pelagische Vertikal-Netze über Nacht gesetzt. Zusätzlich wurden 34 Uferstrecken elektrisch befischt. Insgesamt sind somit 194 Befischungsaktionen durchgeführt worden (Abbildung 4-8).

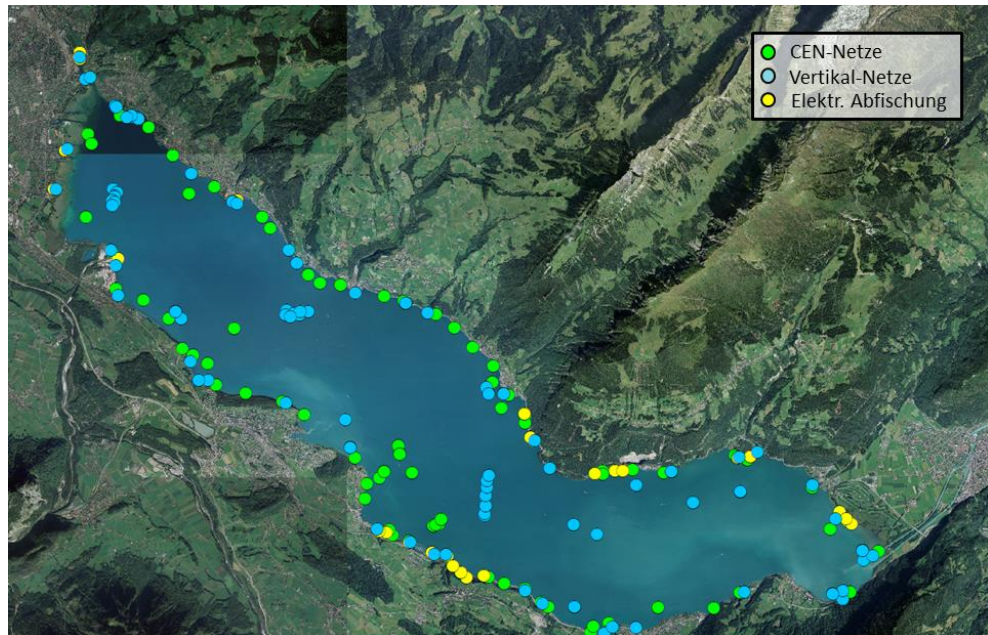


Abbildung 4-8. Karte der Befischungsstandorte im Thunersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

### 4.3.2 Fischbestand und Artenvielfalt

Insgesamt wurden im Thunersee 2204 Fische und mindestens 21 Fischarten gefangen (Abbildung 4-9, Tabelle 4-1). Erste Resultate der Forschungsgruppe lassen vermuten dass bei den Felchen, den Seesaiblingen und bei den Groppen mehrere unbekannte Arten vorhanden sein könnten (vgl. Kapitel 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7). Die Felchen wurden aufgrund des heutigen Wissens anhand des äusseren Erscheinungsbildes (Körperform, Grösse, Position des Mundes, Flossenfarbe, Kiemenreusenzahlen) den einzelnen bekannten Felchenarten zugewiesen. Dies ist oft nicht einfach, sodass diese Einteilung zusätzlich noch genetisch überprüft werden muss.

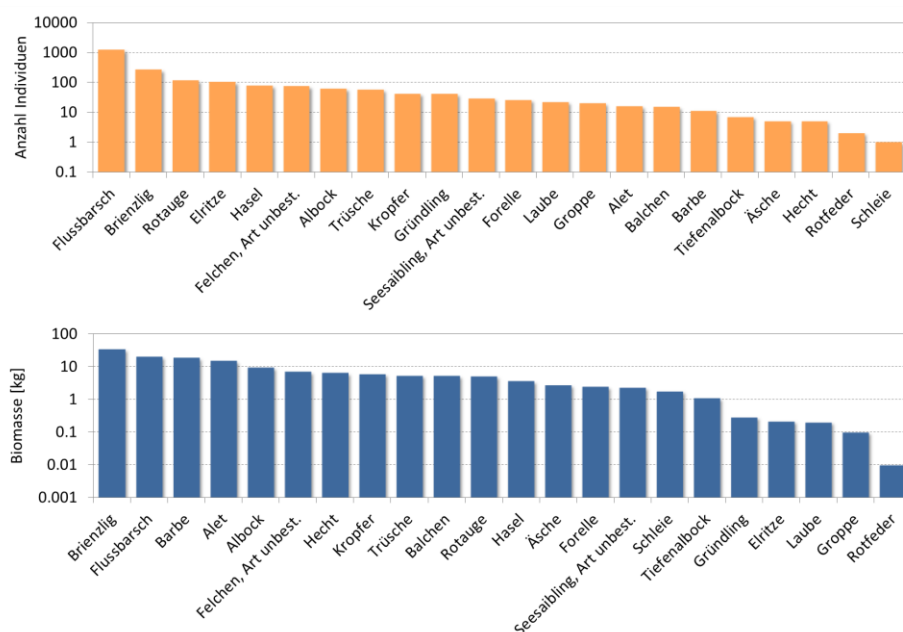
Anzahlmässig waren die Egli in den Fängen klar am häufigsten vertreten. Auch Brienzlig, Rotaugen und Elritze waren häufig. Eher selten waren die Rotfeder und die Schleie. Die Biomasse wird vom Brienzlig, Flussbarsch, Barbe, Alet, und dem Albock dominiert. Der CPUE für die gefangene Anzahl Individuen und der BPUE für die Biomasse ist im Anhang aufgeführt (Tabelle 8-1).

**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>            | 941               | 119        | 152        | 1212        | 15.81         | 0.66        | 3.81         | 20.28         |
| Brienzzig                | <i>Coregonus albellus</i>           | 152               | -          | 112        | 264         | 18.94         | -           | 15.20        | 34.13         |
| Rotaue                   | <i>Rutilus rutilus</i>              | 96                | 4          | 14         | 114         | 3.62          | 0.02        | 1.43         | 5.07          |
| Elritze                  | <i>Phoxinus phoxinus</i>            | 29                | 72         | 1          | 102         | 0.06          | 0.15        | 0.00         | 0.21          |
| Hasel                    | <i>Leuciscus leuciscus</i>          | 69                | 2          | 7          | 78          | 3.17          | 0.00        | 0.43         | 3.60          |
| Felchen, Art unbest.     | <i>Coregonus sp.</i>                | 25                | -          | 49         | 74          | 1.90          | -           | 5.01         | 6.91          |
| Albock                   | <i>Coregonus fatioi</i>             | 12                | -          | 49         | 61          | 1.83          | -           | 7.52         | 9.36          |
| Trüsche                  | <i>Lota lota</i>                    | 35                | 20         | 2          | 57          | 4.04          | 0.97        | 0.30         | 5.31          |
| Kropfer                  | <i>Coregonus alpinus</i>            | 35                | -          | 7          | 42          | 5.08          | -           | 0.86         | 5.94          |
| Gründling                | <i>Gobio gobio</i>                  | 27                | 4          | 10         | 41          | 0.18          | 0.01        | 0.09         | 0.29          |
| Seesaibling, Art unbest. | <i>Salvelinus spp.</i>              | 28                | -          | 1          | 29          | 2.29          | -           | 0.02         | 2.31          |
| Forelle                  | <i>Salmo trutta</i>                 | 1                 | 25         | -          | 26          | 0.30          | 2.13        | -            | 2.43          |
| Laube                    | <i>Alburnus alburnus</i>            | 12                | 6          | 4          | 22          | 0.16          | 0.00        | 0.03         | 0.20          |
| Groppe                   | <i>Cottus sp.</i>                   | 13                | 3          | 4          | 20          | 0.06          | 0.02        | 0.02         | 0.10          |
| Alet                     | <i>Squalius cephalus</i>            | 1                 | 1          | 14         | 16          | 1.39          | 0.00        | 13.50        | 14.89         |
| Balchen                  | <i>Coregonus sp. "Balchen"</i>      | 5                 | -          | 10         | 15          | 1.54          | -           | 3.68         | 5.23          |
| Barbe                    | <i>Barbus barbus</i>                | 2                 | -          | 9          | 11          | 1.89          | -           | 16.73        | 18.62         |
| Tiefenalbock             | <i>Coregonus sp. "Tiefenalbock"</i> | 6                 | -          | 1          | 7           | 0.90          | -           | 0.18         | 1.08          |
| Äsche                    | <i>Thymallus thymallus</i>          | 1                 | -          | 4          | 5           | 0.01          | -           | 2.74         | 2.75          |
| Hecht                    | <i>Esox lucius</i>                  | 1                 | 2          | 2          | 5           | 1.14          | 0.24        | 5.04         | 6.42          |
| Rotfeder                 | <i>Scardinius erythrophthalmus</i>  | -                 | 1          | 1          | 2           | -             | 0.00        | 0.01         | 0.01          |
| Schleie                  | <i>Tinca tinca</i>                  | -                 | -          | 1          | 1           | -             | -           | 1.77         | 1.77          |
| <b>Total</b>             |                                     | <b>1491</b>       | <b>259</b> | <b>454</b> | <b>2204</b> | <b>64.30</b>  | <b>4.21</b> | <b>78.39</b> | <b>146.90</b> |
| Anzahl Arten             |                                     | 20                | 12         | 21         | 22          | 20            | 12          | 21           | 22            |

Brienzzig ist die dominierende Fischart

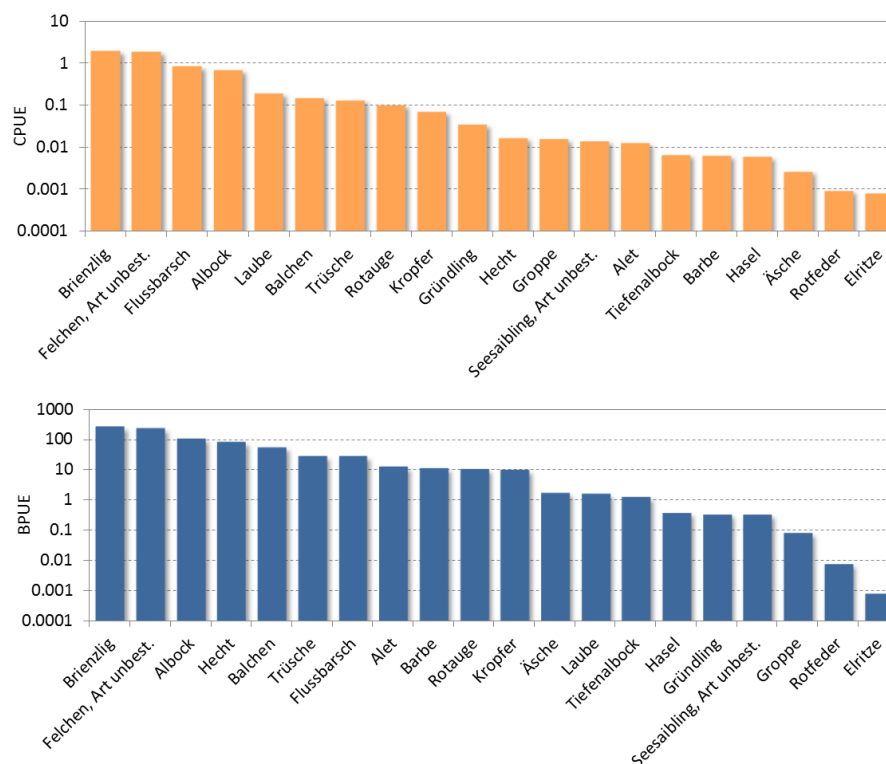
Die Fische und die zum Fang verwendeten Methoden sind allerdings nicht zufällig im Raum verteilt. Anhand der vorliegenden Daten kann die Häufigkeit und die Biomasse der einzelnen Fischarten für die Verfügbarkeit der verschiedenen Habitate (in diesem Fall das vorhandene Volumen der einzelnen Habitate) korrigiert werden. Dabei wird ersichtlich, dass die verschiedenen Felchenarten, insbesondere der Brienzzig und der Albock, die Fischfauna dominieren (Abbildung 4-9). Dies weil sie im Pelagial häufig gefangen wurden. Häufige Begleitarten sind Flussbarsch, Trüsche und Rotaue. Die Fischzusammensetzung des Thunersees ist somit typisch für einen Felchensee. Einmalig ist die hohe Artenvielfalt bei den Felchen.



**Abbildung 4-9.** Grafische Darstellung der im Rahmen vom Projekt Lac gefangenen Fische im Thunersee in logarithmischer Skala.



