

Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Vierwaldstättersee



Impressum

Autoren:

Timothy J. Alexander
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
Timothy.Alexander@eawag.ch

Pascal Vonlanthen,
Aquabios GmbH
Les Fermes 57
CH-1792 Cordast
p.vonlanthen@aquabios.ch

Projektleiter:

Ole Seehausen
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
und
Universität Bern, Institut für Ökologie und Evolution
Balzerstrasse 6
CH-3012 Bern
Ole.Seehausen@eawag.ch

In Zusammenarbeit mit:

Guy Périat, Teleos sàrl

Zitiervorschlag:

Alexander T.J., Vonlanthen P., Périat G., Seehausen O. 2017. Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Vierwaldstättersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Danksagung:

Fischereikommission Vierwaldstättersee, Aufsichtskommission Vierwaldstättersee, Hervé Décourcière, Carmela Dönz, Reiner Eckmann, Stéphane Ecuier, Thomas Groubatsch, Marcel Häsler, Jonathan Paris, Markus Pehr, Timon Polli, Oliver Selz, Erwin Schäffer, Daniel Schlunke, Rosi Siber, Vincent Somerville, Hendrik Thiele, Jennifer Vonlanthen-Heuck, Beat Müller.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	2
2	AUSGANGSLAGE	3
2.1	WESHALB EIN „PROJET LAC“	3
2.2	ZIELSETZUNG	4
3	METHODEN	5
3.1	PROJEKTPERIMETER.....	5
3.2	CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MESSREIHEN.....	5
3.3	HABITATKARTIERUNG	6
3.4	FELDAUFNAHMEN DER FISCHE	7
3.5	STATISTISCHE AUSWERTUNGEN DER NETZDATEN.....	9
3.6	CEN-NETZE UND KONFIDENZINTERVALLE	10
3.7	VORTEILE UND GRENZEN DER BEFISCHUNGSMETHODE MIT STANDARDISIERTEN NETZEN	10
3.8	FISCHFANGSTATISTIKEN.....	10
4	RESULTATE	11
4.1	PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE DATEN.....	11
4.2	HABITATKARTIERUNG	14
4.3	STANDARDISIERTE BEFISCHUNG	17
4.4	FISCHEREILICHE ASPEKTE	30
5	SYNTHESE	36
5.1	ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DES VIERWALDSTÄTTERSEES.....	36
5.2	FISCHEREILICHE NUTZUNG	37
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	38
7	LITERATURVERZEICHNIS	39
8	ANHANG.....	41
8.1	ÜBERSICHT FÄNGE: CPUE DER GEFANGENEN FISCHE	41
8.2	RESULTATE DER PERMUTATIONEN	42
8.3	LÄNGENVERTEILUNG EINZELNER FISCHARTEN PRO SEE.....	43
8.4	IM „PROJET LAC“ UNTERSUCHTE SEEN	44
8.5	BERICHT: HYDROAKUSTISCHE UNTERSUCHUNG.....	45

1 Zusammenfassung

Um unsere Gewässer zu schützen und zu bewirtschaften, muss ihr Zustand bekannt sein. Im „Projet Lac“ wurde die Fischartenzusammensetzung in den Alpenrandseen standardisiert erhoben. Dies zum ersten Mal überhaupt einmalig zwischen August und Oktober. Dieser Bericht fasst die Resultate für den Vierwaldstättersee zusammen. Über sechs Tage wurden im Jahr 2014 im Vierwaldstättersee insgesamt 252 standardisierte und reproduzierbare Befischungsaktionen durchgeführt. Diese Resultate können in Zukunft als Vergleich für die Entwicklung der Fischgusammensetzung im Vierwaldstättersee herangezogen werden.

Der Vierwaldstättersee ist ein Beispiel für einen ursprünglich nährstoffarmen See, der im Verlauf des letzten Jahrhunderts eine leichte Eutrophierung erlebt hat. Dabei hat sich die Häufigkeit der im See vorkommenden Arten verändert. So z.B. die Häufigkeit des Edelfisches, eine Felchenart der Tiefwasserzone, die früher häufig war und danach fast ausstarb, und die heute immer noch sehr selten ist. Dies suggeriert, dass sich der Fischbestand im Vierwaldstättersee von den Konsequenzen der Eutrophierung noch nicht vollends erholt hat. Weiter haben verschiedene Neozoen bzw. standortfremde Arten den See besiedelt. So ist z. B. der Kaulbarsch heute sehr häufig im See vertreten.

Heute, nach der Reoligotrophierung, entspricht die Fischfauna des Vierwaldstättersees der eines oligotrophen Sees. Die Felchen im Vierwaldstättersee sind im Vergleich zu anderen oligotrophen Seen, die nie eutrophiert waren, aber eher untervertreten, während die Seesaiblinge sehr zahlreich vorkommen.

Schliesslich zeigen die Befischungen des „Projet Lac“ im Vierwaldstättersee wie wichtig standardisierte Aufnahmen der Fischfauna in allen Lebensräume sind. So konnte eine zuvor nicht dokumentierte Art (Stichling) im See nachgewiesen und die historisch beschriebenen Tiefseesaiblinge wiederentdeckt werden. Die standardisierte Aufnahme zeigt ein differenzierteres Bild der Artenzusammensetzung als die Berufsfischerfänge. Weiter erlauben diese Methoden es, den Fischbestand innerhalb eines Sees über die Zeit und zwischen verschiedenen Seen objektiv zu vergleichen. Dies weil der Aufwand (Datum, Standort, Tiefe, Maschenweite, Befischungszeit) genau bekannt ist.

Stichwörter

See – Fische – Biodiversität – Projet Lac – Vierwaldstättersee

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/EG) 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 VBGF).

In den Alpenrandseen ist die Anwendung der gesetzlichen Verpflichtung oft schwierig. 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 überwiegend auf den Fischfangstatistiken beruht.

Fische als Bioindikator

Die Artenzusammensetzung der Fischgemeinschaft eines Gewässers stellt einen hervorragenden Indikator für den Status eines Ökosystems dar (Karr 1981; Degiorgi und Raymond 2000). Hervorzuheben sind diesbezüglich folgende Punkte:

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

Um Fischgemeinschaften erfolgreich als Bioindikator nutzen zu können, müssen standardisierte Methoden angewendet werden, die reproduzierbar und somit vergleichbar sind, und die alle Lebensräume im See erfassen. Da Fischpopulationen sich räumlich verschieben können, müssen die Methoden zudem simultan in allen Bereichen eines Gewässers angewendet werden. Aus diesem Grund ist eine standardisierte Befischung der Seen sehr aufwendig und wurde in der Schweiz vor

dem „Projet Lac“ noch in keinem der grossen und tiefen Alpenrandseen durchgeführt.

Aufgrund dieser Tatsachen, aber auch wegen ihrer ökologischen, ökonomischen, touristischen und soziokulturellen Bedeutung, sollten Fische im Rahmen des Aktionsplans der nationalen Biodiversitätsstrategie eine Priorität sein. Um dies zu erreichen führte die Eawag mit der Unterstützung verschiedener Partner aus Wissenschaft, Bund, Kantonen und dem Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern erstmals eine standardisierte Aufnahme der Fischfauna der alpinen und voralpinen Seen durch. Dabei wurden von 2010 bis 2014 insgesamt 25 Seen untersucht (Tabelle 8-2).

2.2 Zielsetzung

Allgemeine Zielsetzungen

Die allgemeinen Zielsetzungen des Projekts können wie folgt zusammengefasst werden:

- Erhebung des aktuellen Zustandes der Fischdiversität in den Alpenrandseen: Zu diesem Zweck werden reproduzierbare und standardisierte Fischfangmethoden angewendet, die einen Vergleich zwischen verschiedenen Seen, beruhend auf wissenschaftlichen Auswertungen der Daten, ermöglichen. Da ein wesentlicher Anteil der Biodiversität von Fischen durch die klassische Taxonomie nicht erfasst wird, werden bei Bedarf - zusätzlich zu der klassischen Taxonomie – morphologische und genetische Methoden verwendet.
- Erarbeiten von Zusammenhängen zwischen Umweltfaktoren und inter- und intraspezifischer Vielfalt.
- Erarbeitung einer Referenzsammlung: Um die Proben für die Wissenschaft und für die Zukunft als Referenzen zu konservieren und zu bewahren, werden mindestens 30 Individuen pro Art und See sowie verschiedene Proben für genetische und chemische Analysen im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern hinterlegt.

Um die Vielfalt innerhalb besonders schwierig oder wenig untersuchter Fischtaxa zu erfassen und um die ökologischen und evolutionären Mechanismen, die der heutigen Fischvielfalt der tiefen Alpenrandseen zu Grunde liegen, zu verstehen, werden zusätzliche wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt. Diese bauen auf den im Rahmen der Befischung erhobenen Daten auf und ergänzen diese durch zusätzlich erhobene Daten, können allerdings nicht abschliessend im Rahmen des vorliegenden Berichtes behandelt werden. Wo immer möglich fliessen bereits vorliegende Resultate aber in den Bericht ein.

Spezifische Zielsetzung

Der vorliegende Bericht behandelt spezifisch die Resultate der Befischungen, die im Vierwaldstättersee durchgeführt wurden. Ein Fokus der Auswertungen wird auf die Artenzusammensetzung und die Habitatnutzung der verschiedenen Arten gelegt.

3 Methoden

3.1 Projektperimeter

Untersucht wurden folgende Bereiche des Vierwaldstättersees: Urnersee, Gersauerbecken, Vitznauerbecken, Kreuztrichter, Küssnachersee, Luzernerbucht. Der Alpnachersee konnte nicht untersucht werden. Die Methode der Probenahme war darauf ausgelegt, mit einem möglichst geringen Aufwand ein möglichst repräsentatives Abbild des Fischbestands des gesamten Sees zu erstellen. Ein Vergleich des Fischbestands zwischen den einzelnen Seebereichen ist daher nur bedingt möglich, da die Anzahl der replizierten Befischungsaktionen in manchen Seebereichen zu gering ist.

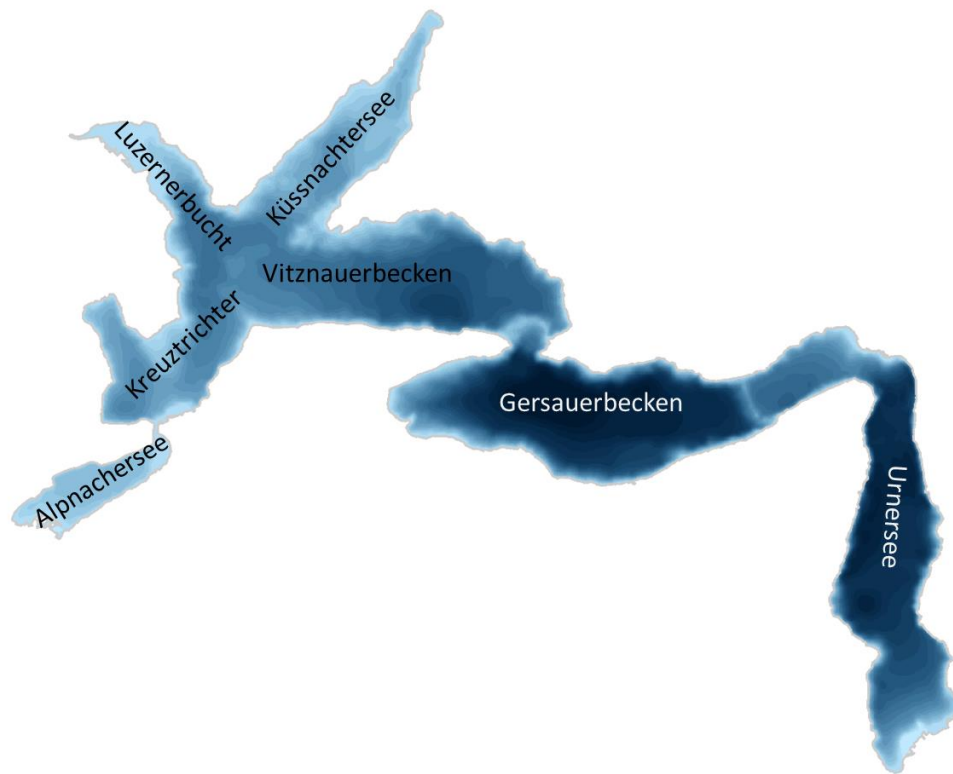


Abbildung 3-1. Bathymetrie des Vierwaldstättersees mit den Namen der Seebereiche.

3.2 Chemische und physikalische Messreihen

Chemische und physikalische Parameter des Wassers des Vierwaldstättersees wurden routinemässig durch die Eawag und die Kantone erhoben. Die Zeitreihen dokumentieren die Entwicklung der abiotischen Faktoren des Ökosystems Vierwaldstättersee und werden zum besseren Verständnis der Fischartenzusammensetzung herangezogen. Temperatur-, Sauerstoff- und Phosphordaten wurden von Beat Müller (Abteilung Oberflächengewässer, Eawag) zur Verfügung gestellt. Die Oberflächentemperatur wurde zusätzlich beim „Projet

Lac“ von Juni 2011 bis Juni 2014 (5 Min Intervalle) im Gersauerbecken (46.975884, 8.435177) anhand eines Vemco Minilog II gemessen.

3.3 Habitatkartierung

In einem ersten Schritt der Datenerhebung wurden die fischrelevanten und unter Wasser liegenden Habitate kartiert. Fische verteilen sich nicht zufällig über die verschiedenen Habitat-Typen, sondern halten sich in gewissen litoralen Habitaten oder Tiefen häufiger auf. Je nach Art können sich die bevorzugten Habitat-Typen unterscheiden (Kottelat und Freyhof 2007). Ein beprobter See wird daher in drei grosse Bereiche unterteilt (Degiorgi et al. 1993b):

- Die litorale Zone, die bis in eine Tiefe von 3 m reicht (0 – 3 m).
- Die sublitorale Zone, zu der ebenfalls die benthische Zone gerechnet wird (3 – 10 m).
- Die zentrale Zone, die sich aus pelagialen und profundalen Zonen zusammensetzt (> 10 m).

Die sublitoralen und zentralen Zonen wurden anhand der Bathymetrie des Sees im GIS bestimmt. Die litorale Zone (die einzelnen Habitate sind von der Wasseroberfläche aus identifizierbar) wurde von einem Boot aus vor Ort mit Zuhilfenahme von Luftaufnahmen in ArcGIS kartiert. Die Ufer wurden, sobald sie durch Blockwürfe, Mauern usw. gesichert sind oder eine hohe Bootsichte (offene Bootsanlegestellen im See mit sichtbaren baulichen Massnahmen) aufwiesen, als künstlich bezeichnet. Eingezäunte Schilfbestände und Boote, die im freien Wasser an Bojen fixiert waren, wurden als natürliche Ufer eingestuft. Die kartierten litoralen Habitate sind in Tabelle 3-1 zusammengestellt.

Tabelle 3-1. Kategorien und Kürzel der kartierten litoralen Habitate.

Habitate	Typ	Code
Ausfluss	Fluss	EFF
Zufluss	Fluss	AFF
Fels	Mineralisch	DAL
Blöcke (grösser als 150 mm)	Mineralisch	BLO
Blöcke kolmatiert	Mineralisch	BLS
Geröll (100 - 150 mm)	Mineralisch	GAL
Geröll kolmatiert	Mineralisch	GLS
Kies (5 - 30 mm)	Mineralisch	GRA
Kies + Geröll	Mineralisch	GGR
Sand (0.5 - 5 mm)	Mineralisch	SAB
Feinsediment mineral (< 0.5 mm)	Mineralisch	FNM
Feinsediment organisch (< 0.5 mm)	Mineralisch	FNO
Makrophyte dünn	Pflanzen	HYI
Makrophyte dicht	Pflanzen	HYD
Schilf	Pflanzen	HEL
Schilf dicht	Pflanzen	HLD
Schilf dünn	Pflanzen	HLE
Seerosen	Pflanzen	HYF
Streu	Pflanzen	LIT
Totholz	Pflanzen	BRA

3.4 Felddaufnahmen der Fische

*Verschiedene
sich ergänzende
Methoden*

Die Felddaufnahmen wurden in allen Seen möglichst zwischen Mitte August und Ende Oktober durchgeführt. Dieses Zeitfenster wurde gewählt weil:

- die meisten Fischarten auf Artniveau bestimmt werden können (auch kleine Cypriniden).
- der Zeitpunkt ausserhalb der Laichzeit der meisten Fischarten liegt (Ausnahmen sind nur sommerlaichende/herbstlaichende Felchen-, und Seesaiblingsarten).
- die Aktivität der Fische hoch ist und sie damit eine gute Fangquote aufweisen.
- das Litoral durch eine Vielzahl von Fischarten besiedelt ist.

Vier Protokolle wurden simultan angewendet (Abbildung 3-2):

- Die Echolotuntersuchungen wurden von Prof. Reiner Eckmann in Zusammenarbeit mit Markus Pehr und Hendrik Thiele durchgeführt. Um den Fischbestand repräsentativ zu erfassen (ab einer Tiefe von fünf Metern), wurde ein Befahrungsdesign gewählt, das erlaubt, den Fischbestand mit der nötigen Präzision abzuschätzen. Die entscheidende Kennzahl hierfür ist der Variationskoeffizient. Dieser ist abhängig vom Grad der Abdeckung, die definiert ist als $\lambda = D/VA$ (D = Summe der Transektlängen, A = Fläche des Gebiets (Simmonds und MacLennan 2008)). Um eine ausreichende Präzision der Daten zu gewährleisten wird ein λ von

mindestens 4 gefordert. Dies war für den Vierwaldstättersee der Fall. Die gewonnenen Daten erfassten den Fischbestand mit genügender Präzision, sodass sie miteinander verglichen werden können.

Die Echolotaufzeichnungen wurden bei einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 10 km/h durchgeführt. Alle Daten wurden mit einem Split-beam-Echolot der Marke Simrad EY60 erhoben, das mit einer Frequenz von 120 kHz arbeitet. Fischgrößen können damit, sofern die Fischart und ihr Zusammenhang mit der Signalstärke bekannt sind, direkt gemessen und Fischbiomassen abgeschätzt werden. Das Echolot wurde von einem Laptop gesteuert, auf dem die hydroakustischen Daten zusammen mit GPS-Koordinaten abgespeichert wurden. Das Echolotsystem wurde vor jeder Ausfahrt mit einer Metallkugel gemäss den Herstellerangaben kalibriert.

Die gewonnenen Rohdaten wurden mit der Software SONAR5-Professional ver. 6.0.3 (Balk und Lindsem 2014) bearbeitet. Zur Korrektur der vom System erfassten Wassertiefe der Fischechos wurde die Tiefe, in welcher der Echolotschwinger im Wasser angebracht war, berücksichtigt und aktuelle Temperaturprofile der Seen hinterlegt. Störechos (z.B. vom Grund aufsteigende Methanblasen) wurden vor der Auswertung manuell entfernt, und die von der Software identifizierte Bodenlinie wurde bei Bedarf von Hand korrigiert. Die Echostärken wurden nach einer Echostärke-Fischlängenbeziehung berechnet, die für die Kleine Maräne *Coregonus albula* von Mehner (2006) aufgestellt wurde. Die gewonnenen Daten wurden mit der GIS-Software SURFER 9 in Form von Isoplethen dargestellt (für weitere Informationen siehe Anhang 8.5).

- b) Fische wurden mit zwei verschiedenen Kiemennetzmethoden gefangen. Die erste entspricht der in der EU angewendeten Methode der Wasserrahmenrichtlinie (EN 14757; im Dokument als CEN-Methode angesprochen; Comité Européen de Normalisation 2005), die eine zufällige räumliche Verteilung der Netze vorsieht (Appelberg et al. 2000). Die zweite Methode (im Dokument als Vertikal-Methode bezeichnet) wurde an der Universität Besançon ausgearbeitet und durch die Eawag weiterentwickelt. Dabei werden im Pelagial mit vertikalen Netzen und am Ufer mit benthischen Netzen die vorhandenen Habitate gezielt befischt (Degiorgi 1994). Die Netzfläche wurde für die Standardisierung der Daten herangezogen. Die Anzahl Netze, die Tiefenverteilung und die Auswahl der Standorte wurden nach den Vorgaben der einzelnen Methoden bestimmt (Degiorgi et al. 1993a; Degiorgi 1994; Comité Européen de Normalisation 2005).
- c) Alle Uferhabitate mit geringen Wassertiefen (< 1 m) wurden elektrisch befischt. Dabei wurde an jedem Standort nur ein Durchgang entweder watend oder mit dem Boot durchgeführt. Es wurde versucht alle Habitat-

Typen mindestens dreimal zu befischen. Die befischte Fläche wurde anschliessend für die Standardisierung der Daten herangezogen.

Die gefangenen Fische wurden, wenn immer möglich, auf Artniveau identifiziert, vermessen, gewogen, fotografiert und für die Gewebeprobeentnahme sowie die Konservierung im Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern vorbereitet (Abbildung 3-3).

Beispiel der Probenahme-strategie

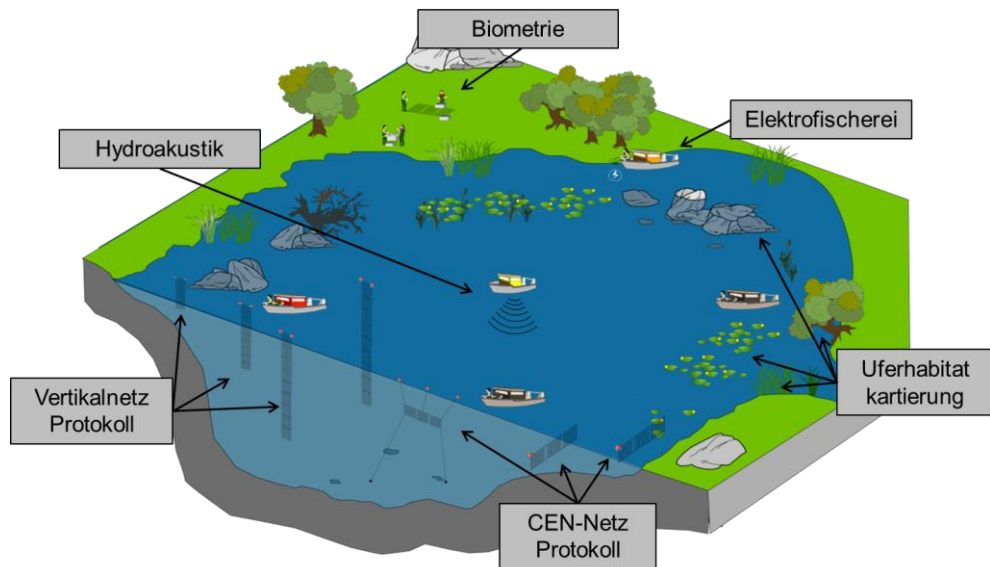


Abbildung 3-2. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Goguilly).