### Dominanz der Felchenarten



**Abbildung 4-10.** Die Anzahl (oben) und die Biomasse (unten) der im Thunersee 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

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

| Sammlung                 |                                    | Museum |
|--------------------------|------------------------------------|--------|
| Fischart                 |                                    |        |
| Laube                    | <i>Alburnus alburnus</i>           | 12     |
| Barbe                    | <i>Barbus barbus</i>               | 11     |
| Brienzi                  | <i>Coregonus albellus</i>          | 30     |
| Kropfer                  | <i>Coregonus alpinus</i>           | 29     |
| Felchen, Art unbest.     | <i>Coregonus sp.</i>               | 57     |
| Groppe                   | <i>Cottus sp.</i>                  | 5      |
| Hecht                    | <i>Esox lucius</i>                 | 5      |
| Gründling                | <i>Gobio gobio</i>                 | 30     |
| Hasel                    | <i>Leuciscus leuciscus</i>         | 26     |
| Trüsche                  | <i>Lota lota</i>                   | 30     |
| Flussbarsch              | <i>Perca fluviatilis</i>           | 30     |
| Elritze                  | <i>Phoxinus phoxinus</i>           | 30     |
| Rotaugen                 | <i>Rutilus rutilus</i>             | 30     |
| Forelle                  | <i>Salmo trutta</i>                | 24     |
| Seesaibling, Art unbest. | <i>Salvelinus spp.</i>             | 29     |
| Rotfeder                 | <i>Scardinius erythrophthalmus</i> | 2      |
| Alet                     | <i>Squalius cephalus</i>           | 12     |
| Äsche                    | <i>Thymallus thymallus</i>         | 5      |
| Schleie                  | <i>Tinca tinca</i>                 | 1      |
| Total                    |                                    | 398    |

Von den gefangenen Fischen wurden 398 in die Museumssammlung vom Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern aufgenommen (Tabelle 4-2). Zahlreiche weitere Felchen wurden in die Sammlung der Eawag aufgenommen, wo sie derzeit noch taxonomisch und genetisch untersucht werden.

#### 4.3.4 Historische Artenvielfalt

*Eine gut  
erhaltene  
Artenvielfalt*

Im Rahmen des Projet Lac wurden insgesamt mindestens 21 Fischarten gefangen. Im See wurden bis anhin 36 Arten dokumentiert. 15 von diesen konnten demzufolge im Rahmen des Projet Lac nicht nachgewiesen werden. Das Bachneunauge, die Bartgrundel und der Strömer sind wenn überhaupt nur selten und vermutlich nur im Bereich von Zuflüssen vertreten. Der Aal und die Nase sind möglicherweise ausgestorben, da sie auch in den Fischfangstatistiken nicht mehr beobachtet wurden. Der Karpfen, die Brachse, die Blicke und der Wels sind in den Fischfangstatistiken in den letzten Jahren noch als Fänge aufgeführt, jedoch nur in sehr geringer Anzahl. Die Umweltbedingungen im nährstoffarmen und kühlen Thunersee sind für diese Arten wohl eher weniger geeignet. Hervorzuheben ist die bedeutende Äschenpopulation im See: Erstens in der Schadau beim Aareausfluss in Thun, wobei es sich um eine Population von nationaler Bedeutung handelt; zweitens im Mündungsbereich der Aare in den See.

18 der 23 Arten, die Heuscher aus dem Thunersee beschrieb, konnten im Rahmen dieser Befischung wieder gefangen werden. Zusätzlich zu den historisch beschriebenen Arten wurden im Rahmen vom „Projet Lac“ 2013 noch die Äsche, der Brienzlig, und der Tiefenalbock, möglicherweise eine weitere Felchenart, möglicherweise mehrere bisher unbeschriebene Seesaiblingsarten, und möglicherweise eine oder zwei ebenfalls unbeschriebene Groppenarten gefangen. Der Tiefenalbock wurde bereits vor einigen Jahren bei genetischen Auswertungen als eigenständige Art erkannt (Bittner 2009). Die sonst im Schweizer Mittelland weit verbreitete südliche Rotfeder (*Scardinius hesperidicus*) wurde im Thunersee nicht festgestellt.

Die 2013 im Thunersee gefangene Artenvielfalt ist somit der ursprünglichen sehr ähnlich und dürfte einem möglichen Referenzzustand für einen in den Voralpen gelegenen Felchensee nahe kommen.

**Tabelle 4-3.** Artenfundliste im Thunersee. Die Fänge des „Projet Lac“ sind rot umrandet. In der Tabelle fehlen allerdings die potentiellen bisher unbekannten Felchen-, Groppen-, und Seesaiblingsarten.

| Familie                   | Code | Art                                 | 1901                     | 1991          | 2003 | 2002-13   | 2012      |
|---------------------------|------|-------------------------------------|--------------------------|---------------|------|-----------|-----------|
|                           |      |                                     | Heuscher                 | Pedroli et al | BAFU | Fischerei | ProjetLac |
| Percidae                  | PER  | <i>Perca fluviatilis</i>            | Flussbarsch              | 1             | 1    | 1         | 1         |
| Cyprinidae                | GAR  | <i>Rutilus rutilus</i>              | Rotaugen                 | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | ROT  | <i>Scardinius erythrophthalmus</i>  | Rotfeder                 | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | CCO  | <i>Cyprinus carpio</i>              | Karpfen                  | 1             | 1    | 1         |           |
|                           | CAR  | <i>Carassius carassius</i>          | Karassche                |               | 1    |           |           |
|                           | CAP  | <i>Carassius gibelio</i>            | Silberkarassche          |               | 1    |           |           |
|                           | BRE  | <i>Abramis brama</i>                | Brachse                  | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | BRB  | <i>Blicca bjoerkna</i>              | Blicke                   | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | ABL  | <i>Alburnus alburnus</i>            | Laube                    | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | BOU  | <i>Rhodeus amarus</i>               | Bitterling               |               | 1    |           |           |
|                           | GOU  | <i>Gobio gobio</i>                  | Gründling                | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | BAF  | <i>Barbus barbus</i>                | Barbe                    | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | CHE  | <i>Squalius cephalus</i>            | Alet                     | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | VAN  | <i>Leuciscus leuciscus</i>          | Hasel                    | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | BLN  | <i>Telestes souffia</i>             | Strömer                  | 1             |      |           |           |
|                           | HOT  | <i>Chondrostoma nasus</i>           | Nase                     | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | TAN  | <i>Tinca tinca</i>                  | Schleie                  | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | VAI  | <i>Phoxinus phoxinus</i>            | Elritze                  | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | ABH  | <i>Leucaspis delineatus</i>         | Moderlieschen            |               | 1    |           |           |
| Salmonidae                | TRL  | <i>Salmo trutta</i>                 | Forelle                  | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | OBL  | <i>Salvelinus spp.</i>              | Seesaibling, Art unbest. | 1             | 1    | 1         | 1         |
|                           | CRI  | <i>Salvelinus namaycush</i>         | Kanadische Seeforelle    |               | 1    |           |           |
|                           | TAC  | <i>Oncorhynchus mykiss</i>          | Regenbogenforelle        | 1             | 1    |           |           |
|                           | COR  | <i>Coregonus sp.</i>                | Felchen, Art unbest.     |               |      | 1         |           |
|                           | COR  | <i>Coregonus albellus</i>           | Brienzzig                | 1             | 1    |           | 1         |
|                           | COR  | <i>Coregonus fatioi</i>             | Albock                   | 1             |      |           | 1         |
|                           | COR  | <i>Coregonus alpinus</i>            | Kropfer                  | 1             |      |           | 1         |
|                           | COR  | <i>Coregonus sp. "Balchen"</i>      | Balchen                  | 1             |      |           | 1         |
|                           | COR  | <i>Coregonus sp. "Tiefenalbock"</i> | Tiefenalbock             |               |      |           | 1         |
| Siluridae                 | SIL  | <i>Silurus glanis</i>               | Wels                     | 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    |           |           |
| Cottidae                  | CHA  | <i>Cottus gobio</i>                 | Groppe                   | 1             | 1    | 1         | 1         |
| Thymallidae               | OBR  | <i>Thymallus thymallus</i>          | Äsche                    | 1             | 1    | 1         | 1         |
| Petromyzontidae           | LAM  | <i>Lampetra planeri</i>             | Bachneunaugen            | 1             | 1    | 1         |           |
| Anguillidae               | ANG  | <i>Anguilla anguilla</i>            | Aal                      | 1             |      |           |           |
| Anzahl einheimische Arten |      |                                     | 32                       | 23            | 24   | 26        | 12        |
| Anzahl eingeführte Arten  |      |                                     | 4                        | 0             | 1    | 4         | 0         |
| Total Anzahl Arten        |      |                                     | 36                       | 23            | 25   | 30        | 12        |

#### 4.3.5 Artenvielfalt der Felchen

Möglicherweise  
sechs Felchenarten  
im Thunersee

Bisher sind nur drei der Felchenarten des Thunersee taxonomisch beschrieben (Tabelle 4-3): Der Brienzzig (*Coregonus albellus*), der Kropfer (*Coregonus alpinus*), und der Albock (*Coregonus fatioi*). Der Albock wurde allerdings zum Teil mit unbeschriebenen Arten verwechselt. Der Balchen ist zwar seit längerem bekannt, wurde taxonomisch bisher aber noch nicht beschrieben, weshalb er in der letzten taxonomischen Aufarbeitung nicht berücksichtigt wurde. Weiterhin zeigen neueste genetischen Untersuchungen, dass möglicherweise zwei weitere Felchenarten im Thunersee leben könnten. Die eine, von den Fischern „Tiefenalbock“ genannt, laicht im Winter in grosser Wassertiefe und steht genetisch dem Felchen aus dem Brienzersee sehr nahe. Die zweite zeigt genetische Verwandtschaft mit dem Gangfisch (*Coregonus macrophthalmus*) aus dem Bodensee, ist mit ihm aber nicht

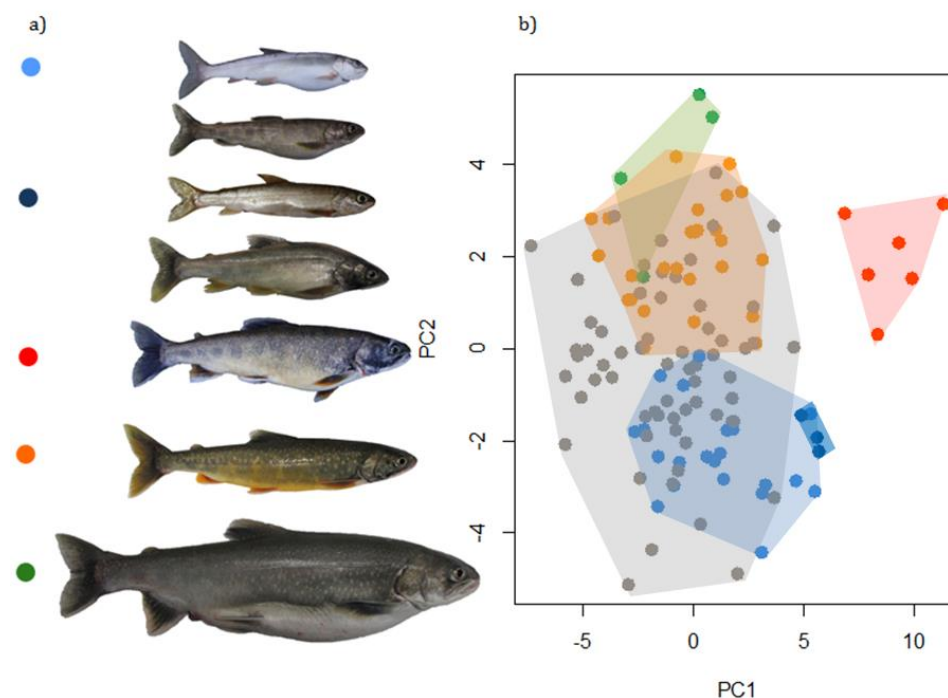
identisch (1702). Wir gehen also derzeit davon aus, dass im Thunersee sechs Felchenarten leben könnten.

Eine taxonomische Revision der Thunerseefelchen soll im Rahmen eines Projektes der Eawag und des BAFU in den nächsten Jahren durchgeführt werden.

#### 4.3.6 Artenvielfalt der Seesaiblinge

Gleich wie Felchen, sind Seesaiblinge dafür bekannt, mehrere Arten innerhalb eines Sees bilden zu können. Auch in Schweizer Seen wurde die Saiblingsvielfalt schon früh erkannt: bereits im 16. Jahrhundert beschrieb Konrad Gessner drei, z.T. gemeinsam vorkommende Saiblingsarten unterschiedlicher Grösse. Heute sind drei natürlich vorkommende Saiblingsarten in der Schweiz taxonomisch beschrieben: *S. umbla*, der „normale“, weit verbreitete Seesaibling, sowie jeweils eine Tiefwasserart im Boden- und Neuenburgersee, *S. profundus* und *S. neocomensis*, die in den angesprochenen Seen jeweils gemeinsam mit *S. umbla* vorkamen und spezielle Anpassungen an das Leben in der Tiefe aufwiesen. Beide Arten gelten derzeit als ausgestorben.

Im Gegensatz zu den Felchen weiss man über die Saiblinge in den Schweizer Seen jedoch sehr wenig. Phänotypische Untersuchungen, die in den letzten zwei Jahren an Seesaiblingen von den Fängen der Berufsfischer im Thunersee durchgeführt wurden, zeigten, dass es im Thunersee mehrere Saiblingsformen gibt, die sich sowohl in Grösse, Körperform und Färbung als auch z.T. in ihrer Nahrung voneinander unterscheiden (Abbildung 4-11). Sie unterscheiden sich auch in ihrer Lebensraumtiefe. Viele dieser Formen zeigen Ähnlichkeiten mit bekannten Saiblingsarten anderer Seen: z.B. gibt es im Thunersee eine Saiblingsform, die auf die Beschreibung des *S. profundus* des Bodensees passt („grossköpfiger Tiefwasserzergsaibling“; Abbildung 4-11). Diese Tiefwasserform war in den untersuchten Fängen der Berufsfischer eher selten, während sie in den "Projet Lac"-Fängen die häufigste Form war (Tabelle 4-4). Erste genomische Untersuchungen von drei Seesaiblingsformen des Thunersees (kleinköpfiger Tiefwasserzergsaibling, benthischer Saibling, oranger Saibling; Abbildung 4-11), fanden kleine, aber signifikante genetische Unterschiede. Dies deutet auf reproduktive Isolation zwischen diesen Formen hin. Es ist deshalb davon auszugehen, dass im Thunersee mehrere Seesaiblingsarten vorkommen. Wie gross diese Artenvielfalt ist, ob die Arten im Thunersee entstanden sind oder von andern Seen einwanderten oder eingesetzt wurden, und wie die verschiedenen Arten voneinander unterschieden werden können, wird im Rahmen einer Dissertation an der Eawag derzeit geprüft (C. Doenz). Für die selteneren Saiblingstypen werden dafür allerdings noch mehr Individuen benötigt als derzeit vorliegen.



**Abbildung 4-11.** Saiblingsvielfalt des Thunersees. a) Von oben nach unten: kleinköpfiger Tiefwasserzergsaibling, dunkler Zwerg, grossköpfiger Tiefwasserzergsaibling, langflossiger Saibling, benthischer (Boden lebender) Saibling, oranger Saibling, grosser Saibling. Die verschiedenen Formen sind im richtigen Grössenverhältnis zu einander dargestellt. b) Resultate der Hauptkomponentenanalyse der Morphologiedaten von 5 Saiblingsformen des Thunersees. Individuen, die a priori keiner Gruppe zugeordnet werden konnten (meistens subadulte Fische), sind in grau dargestellt. Signifikante genetische Unterschiede wurden bisher zwischen den drei Formen kleinköpfiger Tiefwasserzergsaibling, benthischer Saibling und oranger Saibling festgestellt. Von den anderen Formen werden mehr Individuen benötigt, um genetische Differenzierung zu messen.

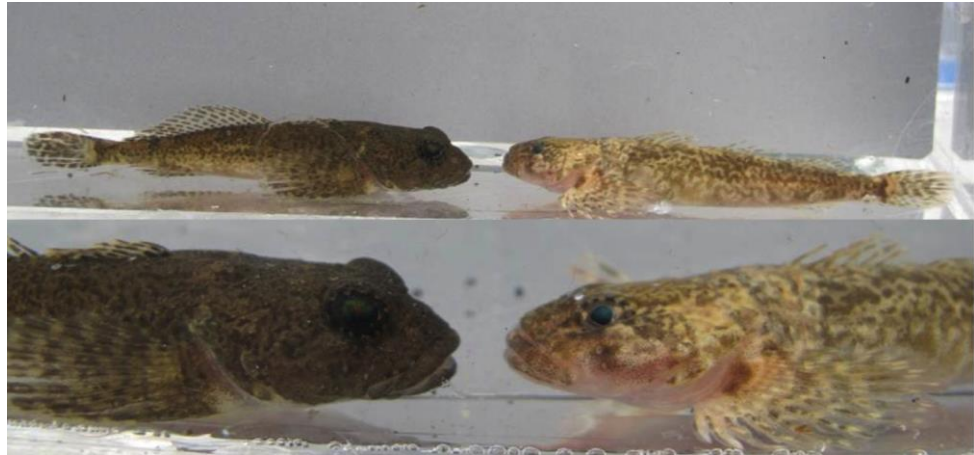
**Tabelle 4-4.** Anzahl und Tiefe der im „Projet Lac“ gefangenen Seesaiblinge.

| Saiblingsform                        | Anzahl | Fangtiefe in m (Mittelwert, min-max) |
|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|
| Grossköpfiger Tiefwasserzergsaibling | 10     | 87 (76-103)                          |
| Orange-ähnlich                       | 4      | 48 (25-76)                           |
| Unklar Piscivor                      | 1      | 76                                   |
| Unklar                               | 14     | 69 (30-103)                          |

#### 4.3.7 Groppen des Thunersees

Im Rahmen der Befischungen des „Projet Lac“ wurden im Thunersee ungewöhnlich verschieden aussehende Groppen gefangen. Darunter waren Groppen mit stark abgeflachtem Kopf und kleinen, tief eingesunkenen Augen, die in grossen Tiefen gefangen wurden, sowie Groppen mit sehr grossen und weit herausstehenden Augen, die ausschliesslich im ganz flachen Kiesellitoral gefangen wurden. Die flachköpfigen Tiefengroppen sind morphologisch der Tiefengruppe aus dem Gardasee sehr ähnlich (*Cottus ferrugineus*). Wir gehen derzeit davon aus, dass es sich um zwei verschiedene Arten handeln könnte, die sich von den Flussgroppen unterscheiden. Erste genetische Untersuchungen mit

Mikrosatelliten-DNA haben gezeigt, dass alle Groppen aus dem Thunersee tatsächlich genetisch stark differenziert sind von den Flussgropen aus der Aare. Die Anzahl der im Rahmen dieses Projektes gefangenen Tiefengropen reicht jedoch nicht aus um klären zu können, ob der Thunersee tatsächlich mehr als eine endemische Groppenart beherbergt. Insbesondere aus der Tiefe des Sees sind weitere Individuen für genetische Untersuchungen notwendig.

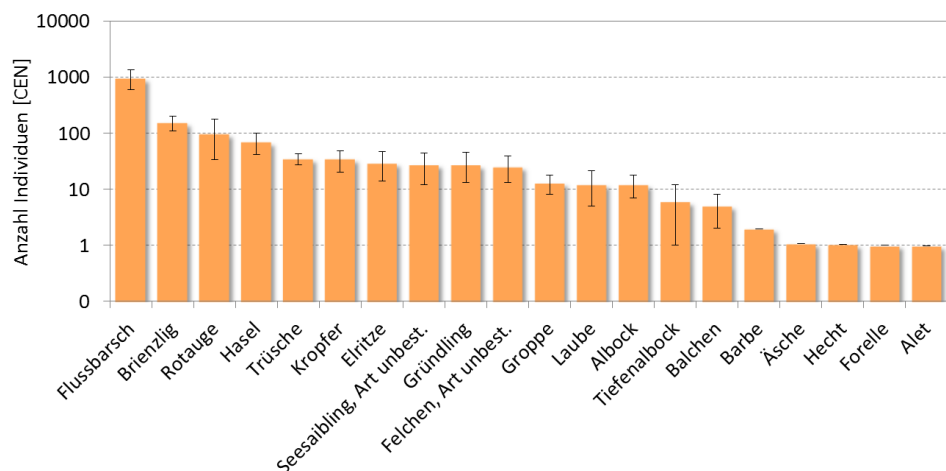


**Abbildung 4-12.** Zwei unterschiedliche Groppenphänotypen, die im Thunersee im Rahmen der „Projet Lac“-Abfischungen gefangen wurden. Links die grossäugige Flachwasserform, rechts die Tiefenform mit stark abgeflachtem Kopf und kleinen, tief eingesenkten Augen.

#### 4.3.8 CEN Netze und Konfidenzintervalle

Schätzung der  
Konfidenz-  
intervalle

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.



**Abbildung 4-13.** 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.

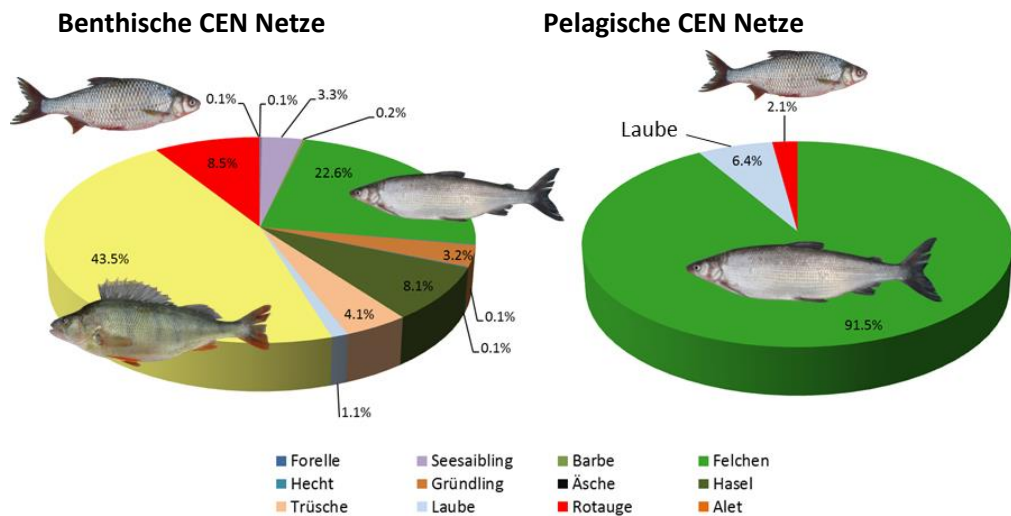
Die Resultate (Abbildung 4-13, Tabelle 8-2) zeigen, dass die Streuung für die meisten Arten im Bereich von ca. 50% liegt. Somit kann eine zukünftige Zunahme oder eine Abnahme der Fänge einer Art um mehr als ca. 50% als signifikant betrachtet werden. Insgesamt entspricht diese Varianz den Erwartungen der CEN prEN 14757 Norm. Zukünftige repräsentative Abfischungen können somit statistisch mit denen von 2013 verglichen werden.

#### 4.3.9 Habitatnutzung

##### 4.3.9.1 Pelagial – Benthisch

*Felchen dominieren das Pelagial*

Gewisse Fischarten bevorzugen die pelagischen, andere eher die benthischen Habitate in einem See. Im Fall des Thunersees war - wie in allen bisher untersuchten Seen - die grösste Artenvielfalt in den benthischen Netzen zu finden. Dominant waren dabei insbesondere die Flussbarsche, Felchen (unter dem Begriff Felchen werden jeweils alle Felchenarten zusammengefasst), Rotaugen und Hasel. Andere für Felchenseen typische Arten wie Trüsche und Seesaibling waren recht häufig in den tief gesetzten benthischen Netzen. Im Pelagial sind die Felchen wie zu erwarten klar die häufigste Artengruppe (Abbildung 4-14). Dies erklärt auch, weshalb die Felchen bei den für die Habitatverfügbarkeit korrigierten Fangdaten im Thunersee die häufigsten Fische im Thunersee sind (Abbildung 4-10).