Fische für das Museum



Abbildung 3-3 Vermessen eines Fisches (links) und Präparation eines Fisches für die Museumssammlung.

3.5 Statistische Auswertungen der Netzdaten

Für die Auswertungen wurden entweder Rohdaten oder korrigierte Daten verwendet („Catch Per Unit Effort“; CPUE). Für die Berechnung des CPUE wurden zwei Ansätze verwendet. Im ersten Ansatz wurde der Fang nur für die Netzfläche jedes Netzes korrigiert und der Durchschnitt davon verwendet. Weder die Fische noch die zum Fang verwendeten Methoden sind jedoch zufällig im Raum verteilt.

Deshalb ist der durchschnittliche CPUE nicht aussagekräftig in Bezug zur Häufigkeit der einzelnen Arten im gesamten See. Im zweiten Ansatz, wurde daher anhand der vorliegenden Daten die Häufigkeit und die Biomasse der einzelnen Fischarten für die Verfügbarkeit der verschiedenen Habitate (in diesem Fall das vorhandene Volumen der einzelnen Habitate (Pelagial, Benthos, Litoral, eingeteilt in Meterklassen) korrigiert (Alexander et al. 2015). Dieser habitatbasierte CPUE erlaubt es, ein realistischeres Abbild der Häufigkeiten der Fische im gesamten See zu erlangen (Abbildung 4-9). Somit können die Fischbestände verschiedener Seen auch besser verglichen werden.

3.6 CEN-Netze und Konfidenzintervalle

Die Streuung der Anzahl Fische, die pro CEN-Netz in den verschiedenen Tiefen (Replikate) gefangen wurden, ist für zukünftige Vergleiche mit dem heutigen Zustand der Fischfauna wichtig. Um die Streuung statistisch zu bestimmen, wurden 10'000 Permutationen (Wiederholungen) der Fangdaten durchgeführt (pelagische und benthische CEN-Netze separat). Dabei wurden Daten einzelner Netze zufällig aus der Gesamtheit aller Netzdaten gezogen (jede Tiefenklasse separat, mit Wiederholung). Die Resultate wurden anschliessend benutzt, um die 5% und 95%-Konfidenzintervalle für jede Art zu schätzen.

3.7 Vorteile und Grenzen der Befischungsmethode mit standardisierten Netzen

Ziel des „Projet Lac“ ist es, ein möglichst realitätsnahes und reproduzierbares Abbild des Fischbestands eines Sees zu erfassen. Der Befischungsaufwand und Zeitpunkt wurden so bestimmt, dass die Resultate mit anderen Seen vergleichbar sind (Zeitpunkt August-Oktober, mindestens drei Tage Befischung). Anhand dieses standardisierten Ansatzes können CPUE-Werte berechnet werden. Weiter wurden kleine Maschenweiten verwendet und Tiefen untersucht, die durch Berufsfischer nicht befischt werden. Dadurch weichen die Resultate auch von den Fischfangstatistiken ab. Ein Nachteil ist, dass die Befischung nur einmal in einem Jahr durchgeführt wurde. Da sich das Verhalten der Fische je nach klimatischen Bedingungen und Nahrungsangebot im See ändern kann, können die realen Fischbestände von den erfassten abweichen. Der Befischungsaufwand des CEN-Protokolls ist darauf ausgerichtet, dass Bestandesänderungen von 50% oder mehr der dominanten Fischarten detektiert werden können, trotz den erwähnten Einschränkungen.

3.8 Fischfangstatistiken

Für gewisse Auswertungen haben wir die Resultate der „Projet Lac“-Fänge mit den Fängen der Angel- und Berufsfischer verglichen. Die entsprechenden

Fangstatistiken wurden vom BAFU zur Verfügung gestellt. Ziel dieses Vergleichs ist es zu zeigen, wie unterschiedlich die Bestandsschätzung der beiden Methoden sind, und wie viele Fischarten in den Seen vorkommen, die durch die Fangstatistiken nicht erfasst werden.

4 Resultate

4.1 Physikalische und Chemische Daten

*Vierwaldstättersee
eher Oberflächen-
warm*

Die Temperaturmessungen, die im Rahmen des „Projet Lac“ im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees durchgeführt wurden, zeigen, dass die Oberflächentemperaturen die Marke von 20°C im Sommer übersteigen. Die 20 °C-Marke wurde 2011-2013 im Gersauerbecken von Juli bis September übertroffen (Abbildung 4-1). Die 2013 maximal gemessene Oberflächentemperatur lag im Gersauerbecken bei 24.7 °C. Im August 2014, also ca. zum Zeitpunkt der Probebefischung, nahm die Temperatur im Vitznauerbecken von 18 °C an der Wasseroberfläche rasch ab bis zu einer Temperatur von ca. 6 °C in 50 m Tiefe. Zwischen 50 m Tiefe und der maximalen Tiefe war die Temperatur stabil zwischen 4.75 und 6 °C. (Abbildung 4-2). Die verschiedenen Becken dürften sich unterschiedlich stark erwärmen. In flacheren Seebecken ist vermutlich sogar von noch wärmeren Oberflächentemperaturen auszugehen (Hinweis Aufsichtskommission Vierwaldstättersee). Insgesamt, und im Vergleich mit anderen tiefen Alpenrandseen (wie Brienersee und Walensee), ist der Vierwaldstättersee eher ein oberflächenwarmer See.

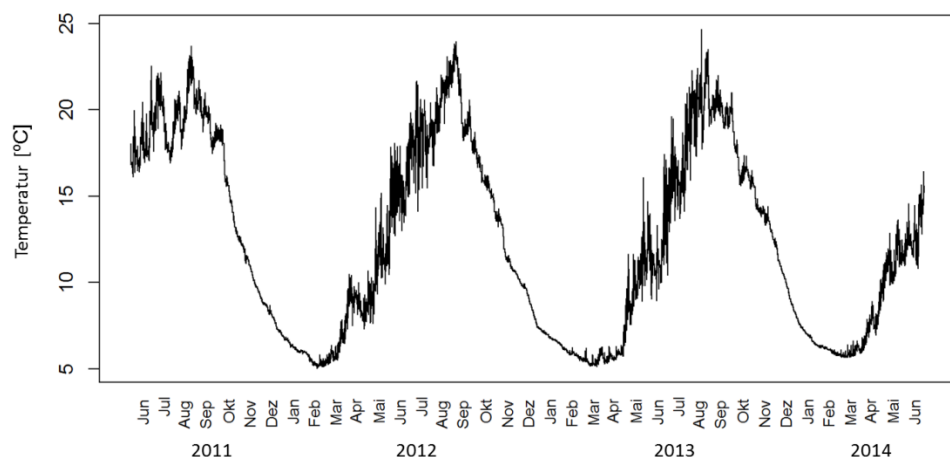


Abbildung 4-1. Jahreszeitliche Entwicklung der Oberflächentemperatur im Vierwaldstättersee (Messpunkt: Gersauerbecken 46.975884, 8.435177)

*Immer noch
Sauerstoffzehrung*

Die 2010 letztmals gleichzeitig durchgeführte Beprobung aller sieben Teilbecken des Vierwaldstättersees hat gezeigt, dass die Becken Vitznau und Gersau empfindlich auf die Sauerstoffzehrung reagieren. Dies ist möglicherweise auf die historisch stärkere organische Belastung dieser Seeteile zurückzuführen. Insbesondere das Vitznauerbecken wies die höchsten Nährstoffwerte aller von „Projet Lac“ beprobten Seebecken auf (also ohne Alpnachersee) und damit einhergehend auch die tiefsten Sauerstoffwerte in den tiefen Bereichen des Beckens (Abbildung 4-3). Der Urnersee scheint nie eine ausgeprägte Eutrophierung aufgewiesen zu haben. Die Sauerstoffmessungen im Vitznauerbecken von 2014 zeigten (Abbildung 4-2), dass alle Seetiefen dieses Beckens ausreichend mit Sauerstoff versorgt waren ($> 4 \text{ mg/l}$). Trotzdem kann nach wie vor eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes mit der Tiefe beobachtet werden.

Die Zeitreihe der Phosphatmessungen (Messstelle Seeburg) zeigt (Abbildung 4-4), dass der Vierwaldstättersee bis Ende der achtziger Jahre organisch belastet war. Seit Anfang der neunziger Jahre liegen die Phosphatwerte im oligotrophen Bereich und bleiben konstant.

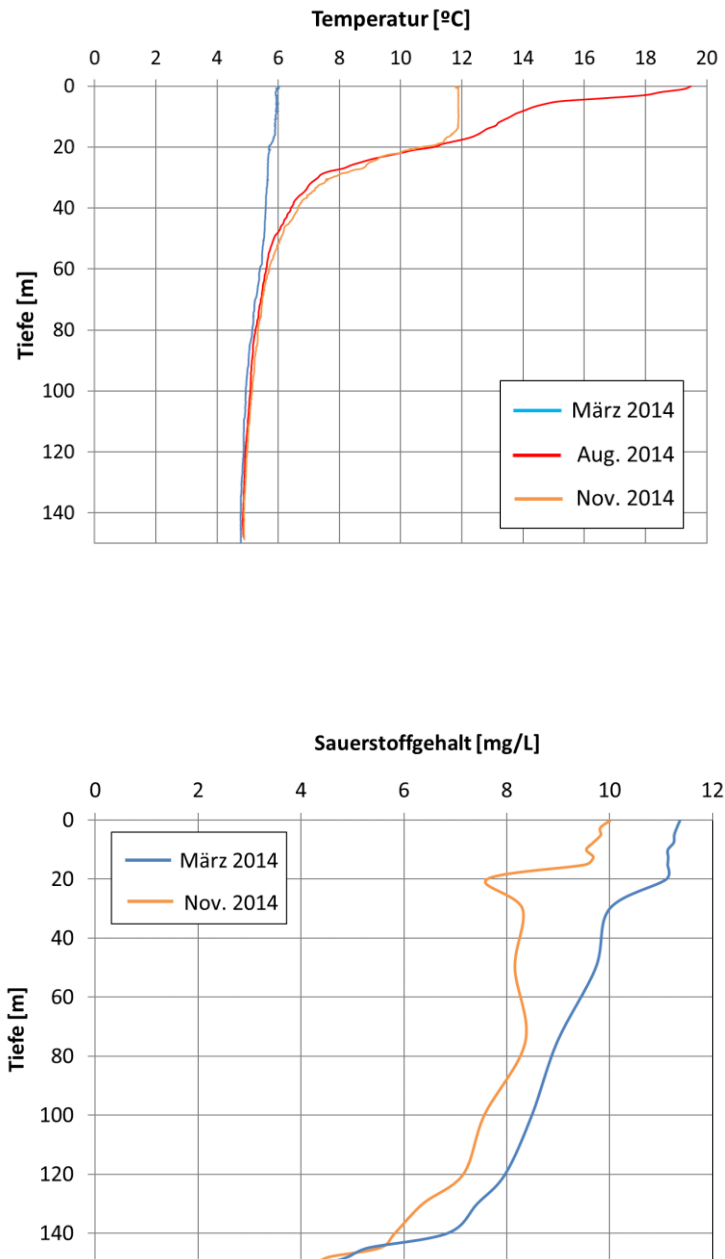


Abbildung 4-2. Temperatur- und Sauerstoffprofile von 2014 gemessen im März, August und November im Vitznauerbecken. Für August 2014 ist kein Sauerstoffprofil vorhanden.

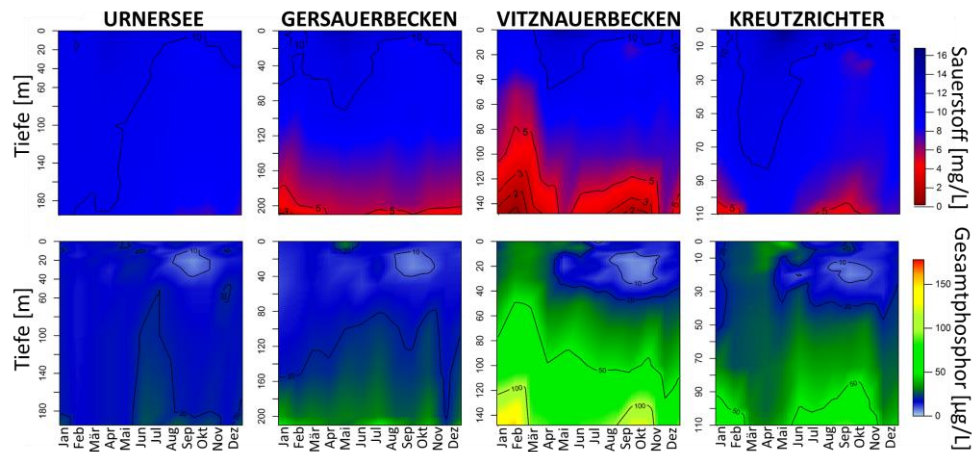


Abbildung 4-3. Interpolierte monatliche Sauerstoff- (oben) und Gesamtphosphorkonzentrationen (unten) in den verschiedenen Becken des Vierwaldstättersees. Die Daten stammen von 1973, einem Jahr mit einer der höchsten Gesamtphosphorkonzentrationen (Daten: Kanton Luzern / Eawag).

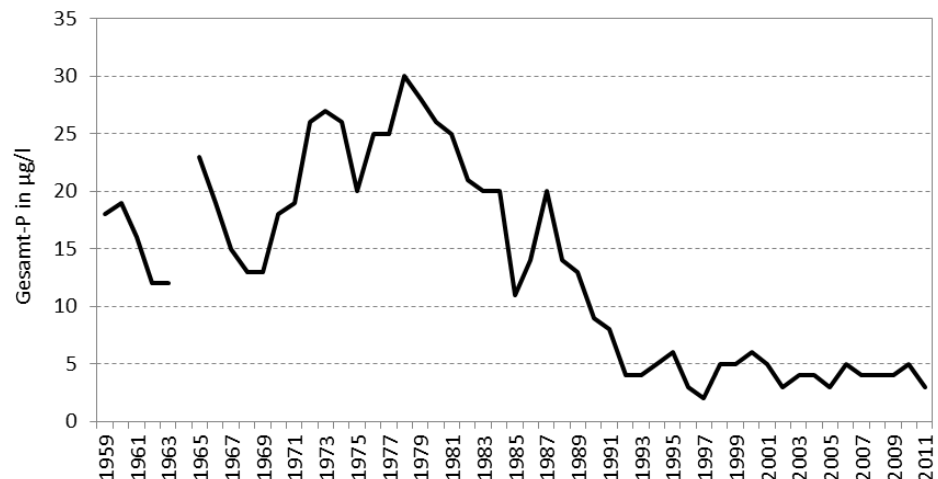


Abbildung 4-4. Gesamtphosphor der Messstelle Seeburg (Luzernerbucht; Daten: BAFU).

4.2 Habitatkartierung

*Stark verbaute
Ufer*

Die Habitatkartierung (Abbildung 4-5) des Vierwaldstättersees zeigt, dass litorale Habitate (Zuflüsse, Blöcke, Geröll, Totholz), die den Fischen wichtige Habitate bieten, im Vergleich mit anderen Seen gut vertreten sind (Abbildung 4-6). Feinsedimente, Sand oder auch Vegetation wie Schilf oder Hydrophyten sind weniger häufig, aber auch vorhanden. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Vierwaldstättersee hoch. Auf den ganzen See bezogen ist der Vierwaldstättersee durch eher steile Ufer und somit flächenmässig eher wenig litoral charakterisiert.

Nur ca. 41 % der Seeuferlinie kann heute jedoch als naturnah bezeichnet werden. 59 % sind durch Verbauungen anthropogen beeinflusst (Abbildung 4-7). Die Uferlinie des Vierwaldstättersees ist somit, mit Ausnahme einiger Steilufer am Bürgenstock und im Urnersee, stark verbaut. Die Verbauungen bestehen dabei

flächenmässig zu ca. 65 % aus Hafenanlagen und Stegen für Boote und zu ca. 35 % aus Blockwürfen oder hart verbauten Seeufern. Die Verbauungen stehen grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Insbesondere Zuflüsse und Flachufer wurden stark verbaut, bzw. zugeschüttet. Gerade in diesen Bereichen ist der Handlungsbedarf bzgl. Revitalisierung der Seeufer hoch.

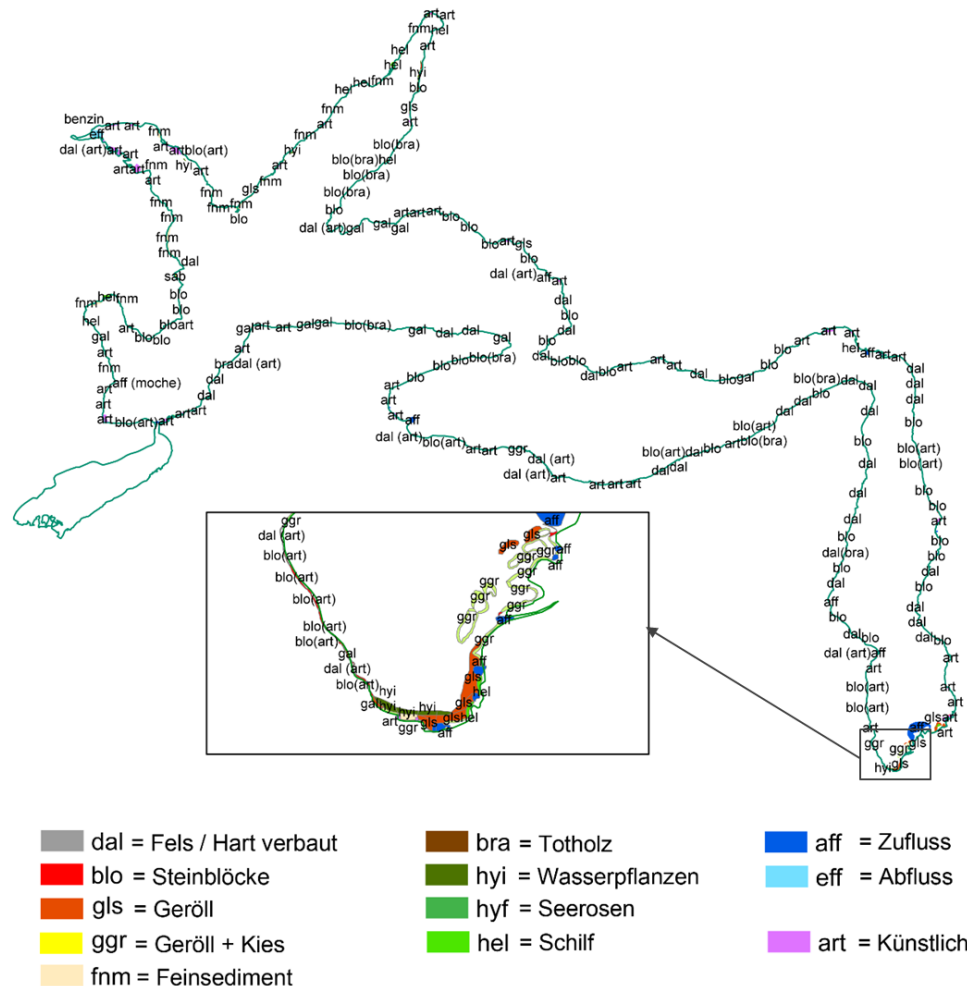


Abbildung 4-5. Karte der litoralen Habitate des Vierwaldstättersees für die habitatspezifischen Ufernetze.

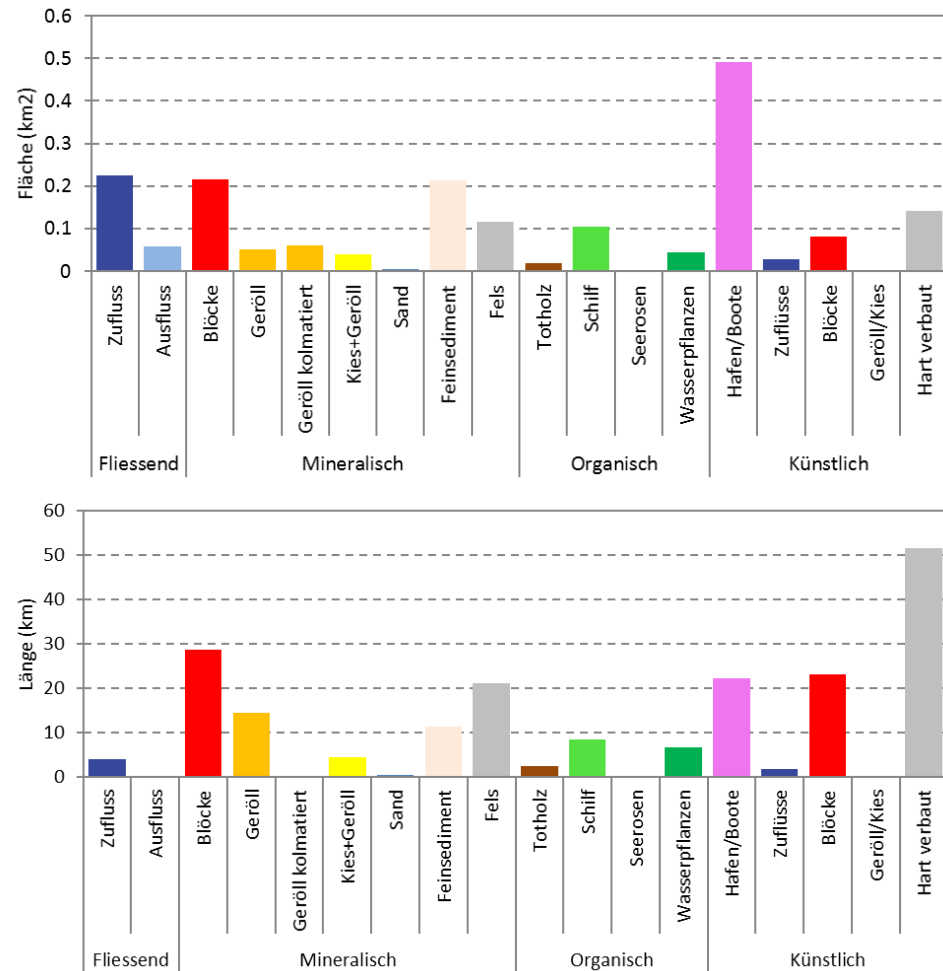


Abbildung 4-6. Fläche und Länge der verschiedenen litoralen Habitate im Vierwaldstättersee.

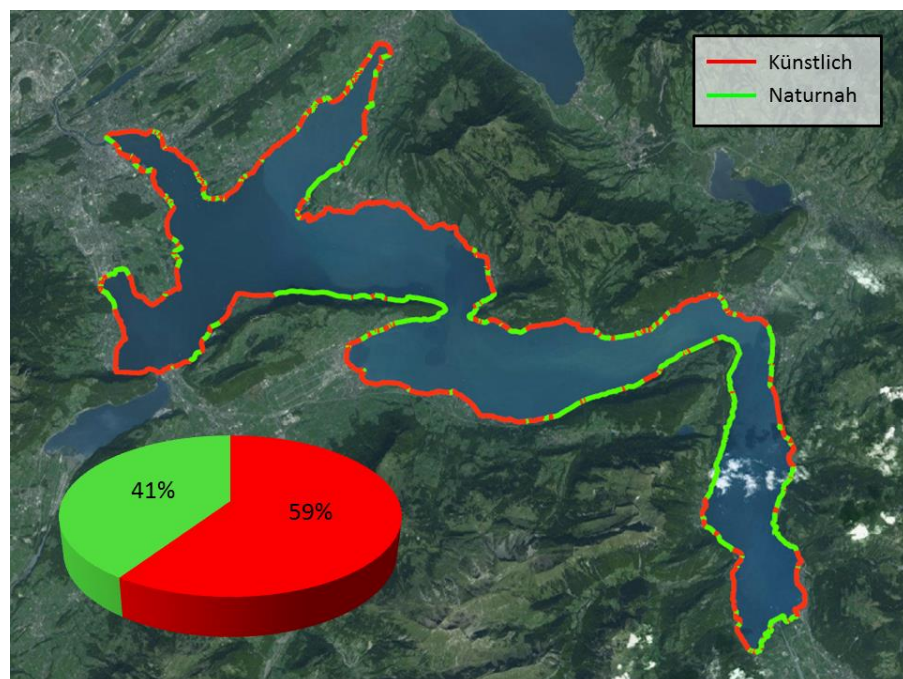


Abbildung 4-7. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Vierwaldstättersee.

4.3 Standardisierte Befischung

4.3.1 Standorte der Probenahmen

252 Befischungs-
aktionen

Über sechs Tage wurden im Vierwaldstättersee insgesamt 103 benthische CEN-, 12 pelagische CEN-, 67 uferhabitatspezifische Vertikal-, und 24 pelagische Vertikal-Netze über Nacht gesetzt. Zusätzlich wurden 46 Uferstrecken elektrisch befischt. Insgesamt sind somit 252 Befischungsaktionen durchgeführt worden (Abbildung 4-8).

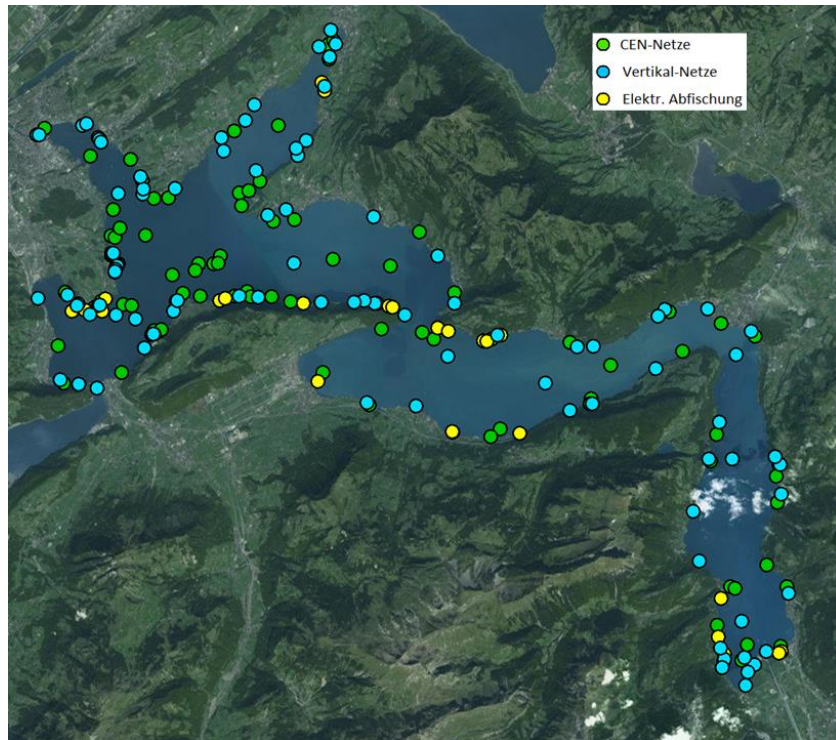


Abbildung 4-8. Karte der Befischungsstandorte im Vierwaldstättersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

4.3.2 Fischbestand und Artenvielfalt

4.3.2.1 Vierwaldstättersee

Mindestens 21
Fischarten im
Vierwaldstättersee

Insgesamt wurden im Vierwaldstättersee 2'479 Fische (Tabelle 4-1) und mindestens 21 Fischarten gefangen (Tabelle 4-3). Über alle Fangmethoden gesehen, waren Flussbarsche in den Fängen mit 1'549 gefangenen Individuen klar am häufigsten vertreten. Ebenfalls sehr häufig vertreten waren die Laube, das Rotaugen, die Felchen, die Seesaiblinge und die standortfremden Kaulbarsche. Im Vergleich mit anderen grossen oligotrophen Alpenrandseen waren die Felchenfänge für den betriebenen Aufwand eher gering ($N = 146$), die Fänge der Seesaiblinge demgegenüber sehr hoch ($N = 115$).

Die gesamte Biomasse des Fanges im Vierwaldstättersee betrug 67 kg (Tabelle 4-1). Die Flussbarsche stellten auch hier den grössten Anteil (27.8 kg), gefolgt von den

Rotaugen (9.7 kg) und den Felchen (alle Felchenarten zusammen 8.2 kg). Die entnommene Fischbiomasse war somit im Vergleich zu den Entnahmen durch die Fischerei insgesamt gering.

Tabelle 4-1. Zusammenstellung der Anzahl der gefangenen Fische für die verschiedenen Fangmethoden. Um grosse litorale Fischarten zu fangen, waren gewisse (nicht alle) Ufernetze mit einer zusätzlichen Netzeinheit mit einer Maschenweite von 70 mm ausgestattet. Die Fänge mit dieser Maschenweite sind in der vorliegenden Tabelle nicht enthalten. Dies erklärt wieso die Barbe in dieser Tabelle nicht aufgelistet wird, da diese im Netz mit 70 mm Maschenweite gefangen wurde.

Fischart		Anzahl Individuen				Biomasse [kg]			
Deutsch	Lateinisch	CEN	Elektrisch	Vertikal	Total	CEN	Elektrisch	Vertikal	Total
Egli / Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	1237	55	257	1549	14.98	0.68	12.12	27.79
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>	6	172	25	203	0.10	0.10	0.55	0.75
Rotaugen	<i>Rutilus rutilus</i>	119	2	64	185	4.87	0.002	4.83	9.70
Felchen, alle Arten	<i>Coregonus spp</i>	21	-	125	146	1.17	-	7.00	8.17
Seesaibling	<i>Salvelinus umbla</i>	49	-	66	115	1.81	-	3.52	5.33
Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernua</i>	81	2	26	109	1.40	0.02	0.37	1.79
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	41	3	3	47	0.18	0.01	0.01	0.20
Elritze	<i>Phoxinus phoxinus</i>	-	33	-	33	-	0.06	-	0.06
Trüsche	<i>Lota lota</i>	13	18	-	31	2.07	0.84	-	2.91
Forelle	<i>Salmo trutta</i>	-	17	-	17	-	1.00	-	1.00
Hecht	<i>Esox lucius</i>	7	1	4	12	2.61	0.01	0.57	3.18
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	-	-	11	11	-	-	0.49	0.49
Zander	<i>Sander lucioperca</i>	4	-	1	5	0.03	-	0.01	0.04
Bartgrundel	<i>Barbatula barbatula</i>	4	-	-	4	0.03	-	-	0.03
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	1	1	1	3	0.01	0.001	0.01	0.02
Alet	<i>Squalius cephalus</i>	-	-	3	3	-	-	3.28	3.28
Schleie	<i>Tinca tinca</i>	-	-	3	3	-	-	2.27	2.27
Stichling	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	-	2	-	2	-	0.001	-	0.001
Brachsmen	<i>Abramis brama</i>	-	1	-	1	-	0.001	-	0.001
Total		1583	307	589	2479	29.23	2.72	35.04	66.99

Werden die Fänge bezüglich Habitathäufigkeit korrigiert, stellt sich heraus, dass bei der Anzahl Fische die Felchen und die Seesaiblinge im Vierwaldstättersee dominieren, vor den Flussbarschen, den Lauben und den Rotaugen (Abbildung 4-9).

Der Felchen
dominiert den
Vierwaldstättersee

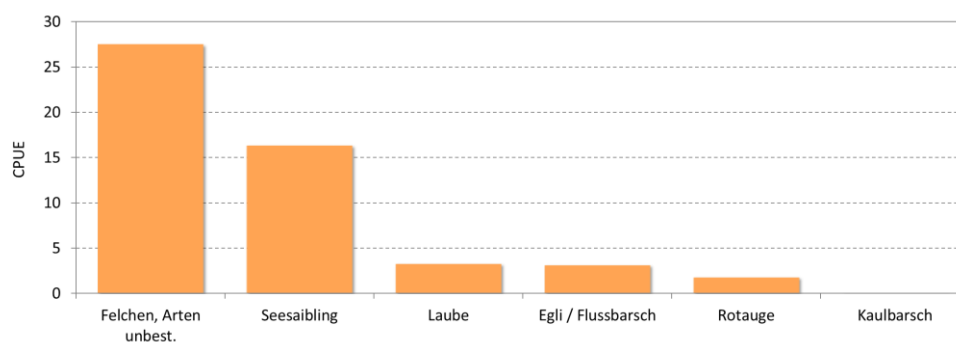


Abbildung 4-9. Die Anzahl der im Vierwaldstättersee mit den Vertikalnetzen gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche und die Habitatverfügbarkeit. (CPUE = Anzahl Fische pro Quadratmeter Netz pro 14 Stunden Einsatz). In der Grafik wurden nur die häufigsten Arten wiedergegeben. Da das Pelagial im Vierwaldstättersee den meisten Raum einnimmt, sind die Dichten der Litoralarten über den gesamten See gesehen sehr gering.

4.3.3 Museumssammlung

Tabelle 4-2. Liste der im naturhistorischen Museum von Bern und an der Eawag (Kastanienbaum) aufbewahrten Fische nach Art und Ökotyp.

327 Individuen im
Museum

Sammlung		Museum	Eawag
Fischart			
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>	42	3
Bartgrundel	<i>Barbatula barbatula</i>	4	
Barbe	<i>Barbus barbus</i>	1	
Felchen, Arten unbest.	<i>Coregonus spp</i>	8	5
Albeli	<i>Coregonus zugensis</i>	25	
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	13	
Hecht	<i>Esox lucius</i>	12	1
Stichling	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	2	
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	3	1
Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernua</i>	24	35
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	6	2
Trüsche	<i>Lota lota</i>	27	1
Egli / Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	36	234
Elritze	<i>Phoxinus phoxinus</i>	31	
Rotauge	<i>Rutilus rutilus</i>	29	83
Forelle	<i>Salmo trutta fario</i>	16	
Seeforelle	<i>Salmo trutta lacustris</i>	1	
Seesaibling	<i>Salvelinus umbla</i>	26	5
Seesaibling, benthisches	<i>Salvelinus umbla "benthisches"</i>	3	
Seesaibling, limnetisches	<i>Salvelinus umbla "limnetisches"</i>	6	
Seesaibling, tiefwasser zwerg	<i>Salvelinus umbla "tiefwasser zwerg"</i>	4	
Zander	<i>Sander lucioperca</i>	1	1
Alet	<i>Squalius cephalus</i>	3	
Schleie	<i>Tinca tinca</i>	4	
Total		327	371

Von den gefangenen Fischen wurden 327 in die Museumssammlung des Naturhistorischen Museums der Burgergemeinde Bern aufgenommen (Tabelle 4-2). Weitere 371 genetische Proben wurden in die Sammlungen der Eawag aufgenommen. Schliesslich wurden insgesamt 831 standardisierte Fotos erstellt.

4.3.4 Vielfalt der aktuellen und historischen Fischgesellschaft

Im Rahmen des "Projet Lac" wurden im Vierwaldstättersee insgesamt 21 Fischarten gefangen. Ob während des "Projet Lac" auch seltene Felchenarten, wie Edelfisch und Bodenbalchen gefangen wurden, könnte mit genetischen Methoden untersucht werden; so der Fang eines möglichen Edelfisches (Abbildung 4-11) und das mögliche Vorhandensein von Bodenbalchen in den juvenilen Felchen. Bei den Seesaiblingen wurde eine beeindruckende Vielfalt von Formen gefangen. Eine vertiefte genetische Untersuchung ist aber erforderlich, um beurteilen zu können, ob es sich dabei um mehrere Arten handelt. Bis heute wurden im Vierwaldstättersee insgesamt 33 taxonomisch beschriebene Fischarten dokumentiert (Tabelle 4-3). Von den 28 historisch heimischen Fischarten konnten im Vierwaldstättersee bei den Befischungen des „Projet Lac“ im Jahr 2014 nur 18 nachgewiesen werden. Erfreulich ist der Fang von Tiefseesaiblingen (Abbildung 4-10; den wir allerdings nicht als eigene Art zählen da noch keine genetische Daten vorliegen). Bekannt, jedoch beim Fischatlas (CSCF) und in den Fangstatistiken bisher noch nicht dokumentiert, war das Vorkommen des Stichlings, der im Rahmen des „Projet Lac“ in der Luzernerbucht nachgewiesen wurde.



Abbildung 4-10. Foto eines in der Tiefe des Urnersees gefangenen sommerlaichenden Tiefseesaiblings (Weibchen mit Eiern).

Zehn der historisch im Vierwaldstättersee dokumentierten Fischarten konnten im Rahmen des „Projet Lac“ nicht gefangen werden: Der Lachs, ist im Vierwaldstättersee bereits länger ausgestorben. Auffallend ist das Fehlen verschiedener an Fliessgewässer gebundene Arten wie der Nase, des Bachneunauges, des Strömers, des Schneiders und der Äsche. Dies obwohl verschiedene Mündungen von Zuflüssen elektrisch und mit Netzen befischt wurden. Der Aal, das Bachneunauge (Reussdelta), der Karpfen, die Rotfeder und die Blicke wurden in den letzten Jahren im Vierwaldstättersee noch nachgewiesen, sie sind aber eher selten. Somit fehlt der Nachweis im „Projet Lac“ von insbesondere an Fliessgewässer gebundene Arten, was auf Probleme im Zusammenhang mit den Zuflüssen des Vierwaldstättersees hinweist.

Mit drei Arten, bei denen insbesondere der Kaulbarsch recht häufig ist, ist der Anteil an eingeführten bzw. standortfremden Arten mässig. Stichlinge und Zander konnten jeweils nur an je einem Standort nachgewiesen werden. Die 2014 im Vierwaldstättersee dokumentierte Anzahl der Fischarten weicht somit von der ursprünglichen Artenzahl ab, insbesondere, weil verschiedene Arten nicht nachgewiesen werden konnten. Dies vermutlich, weil sie im See selten vorkommen.

Tabelle 4-3. Fischartenliste für den Vierwaldstättersee. Die Fänge des „Projet Lac“ sind rot umrandet. Die Arten wurden aufgrund der historischen Literatur als einheimisch oder eingeführt bzw. gebietsfremd eingestuft. * Ein einzelner Edelfisch, dessen Identifikation aber nicht eindeutig ist. Hudson et al. (2017) haben kürzlich gezeigt, dass der Schwebbalchen aus zwei ökologisch und genetisch unterscheidbaren Arten besteht. Dieses ist in der Tabelle noch nicht berücksichtigt. Auch ist der Alpnacherfelchen in der Tabelle nicht aufgeführt, da er weitgehend auf den Alpnachersee beschränkt zu sein scheint. Die Artenzahlen am Ende der Tabelle beinhalten nur die taxonomisch beschriebenen Arten.

Familie	Art	Status	1827 Hartmann	1905 Nüfer	2003 Fischatlas	Fischereistatistik (seit 1970)	2014 Projet Lac
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Aal	1	1	1	1	
Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i>	Sonnenbarsch			1		
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	Groppe	1	1	1		1
Cyprinidae	<i>Abramis brama</i>	Brachsmen	1	1	1	1	1
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Schneider		1	1		
	<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	1	1	1	1	1
	<i>Barbus barbus</i>	Barbe	1	1	1		1
	<i>Blicca bjoerkna</i>	Blicke	1	1	1		
	<i>Chondrostoma nasus</i>	Nase	1	1	1		
	<i>Cyprinus carpio</i>	Karpfen	1	1	1	1	
	<i>Gobio gobio</i>	Gründling		1	1		1
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	1	1	1		1
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze		1	1		1
	<i>Rutilus rutilus</i>	Rotauge	1	1	1	1	1
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder		1	1		
	<i>Squalius cephalus</i>	Alet	1	1	1		1
	<i>Telestes souffia</i>	Strömer		1	1		
	<i>Tinca tinca</i>	Schleie	1	1	1	1	1
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Hecht	1	1	1	1	1
Gadidae	<i>Lota lota</i>	Trüsche	1	1	1	1	1
Gasterosteidae	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Stichling					1
Nemacheilidae	<i>Barbatula barbatula</i>	Bartgrundel	1		1		1
Percidae	<i>Gymnocephalus cernua</i>	Kaulbarsch			1		1
	<i>Perca fluviatilis</i>	Egli / Flussbarsch	1	1	1	1	1
	<i>Sander lucioperca</i>	Zander			1	1	1
Petromyzontidae	<i>Lampetra planeri</i>	Bachneunauge	1				
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Forelle	1	1	1	1	1
	<i>Salmo salar</i>	Atlantischer Lachs	1	1			
	<i>Coregonus sp.</i>	Felchen		1	1	1	
	<i>Coregonus nobilis</i>	Edelfisch		1			*
	<i>Coregonus zugensis</i>	Albeli	1	1		1	1
	<i>Coregonus "Bodenbalchen"</i>	Bodenbalchen	1				
	<i>Coregonus "Schwebbalchen"</i>	Schwebbalchen					1
	<i>Salvelinus umbla</i>	Seesaibling	1	1	1	1	1
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Regenbogenforelle			1	1	
Thymallidae	<i>Thymallus thymallus</i>	Äsche	1	1	1	1	
Anzahl einheimische Arten			28	22	25	14	18
Anzahl gebietsfremde Arten			5	0	4	2	3
Total Anzahl Arten			33	22	29	16	21

4.3.5 Artenvielfalt der Felchen

Aufgrund vorangegangener Arbeiten (Hudson et al. 2017) sind aus dem Vierwaldstättersee, einschliesslich dem Alpnachersee, sechs verschiedene Felchenarten bekannt (Abbildung 4-11). Der Alpnacherfelchen (*Coregonus sp.* „Alpnacherfelchen“) mag in seinem Auftreten auf den Alpnachersee beschränkt sein. Sichere Nachweise des Edelfisches (*C. nobilis*) aus jüngeren Jahren liegen uns nur aus dem Vitznauerbecken vor. Die anderen vier Arten können alle zusammen im Kreuztrichter gefunden werden, kommen aber auch in anderen Seebecken vor. Bei diesen handelt es sich um das pelagische Albeli (*C. zugensis*), den pelagischen Schwebbalchen (*C. sp.* „pelagic intermediate“), das benthische Schwebbalchen (*C. sp.* „benthic intermediate“) und der4 grosse Bodenbalchen (*C. sp.* „Bodenbalchen“; früher oft *C. suidteri* zugeordnet). Alle dies Arten sind Winterlaicher. Ihr

Vorkommen in verschiedenen Tiefenzonen zur Laichzeit ist in Hudson et al. (2017) beschrieben. Ursprünglich gab es zusätzlich sommerlaichende Albeli, diese sind aber in den letzten Jahrzehnten kaum noch nachgewiesen worden.

Die im Rahmen des „Projet Lac“ gefangenen Felchen konnten anhand von morphologischen Merkmalen zumindest zweier dieser Arten zugewiesen werden, dem Albeli und einem der beiden Schwebbalchen (Abbildung 4-11), wobei die grosse Mehrzahl Albeli waren. Darüber hinaus könnte es sich bei einem Exemplar um einen Edelfisch handeln. Adulte Bodenbalchen wurden keine gefangen. Allerdings ist es möglich, dass sich einzelne Bodenbalchen unter den 31 subadulten Tieren befinden. Um das zu ermitteln, wären genetische Analysen notwendig.