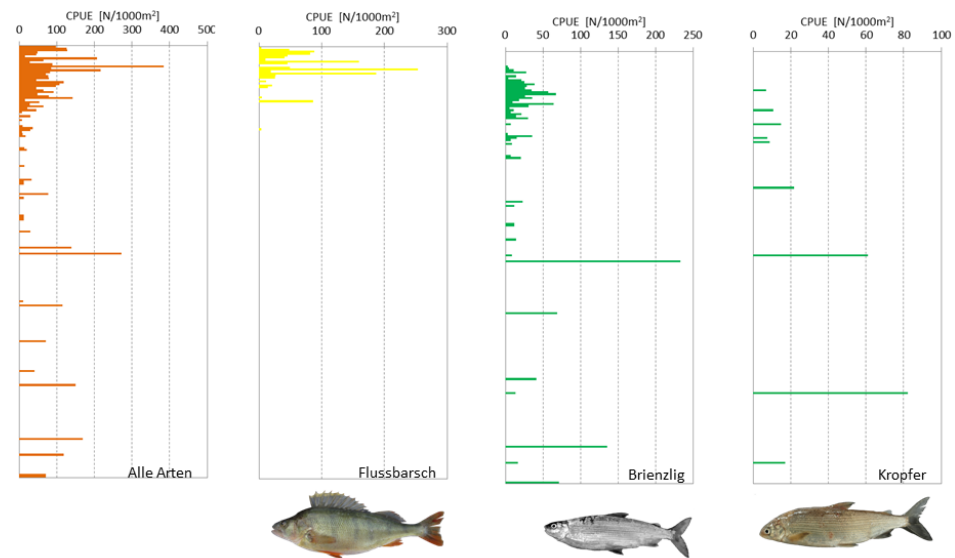


**Abbildung 4-14.** Nutzung der pelagischen und benthischen Habitate durch die verschiedenen Fischgattungen (CEN Netze).



#### 4.3.9.2 Tiefe

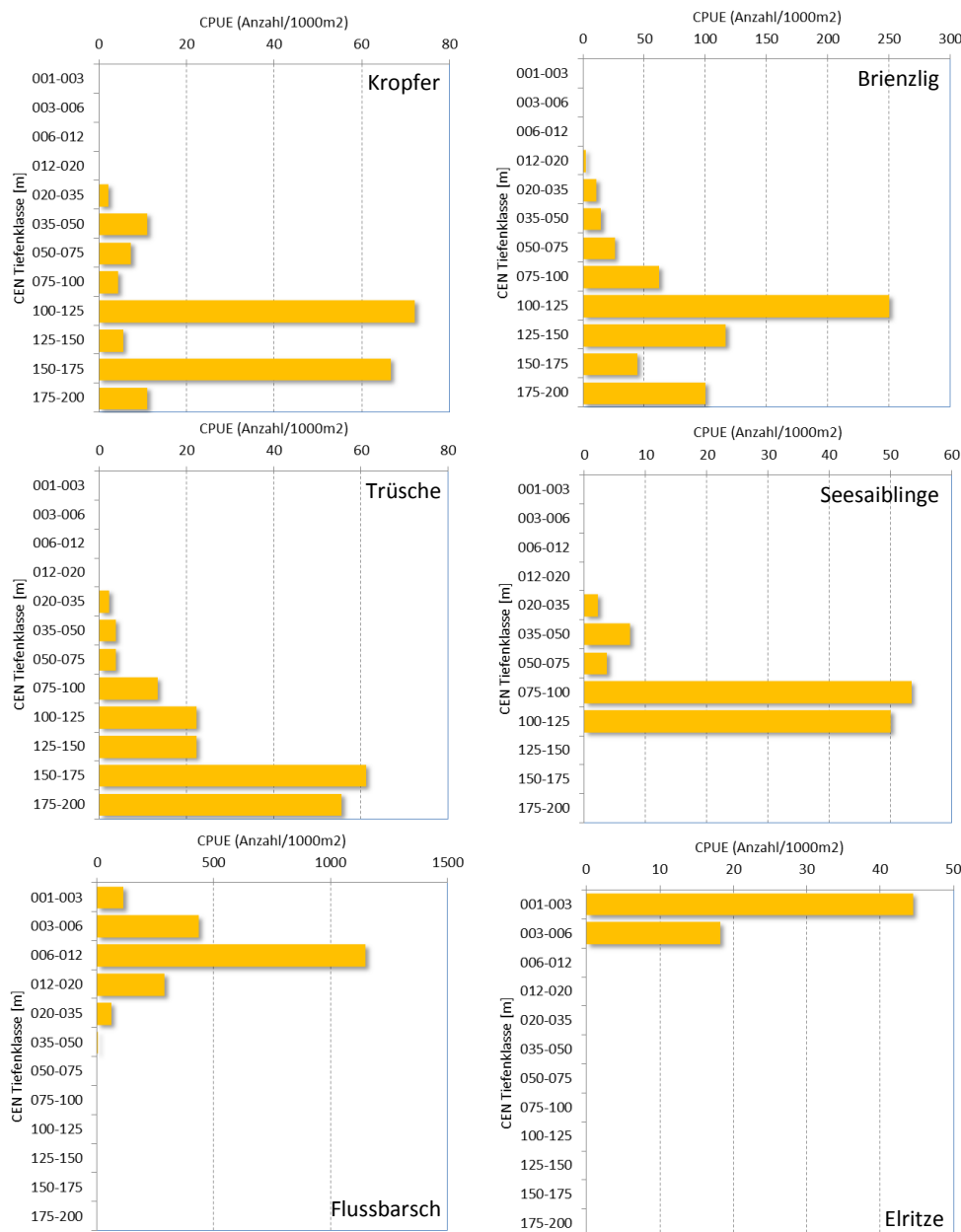
*Felchen in allen  
Tiefen des Sees*



**Abbildung 4-15.** Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für die Tiefe.

Im Thunersee fanden wir die höchste Fischdichte nicht wie üblich in den ersten 10m Tiefe, sondern im Schnitt gegen 10-15m Tiefe (Abbildung 4-15). Diese Verteilung wird massgeblich durch die hohe Felchendichte in der Sprungschicht beeinflusst. Auffällig ist, dass die Felchenarten die gesamte Seetiefe besiedeln (Abbildung 4-15). Zu bemerken ist dabei, dass die in benthischen Netzen gefangenen Kropfer und Brienzzig oft (aber nicht alle) laichreife Tiere waren (Abbildung 4-16). Laichreife Brienzzige und Kropfer konnten von ca. 20m bis zur maximalen Tiefe des Sees gefangen werden. In grossen Tiefen wurden auch Seesaiblinge, Groppen und Trüsch in hoher Dichte gefangen (Abbildung 4-16).

Vergleichsweise  
hohe Fischdichte  
und Vielfalt in den  
Tiefen des Sees



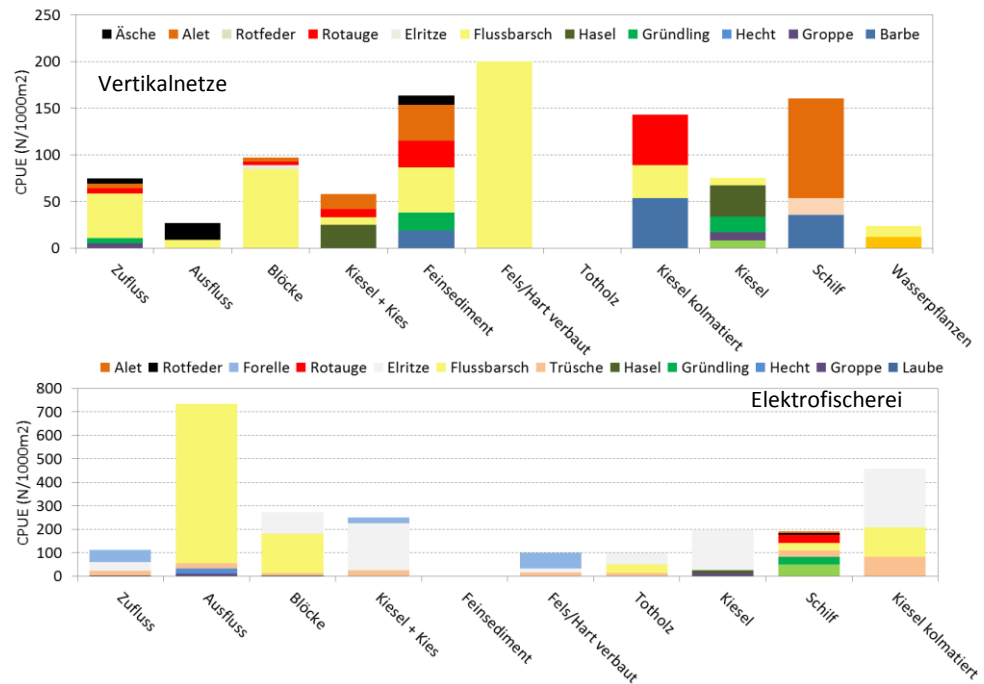
**Abbildung 4-16.** Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für verschiedene Tiefengruppen der CEN Norm für benthische CEN Netze.

#### 4.3.9.3 Uferhabitate

Habitate sind  
nicht alle gleich  
attraktiv

Die Netzbefischung der Uferhabitate zeigt, dass die Anzahl Fische und die verschiedenen Fischarten nicht zufällig in den Habitaten verteilt sind. Im Vergleich mit anderen Seen unüblich ist, dass viele Fische in den Habitaten Feinsediment, Fels und Schilf gefangen wurden (Abbildung 4-17). In den meisten anderen Schweizer Seen wurden die höchsten Fischdichten entweder bei Blöcken, Kiesel oder bei Zuflüssen beobachtet. Die Gründe dieser Besonderheit im Thunersee sind unklar.

Die Elektrofischereifänge und die Netzfänge komplementieren sich gut, da mit den Netzen Arten gefangen werden, die sich aktiv bewegen. Bei der Elektrofischerei hingegen fliehen die im offenen Wasser stehenden Fische und somit werden insbesondere Arten gefangen, die in strukturierten Uferbereichen Schutz suchen. Ausserdem sind einige der kleineren Arten zu klein, um effizient in den Netzen gefangen zu werden (z.B. Elritze). Im Thunersee waren kleine Uferfischarten, die üblicherweise in Seen vorkommen wie z.B. Groppe, Elritze, und Gründling, vertreten und konnten bei den Elektrofischungen gefangen werden. Insbesondere Elritzen waren am Ufer häufig.



**Abbildung 4-17.** Anzahl für den Aufwand korrigierte Fische, die bei den verschiedenen Habitaten gefangen wurden.

#### 4.3.10 Geografische Verteilung der Fänge

Eher homogene  
Verteilung

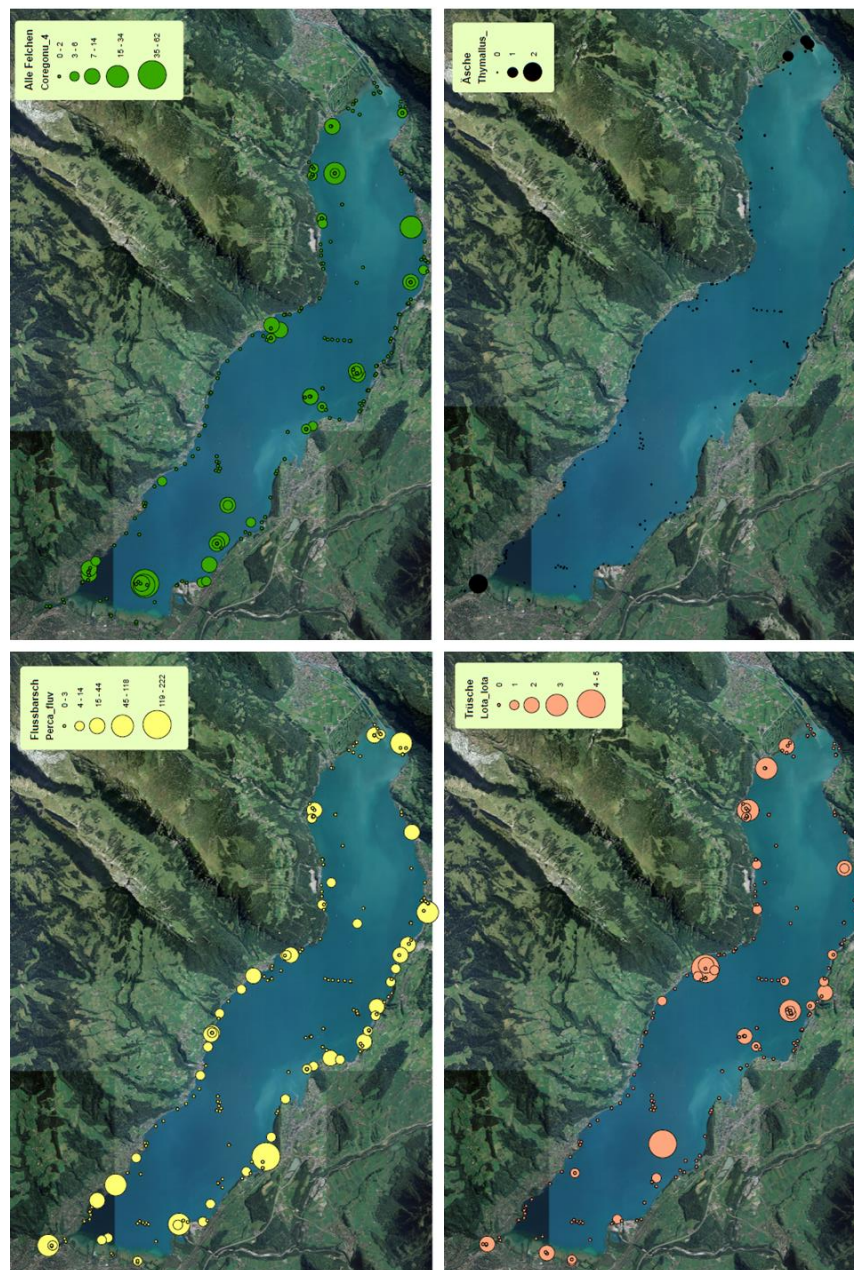
Bei der geografischen Verteilung konnten keine speziellen Muster festgestellt werden, wie dies beispielsweise in gewissen grossen Seen der Fall ist (Genfersee, Lago Maggiore, Neuenburgersee, Lago di Garda). Erwähnenswert ist die Beobachtung der Äsche im Bereich des Aarezuflusses in Unterseen und des Aareausflusses in Thun (Abbildung 4-18).