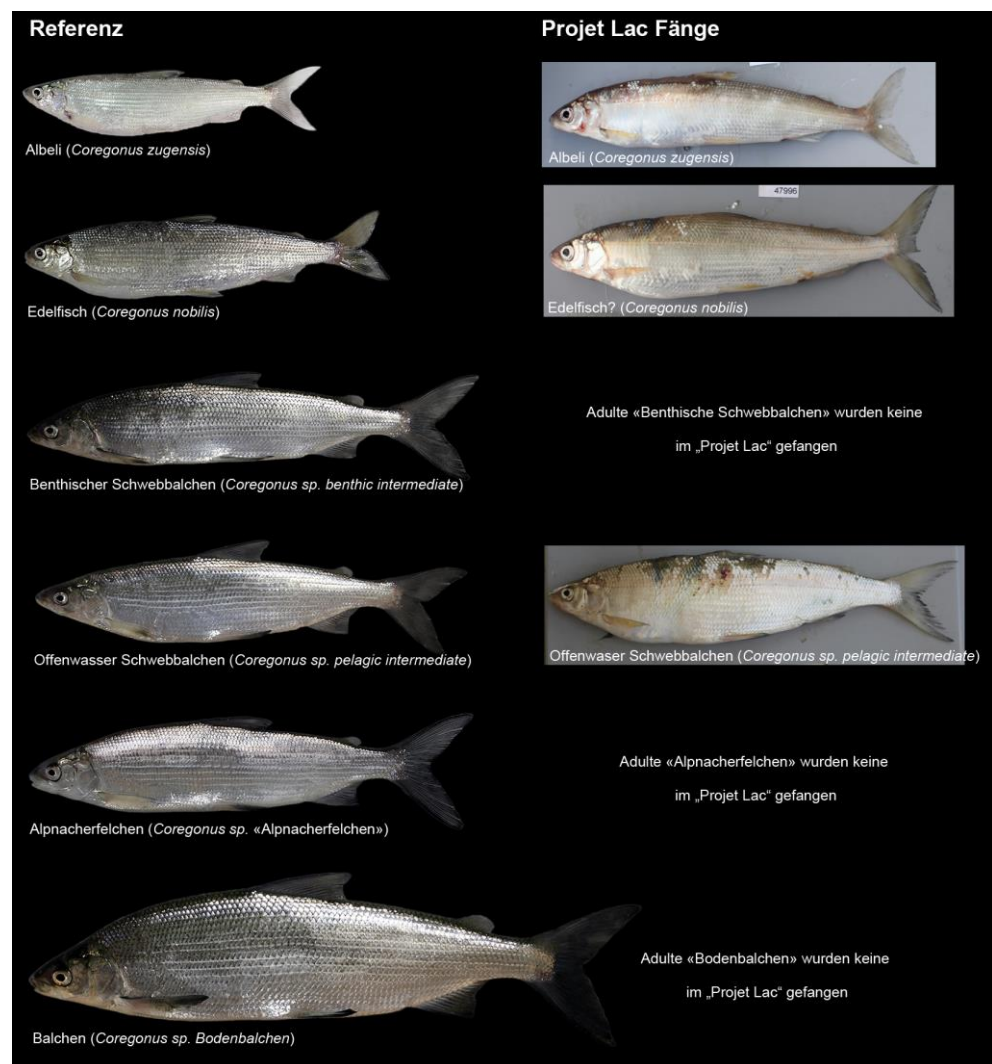


Abbildung 4-11. Fotos der Felchenarten des Vierwaldstättersees. Links, genetisch verifizierte Referenzindividuen aus Forschungsprojekten der Eawag (Hudson et al. 2017). Rechts, Fische aus den Befischungen des „Projet Lac“.

4.3.6 Formenvielfalt der Seesaiblinge

Aufgrund vorhergegangener Arbeiten der Eawag an den Saiblingen des Vierwaldstättersees sind vier verschiedene Ökotypen des Saiblings aus diesem See bekannt: ein grosser benthischer Typ, ein kleiner limnetischer Typ (sommerlaichend), ein Tiefwasserzergsaibling (sommerlaichend) und eine zweite Tiefwasserzergform, die nur aus dem Urnersee bekannt ist. Die im Rahmen des „Projet Lac“ gefangenen Seesaiblinge konnten morphologisch mindestens drei dieser Ökotypen zugewiesen werden (Abbildung 4-12). Um zu beurteilen, ob es sich hier um verschiedene genetisch differenzierte Arten handelt, wären weitere Proben und genetische Analysen notwendig.

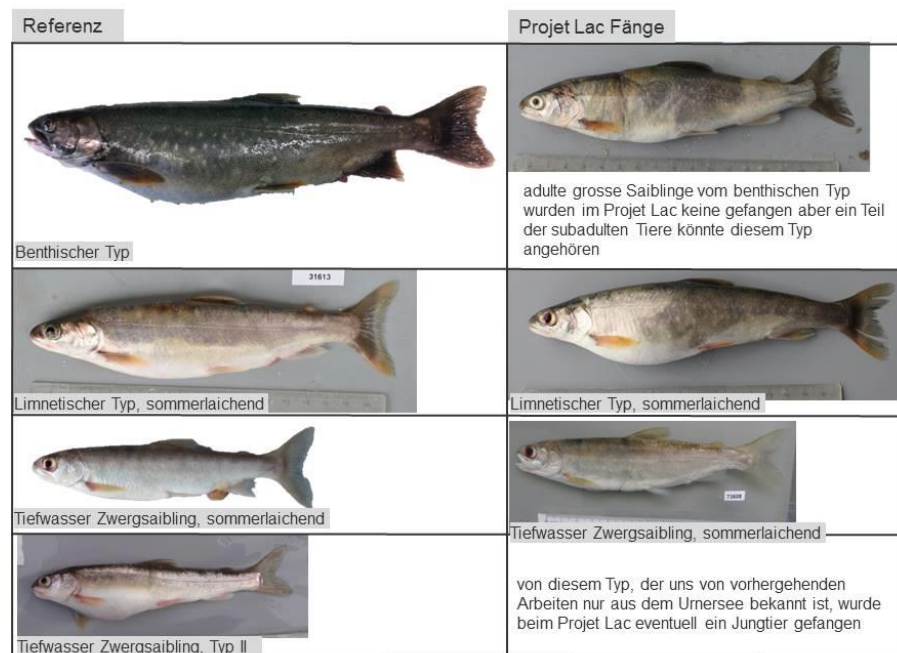


Abbildung 4-12. Fotos der Saiblingsökotypen des Vierwaldstättersees. Links, Referenzindividuen aus anderen Forschungsprojekten der Eawag. Rechts, Fische aus den Befischungen des „Projet Lac“.

4.3.7 CEN-Netze und Konfidenzintervalle

Die Resultate der Konfidenzintervalle für CEN-Netze, berechnet anhand von 10'000 Permutationen (Tabelle 4-4) 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 % bei den meisten Arten als signifikant betrachtet werden. Insgesamt entspricht diese Varianz den Erwartungen der CEN prEN 14757 Norm. Zukünftige repräsentative Befischungen können somit statistisch mit denen von 2014 verglichen werden.

Tabelle 4-4. Zusammenstellung der Konfidenzintervallschätzung für die Fänge mit den CEN-Netzen. Angegeben sind die minimale Anzahl (Min), der beobachtete Wert (beobachtet) und die maximale Anzahl (Max) der geschätzten Fischfänge, die pro Art für den gegebenen Aufwand erwartet werden können, die untere Konfidenzgrenze (5 %), und die obere Konfidenzgrenze (95 %).

Fischart		Anzahl Fische				
Deutsch	Lateinisch	Min.	0.05	beobachtet	0.95	Max.
Egli / Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	610	839	1237	1682	2307
Rotaugen	<i>Rutilus rutilus</i>	45	73	119	167	228
Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernua</i>	35	57	81	107	138
Seesaibling	<i>Salvelinus umbla</i>	21	35	49	64	76
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	22	31	41	53	63
Felchen, Arten unbest.	<i>Coregonus spp</i>	1	7	21	38	65
Trüsche	<i>Lota lota</i>	3	8	13	19	25
Hecht	<i>Esox lucius</i>	0	2	7	12	19
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>	4	4	6	8	10
Bartgrundel	<i>Barbatula barbatula</i>	0	0	4	10	16
Zander	<i>Sander lucioperca</i>	0	0	4	9	16
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	0	0	1	3	5
Total Anzahl		741	1056	1583	2172	2968

4.3.8 Habitatnutzung

4.3.8.1 Pelagial – Benthos

Gewisse Fischarten bevorzugen die pelagischen, andere eher die benthischen Habitate in einem See. Im Fall des Vierwaldstättersees war - wie in allen bisher untersuchten Seen - die grösste Artenvielfalt in den benthischen Netzen zu finden. In der Abundanz waren dabei im Benthos insbesondere die Flussbarsche, die Rotaugen und die Kaulbarsche dominant. Ungewöhnlich selten für einen nährstoffarmen See waren Hasel. Im Pelagial sind überraschend viele aber kleine Flussbarsche gefangen worden (Abbildung 4-13).

Die Biomasse verteilt sich im Benthos etwas ausgeglichener auf verschiedene Fischarten. Trotzdem dominieren die Flussbarsche und die Rotaugen die Fischbiomasse. Dazu kommen, dank ihres Körpergewichtes, der Hecht und die Trüsche. Im Pelagial sind die Felchen dank ihrem Körpergewicht dominant vor den Flussbarschen.

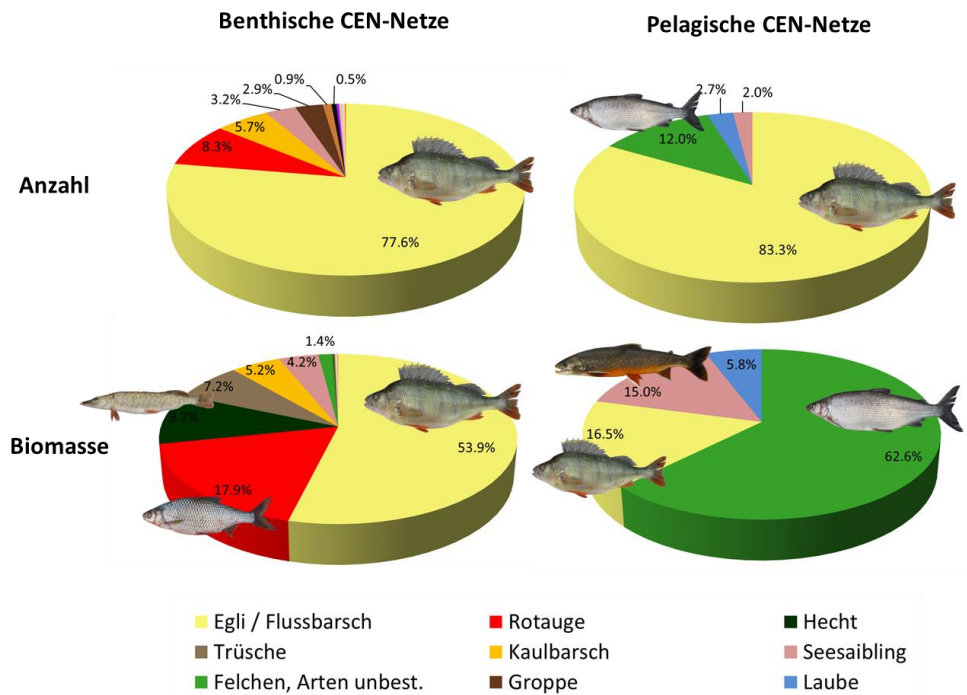


Abbildung 4-13. Nutzung der pelagischen und benthischen Habitate des Vierwaldstättersees durch die verschiedenen Fischarten (CPUE und BPUE) (CEN-Netze).

4.3.8.2 Tiefenverteilung der Fänge

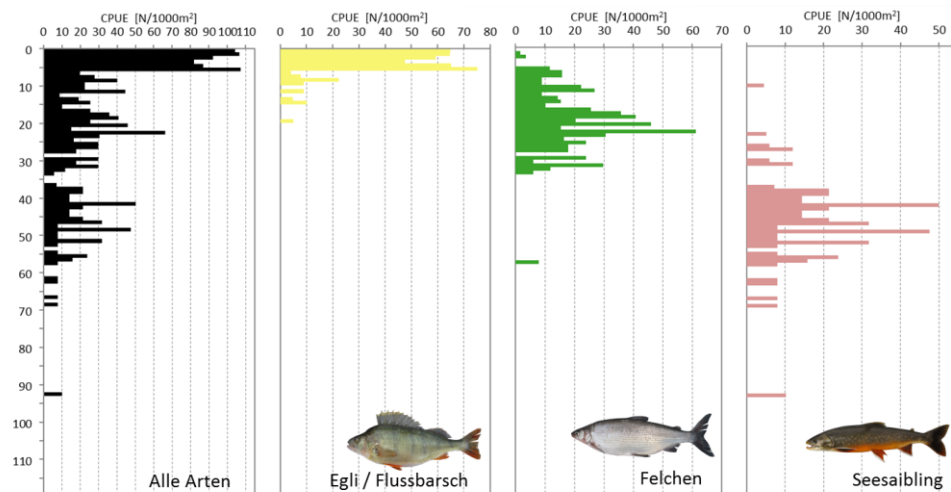


Abbildung 4-14. Die Anzahl der im Vierwaldstättersee gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für alle pelagischen Vertikalnetze. Unterhalb von 93m wurden keine Fische in den Vertikalnetzen gefangen.

Im Vierwaldstättersee fanden wir die höchste Fischdichte über alle Fischarten zusammen in einer Tiefe von 0-10 m (Abbildung 4-14). Dies ist hauptsächlich auf die Tiefenverteilung der Flussbarsche und anderer Uferfischarten zurückzuführen. Interessant ist die Beobachtung, dass im Pelagial (Fänge der Vertikalnetze) die Nischen der Flussbarsche, Felchen und Seesaiblingen entlang des Tiefengradienten

deutlich getrennt sind, jedenfalls zur Zeit der Befischung, also im Sommer 2014 (Abbildung 4-14).

In den CEN-Bodennetzen ist ebenfalls gut zu erkennen, in welcher grossen Tiefe die Seesaiblinge im Sommer im See leben (Abbildung 4-15). Ebenfalls positiv auffallend ist, dass Groppen und Trüschchen die gesamte Seetiefe besiedeln. Allerdings fingen wir Groppen in grossen Tiefen ausschliesslich im Urnersee (bis 215 m) und im östlichen Bereich des Gersauerbeckens (bis 179 m). In diesen Bereichen des Vierwaldstättersees kann im Sommer also die gesamte Seetiefe von Fischen besiedelt werden (genügend Sauerstoff).

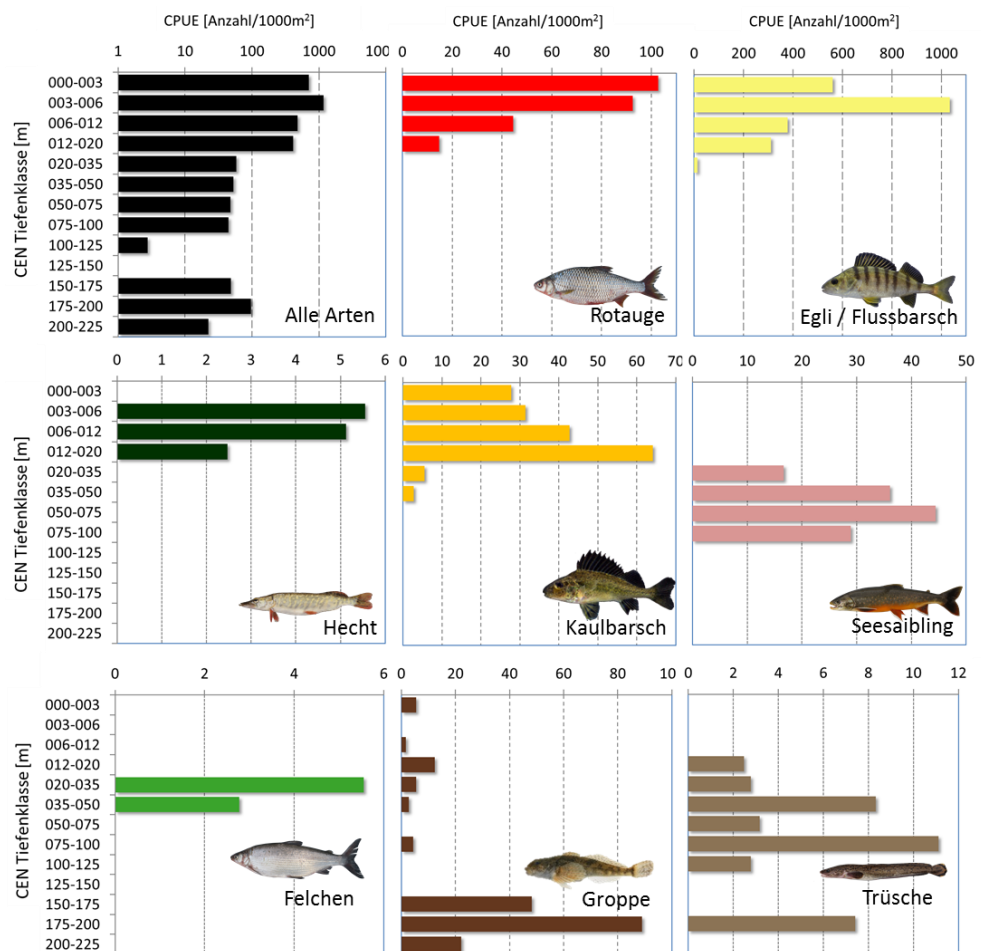


Abbildung 4-15. Die Anzahl der im Vierwaldstättersee gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für verschiedene Tiefengruppen der CEN-Norm für benthische CEN-Netze. Hinweis: in der Grafik «Alle Arten» ist der CPUE auf logarithmischer Skala aufgetragen.

4.3.8.3 Uferhabitate

Die Netzbefischung der Uferhabitate zeigt, dass die Anzahl Fische und die verschiedenen Fischarten nicht zufällig in den Habitaten verteilt sind. Wie auch in anderen Alpenrandseen wurden insbesondere in strukturierten Habitaten wie Kies,

Geröll und Zuflüssen viele Fischarten und eine hohe Anzahl Fische gefangen (Abbildung 4-16).

Insgesamt und bezogen auf die Artenvielfalt komplementieren sich die Elektrofischfänge und die Netzfänge 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 können einige Arten mit Netzen nicht effizient gefangen werden (z.B. Groppe, Schmerle, Aal, Elritze). Insbesondere Elritzen wurden im Vierwaldstättersee ausschliesslich durch Elektrofischerei gefangen.

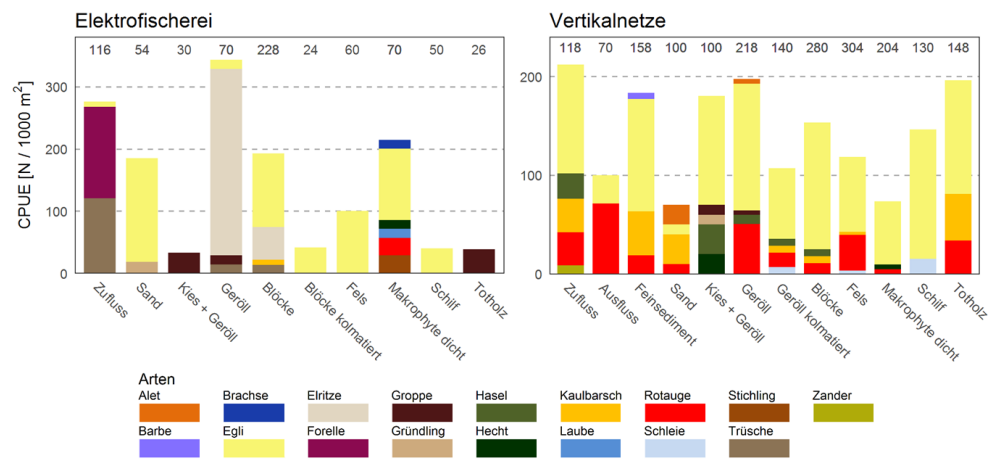


Abbildung 4-16. Anzahl Fische für den Aufwand bzw. Netzfläche korrigiert, die bei den verschiedenen Habitats gefangen wurden. Die Zahl oberhalb der Säulen entspricht der befischten Fläche bzw. der Netzfläche. Bei den Elektrofangdaten und für das Habitat Schilf sind 3420 Lauben/ 1000 m² nicht dargestellt, um die Grafik lesbar zu gestalten.

4.3.9 Geografische Verteilung der Fänge

Eher homogene Verteilung

Bei der geografischen Verteilung konnten verschiedene Muster festgestellt werden. So scheinen die nicht heimischen Kaulbarsche insbesondere in der Luzerner- und Horwerbuch des Sees sehr häufig zu sein, während sie im Gersauerbecken und im Urnersee eher selten sind (Abbildung 4-17). Flussbarsche hingegen sind im ganzen See recht homogen verteilt. Die Seesaiblinge waren ebenfalls im nordwestlichen Teil des Sees häufiger. In grösseren Tiefen (unterhalb 70 m) wurden Saiblinge vorwiegend im Gersauerbecken gefangen (9 im Gersauerbecken, 1 im Urnersee, 3 im Vitznauerbecken, 0 im Kreuztrichter). Auch Gropfen wurden unterhalb 100 m Tiefe nur im Urnersee (18 Tiere bis in 215 m Tiefe) und Gersauerbecken (10 auf 179 m Tiefe) gefangen. Felchen (vorwiegend Albeli) scheinen im Sommer 2014 im Kreuztrichter häufiger zu sein als im Gersauerbecken und dem Urnersee. Elritzen haben wir insbesondere und in grosser Zahl am Fuss des Bürgenstocks gefangen (Blöcke und Geröll als Substrat). Insgesamt also eine geographisch sehr heterogene Verteilung der einzelnen Fischarten.

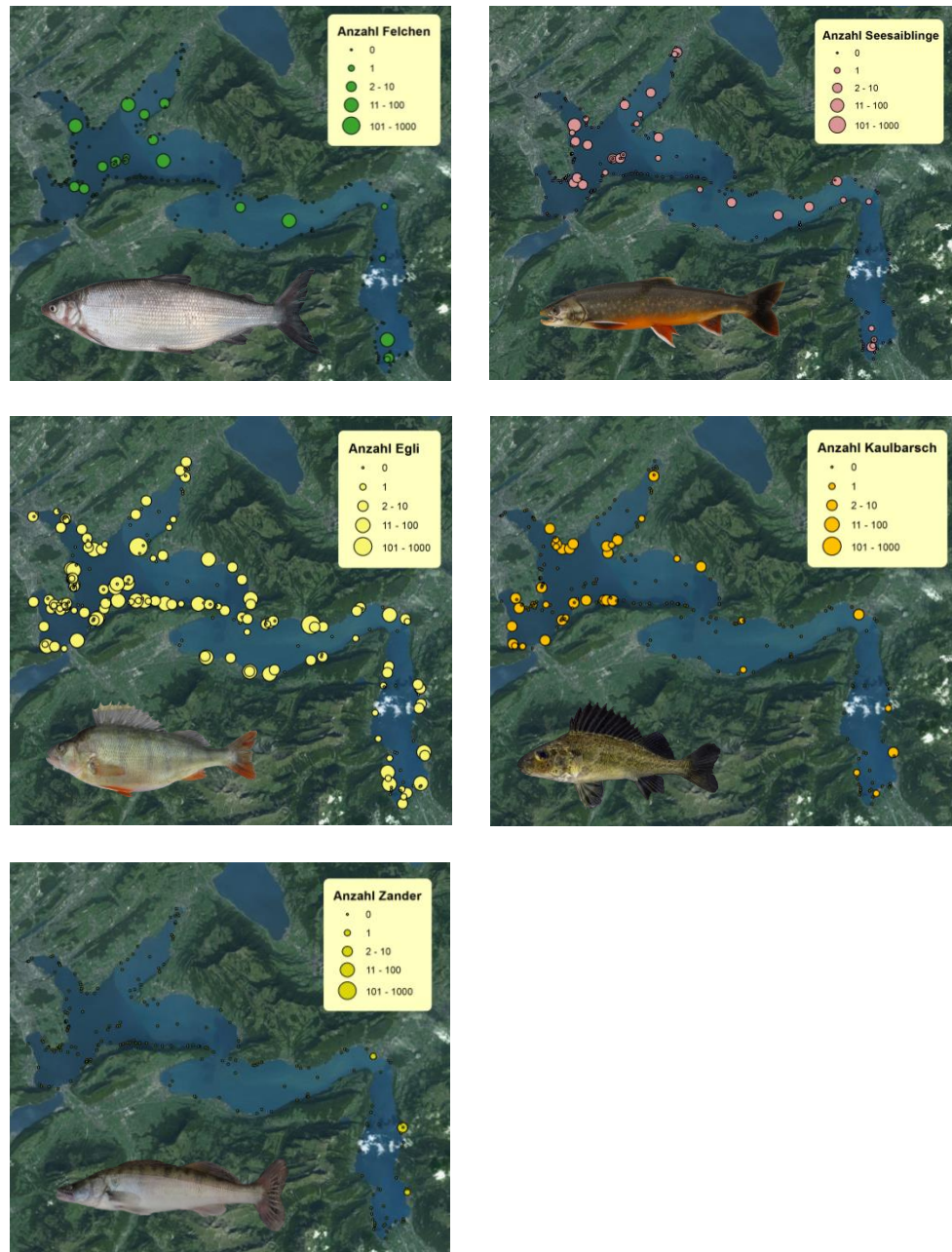


Abbildung 4-17. Geografische Verteilung der Felchen-, Seesaibling-, Egli / Flussbarsch-, Kaulbarsch-, Zanderfänge im Vierwaldstättersee (alle Protokolle).

4.3.10 Echolotaufnahmen

Die Echolotaufnahmen erfassen die Fischdichte im Pelagial des Sees. Sie zeigen wie die Befischungsdaten, dass im Vitznauerbecken eine erhöhte Dichte und Biomasse (Abbildung 4-18) an Fischen vorhanden ist und bestätigen somit die Resultate der Netzfänge. Anhand der Signalstärke kann auch die Grösse der beobachteten Fische geschätzt werden. Es zeigt sich dabei, dass ein Grossteil der Fische kleiner als 30 cm ist (für weitere Resultate der Echolot-Untersuchungen siehe Anhang 8.5).

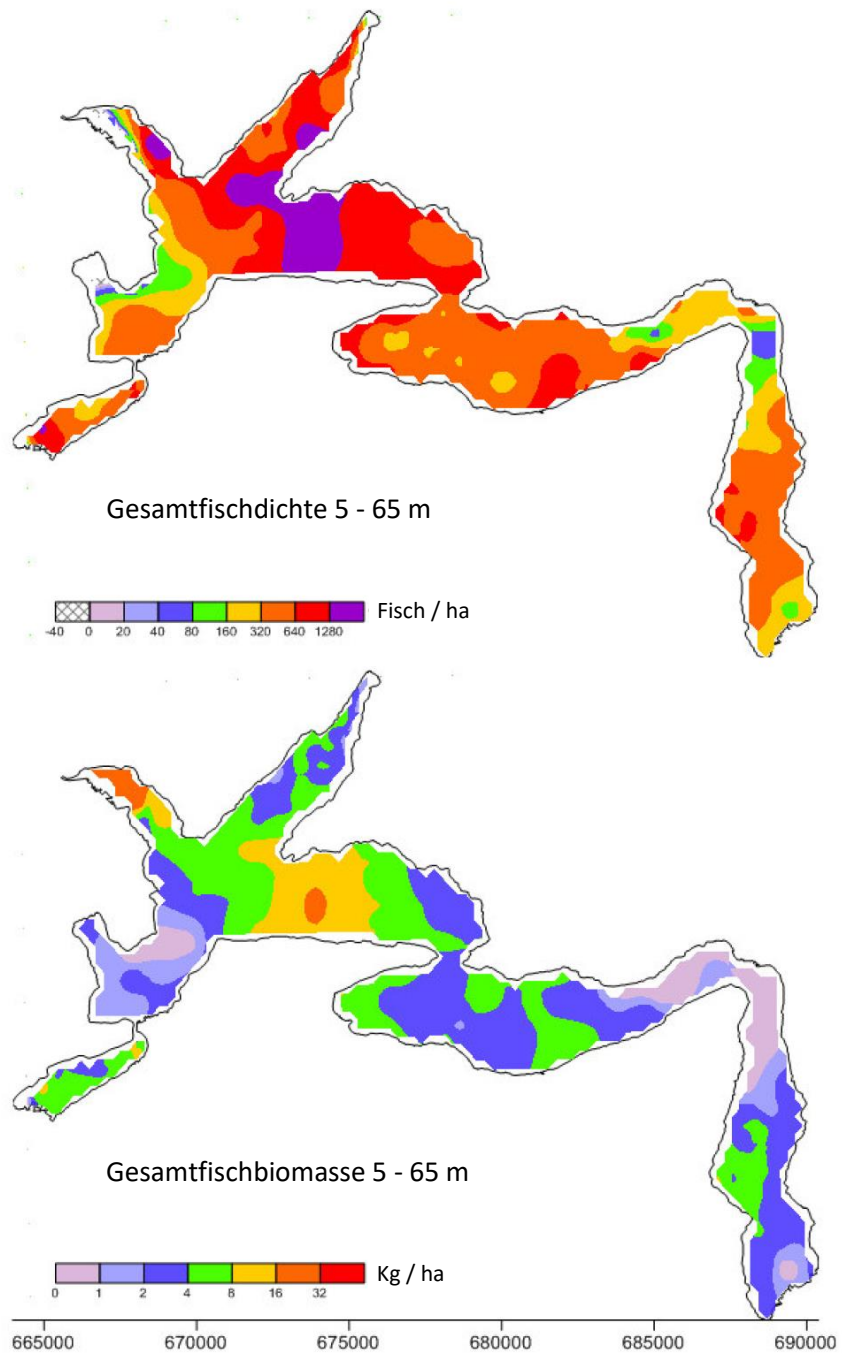


Abbildung 4-18. Horizontales Verteilungsmuster der Gesamtfischdichte (oben) und der Gesamtbiomasse (unten) in den Wassertiefen 5-65 m des Vierwaldstättersees. Massstab: Schweizer Landeskoordinaten.

4.4 Fischereiliche Aspekte

4.4.1 Fischfangstatistik

Die Entwicklung der Berufsfischerfänge im Vierwaldstättersee zeigt, dass die Berufsfischerfänge von teilweise bis zu 400 Tonnen pro Jahr in den 70er und 80er Jahren bis 2016 auf ca. 100 Tonnen pro Jahr abgenommen haben (mögliche Änderung des Befischungsdrucks nicht berücksichtigt) (Abbildung 4-19, Abbildung 4-20). Die Albeli machen den grössten Teil des Fangertrags aus. Cypriniden machten insbesondere während der eutrophen Phase einen signifikanten Anteil des Ertrags aus. Flussbarsch- und Seesaiblingsfänge wiesen in den Perioden 1964-1976 respektive 1975-1992 die höchsten Fangerträge aus. Die Balchen- und Seeforellenfänge zeigen keine offensichtlichen Veränderungen im Ertrag auf. Bei der Interpretation dieser Entwicklungen ist zu berücksichtigen, dass sich auch die Rahmenbedingungen der Berufsfischerei geändert haben (Anzahl Berufsfischerpatente, erlaubte Maschenweiten, Netztypen, Subventionen vom Bund für Cyprinidenfänge usw.).

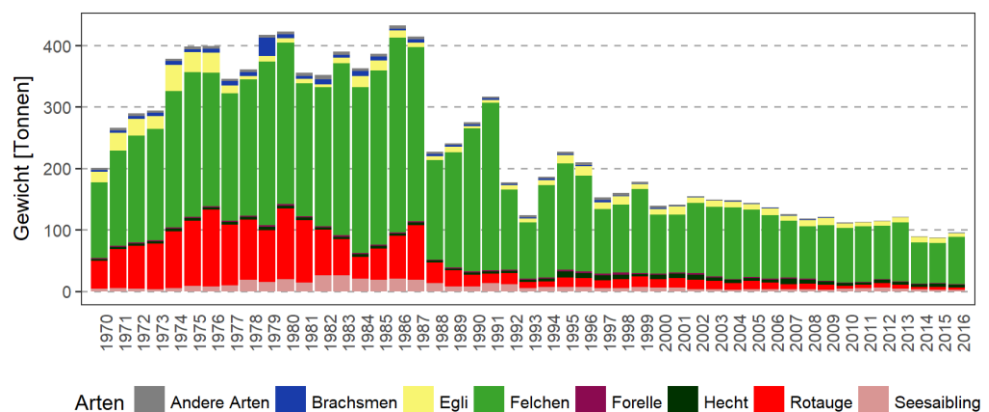


Abbildung 4-19. Entwicklung der Berufsfischerfänge im Vierwaldstättersee von 1970-2016 (Daten: BAFU).

Im Gegensatz zu den Berufsfischerfängen haben sich die Anglerfänge in den letzten Jahren kaum verändert (Abbildung 4-21). Die Fangstatistiken reichen aber nur bis ins Jahr 1995 zurück. Der Fangrückgang bei den Berufsfischern hat aber grösstenteils zwischen Ende der achtziger und Anfangs der neunziger Jahre stattgefunden. Der Vergleich zwischen den Fangstatistiken zeigt, dass die Angler im Verhältnis mehr Flussbarsche und weniger Felchen fangen als die Berufsfischer. Auch andere Arten wie Hecht, und Trüsche sind in den Fängen der Angler anteilmässig häufiger vertreten, was mit grosser Wahrscheinlichkeit mit dem Befischungsdruck der Angler auf diese Arten zusammenhängt.

Fangertrag Berufsfischer in Tonnen

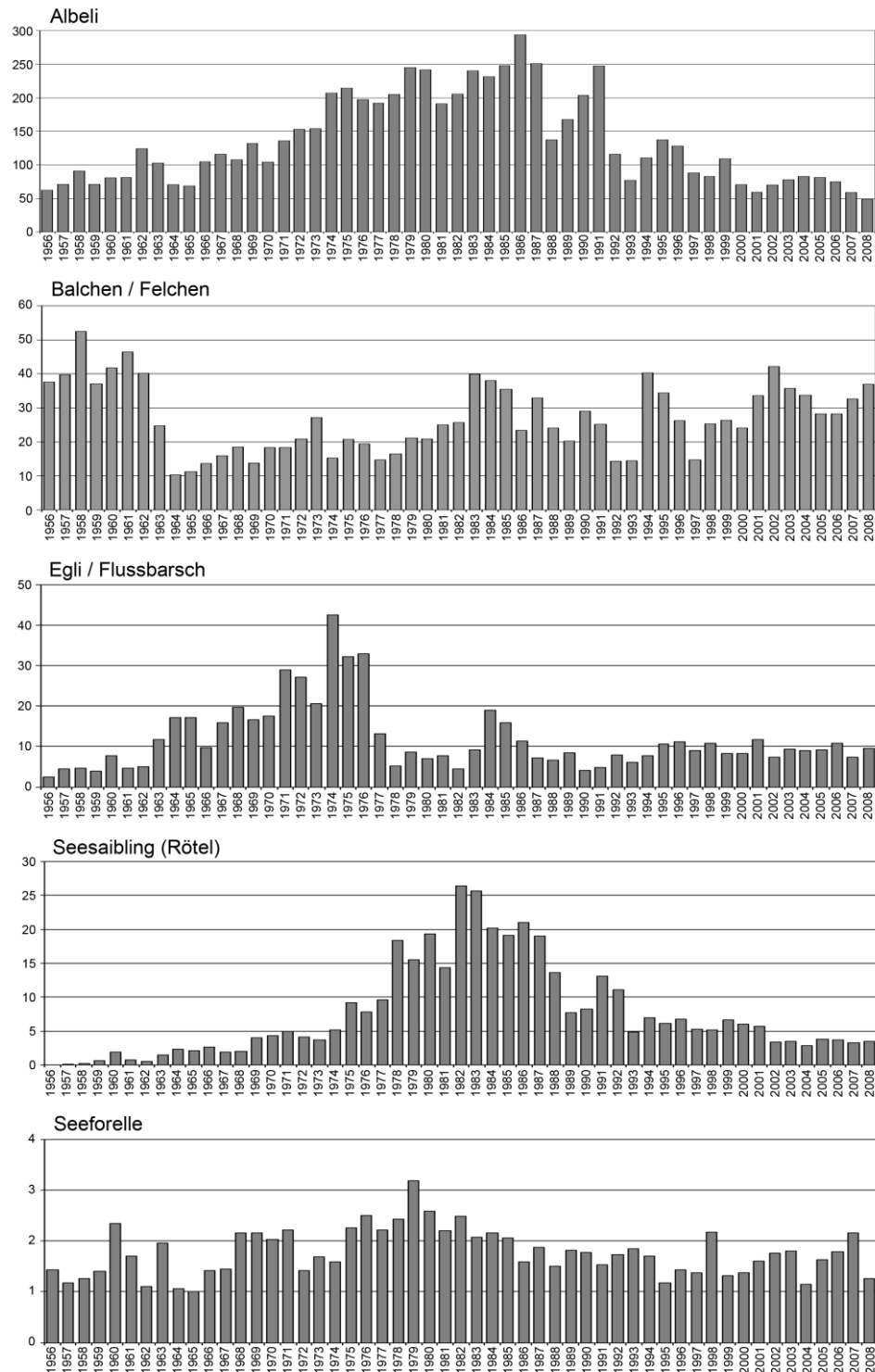


Abbildung 4-20. Entwicklung der Berufsfischerfänge im Vierwaldstättersee von 1956-2008 (Abbildungen angepasst von <https://lawa.lu.ch/NJF/fischerei/berufsfischerei/Fangstatistik>).

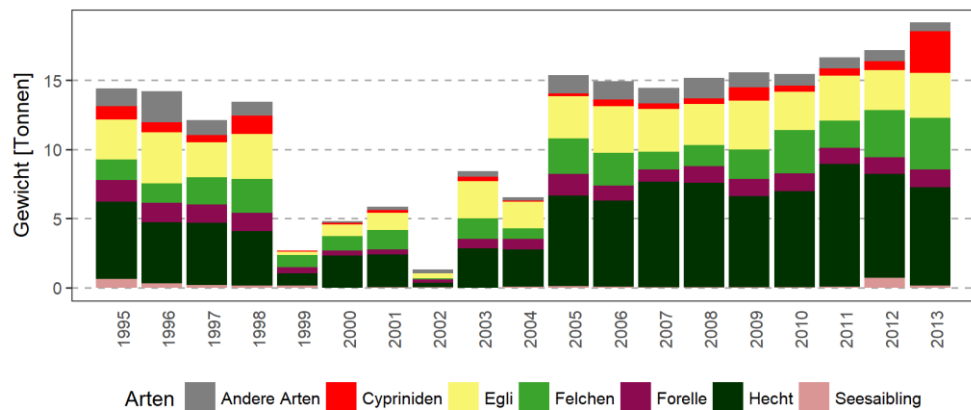


Abbildung 4-21. Entwicklung der Angelfischerfänge im Vierwaldstättersee von 1995-2013 (Daten: BAFU; Angelfischerei-Daten von 1999 - 2004 sind unvollständig).

*Standardisierte
Fänge sind nützlich*

Beim Vergleich der relativen Häufigkeiten der Fischarten in den Berufsfischerfängen und den „Projet Lac“-Daten zeigt sich, dass die effektiv im See vorhandene Biomasse der Felchen (ausgehend vom Gesamtfischbestand) bei zu Grunde legen der Fischereistatistiken überschätzt und die der anderen Fischarten, insbesondere auch der Seesaiblinge, unterschätzt wird (Abbildung 4-22). Diese Resultate zeigen somit, dass standardisierte erforderlich sind, um eine quantitativ vergleichbare Einschätzung der Fischartenzusammensetzung zu erhalten und deren Veränderungen über die Zeit zu erfassen.

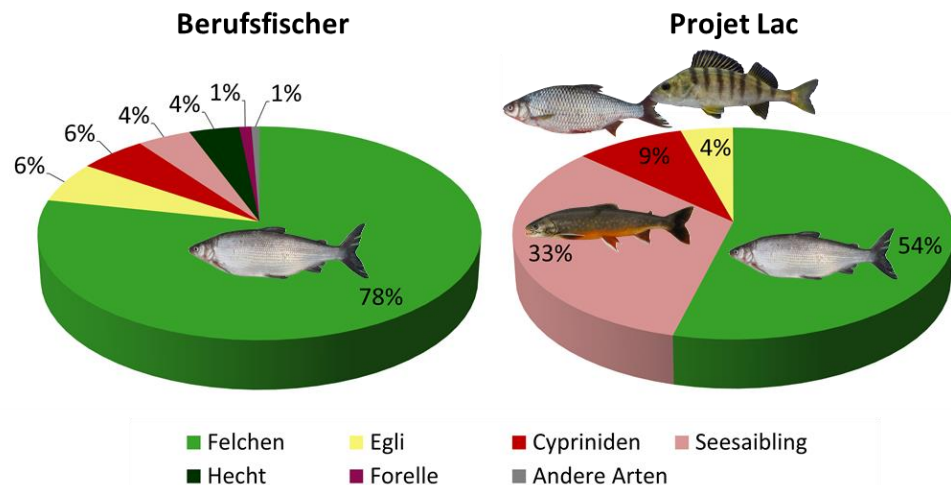


Abbildung 4-22. Verteilung der Berufsfischerfänge von 2010-2013 und der standardisierten „Projet Lac“-Fänge (BPUE korrigiert für Habitatverfügbarkeit) auf die verschiedenen Fischarten.

4.4.2 Längenselektivität der Maschenweiten

Die Längenselektivität der Netze ist abhängig von der Fischart (Regier und Robson 1966; Fujimori und Tokai 2001). Bei den Felchen und den Flussbarschen sind die Maschenweiten eher grössenselektiv als beispielsweise für Seeforellen und Seesaiblinge. Anhand der standardisierten Fänge kann für jede Fischart und für jede Maschenweite die Grössenverteilung und somit die Grössenselektivität bestimmt

werden (Abbildung 4-23). Welche Fischlängen durch die erlaubten Maschenweiten gefangen werden, ist in Abbildung 4-24 dargestellt. Die Längenselektivität für Felchen, die im Projekt Lac gefangen wurde, ist vergleichbar mit der gefunden von Müller (2015).

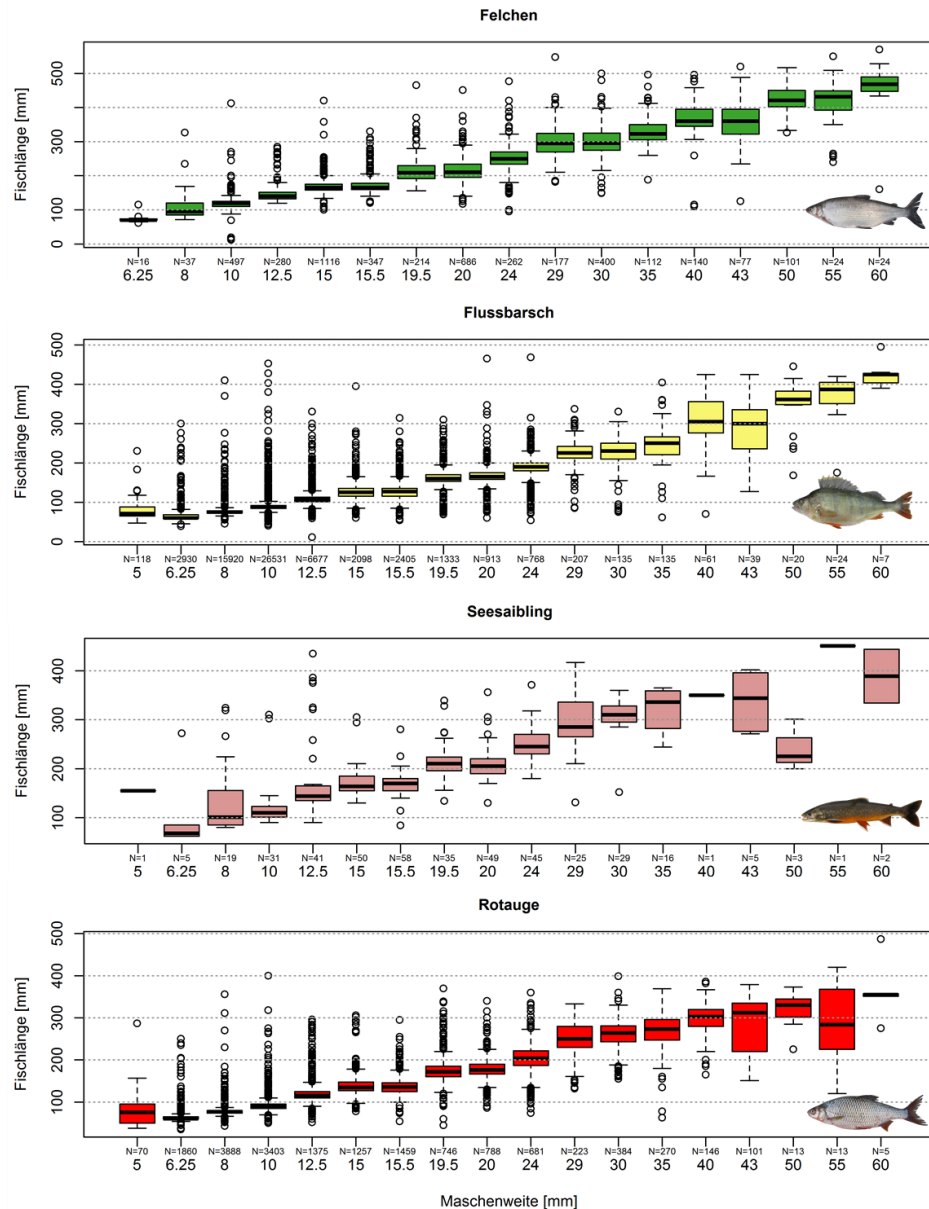


Abbildung 4-23. Längenselektivität der Netzmaschen (alle Fänge „Projet Lac“ 2010-2014) dargestellt als Boxplot (Länge der gefangenen Fische, Y-Achse) pro Maschenweite (X-Achse). Für diese Grafik wurden alle Daten von sämtlichen Seen, die im Rahmen von „Projet Lac“ befischt wurden, herangezogen. Alle Felchenarten wurden gemeinsam als „Felchen“ dargestellt.