#### 4.3.11 Echolotaufnahmen

Die Echolotaufnahmen zeigen am südwestlichen Ufer des Thunersees eine erhöhte Fischdichte und dies in einer Tiefe von über 18m (Abbildung 4-19). Interessant ist die Beobachtung, dass zwischen 0 und 18m nur 878 Fische erfasst wurden, während in den tieferen Schichten 4724 Fische erfasst wurden. Die

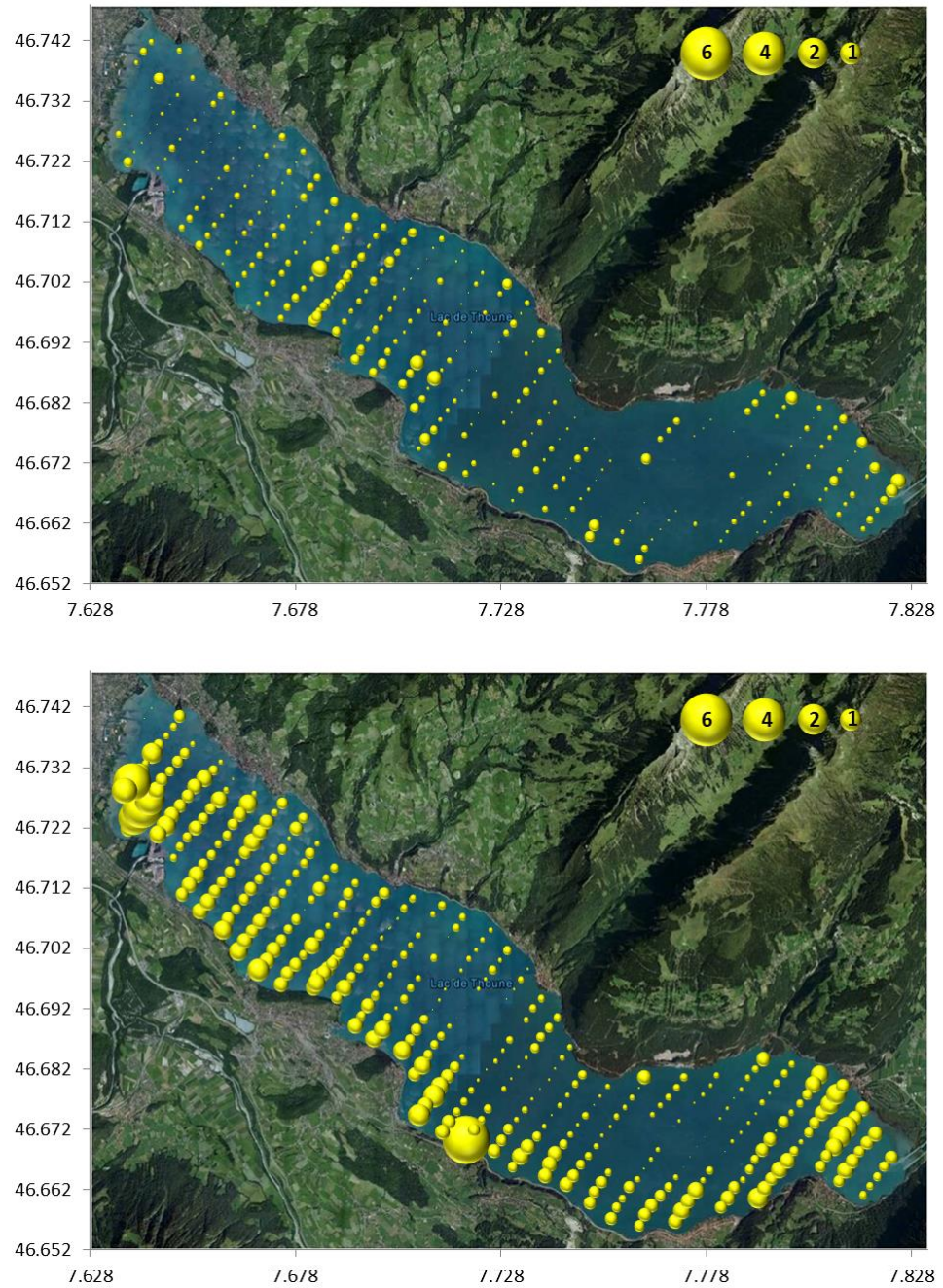
Fischdichte der Echolotaufnahmen suggeriert im Vergleich mit anderen Seen eine geringe Fischdichte.

Somit wird die Tiefenverteilung der Netzfänge bestätigt. Die geografische Verteilung der Echolotsignale steht jedoch in einem gewissen Widerspruch zu den Netzfängen. Vermutlich ist dies auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Echolotaufnahmen hauptsächlich Fische im Pelagial erfassen, während die Netzfänge durch die hohe Anzahl Bodennetze beeinflusst wird. Die Verteilung der Fische in den beiden Habitatkompartimenten kann sich jedoch stark unterscheiden.



**Abbildung 4-18.** Geografische Verteilung der Flussbarsch, Felchen-, Trüschen- und Äschenfänge im Thunersee (alle Protokolle).





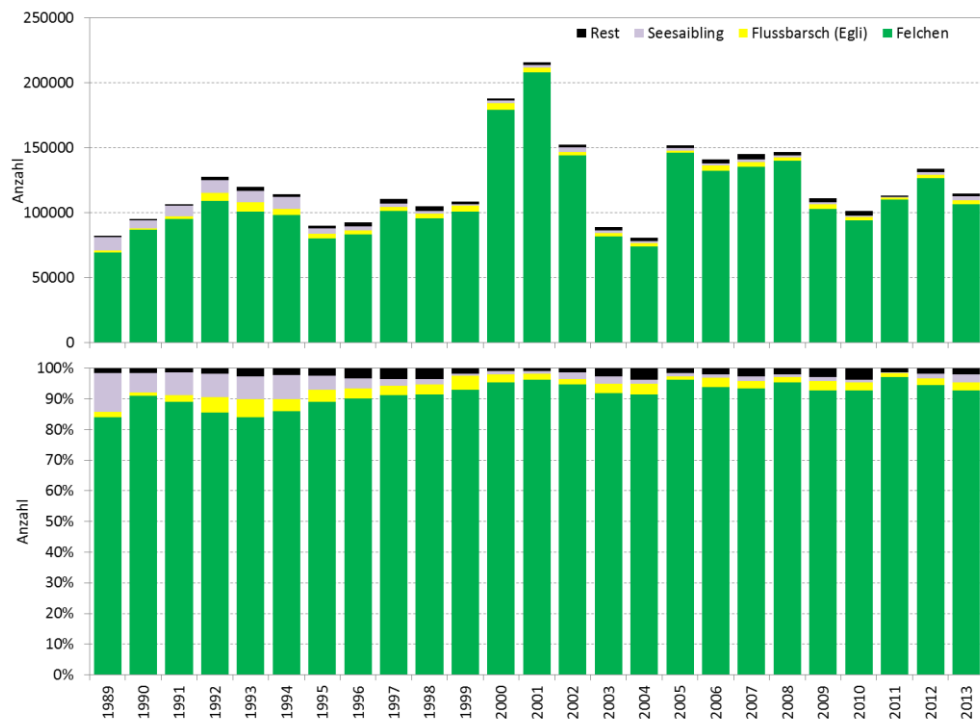
**Abbildung 4-19.** Echolotsequenzen der oberen (oben: 3-18m) und der unteren Seeschicht (unten: 18m-Seegrund) des Thunersees durchgeführt bei Nacht.

## 4.4 Fischereiliche Aspekte

### 4.4.1 Fischfangstatistik

Stabile  
Berufsfischerfänge

Die Entwicklung der Berufsfischerfänge zeigt mit der Ausnahme der Jahre 2000-2004 nur geringe Schwankungen (Abbildung 4-20). Artspezifische Schwankungen sind jedoch erkennbar. So haben die Felchen- und Rotaugenfänge zugenommen. Stark abgenommen haben die Äschen- (aufgrund der Schonbestimmungen) und die Seesaiblingsfänge. Ebenfalls abgenommen, auch wenn weniger stark, haben die Seeforellen-, Hecht- und Trüschenfänge. Inwiefern diese Abnahmen durch Bestandsrückgänge oder durch eine Veränderung des Befischungsdruckes verursacht wurden, kann anhand der vorliegenden Fischfangstatistiken nicht geklärt werden, da keine Daten über den getätigten Aufwand vorliegen. Der Anteil der Felchen am Gesamtfang der Berufsfischer hat leicht zugenommen, war aber immer bei über 80%.

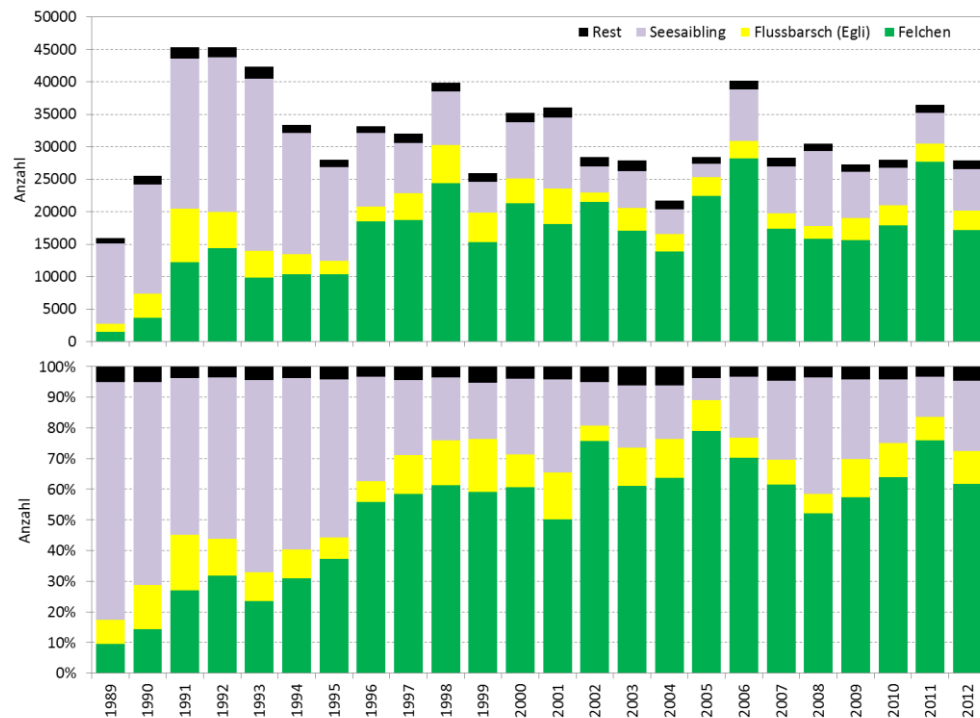


**Abbildung 4-20.** Entwicklung der Berufsfischerfänge im Thunersee von 1989-2013 (Daten: Fischereiinspektorat Kanton Bern).

Stabile  
Angelfischerfänge

Auch die Gesamtfänge der Angelfischer lassen in den letzten Jahren keine grossen Schwankungen erkennen (Abbildung 4-21). Artbezogen haben sich die Fänge der Angelfischer zum Teil erheblich verschoben. So haben die Felchenfänge deutlich zugenommen. Ebenfalls zugenommen haben die Alet- und - im Gegensatz zu denjenigen der Berufsfischer - auch die Seeforellenfänge. Eine starke Abnahme der Fänge konnte bei den Seesaiblings und bei den Äschen festgestellt werden. Bei den Äschen kann diese Abnahme zumindest teilweise durch erhöhte Schutzmassnahmen erklärt werden (Fangverbot im See seit 2011). Der Anteil der

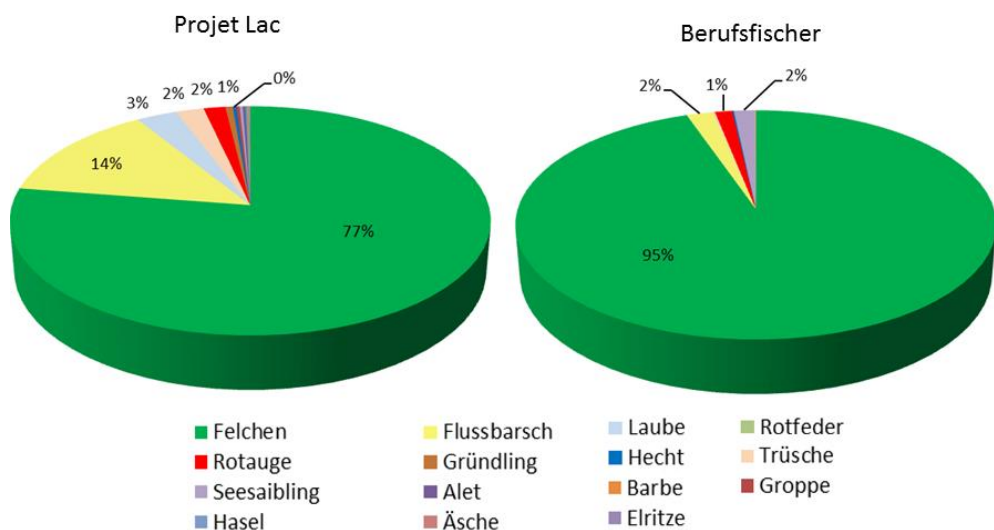
Felchen am Gesamtfang der Angelfischer hat somit von 10-30% zwischen 1989-1994 auf 50-70% in den Jahren 1996-2012 zugenommen.



**Abbildung 4-21.** Entwicklung der Angelfischerfänge im Thunersee von 1989-2012 (Daten: Fischereiinspektorat Bern).

*Standardisierte  
Fänge sind nützlich*

Beim Vergleich der relativen Häufigkeiten der Fischarten in den Berufsfischerfängen und den „Projet Lac“ Daten zeigt sich, dass die Abundanz der Felchen in den Fischereistatistiken insgesamt überschätzt und die der anderen Fischarten im See unterschätzt wird. Diese Resultate zeigen somit, dass standardisierte und nicht gezielte Abfischungen erforderlich sind, um eine objektive Einschätzung der Fischartenzusammensetzung zu erhalten.



**Abbildung 4-22.** Verteilung der Berufsfischerfänge von 2013 und der standardisierten „Projet Lac“-Fänge (Biomasse) auf die verschiedenen Fischartungen.