4.4.3 Längenverteilung

4.4.3.1 Längenhistogramme

Die Längenverteilungen (Abbildung 4-24) zeigen, dass bei den Felchen kleine Fische eher wenig in den Fängen vertreten sind. Da dies in vielen Seen der Fall ist, liegt die Vermutung nahe, dass dies an der geringen Fangwahrscheinlichkeit der kleinen Felchen in Netzen liegen könnte. Ein schwacher 0+ Jahrgang kann jedoch nicht ausgeschlossen werden (siehe auch Bericht Müller 2015). Grossfelchen sind anteilmässig im See selten. Bei den Flussbarschen sind genügend Jungfische vorhanden, wie auch bei den Seesaiblingen.

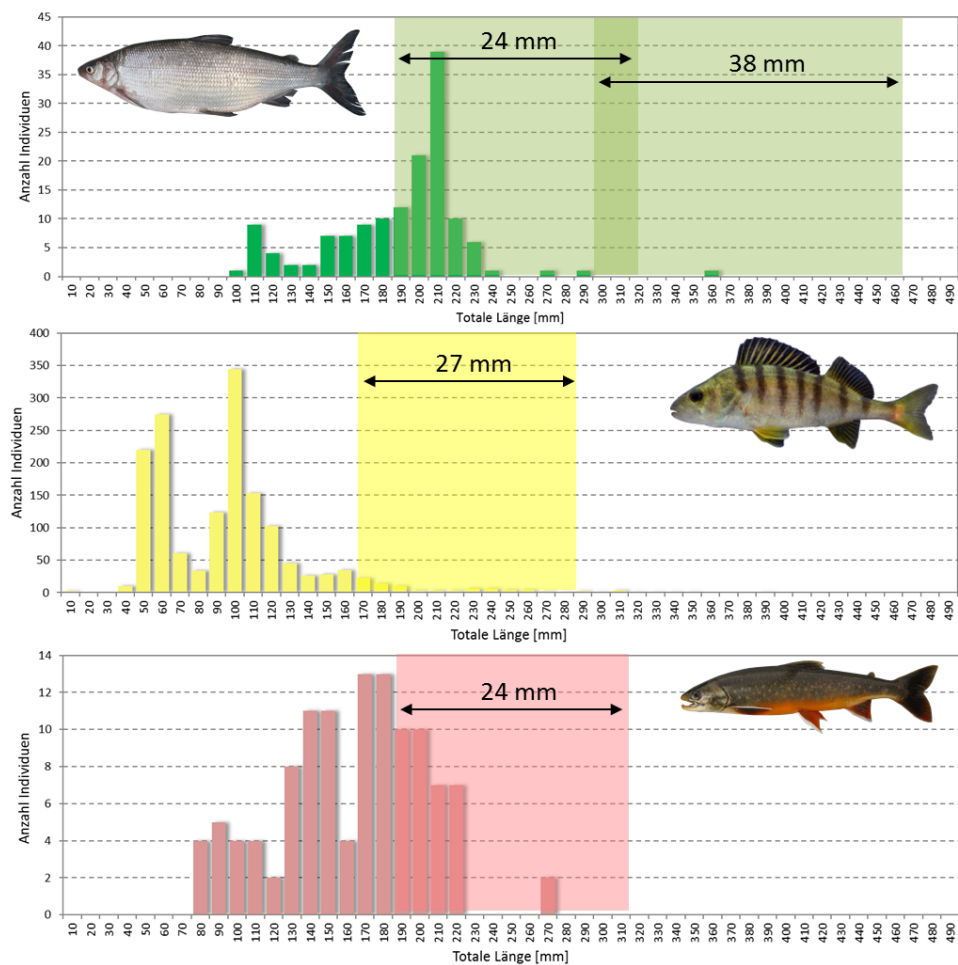


Abbildung 4-24. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche und der Seesaiblinge der „Projet Lac“-Fänge. Der farbige Hintergrund entspricht den Fischlängen, die mit den erlaubten Maschenweiten im Vierwaldstättersee gefangen werden.

4.4.4 Vergleich der Fänge mit anderen Seen

Ein Felchen-/
Seesaiblingsee

Im Vergleich mit anderen Alpenrandseen und aufgrund der für die Netzfläche und die Verfügbarkeit der Habitate korrigierten Fänge entspricht der Vierwaldstättersee heute einem „Felchen/Seesaiblingsee“ (Abbildung 4-25). Rein

von der Fischartenzusammensetzung her gesehen liegt der Vierwaldstättersee also zwischen einem typischen Seesaibling- und einem typischen Felchensee. Zwei Tatsachen führen zu diesem Bild. Einerseits ist die Seesaiblingdichte im Vierwaldstättersee sehr hoch. Es ist die höchste Dichte, die bisher in allen im „Projet Lac“ befischten Alpenrandseen beobachtet wurde. Höhere Saiblingsdichten wurden nur in Bergseen wie dem Lago di Poschiavo und dem Silsersee beobachtet. Andererseits ist die in den „Projet Lac“-Fängen beobachtete Felchenbiomasse im Vierwaldstättersee für einen nährstoffarmen See vergleichsweise gering. Diese ist beispielsweise im Thuner- oder Walensee deutlich höher.

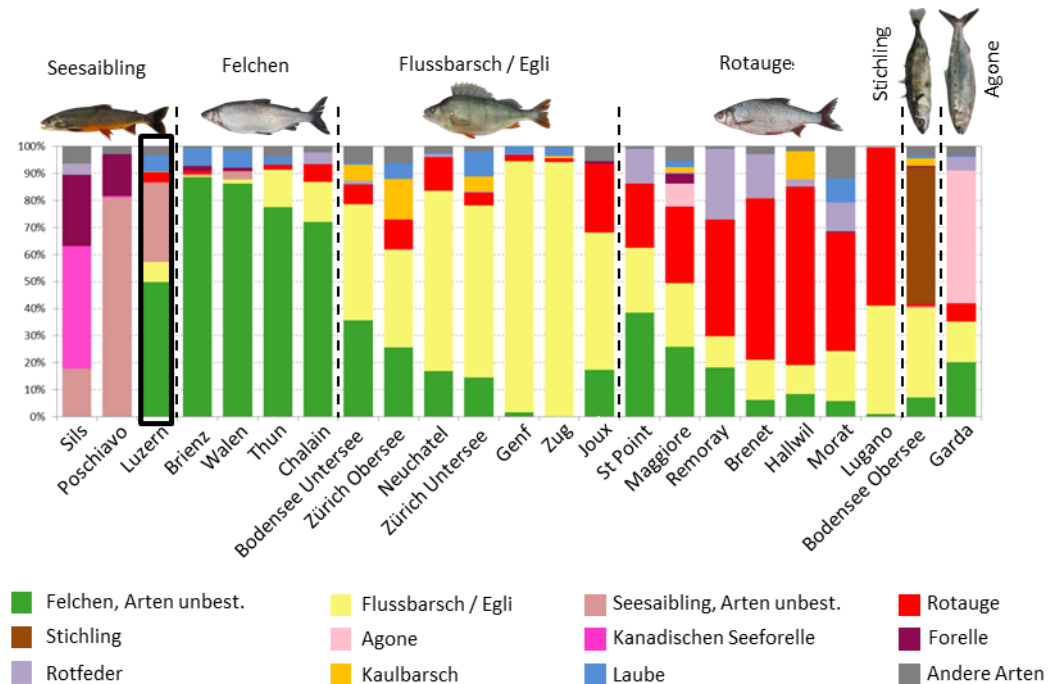


Abbildung 4-25. Vergleich der für den Aufwand und für die Fläche korrigierten Fänge (Anzahl Fische) in den verschiedenen Seen. Dargestellt sind die „Projet Lac“-Fänge der Vertikalnetze.

4.4.5 Vergleich Berufsfischerfänge

Die Fänge der Berufsfischer, die im Mittel zwischen 2011 und 2014 gefangen wurden, fallen im Vierwaldstättersee (korrigiert für die Seefläche) im Vergleich mit anderen Alpenrandseen eher gering aus. Sie sind aber interessanterweise höher als im Walen-, Thuner- und Brienzersee. Gemäss „Projet Lac“ weisen die letzteren drei Seen alle eine höhere Felchendichte auf (Abbildung 4-26). Dieser Unterschied könnte auf einen höheren Befischungsdruck durch Berufsfischer im Vierwaldstättersee zurückzuführen sein. Leider liegen über den Aufwand, den die Berufsfischer betreiben, kaum Daten vor, die einen Vergleich ermöglichen würden. Der Aufwand der Berufsfischer wird ab 2017 protokolliert.

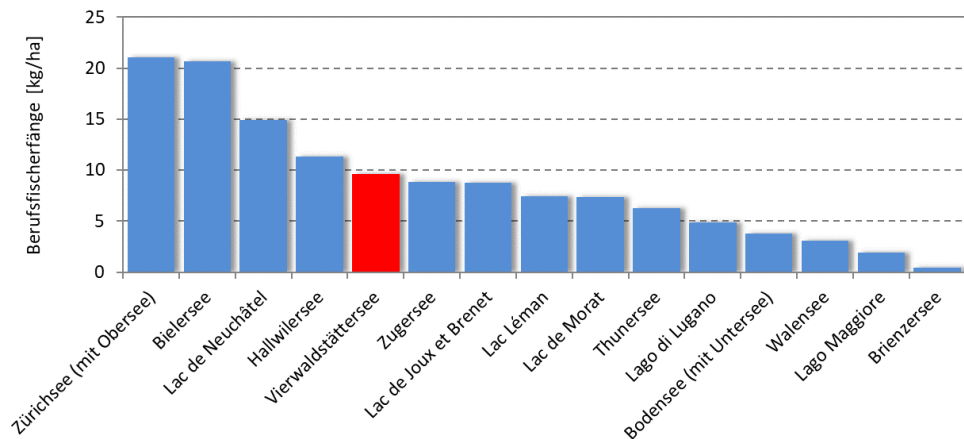


Abbildung 4-26. Mittelwert der Berufsfischerfänge von 2011-2014 in verschiedenen Schweizer Seen (Daten BAFU) korrigiert für die Seefläche aber nicht für den Fischereiaufwand.

5 Synthese

5.1 Ökologische Bewertung des Vierwaldstättersees

5.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften des Sees

*Vierwaldstättersee
ist heute wieder
nährstoffarm*

Der Vierwaldstättersee ist heute ein tiefer, nährstoffarmer und eher oberflächenwarmer Alpenrandsee. Zumindest im Urnersee und im Gersauerbecken wird die gesamte Seetiefe knapp ausreichend mit Sauerstoff versorgt und bietet somit dort auch in den grössten Tiefen des Sees eine Lebensgrundlage für Fische. So besiedeln heute verschiedene Fischarten die Tiefen von Urnersee und Gersauerbecken (Seesaibling, Groppe, Trüsche). Jedoch konnten Felchen, die früher im Vierwaldstättersee im Sommer in Tiefen von 100 m und mehr laichten, nicht in solchen Tiefen wiedergefangen werden. Ausserdem konnten Saiblinge im Projet Lac unterhalb 100 m Tiefe nicht gefangen werden. Einer der zwei Tiefwasserökotypen konnte in vorhergegangenen Arbeiten der Eawag ausschliesslich im Urnersee gefangen werden. Es ist also möglich, dass die Tiefwasserzone zwischen den Becken unterschiedlich gut bewohnbar ist. Dieses mag mit der unterschiedlichen Sauerstoffversorgung zusammen hängen (siehe Abbildung 4-3).

5.1.2 Uferhabitate

*Attraktives und
diverses Litoral
aber stark
verbautes Ufer*

Die Habitatkartierung des Vierwaldstättersees zeigt, dass litorale Habitate (Mündungen von Zuflüssen, Blöcke und Kieselhabitate), die für Fische attraktive Habitate darstellen, gut vertreten sind. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Vierwaldstättersee hoch. Allerdings sind ca. 59% des Seeufers anthropogen stark beeinflusst und naturfern. Betroffen sind insbesondere die Flachuferbereiche und Mündungsbereiche der Zuflüsse. Die Verbauungen stehen dabei grösstenteils in

Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer, Siedlungen und Fliessgewässerkorrekturen. Bei dem naturnah erhaltenen Ufer handelt es sich hauptsächlich um Steilufer am Bürgenstock, in Seelisberg und im Urnersee. Im Vergleich mit anderen Schweizer Seen ist das Ufer des Vierwaldstättersees also stark verbaut. Von der zukünftigen Aufwertung der Seeufer werden also auch die Fische profitieren können.

5.1.3 Artenvielfalt

Viele ursprüngliche Arten fehlen

Mindestens 21 Fischarten wurden im Rahmen dieses Projektes im Vierwaldstättersee gefangen. Davon sind 18 Arten im Vierwaldstättersee heimisch und drei sind standortfremd. Zehn der ursprünglich im Vierwaldstättersee beschriebenen Arten konnten im Rahmen des „Projet Lac“ jedoch nicht gefangen werden. Auffallend dabei ist, dass viele an Fliessgewässer gebundene Arten im Fang des „Projet Lac“ fehlen. In der Tat sind die Mündungsbereiche vieler Zuflüsse des Vierwaldstättersees stark verbaut und naturfremd, was die Absenz dieser Arten erklären könnte. Umfassende Revitalisierungen der Fliessgewässerdeltas und ein Verzicht der Ausbaggerungen im Mündungsbereich könnte diese Situation verbessern.

Im Vierwaldstättersee wurden die Fänge im Pelagial deutlich durch Felchen, Seesaiblinge und Flussbarsche dominiert. Im Litoral wurden insbesondere Flussbarsche, Rotaugen und Kaulbarsche gefangen. Die Fischartenzusammensetzung im Vierwaldstättersee zeigt heute sowohl Züge eines Seesaiblings- als auch eines Felchensees.

Fang von Tiefseesaiblingen

Erfreulich war der Fang von mehreren Individuen des sommerlaichenden Tiefseesaiblings. Inwiefern es sich dabei um eine eigenständige Art handelt und ob noch weitere Seesaiblingsarten im See vorkommen bedarf weiterer Untersuchungen. Die Taxonomie der Felchen wird derzeit formell bearbeitet.

5.2 Fischereiliche Nutzung

Fischerei beruht auf Felchen- und Flussbarschfang

Die Berufsfischerei im Vierwaldstättersee basiert hauptsächlich auf dem Fang der Felchen. Ebenfalls wichtig, aber weniger bedeutend sind die Flussbarsche, Rotaugen, Seesaiblinge, Hechte, Trüschchen und Seeforellen. Die Fischerei des Vierwaldstättersees ist somit, nebst den gesetzlichen Rahmenbedingungen, stark abhängig von der Entwicklung der Felchenbestände. In den letzten Jahren sind die Fänge der Berufsfischer zurückgegangen. Dies ist insbesondere auf einen Rückgang der Albelifänge zurückzuführen. Inwiefern dies auch auf eine geringere Dichte dieser Art im See, oder nur auf ein reduziertes Wachstum zurückzuführen ist (siehe Limnos/Müller 2015), kann nicht beurteilt werden. Die „Projet Lac“-Daten stellen aber eine standardisierte Aufnahme der Felchendichte und Grössenzusammensetzung dar, die in Zukunft, zusätzlich zum Felchenmonitoring

(Müller 2015) und den Fischerfängen, für die Abschätzung von Veränderungen im Bestand herangezogen werden kann.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ein einzigartiges Ökosystem

Der Vierwaldstättersee ist ein Beispiel für einen ursprünglich nährstoffarmen See, der im Verlauf des letzten Jahrhunderts mässig durch Nährstoffe belastet wurde. Dabei hat sich die Fischartenvielfalt im See erheblich verändert. Die früher häufige Felchenart wie der Edelfisch (Steinmann 1950) ist fast ausgestorben und heute nach wie vor nur sehr selten im See zu finden. Auch von den sommerlaichenden Albeli können heute nur wenige Exemplare gefangen werden. Im Rahmen unserer Befischungen wurde kein einziger laichreifer Felchen (Edelfisch oder Albeli) gefangen, und überhaupt wurde kein einziger Felchen in Tiefen unter 60 m gefangen. Dies zeigt, dass sich die Felchen von den Konsequenzen der Eutrophierung noch nicht vollends erholt haben. Weiter haben Neozoen bzw. standortfremde Arten wie Kaulbarsche, Zander und Stichlinge den See besiedelt, wobei insbesondere der Kaulbarsch eine grosse Dichte aufweist.

Heute, nach der Re-oligotrophierung entspricht die Fischfauna des Vierwaldstättersees der eines oligotrophen Sees. Die Felchen sind im Vergleich mit anderen oligotrophen Seen, die nie eutrophiert waren (Brienzer-, Thuner-, und Walensee), eher untervertreten, während die Seesaiblinge zahlreich vorkommen. Die genauen Ursachen dafür können im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden.

Schliesslich zeigen die Befischungen des „Projet Lac“ im Vierwaldstättersee wie wichtig standardisierte Aufnahmen in allen Habitaten sind, um ein breites Spektrum der Fischgesellschaft zu erfassen. Mit diesen konnten z.B. aus dem Vierwaldstättersee zuvor nicht dokumentierte Arten (Stichling) nachgewiesen und die historisch beschriebenen Formen des Tiefseesaiblings (Steinmann 1948) wiederentdeckt werden. Sie konnten aufzeigen, dass die Besiedlung der grossen Tiefen zwischen den Seebecken sehr unterschiedlich ist. Weiterhin zeigen die Befischungen auch ein ganz anderes Bild der Artenzusammensetzung als die Berufsfischerfänge, die stark auf Felchen ausgelegt sind. Letztlich erlauben diese Methoden, die verschiedenen Seen zu vergleichen. Anhand dieser ersten Aufnahme wird es in Zukunft möglich sein, die Entwicklung der Fischfauna im Vierwaldstättersee weiter zu verfolgen.

7 Literaturverzeichnis

- Alexander TJ, Vonlanthen P, Periat G, Degiorgi F, Raymond J-C, Seehausen O (2015) Estimating whole-lake fish catch per unit effort. *Fisheries Research* 172: 287-302
- Appelberg M, Berquist B, Degerman E (2000) Using fish to assess environmental disturbance of Swedish lakes and streams - a preliminary approach. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27: 311-315
- Balk H, Lindsem T (2014) Sonar4 and Sonar5-Pro - Post processing systems - Operator manual version 6.0.3, Norway
- Comité Européen de Normalisation (2005) Wasserbeschaffenheit - Probenahme von Fisch mittels Multi-Maschen-Kiemennetzen (CEN 14757). Europäisches Komitee für Normung, Brussels
- Degiorgi F (1994) Étude de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre- Prospection multisaisonnière de 6 plan d'eau de l'Est de la France à l'aide de filets verticaux, Université de Besançon Besançon, France
- Degiorgi F, Grandmottet JP, Chanteloube P, Pardon C, Rousselet A, Suat JF, Vandelle JP (1993a) Relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre: définition des modalités spatiales d'une stratégie de prélèvement reproductible. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 329: 199-220
- Degiorgi F, Guillard J, Grandmottet PJ, Gerdeaux D (1993b) Les techniques d'étude de l'ichtyofaune lacustre utilisée en France: bilan et perspectives. *Hydroécologie appliquée* 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., Lyon
- Fujimori Y, Tokai T (2001) Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fisheries Science* 67: 644-654
- Hartmann GL (1827) *Helvetische Ichthyologie: oder ausführliche Naturgeschichte der in der Schweiz sich vorfindenden Fische*. Drell, Füßli and Compagnie, Zürich, Schweiz
- Hudson AG, Lundsgaard-Hansen B, Lucek K, Vonlanthen P, Seehausen O (2017) Managing cryptic biodiversity: Fine-scale intralacustrine speciation along a benthic gradient in Alpine whitefish (*Coregonus* spp.). *Evolutionary Applications* 10: 251-266
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27
- Kottelat M, Freyhof J (2007) *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat Cornol
- Mehner T (2006) Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches. *Fisheries Research* 79: 162-169
- Müller R (2015) Fischereibiologische Untersuchungen an den Felchen des Vierwaldstättersees. im Auftrag der Fischereikommission Vierwaldstättersee
- Nufer W (1905) *Fische des Vierwaldstättersees und ihre Parasiten*. Der Hohen Philosophischen Fakultät, Universität Basel, Buchdruckerei J. Schill, Luzern
- Regier HA, Robson DS (1966) Selectivity of Gill Nets Especially to Lake Whitefish. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 23: 423-&

- Simmonds J, MacLennan D (2008) Fisheries acoustics: theory and practice. Wiley-Blackwell, Oxford
- Steinmann P (1948) Schweizerische Fischkunde. Der Seesaibling und seine Abarten. H.R. Sauerländer
- Steinmann P (1950) Monographie der schweizerischen Koregonen: Beitrag zum Problem der Entstehung neuer Arten. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 12: 109-112
- Zaugg B, Stucki P, Pedroli J-C, Kirchhofer A (2003) Fauna Helvetica 7 - Pisces Atlas. Centre Suisse de Cartographie de la Faune

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 1000 m² Netzfläche oder Elektrofischfangfläche).

Fischart		CPUE (Anzahl Individuen / 1000 m ²)					BPUE (kg / 1000 m ²)				
Deutsch	Lateinisch	CEN benthisch	CEN pelagisch	Elec.	Vertikal benthisch	Vertikal pelagisch	CEN benthisch	CEN pelagisch	Elec.	Vertikal benthisch	Vertikal pelagisch
Egli / Flussbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	239.9	57.9	44.5	106.3	3.2	3.191	0.089	0.551	4.664	0.177
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>	0.4	1.9	139.3	-	1.2	0.008	0.027	0.082	-	0.025
Rotaugen	<i>Rutilus rutilus</i>	25.7	-	1.6	25.9	0.8	1.050	-	0.002	1.917	0.066
Seesaibling	<i>Salvelinus umbla</i>	9.9	1.4	-	-	3.1	0.356	0.075	-	-	0.163
Zugerbüeli	<i>Coregonus zugensis</i>	0.4	1.9	-	-	4.8	0.049	0.120	-	-	0.278
Kaulbarsch	<i>Gymnocephalus cernua</i>	17.5	-	1.6	14.1	0.1	0.301	-	0.015	0.205	-
Groppe	<i>Cottus gobio</i>	8.9	-	2.4	1.1	0.1	0.038	-	0.008	0.005	-
Elritze	<i>Phoxinus phoxinus</i>	-	-	26.7	-	-	-	-	0.049	-	-
Felchen, alle Arten	<i>Coregonus spp subadults</i>	-	6.5	-	-	0.8	-	0.244	-	-	0.014
Trüsche	<i>Lota lota</i>	2.8	-	14.6	-	-	0.447	-	0.677	-	-
Forelle	<i>Salmo trutta</i>	-	-	13.8	-	-	-	-	0.807	-	-
Hecht	<i>Esox lucius</i>	1.5	-	0.8	1.7	0.1	0.562	-	0.006	0.279	0.003
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>	-	-	-	6.2	-	-	-	-	0.276	-
Zander	<i>Sander lucioperca</i>	0.9	-	-	0.6	-	0.006	-	-	0.004	-
Bartgrundel	<i>Barbatula barbatula</i>	0.9	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-
Schwebbalchen	<i>Coregonus sp Schwebbalchen</i>	0.2	-	-	-	0.1	0.033	-	-	-	0.026
Gründling	<i>Gobio gobio</i>	0.2	-	0.8	0.6	-	0.002	-	0.001	0.004	-
Alet	<i>Squalius cephalus</i>	-	-	-	1.7	-	-	-	-	1.845	-
Schleie	<i>Tinca tinca</i>	-	-	-	1.7	-	-	-	-	2.273	-
Edelfisch	<i>Coregonus cf nobilis</i>	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	0.007
Stichling	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	-	-	1.6	-	-	-	-	0.001	-	-
Brachsmen	<i>Abramis brama</i>	-	-	0.8	-	-	-	-	0.001	-	-
Total		309	69	249	160	14	6.0	0.6	2.2	11.5	0.8

8.2 Resultate der Permutationen

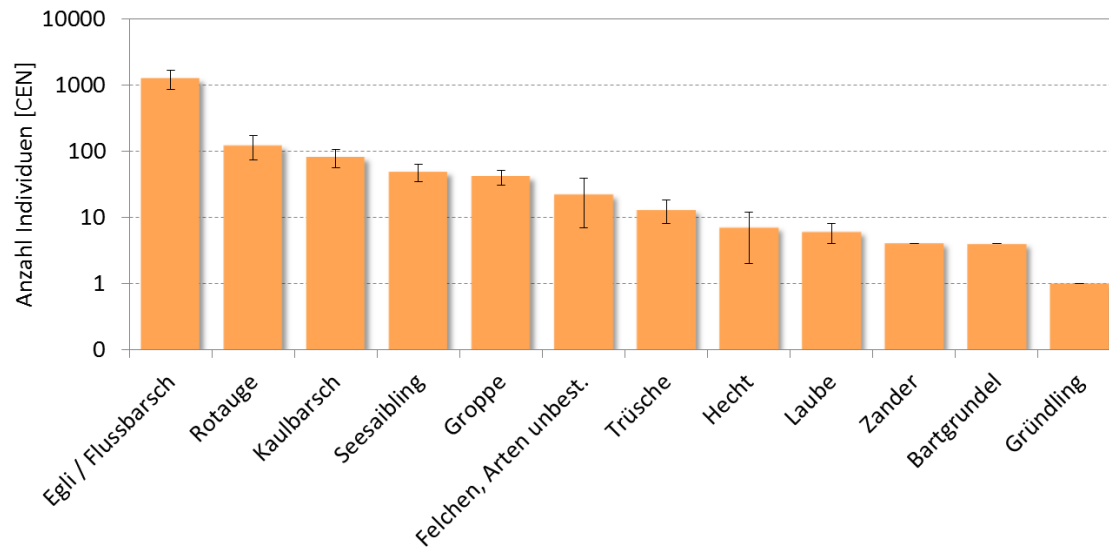


Abbildung 8-2. Konfidenzintervalle der Abundanz der verschiedenen Fischarten in den Fängen der CEN-Netze im Vierwaldstättersee.

8.3 Längenverteilung einzelner Fischarten pro See

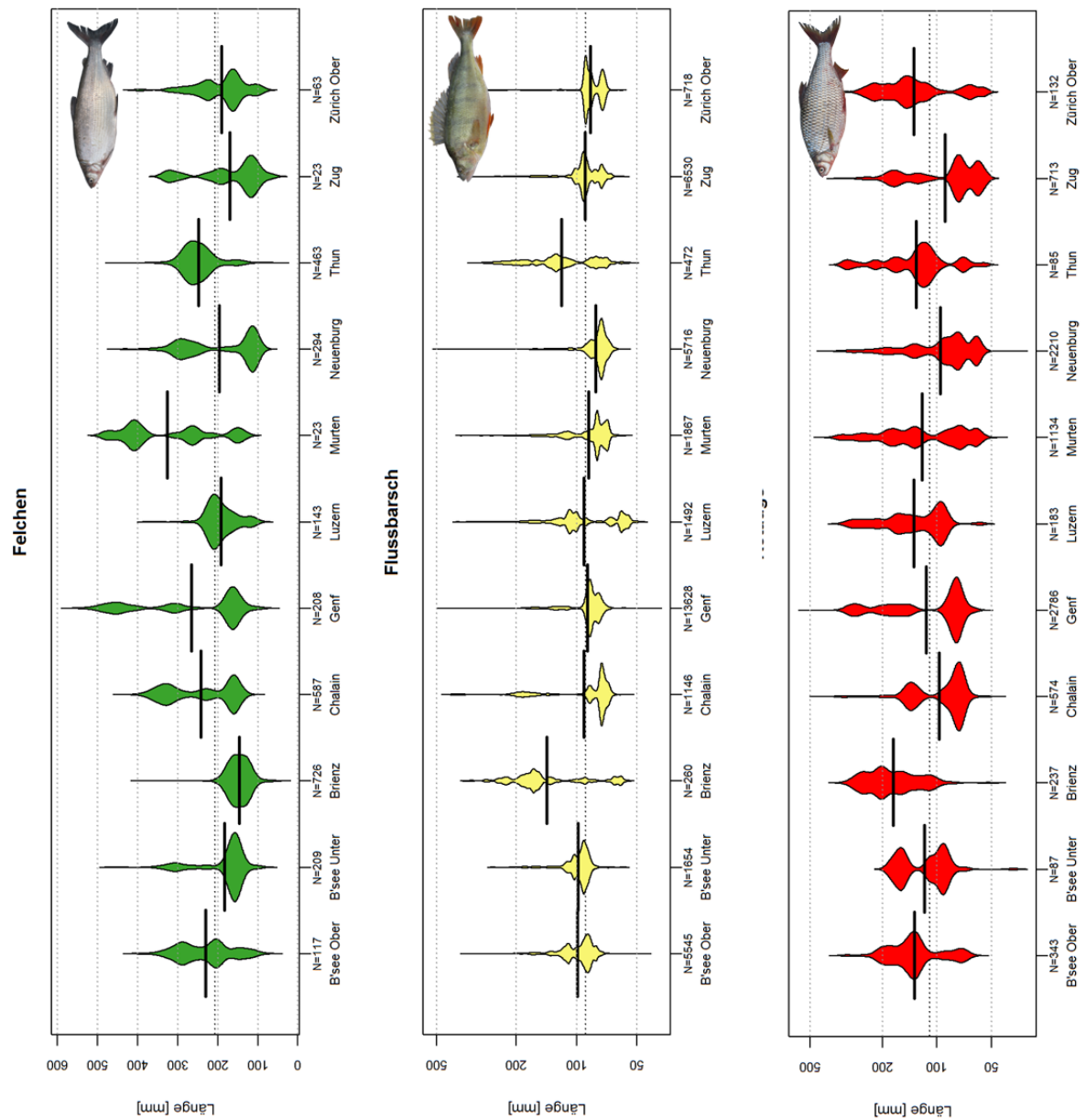


Abbildung 8-1. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche und Rotaugen in einigen der untersuchten Seen.

8.4 Im „Projet Lac“ untersuchte Seen

Tabelle 8-2. Liste der im Rahmen vom „Projet Lac“ untersuchten Seen.

Namen des Sees	Einzugsgebiet	Jahr geprobt
Bodensee Obersee	Rhein	2014
Bodensee Untersee	Rhein	2014
Brienzersee	Rhein	2011
Hallwilersee	Rhein	2012
Lac Brenet	Rhein	2011
Lac de Joux	Rhein	2011
Lac de Neuchâtel	Rhein	2011
Murtensee / Lac de Morat	Rhein	2010
Thunersee	Rhein	2013
Vierwaldstättersee	Rhein	2014
Walensee	Rhein	2012
Zugersee	Rhein	2013
Zürich Obersee	Rhein	2014
Zürich Untersee	Rhein	2014
Lac de Bonlieu	Rhone	2013
Lac de Bret	Rhone	2014
Lac de Chalain	Rhone	2011
Lac de Remoray	Rhone	2012
Lac de Saint-Point	Rhone	2012
Lac Léman	Rhone	2012
Lago di Garda / Lago Benaco	Po	2013
Lago di Lugano / Ceresio	Po	2011
Lago di Poschiavo	Po	2012
Lago Maggiore / Lago Verbano	Po	2013
Silsersee / Lej da Segl	Donau	2012

8.5 Bericht: Hydroakustische Untersuchung

«Hydroakustische Untersuchung der Fischbestände des Vierwaldstättersees und des Zürichsees»



Hydroakustische Untersuchung der Fischbestände des Vierwaldstättersees und des Zürichsees

April 2015

PROJET LAC

Hydroakustische Untersuchung der Fischbestände des Vierwaldstättersees und des Zürichsees

Bericht zu Händen der EAWAG im Rahmen des „Projet Lac“

Verantwortlich:

*Dipl. Biol. Markus Pehr, Karl-Bücheler-Straße 18, 78315 Radolfzell am Bodensee, markuspehr@gmx.de,
Tel.: +49 7732 9882600*

Mitarbeit:

Prof. Dr. Reiner Eckmann, Limnologisches Institut Universität Konstanz

Technische Unterstützung:

Hendrik Thiele, Limnologisches Institut Universität Konstanz

1 DANKSAGUNG

Pascal Vonlanthen stand mit großer Unterstützung zu sämtlichen Fragen rund um die Schweizer Seen bereit und koordinierte die Bereitstellung des Boots und anderem Material für die Ausfahrten. Reiner Eckmann hat freundlicherweise die Auswertung der Daten übernommen und mit seiner Expertise entscheidend zu diesem Bericht beigetragen. Mit seinem unermüdlichen Einsatz, technischem Sachverstand und seiner freundschaftlichen Begleitung hat Hendrik Thiele als Bootsführer die praktische Durchführung der nächtlichen Datenerhebungen auf den Schweizer Seen unterstützt und begleitet. Die bürokratischen Hürden rund um diesen Auftrag wurden von Patricia Achleitner angenehm eingeebnet. Neben der Auftrag gebenden Institution gilt den genannten Personen mein besonderer Dank!

2 ZIELSETZUNG

Im Auftrag der EAWAG wurden für das Projekt „Projet Lac“ hydroakustische Bestandsabschätzungen der Ichthyofauna des Vierwaldstättersees und des Zürichsees durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war, den Gesamtfischbestand beider Seen hydroakustisch abzuschätzen. Dieser Bericht fasst im Folgenden die Ergebnisse für beide Seen zusammen.

3 DATENERHEBUNG

3.1 UNTERSUCHUNGSZEITRAUM

Die hydroakustische Datenerhebung fand parallel bzw. zeitnah zu den im Rahmen des Projet Lac durchgeführten Befischungskampagnen im Sommer und Herbst 2014 statt. Echolotaufnahmen wurden nur nachts erstellt, da in der Nacht die Schwarmstruktur aufgelöst ist und Individuen vom Echolot zuverlässiger gezählt und vermessen werden können. Der Untersuchungszeitraum für den Vierwaldstättersee erstreckte sich vom 22.-24.08.2014 und für den Zürichsee vom 03.-04.10.2014.

3.2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Der Vierwaldstättersee (Abb.1) liegt in der Zentralschweiz südlich von Küsnacht. Er gliedert sich in folgende Becken: Urnersee im Südosten, Gersauersee und Kreuztrichter als zentrale Becken und Alpnachersee im Südwesten.

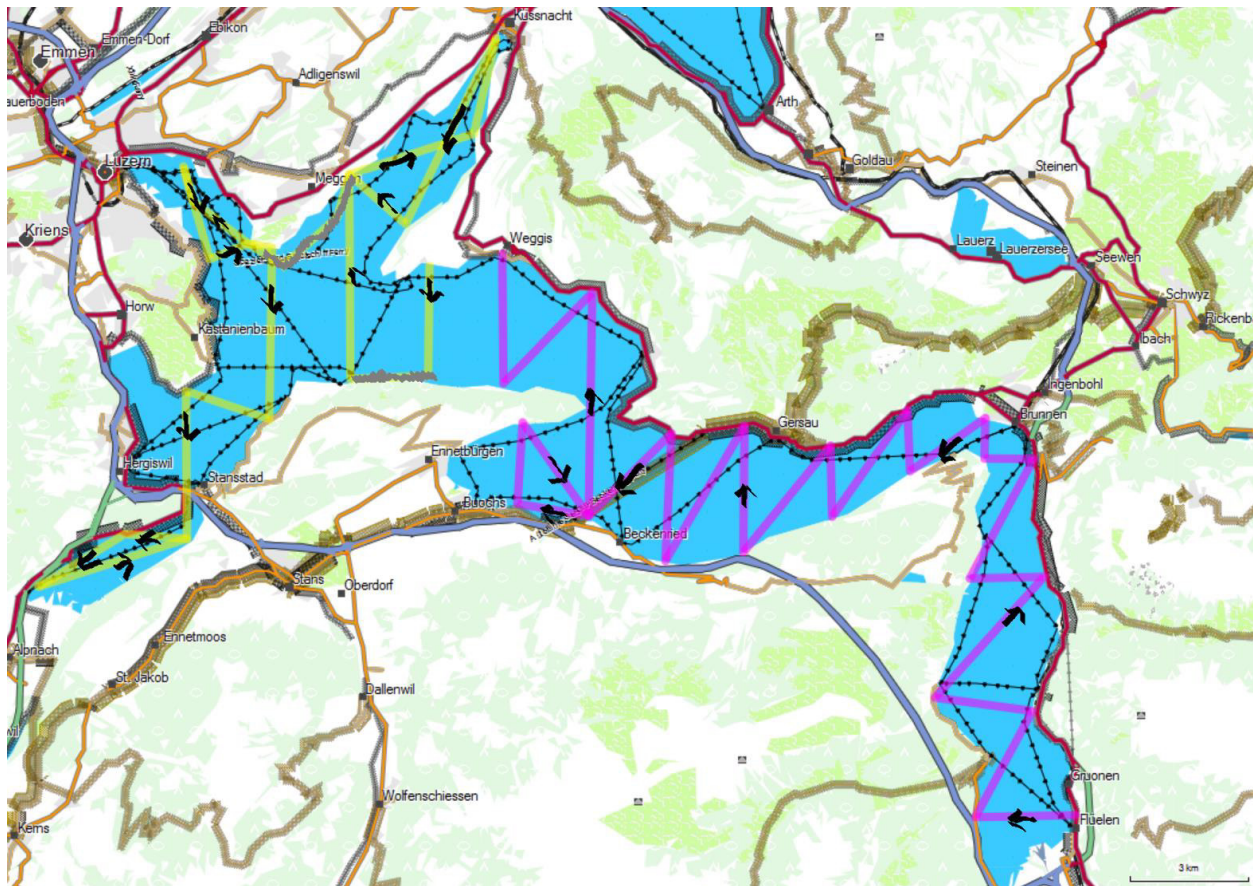


Abbildung 1: Graphische Darstellung des Vierwaldstättersees (nach MAPSOURCE von GARMIN) mit Transektlinien. Befahrene Transekte (jeweils eine gerade Verbindungslinie zwischen zwei Wendepunkten) in der Nacht vom 22.-23.08.2014 (Magenta: Start rechts unten) und in der Nacht vom 23.-24.08.2014 (Gelb: Start links neben Ort Weggis nach Richtung Alpnachersee). Grau übermalt: Verbindungslinien ohne Datenaufzeichnung. Schwarze Pfeile: Fahrtrichtung.

Der Zürichsee (Abb.2) liegt im Schweizer Mittelland südlich von Zürich und gliedert sich in Zürichsee (Hauptbecken) und Obersee (östlich von Rapperswil). Für eine eingehendere Beschreibung sei auf weiterführende Literatur verwiesen. Beide Seen sind in mehrere Becken unterteilt, die sich oft durch eine langgestreckte Form auszeichnen. Um den Fischbestand der beiden Seen repräsentativ zu erfassen, wurde ein Befahrungs-Design gewählt, das erlaubt, den Fischbestand mit der nötigen Präzision abzuschätzen. Die entscheidende Kennzahl hierfür ist der Variationskoeffizient. Dieser ist abhängig vom Grad der Abdeckung und ist definiert als $Coverage \lambda = D/VA$ (D = Summe der Transektlängen; A = Fläche des Gebiets)¹. In Tabelle 1 sind die Coverage-Werte für beide Seen aufgeführt.

Tabelle 1: Coverage für Vierwaldstättersee und Zürichsee.

Seeteil	A [Fläche km ²]	D [Transektlänge km]	Coverage λ
Urnersee	22	20	4.3
Gersauersee	30.2	34	6.2
Kreuztrichter	57	48.5	6.4
Alpnachersee	4.8	9.25	4.2
Vierwaldstättersee	114	111.75	10.5
Zürichsee	89	78	8.3

Um eine ausreichende Präzision der Daten zu gewährleisten wird ein λ von mindestens 4 gefordert. Diese Forderung war für den Vierwaldstättersee und für den Zürichsee erfüllt (Tabelle 1). Die gewonnenen Daten erfassen die Fischbestände beider Seen somit mit genügender Präzision und sind auch untereinander vergleichbar.

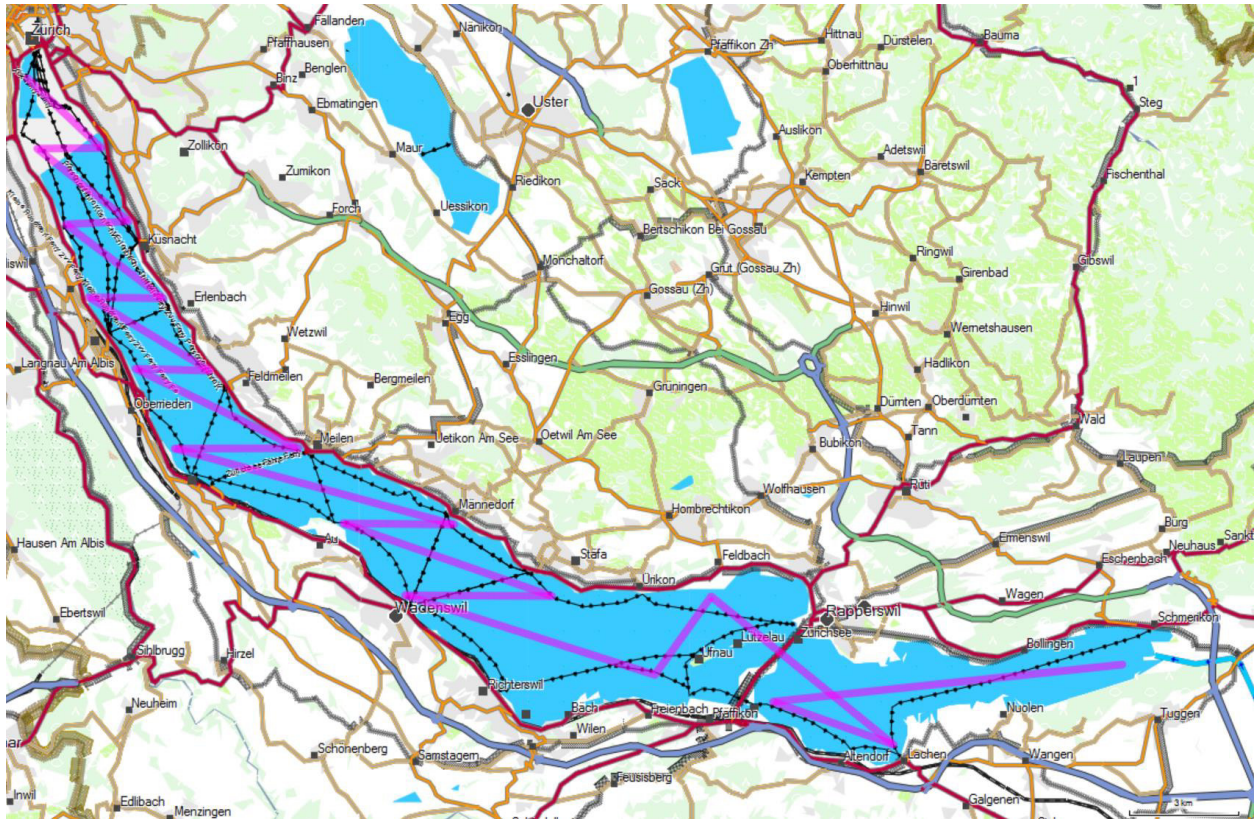


Abbildung 2: Graphische Darstellung des Zürichsees (nach MAPSOURCE von GARMIN) mit Transektlinien. Befahrene Transekte (jeweils eine gerade Verbindungslinie zwischen zwei Wendepunkten) in der Nacht vom 03.-04.10.2014 (Magenta) von rechts unten nach links oben.

3.3 TECHNISCHE AUSRÜSTUNG

Die Ausfahrten wurden mit einem ca. 6m langen Flachbodenboot aus Aluminium unternommen. Es verfügte über eine Lenkradsteuerung und einem mit Planen verschließbaren Aufbau, der als Wetterschutz diente. Die Echolotaufzeichnungen wurden bei einer Fahrtgeschwindigkeit von ca. 10km/h durchgeführt.

Alle Daten wurden mit einem Split-beam-Echolot der Marke Simrad EY60, das mit einer Frequenz von 120kHz arbeitet, erhoben. Fischgrößen können damit direkt gemessen und Fischbiomassen abgeschätzt werden. Das Echolot wurde von einem Notebook gesteuert auf dem die hydroakustischen Daten zusammen mit GPS Koordinaten abgespeichert wurden. Das Echolotsystem wurde vor den Ausfahrten mit einer Metallkugel gemäß den Herstellerangaben kalibriert.

3.4 AUSWERTUNG

Die gewonnenen Rohdaten wurden mit der Software SONAR5-Professional ver. 6.0.3 (Balk et al. 2014) bearbeitet. Die Einstellungen zur Datenkonvertierung finden sich in Anhang 1. Bei der Konvertierung in das von der Software benutzte Dateiformat wurden die aktuellen Kalibrierungswerte eingesetzt. Zur Korrektur der vom System erfassten Wassertiefe der Fischechos wurde die Tiefe, in der der Echolotschwinger im Wasser angebracht war, berücksichtigt und aktuelle Temperaturprofile der Seen hinterlegt. Das Temperaturprofil des Vierwaldstättersees stammte vom 08.08.2014 und das vom

Zürichsee vom 08.10.2014. Sie wurden freundlicherweise von der EAWAG bzw. vom AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft zur Verfügung gestellt. Störechos (z.B. vom Grund aufsteigende Methanblasen) wurden vor der Auswertung per Hand entfernt, und die von der Software identifizierte Bodenlinie wurde bei Bedarf von Hand korrigiert. Die Echostärken wurden nach einer Echostärke-Fischlängenbeziehung berechnet, die für die Kleine Maräne *Coregonus albula* von Mehner (2006) aufgestellt worden war. Die Umrechnung von Totallänge auf Fischgewicht erfolgte nach einer Beziehung für die Bodensee-Blaufelchen: $\text{Fischgewicht} = 0,0054 * \text{Totallänge}^{3,128}$. Die Verwendung dieser Formel schien gerechtfertigt, da die Coregonen den größten Teil der Fischbiomasse in den beiden Seen bilden.