#### 4.4.2 Längenselektivität der Maschenweiten

*Berufsfischerei zielt auf grosse Fische*

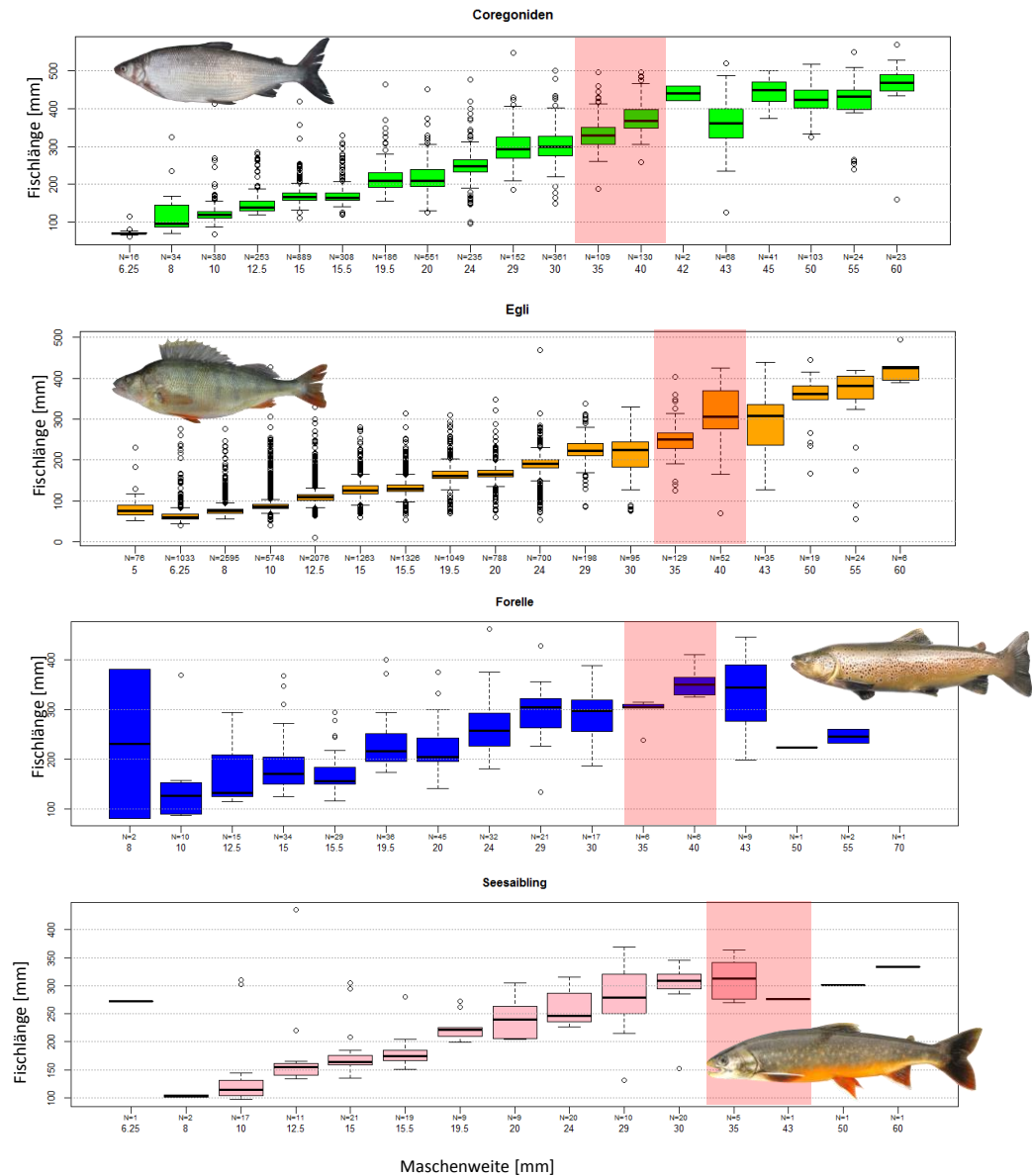
Die Längenselektivität der Netze ist abhängig von der Fischart (4, 3). Bei den Felchen und den Eglis sind die Maschenweiten eher grössenselektiv als beispielsweise für Seeforellen und Seesaiblinge. Anhand der standardisierten Fänge kann für jede Fischart und für jede Maschenweite die Verteilung und somit die Selektivität bestimmt werden (Abbildung 4-23). Welche Fischlängen durch die im Thunersee erlaubte Maschenweiten von 35-40mm gefangen werden, ist in Abbildung 4-24 dargestellt.

#### 4.4.3 Längenverteilung

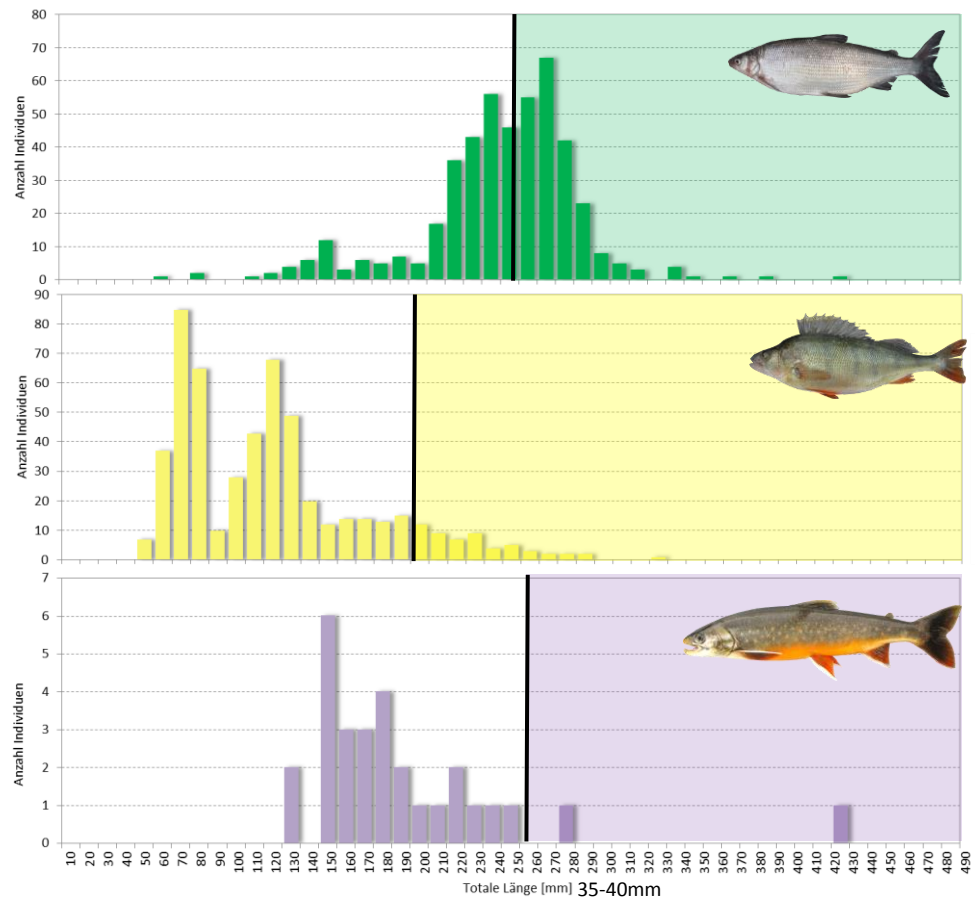
*Wenig Jungfelchen*

Die Längenverteilungen (Abbildung 4-24) zeigt, dass bei den Felchen kleine Fische eher selten zu sein scheinen. Dies ist überraschend, da Felchen zwischen 100 und 200mm normalerweise mit Kiemennetzen gut gefangen werden. Dieses Resultat suggeriert demzufolge, dass entweder die 17 benutzten Vertikalnetzsätze nicht ausreichend waren, um die Habitate der Jungfelchen abzudecken, oder dass der Jungfischbestand bei den Felchen im Thunersee 2012 sehr niedrig war. Die Flussbarsche zeigen eine normale Struktur der Längenzusammensetzung. Bei den Seesaiblingen ist die Anzahl Fische zu gering, um eine aussagekräftige Schlussfolgerung ziehen zu können. Bei den Trübschen fehlen ebenfalls Jungfische, dies dürfte aber zu einem grossen Teil auf die geringe Fangwahrscheinlichkeit der kleinen Trübschen zurückzuführen sein.

Bei den Felchen und Flussbarschen sind somit keine Anzeichen von starker Überfischung erkennbar (Wie z.B. ein Zusammenbruch der Häufigkeiten sobald mit Netzen gefischt wird).



**Abbildung 4-23.** Längenselektivität der Netzmaschen (alle Fänge „Projet Lac“ 2010-2013). Rosa markiert sind die durch die Fischerei benutzten Maschenweiten. Für diese Graphik wurden alle Felchenarten gemeinsam als „Felchen“ dargestellt, und alle Saiblingstypen gemeinsam als „Seesaibling“. Es ist aber wichtig, darauf hinzuweisen, dass Längenselektivität zwischen den Typen durchaus variieren kann, da sie sehr unterschiedliche relative Körperhöhen aufweisen (siehe Abbildung 4-11)

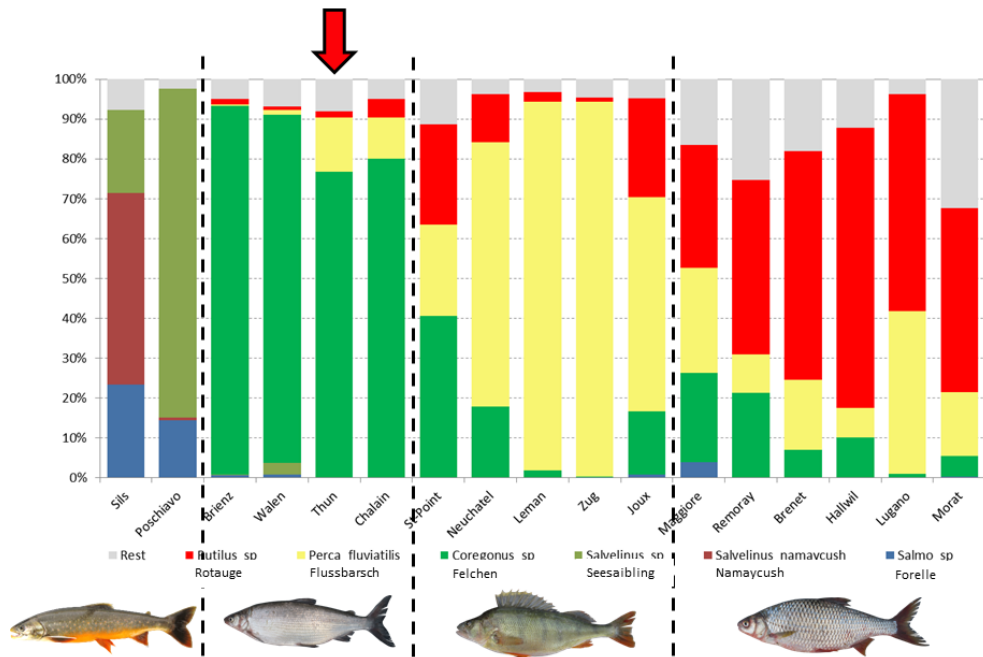


**Abbildung 4-24.** Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche und der Seesaiblinge der „Projet Lac“-Fänge. Der farbige Hintergrund entspricht den Fischlängen, die mit den erlaubten Maschenweiten (ab Netzen mit 35mm Maschenweite) gefangen werden. Der Bereich wurde anhand der Resultate aus der Abbildung 4-23 bestimmt.

#### 4.4.4 Vergleich der Fänge mit anderen Seen

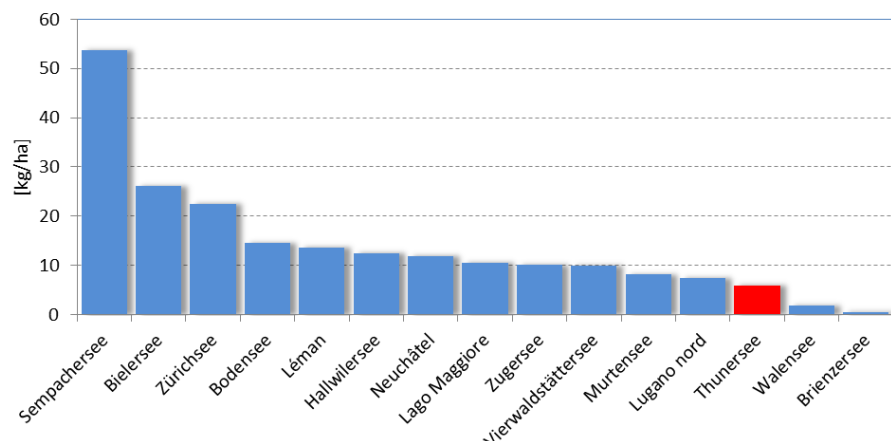
Heute ein  
Felchensee

Im Vergleich mit anderen Schweizer Seen und aufgrund der für die Netzfläche und die Verfügbarkeit der Habitate korrigierten Fängen entspricht der Thunersee heute einem Felchensee und ähnelt in der Fischartenzusammensetzung anderen eher kühlen und nährstoffarmen Seen wie dem Walensee oder dem Brienersee (Abbildung 4-25).



**Abbildung 4-25.** Vergleich der für den Aufwand und für die Fläche korrigierten Fänge in den verschiedenen Seen. Repräsentiert sind die Fänge der Vertikalnetze.

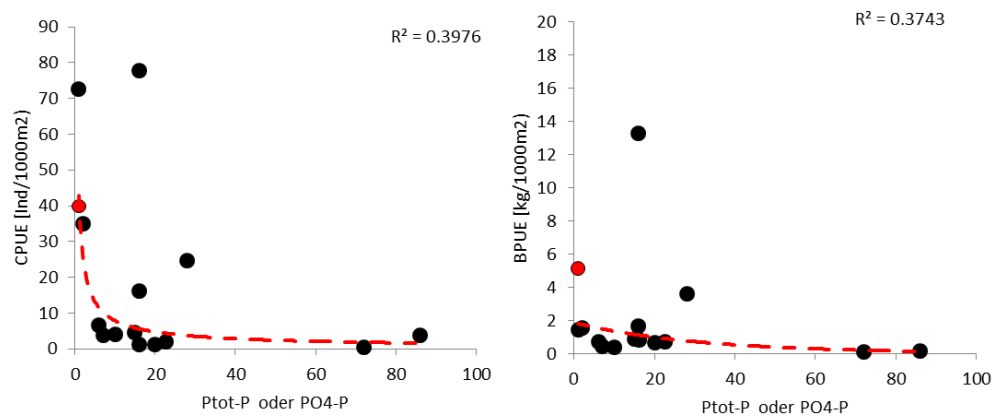
Die Fänge der Berufsfischer fallen im Thunersee, korrigiert für die Seefläche aber nicht für den Fischereiaufwand (also kein CPUE) eher gering aus (Abbildung 4-26). Da die Fischerei hauptsächlich Felchen fangen, ist die Berufsfischerei in Zukunft stark von der Entwicklung der Felchen abhängig.



**Abbildung 4-26.** Fänge der Berufsfischer von 2011 in verschiedenen Schweizer Seen (Daten BAFU) korrigiert für die Seefläche aber nicht für den Fischereiaufwand.

### Zusammenhang Phosphor und Felchenfänge

Der Vergleich der Phosphorkonzentrationen, die im Wasser gemessen wurden, mit den standardisierten Fängen auf 15 Seen 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  $\mu\text{g/l}$  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. Es ist jedoch ersichtlich, dass die meisten dieser Seen eine sehr niedrige Felchendichte aufweisen. Die höchste Felchendichte kann in oligotrophen Seen wie dem Thunersee beobachtet werden. Mesotrophe oder eutrophe Seen stellen somit keine guten Lebensbedingungen für die Felchen. Sie ermöglichen aber unter Umständen, bedingt durch ein rascheres Wachstum der Felchen, eine wirtschaftliche attraktive Berufsfischerei. Im Thunersee ist die Biomasse der Fänge im Vergleich mit der Anzahl gefangener Felchen für einen oligotrophen See hoch.



**Abbildung 4-27.** Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt [ $\mu\text{g/l}$ ] 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 Thunersee.

## 5 Synthese

### 5.1 Ökologische Bewertung des Thunersees

#### 5.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers

*Nährstoffarm und sauerstoffreich*

Der Thunersee ist heute ein natürlicherweise oligotropher und eher kühler Voralpensee. Die gesamte Seetiefe wird ausreichend mit Sauerstoff versorgt und bietet somit auch in den grössten Tiefen des Sees gute Lebensgrundlagen für Fische. So wurden im Rahmen des „Projet Lac“ in den Tiefen des Thunersees im Vergleich mit anderen Seen sehr hohe Fischdichten beobachtet. Es handelt sich dabei insbesondere um Trütschen, Kropfer, Brienzling, verschiedene Seesaiblingsformen und Groppen. Der Vergleich der Oberflächentemperatur von den 1880er Jahre und von heute suggeriert, dass sich die Oberflächentemperatur des Thunersees innerhalb von ca. 100 Jahren etwas erwärmt hat, was sich möglicherweise auf die Artenzusammensetzung der Fische im See ausgewirkt haben könnte.

#### 5.1.2 Uferhabitate

*Attraktives und diverses Litoral*

Die Habitatkartierung des Thunersees zeigt, dass strukturierte litorale Habitate (Zuflüsse, Blöcke und Kiesel), die den Fischen gute Habitate bieten gut vertreten sind. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Thunersee hoch. Auf den ganzen See bezogen ist der Thunersee, mit der Ausnahme des Westufers oberhalb von Thun, welches durch eine sehr grosse Kieselfläche dominiert wird, durch eher steile Ufer und somit flächenmässig eher wenig Litoral charakterisiert. Allerdings ist nur ca. 28% des Seeufers natürlich. 72% des Ufers ist durch Verbauungen wie Hafenanlagen, Stege für Boote, Blockwürfe oder hart verbaute Seeufer beeinflusst. Die Verbauungen stehen dabei grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Das Ufer des Thunersees ist somit stark verbaut und dem natürlichen Zustand eher fern.

*Geringer Anteil an naturbelassenem Ufer*

#### 5.1.3 Artenvielfalt

*Der Thunersee ist ein Felchensee*

Mindestens 21 Fischarten (Es konnten mehrere bisher unbekannte Saibling- und Groppenformen im Thunersee gefangen werden, deren Artstatus derzeit untersucht wird) wurden im Rahmen dieses Projektes im Thunersee gefangen, wobei keine standortfremden Arten gefangen wurden. 15 weitere zuvor im See nachgewiesene Arten konnten nicht gefangen werden. Die Fänge werden im Pelagial durch mehrere Felchenarten dominiert. Im Litoral waren insbesondere Egli, „Felchen“, Rotaugen, Hasel, Elritze und Groppen häufig. Die Fischartenzusammensetzung im Thunersee entspricht heute der eines natürlichen Felchensees. Erwähnenswert ist, dass die derzeitige Fischartenzusammensetzung der, welche im 19. Jahrhundert beschrieben wurde, stark ähnelt.



*Eine einzigartige Vielfalt*

Einzigartig am Thunersee ist die hohe Anzahl an endemischen Fischarten. Der Thunersee ist beispielsweise der einzige See, in welchem ein morphologisch spezialisierter Tiefenfelchen (der Kropfer, *Coregonus alpinus*) noch in hoher Dichte existiert. Im Bodensee hat der ökologisch und morphologisch ähnliche Kilch (*Coregonus gutturosus*) nicht überlebt. Insgesamt leben möglicherweise 6 Felchenarten sympatrisch im Thunersee, was in Europa einzigartig wäre. Ein grosser Teil dieser Artenvielfalt (Balchen, Tiefenalbock und die Felchen die dem Gangfisch ähnelt) muss jedoch noch taxonomisch beschrieben werden.

Ähnlich wie Felchen sind auch Seesaiblinge dafür bekannt, mehrere Arten innerhalb eines Sees bilden zu können. Bisher war nicht bekannt, ob auch im Thunersee mehrere Seesaiblingsarten vorkommen. Eine erste Untersuchung hat nun gezeigt, dass die Seesaiblinge im Thunersee in verschiedene Formen eingeteilt werden können, die sich in Grösse, Körperform, Färbung und Lebensweise voneinander unterscheiden. Diese Formen scheinen sich auch genetisch zu unterscheiden, was ein Status als eigenständige Arten rechtfertigen würde.

*Artstatus der Groppe muss noch bestätigt werden*

Schliesslich wurden im Rahmen der Befischungen des „Projet Lac“ im Thunersee zwei Groppenformen gefangen, die sich von den Groppen aus den Schweizer Fliessgewässern einschliesslich der Aare bei Thun genetisch unterscheiden. Inwiefern es sich dabei um eine oder sogar um mehrere bisher unbekannte Arten handelt, kann noch nicht abschliessend festgestellt werden. Entsprechende genetische, ökologische und morphologische Untersuchungen finden derzeit statt.

## 5.2 Fischereiliche Nutzung

*Fischerei beruht auf Felchenfang*

Die Berufsfischerei im Thunersee basiert hauptsächlich auf dem Fang der „Felchen“. Die Fischerei des Thunersees ist somit stark abhängig von der Entwicklung der einzelnen Felchenarten. Der schweizweite Vergleich der Felchenvorkommen zeigt, dass Felchen oligotrophe und saubere Seen bevorzugen und in diesen Seen in hohen Dichten und hoher Artenvielfalt vorkommen. Diese Tendenz zeigt auch der Thunersee, der eine hohe Dichte aber auch eine hohe Felchenbiomasse aufweist. Für einen oligotrophen See ist das Wachstum der Kleinfelchen im Thunersee überdurchschnittlich gut, weshalb auch im oligotrophen Zustand eine wirtschaftlich attraktive und ökologisch nachhaltige Fischerei möglich ist.

*Endemische Artenvielfalt erschwert die Bewirtschaftung*

Die hohe endemische Artenvielfalt, mit mehreren Arten, die aufgrund von morphologischen Merkmalen alleine nur schwer differenzierbar sind, führt bei der Bewirtschaftung jedoch zu Schwierigkeiten. Für die „Felchen“ und insbesondere für die bisher nicht bekannte Vielfalt bei den Seesaiblingen empfiehlt es sich deshalb eine Bewirtschaftungsstrategie zu entwickeln, die diese Artenvielfalt berücksichtigt. Dazu müssen allerdings die taxonomischen und ökologischen Grundlagen noch abschliessend erforscht werden, um den Bewirtschaftern die

notwendigen und in der Praxis anwendbaren Werkzeuge zur Verfügung zu stellen. Positiv anzumerken ist, dass die hohe Artenvielfalt im See auch nach ca. 100 Jahren fischereiliche Bewirtschaftung noch vorhanden ist.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### *Ein einzigartiges Ökosystem*

Oligotrophe Seen wie dies der Thunersee ist, die durch die Verschmutzungen des letzten Jahrhunderts nicht grundlegend verändert wurden, sind seltene Ökosysteme im Alpenraum. Der Thunersee beherbergt heute die grösste endemische Artenvielfalt bei Fischen aller Voralpenseen nördlich der Alpen. Dabei ist vermutlich nicht nur die Felchenvielfalt im Thunersee einzigartig, sondern auch bei den Seesaiblingen und den Groppen werden mehrere endemischen Arten im Thunersee vermutet.

Die Umweltbelastungen des letzten Jahrhunderts haben dieses Ökosystem ins Wanken gebracht, doch anders als in anderen Seen waren die Veränderungen weniger umfangreich, sodass der Thunersee heute limnologisch einer der am wenigsten beeinträchtigten grossen Alpenrandseen ist. Dies zeigt sich auch in der Fischartenzusammensetzung, die der des Ursprungszustandes vom 19. Jahrhundert sehr ähnlich ist. Der See ist deshalb für die Fischartenvielfalt mit einer für Voralpenseen typischen Artenzusammensetzung und mit mehreren einzigartigen endemischen Arten von grösstem Wert und muss unbedingt erhalten bleiben.

### *Abweichungen vom Referenzzustand*

Trotzdem treten gewisse Abweichungen von einem Referenzzustand auf. Insbesondere die Ufer des Sees sind stark anthropogen beeinflusst. Mehr als 70% der Ufer sind entweder durch Blockwürfe gesichert oder hart verbaut. Die Renaturierung solcher Habitats sollte demzufolge thematisiert werden. Erfreulich ist, dass die litoralen Habitats im See sehr diversifiziert sind und dass für Fische attraktive Habitats weit verbreitet sind, wie zum Beispiel Kieselflächen.

### *Fischereiliche Nutzung*

Schliesslich zeigen die Resultate des „Projet Lac“, dass der Thunersee im Vergleich mit anderen subalpinen Seen ein wenig produktiver See ist. Die Attraktivität für die Fischerei ist aber für einen oligotrophen See eher hoch, da die Felchen, dabei auch die Kleinfelchen wie der Kropfer und der Brienzlig ein vergleichsweise gutes Wachstum aufweisen. Eine nachhaltige Fischerei ist demzufolge heute im Thunersee auch im oligotrophen Zustand möglich. Weiterhin Sorge getragen werden sollte im Rahmen der Bewirtschaftung den verschiedenen endemischen Fischarten. So sollte in Zuchten ein Kreuzen der verschiedenen Felchen- und Saiblingarten wann immer möglich vermieden werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- Doenz, C., *Diversity and diversification in two fish radiations in the same pre-alpine lake, Lake Thun*, in *Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät* 2014, Universität Bern: Bern.
- Hudson, A.G., P. Vonlanthen, and O. Seehausen, *Rapid parallel adaptive radiations from a single hybridogenic ancestral population*. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2010. **278**(1702): p. 58-66.
- Kottelat, M. and J. Freyhof, *Handbook of European freshwater fishes*. 2007: Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.
- Balk, H. and T. Lindem, *Sonar 4, Sonar 5, Sonar 6 – Post-processing Systems. Operator Manual*, 2006, Lindem Data Acquisition: Oslo.
- MacIennan, D., P.G. Fernandes, and J. Dalen, *A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics*. *ICES J. Marine Scien.*, 2002(59): p. 365-369.
- Fujimori, Y. and T. Tokai, *Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method*. *Fisheries Science*, 2001. **67**(4): p. 644-654.
- Appelberg, M., *Using fish to assess environmental disturbance of Swedish lakes and streams - a preliminary approach*. *Fiskeriverket information*, 2000. **1**: p. 1-28.
- Degiori, F. and J.-C. Raymond, *Guide technique. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante.*, C.s.d.l.p. Agence de l'eau, Editor 2000: Lyon.
- Kottelat, M., *European freshwater fishes*. *Biologia*, 1997. **52**: p. 1-271.
- Degiori, F., et al., *Deux techniques d'échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre utilisées en France, bilan et perspectives*. *Hydroécol. appl.*, 1994. **5**: p. 27-42.
- Degiori, F. and J.-P. Grandmottet, *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.*, 1993. **329**: p. 199-220.
- Karr, J.R., *Assessment of biotic integrity using fish communities*. *Fisheries*, 1981. **6**(6): p. 21-27.
- Rufli, H., *Die heutigen sympatrischen Felchenpopulationen (Coregonus spp.) des Thuner- und Bielersee und Ihre Morphologie*. *Schweizer Zeitschrift für Hydrobiologie*, 1978. **40**: p. 7-31.
- Regier, H.A. and D.S. Robson, *Selectivity of Gill Nets Especially to Lake Whitefish*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1966. **23**(3): p. 423-&.
- Steinmann, P., *Monographie der schweizerischen Koregonen. Beitrag zum Problem der Entstehung neuer Arten. Spezieller Teil*. *Schweizer Zeitschrift für Hydrobiologie*, 1950. **12**: p. 340-491.
- Wagler, E., *Die Coregonen in den Seen des Voralpengebietes. IX. Die Systematik der Voralpencoregonen*. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr.*, 1937. **35**: p. 345-446.
- Fuhrmann, O., *Archives des sciences physiques et naturelles*, 1903: p. Page 331, Page 332, Page 333.
- Heuscher, J., *Thuner- und Brienzersee ihre biologischen und Fischerei-Verhältnisse*. 1901, Pfäffikon: E. Zwingli.
- Schillinger, A., *Der Tiefseesaibling*. *Allgemeine Fischerei-Zeitung*, 1901: p. 149-151.
- Gessner, K., *Fischbuch. Das ist ein kurtze ... Beschreybung aller Fischen*. 1575, Zürich: Froschwer.

## 8 Anhang

### 8.1 Übersicht Fänge: CPUE der gefangenen Fische

**Tabelle 8-1.** Zusammenstellung der Anzahl und der Biomasse der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangarten, korrigiert für den Fangaufwand (Anzahl Individuen pro 1000m<sup>2</sup> Netzfläche oder Elektrofischfangfläche).

| Fischart            |                                     | CPUE (Anzahl Individuen/1000m <sup>2</sup> ) |                  |        |                       |                       | BPUE (kg/1000m <sup>2</sup> ) |                  |       |                       |                       |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|-------|-----------------------|-----------------------|
| Deutsch             | Lateinisch                          | CEN<br>benthisch                             | CEN<br>pelagisch | Elec.  | Vertikal<br>benthisch | Vertikal<br>pelagisch | CEN<br>benthisch              | CEN<br>pelagisch | Elec. | Vertikal<br>benthisch | Vertikal<br>pelagisch |
| Flussbarsch         | <i>Perca fluviatilis</i>            | 240.36                                       | -                | 99.5   | 52                    | 5.05                  | 4.04                          | -                | 0.55  | 1.09                  | 0.14                  |
| Brienzzig           | <i>Coregonus albellus</i>           | 31.67                                        | 14.14            | -      | -                     | 6.81                  | 4.12                          | 1.42             | -     | -                     | 0.92                  |
| Rotauge             | <i>Rutilus rutilus</i>              | 24.27                                        | 0.51             | 3.34   | 6.78                  | 0.3                   | 0.91                          | 0.03             | 0.02  | 0.61                  | 0.04                  |
| Elritze             | <i>Phoxinus phoxinus</i>            | 7.41                                         | -                | 60.2   | 0.75                  | -                     | 0.02                          | -                | 0.13  | 0.00                  | -                     |
| Hasel               | <i>Leuciscus leuciscus</i>          | 17.62                                        | -                | 1.67   | 5.28                  | -                     | 0.81                          | -                | 0.00  | 0.33                  | -                     |
| Unbest. Felchen     | <i>Coregonus sp.</i>                | 4.85                                         | 3.03             | -      | -                     | 2.98                  | 0.35                          | 0.26             | -     | -                     | 0.31                  |
| Albock              | <i>Coregonus fatioi</i>             | 2.04                                         | 2.02             | -      | -                     | 2.98                  | 0.32                          | 0.30             | -     | -                     | 0.46                  |
| Trüsche             | <i>Lota lota</i>                    | 8.94                                         | -                | 16.72  | -                     | 0.12                  | 1.03                          | -                | 0.81  | -                     | 0.02                  |
| Kropfer             | <i>Coregonus alpinus</i>            | 8.94                                         | -                | -      | -                     | 0.43                  | 1.30                          | -                | -     | -                     | 0.05                  |
| Gründling           | <i>Gobio gobio</i>                  | 6.9                                          | -                | 3.34   | 3.77                  | 0.3                   | 0.05                          | -                | 0.01  | 0.04                  | 0.00                  |
| Unbest. Seesaibling | <i>Salvelinus spp.</i>              | 7.15                                         | -                | -      | -                     | 0.06                  | 0.58                          | -                | -     | -                     | 0.00                  |
| Forelle             | <i>Salmo trutta</i>                 | 0.26                                         | -                | 20.9   | -                     | -                     | 0.08                          | -                | 1.78  | -                     | -                     |
| Laube               | <i>Alburnus alburnus</i>            | 2.3                                          | 1.52             | 5.02   | -                     | 0.24                  | 0.03                          | 0.02             | 0.00  | -                     | 0.00                  |
| Groppe              | <i>Cottus sp.</i>                   | 3.32                                         | -                | 2.51   | 1.51                  | 0.12                  | 0.02                          | -                | 0.01  | 0.01                  | 0.00                  |
| Alet                | <i>Squalius cephalus</i>            | 0.26                                         | -                | 0.84   | 10.55                 | -                     | 0.35                          | -                | 0.00  | 10.17                 | -                     |
| Balchen             | <i>Coregonus sp. "Balchen"</i>      | 1.28                                         | -                | -      | -                     | 0.61                  | 0.39                          | -                | -     | -                     | 0.22                  |
| Barbe               | <i>Barbus barbus</i>                | 0.51                                         | -                | -      | 6.03                  | 0.06                  | 0.48                          | -                | -     | 10.71                 | 0.15                  |
| Tiefenalbock        | <i>Coregonus sp. "Tiefenalbock"</i> | 0.26                                         | 2.53             | -      | -                     | 0.06                  | 0.05                          | 0.36             | -     | -                     | 0.01                  |
| Äsche               | <i>Thymallus thymallus</i>          | 0.26                                         | -                | -      | 3.01                  | -                     | 0.00                          | -                | -     | 2.07                  | -                     |
| Hecht               | <i>Esox lucius</i>                  | 0.26                                         | -                | 1.67   | 0.75                  | 0.06                  | 0.29                          | -                | 0.20  | 0.03                  | 0.30                  |
| Rotfeder            | <i>Scardinius erythrophthalmus</i>  | -                                            | -                | 0.84   | 0.75                  | -                     | -                             | -                | 0.00  | 0.01                  | -                     |
| Schleie             | <i>Tinca tinca</i>                  | -                                            | -                | -      | -                     | 0.06                  | -                             | -                | -     | -                     | 0.11                  |
| <b>Total</b>        |                                     | 368.86                                       | 23.75            | 216.55 | 91.18                 | 20.24                 | 15.22                         | 2.39             | 3.51  | 25.07                 | 2.73                  |

### 8.2 Resultate der Permutationen

**Tabelle 8-2.** 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>            | 359           | 947         | 1769        | 587        | 1364        |
| Brienzzig            | <i>Coregonus albellus</i>           | 62            | 153         | 239         | 108        | 199         |
| Rotauge              | <i>Rutilus rutilus</i>              | 11            | 97          | 243         | 34         | 177         |
| Hasel                | <i>Leuciscus leuciscus</i>          | 22            | 69          | 124         | 41         | 99          |
| Trüsche              | <i>Lota lota</i>                    | 17            | 35          | 52          | 27         | 43          |
| Kropfer              | <i>Coregonus alpinus</i>            | 7             | 35          | 62          | 20         | 49          |
| Elritze              | <i>Phoxinus phoxinus</i>            | 7             | 29          | 66          | 14         | 47          |
| Unbest. Seesaiblinge | <i>Salvelinus spp.</i>              | 3             | 28          | 62          | 12         | 44          |
| Gründling            | <i>Gobio gobio</i>                  | 5             | 27          | 74          | 13         | 45          |
| Unbest. Felchen      | <i>Coregonus sp.</i>                | 6             | 25          | 56          | 13         | 39          |
| Groppe               | <i>Cottus sp.</i>                   | 5             | 13          | 21          | 8          | 18          |
| Laube                | <i>Alburnus alburnus</i>            | 2             | 12          | 33          | 5          | 21          |
| Albock               | <i>Coregonus fatioi</i>             | 2             | 12          | 24          | 7          | 18          |
| Tiefenalbock         | <i>Coregonus sp. "Tiefenalbock"</i> | 0             | 6           | 18          | 1          | 12          |
| Balchen              | <i>Coregonus sp. "Balchen"</i>      | 0             | 5           | 13          | 2          | 8           |
| Barbe                | <i>Barbus barbus</i>                | 0             | 2           | 8           | 0          | 4           |
| Äsche                | <i>Thymallus thymallus</i>          | 0             | 1           | 5           | 0          | 3           |
| Hecht                | <i>Esox lucius</i>                  | 0             | 1           | 6           | 0          | 3           |
| Forelle              | <i>Salmo trutta</i>                 | 0             | 1           | 5           | 0          | 3           |
| Alet                 | <i>Squalius cephalus</i>            | 0             | 1           | 5           | 0          | 3           |
| <b>Total Anzahl</b>  |                                     | <b>508</b>    | <b>1499</b> | <b>2885</b> | <b>892</b> | <b>2199</b> |

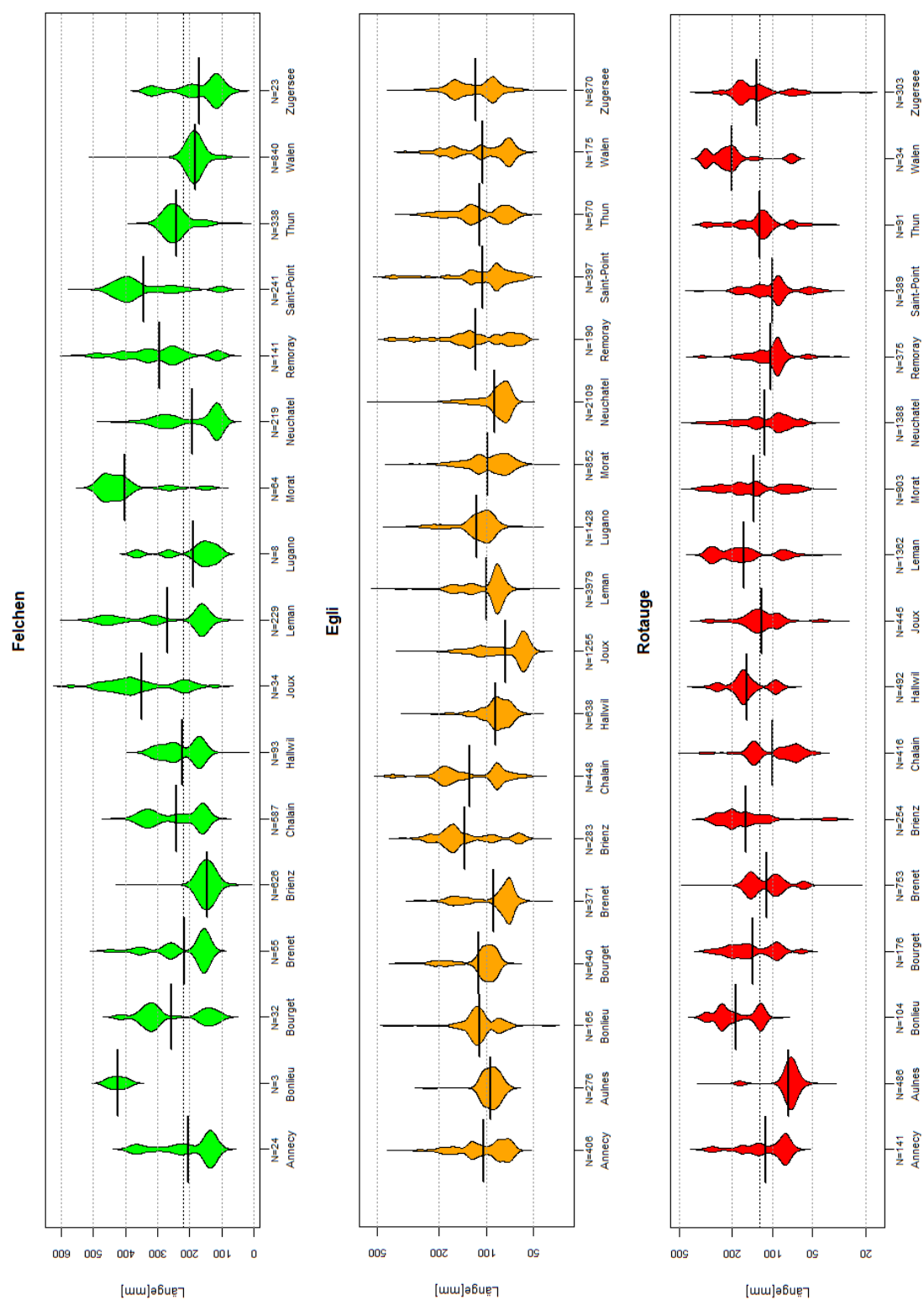


Abbildung 8-1 Längenverteilung der Felchen, Egli und Rotaugen in verschiedenen Seen.