Die gewonnenen Daten wurden mit der GIS-Software SURFER 9 (GOLDEN SOFTWARE 2009) in Form von Isoplethen dargestellt, wobei die Daten für Fischdichte und –biomasse über alle Tiefenstufen integriert und im Fall der Fischdichten zusätzlich für Tiefenstufen von 10m vertikaler Ausdehnung beginnend bei 5 m Wassertiefe geplottet wurden.

4 ERGEBNISSE

4.1 ECHOSTÄRKEN

Die Stärken der Einzelfischechos sind in 3 dB-Klassen beginnend mit der Klasse -60...-57 dB über alle Tiefenstufen integriert in den Abbildungen 3 und 4 aufgetragen. Einzelfischechos (SED) sind dabei nach bestimmten Kriterien ausgewählte Echos, die mit hoher Sicherheit einzelnen Fischen zugeordnet werden können. Gleichzeitig ist die obere Grenze der zu den jeweiligen dB-Klassen gehörenden Fischlängenklasse angegeben. Die Schätzungen der Fischlänge für die niedrigsten und die höchsten Echostärkeklassen müssen mit Vorsicht betrachtet werden, da sie über den Bereich hinausragen, der bei der Aufstellung der Beziehung berücksichtigt werden konnte. Generell handelt es sich bei den Angaben zur Fischlänge und insbesondere zur Biomasse nur um eine grobe Schätzung, da in beiden Seen stets mehrere Arten akustisch erfasst wurden, auch wenn Coregonen den größten Anteil an der gesamten Rückstreuung ausmachen dürften.

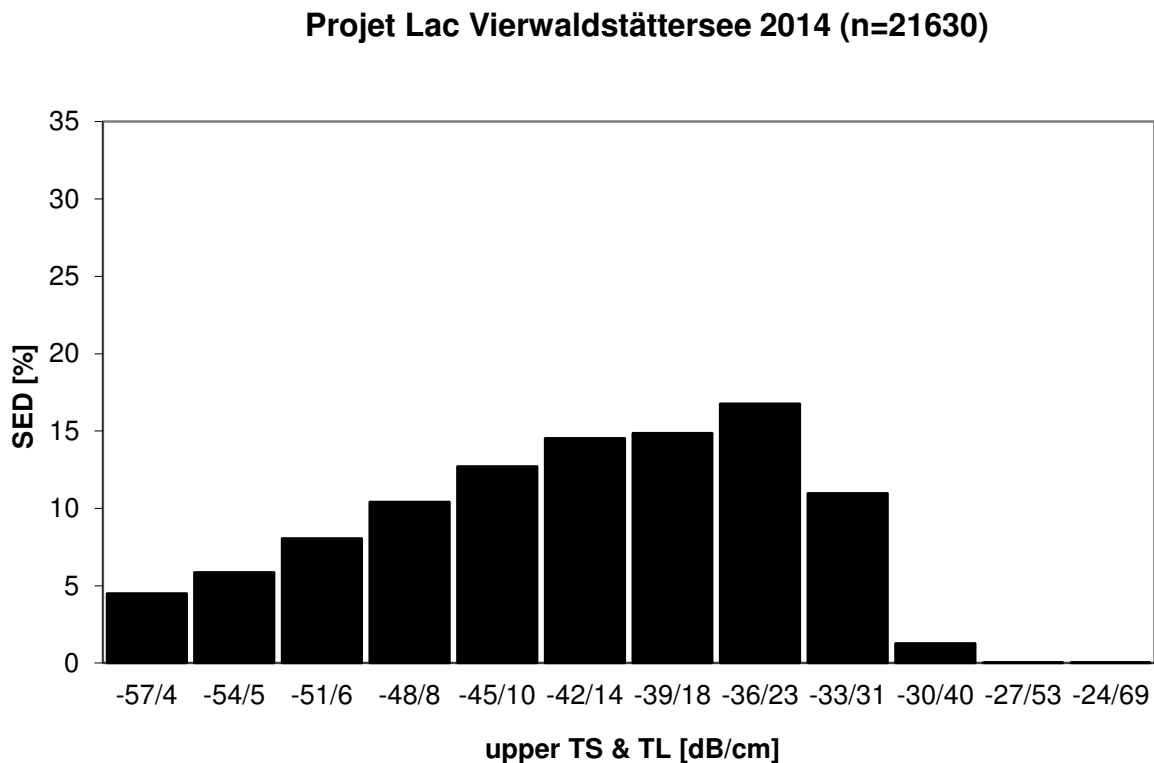


Abbildung 3: Echostärken-Verteilung Vierwaldstättersee über alle Tiefenstufen integriert. Dargestellt sind Einzelfischechos in 3dB-Klassen zusammengefasst (Targetstrength TS) mit der zugehörigen Fischlängenklasse (Total Length TL).

Projet Lac Zürichsee 2014 (n=15962)

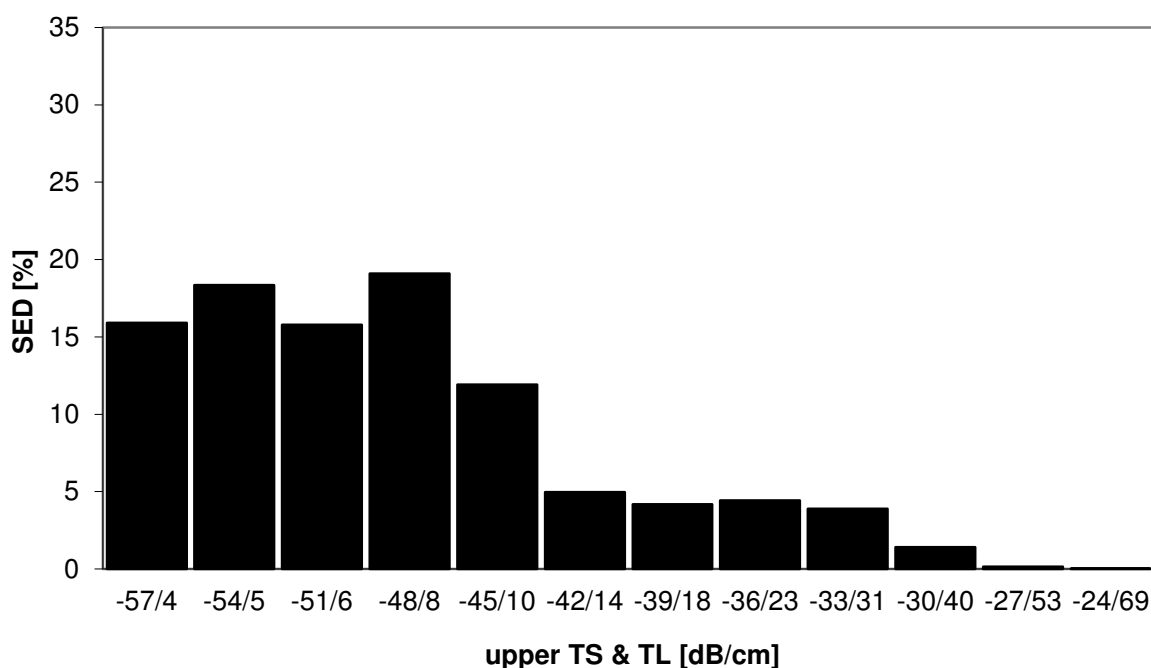


Abbildung 4: Echostärken-Verteilung Zürichsee über alle Tiefenstufen integriert. Dargestellt sind Einzelfischechos in 3dB-Klassen zusammengefasst (Targetstrength TS) mit der zugehörigen Fischlängenklasse (Total Length TL).

Die Verteilungen der Einzelfischechos über die Tiefenstufen sind in Abbildung 5 dargestellt. Dabei wurden die Echostärkekassen zusammengefasst und nur die zugehörigen Fischgrößenbereiche in den Abbildungen aufgenommen. Diese Histogramme erlauben eine Abschätzung, in welchen Tiefenstufen eher kleinere oder größere Fische vorkommen.

In den Tabellen 2 und 3 sind die geschätzten Fischdichten auf Grundlage der Einzelfischechos (n/ha_{SED}) sowie die nach der Methode des sv/ts-scaling geschätzten Gesamtfischdichten angegeben. Die Werte $mean\ sa_{SED}$ und $mean\ sa_{tot}$ sind ein Maß für die vorhandene Biomasse basierend auf Einzelfischechos bzw. der insgesamt gemessenen Rückstreuung. Die $mean\ TS$ -Werte geben die mittlere Echostärke für den Bereich von -60 bis -24 dB an. Bei den Abbildungen ist zu beachten, dass die Skalen unterschiedlich gewählt wurden, um den jeweiligen Wertebereich erfassen und übersichtlich darstellen zu können.

Tabelle 2: Gesamtfischdichte (n/ha_{total}), Fischdichte nach Einzelechos (n/ha_{SED}) und sa-Werte basierend auf der Gesamtrückstreuung (total) bzw. auf Einzelechos (SED) für den Vierwaldstättersee. Aufgelistet sind die Werte für sechs verschiedene Tiefenstufen mit der mittleren Echostärke ($mean_{TS}$).

Layer	n/ha_{total}	n/ha_{SED}	$mean\ sa_{tot}$	$mean\ sa_{SED}$	$mean\ TS$
5-15	48.7	18.3	0.1	0.1	-39.5
15-25	164	85	0.2	0.1	-38.7
25-35	158	81	0.2	0.1	-38.8
35-45	118	60	0.1	0.1	-40.4
45-55	63	31	0.0	0.1	-40.4
55-65	15.3	6.6	0.0	0.0	-39.8
tot	566	282	0.7	0.5	-39.6

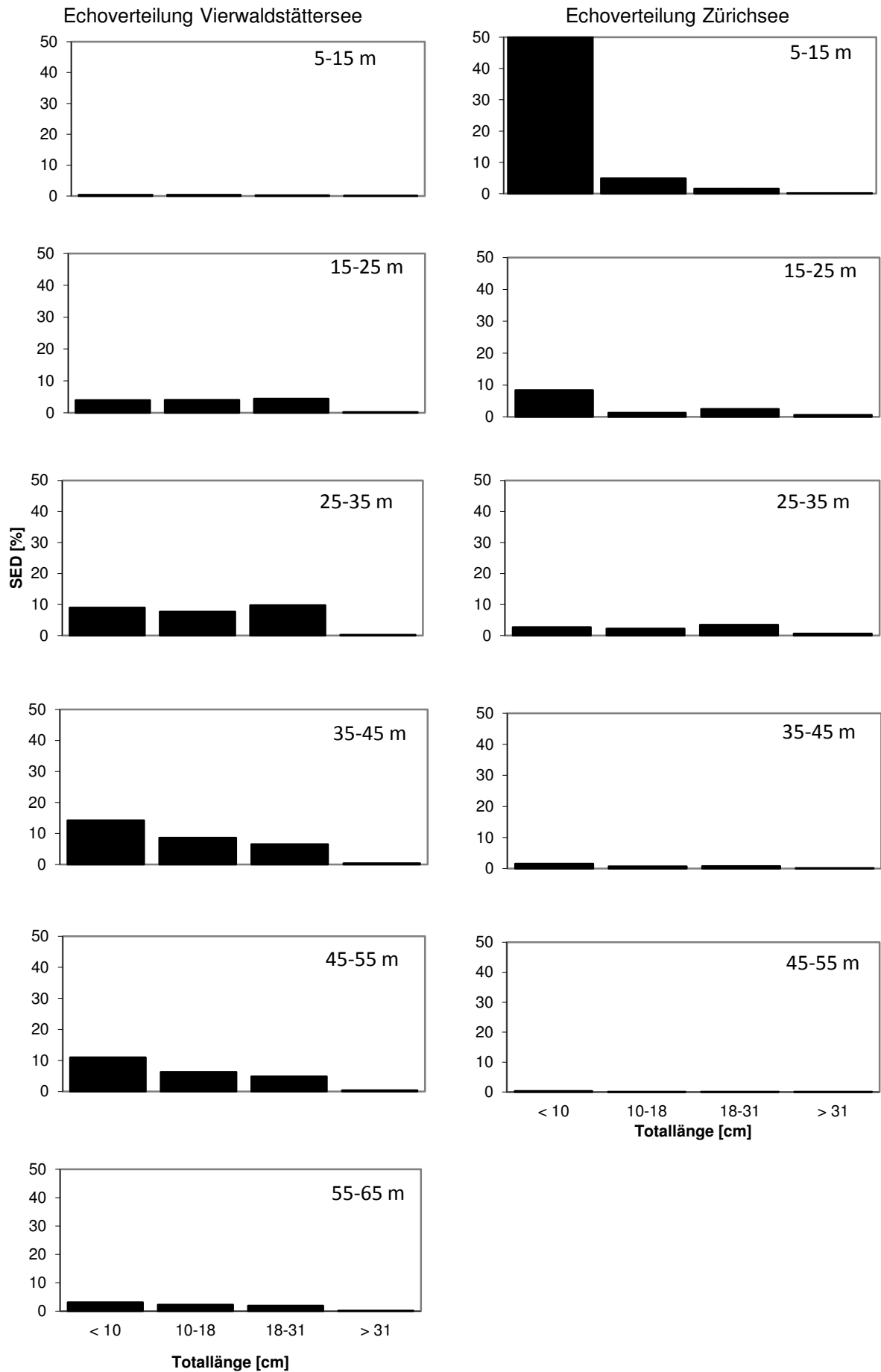


Abbildung 5: Echostärken-Verteilung nach Tiefenstufen getrennt und in vier Größenklassen zusammengefasst.

Tabelle 3: Gesamtfischdichte (n/ha_total), Fischdichte nach Einzelechos (n/ha_SED) und sA-Werte basierend auf der Gesamtrückstreuung (total) bzw. auf Einzelechos (SED) für den **Zürichsee**. Aufgelistet sind die Werte für fünf verschiedene Tiefenstufen mit der mittleren Echostärke (mean_TS).

Layer	n/ha_total	n/ha_SED	mean sA_tot	mean sA_SED	mean TS
5-15	5725	2120	1.2	0.4	-47.4
15-25	910	97	0.2	0.1	-39.8
25-35	54	28	0.1	0.1	-37.3
35-45	11	5	0.0	0.0	-38.8
45-55	1	1	0.0	0.0	-44.8
tot	6,701	2,251	1.5	0.6	-43.0

Als erstes Ergebnis kann festgestellt werden, dass im Zürichsee etwa 10-fach höhere Fischdichten auftraten als im Vierwaldstättersee, die *mean sA_tot*-Werte als Maß für die Biomasse sind im Zürichsee aber nur etwa doppelt so hoch (Tabellen 2 und 3). Das bedeutet, dass im Zürichsee zwar viele aber vorwiegend kleine Fische vorkamen. Das zeigt sich auch an den mittleren Echostärken, die im Zürichsee generell niedriger waren als im Vierwaldstättersee. Die über alle Tiefenstufen integrierten Einzelfischechos zeigen dies sehr eindrucksvoll: im Vierwaldstättersee liegen die meisten Einzelfischechos im Bereich mittlerer Echostärken (Abbildung 3), im Zürichsee dagegen sind die kleinsten Echostärken am häufigsten vertreten (Abbildung 4). In beiden Seen sind Fische größer als ca. 30 cm selten, besonders ausgeprägt im Vierwaldstättersee, was auf eine hohe Befischungintensität hindeutet (ein ähnliches Bild kann man seit vielen Jahren im Bodensee-Obersee beobachten).

Ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Seen besteht in der Tiefenverteilung der Fische. Im Zürichsee stammen knapp 75% aller Einzelfischechos (SEDs) aus der Tiefenschicht 5-15 m, und 68% aller Einzelfischechos gehören zu den kleinsten Fischen in dieser Tiefenschicht (Abbildung 5). Auch in der Schicht 15-25 m dominieren die kleinsten Fische (8% aller SEDs), und in den übrigen Tiefenschichten verteilen sich die wenigen SEDs gleichmäßig auf die Größenklassen. Im Vierwaldstättersee dagegen wurden in der obersten Tiefenschicht die wenigsten SEDs registriert (1.2%); die meisten Echos wurden im Bereich von 25 bis 55 m gefunden (rund 79% aller SEDs). Die Verteilung der Fischgrößenklassen über die Tiefenschichten ist im Vierwaldstättersee sehr viel ausgeglichener, wobei tendenziell mehr kleinere Fische in den tieferen Schichten vorkommen.

4.2 VERTEILUNGSMUSTER VON FISCHDICHTEN UND BIOMASSE

Die horizontalen Verteilungsmuster von Fischdichte und Biomasse zeigen sehr ausgeprägte Gradienten, die sich im Fall der Fischdichten z.T. sehr deutlich zwischen den Tiefenstufen unterscheiden können (Abbildungen 7 und 9). Ein Vergleich der Isoplethen von Fischdichte und –biomasse sollte nur als eine erste grobe Orientierung angesehen werden, da die Umrechnung von Echostärke in Fischmasse anhand einer Beziehung durchgeführte wurde, die für Blaufelchen des Bodensees aufgestellt wurde und deshalb nicht auf andere Fischarten übertragen werden kann.

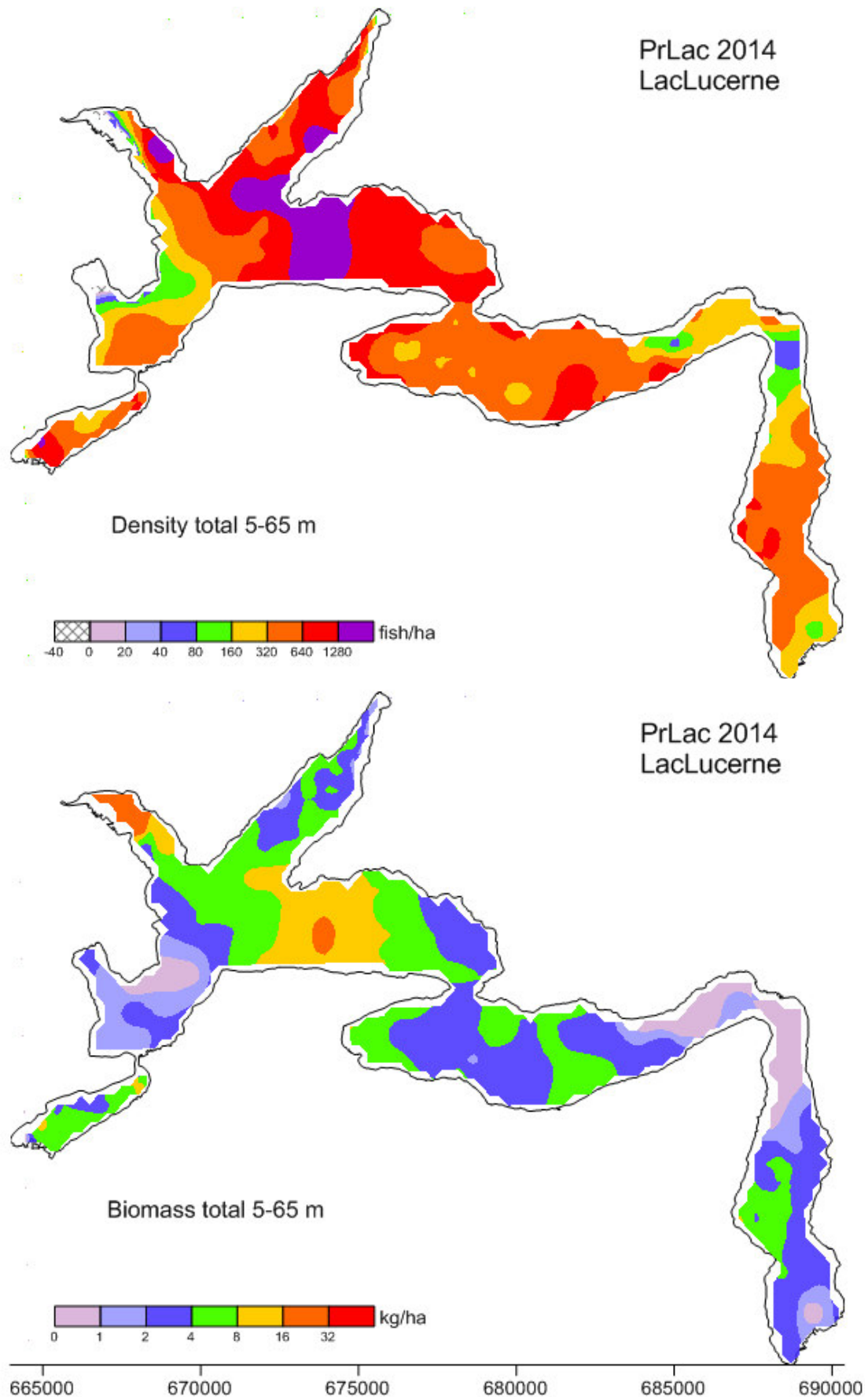


Abbildung 6: Horizontals Verteilungsmuster der Gesamtfischdichte (oben) und der Gesamtbiomasse (unten) im Vierwaldstättersee. Maßstab: Schweizer Landeskoordinaten.

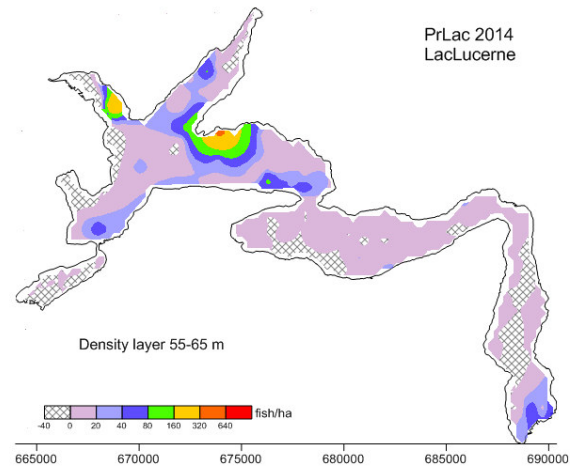
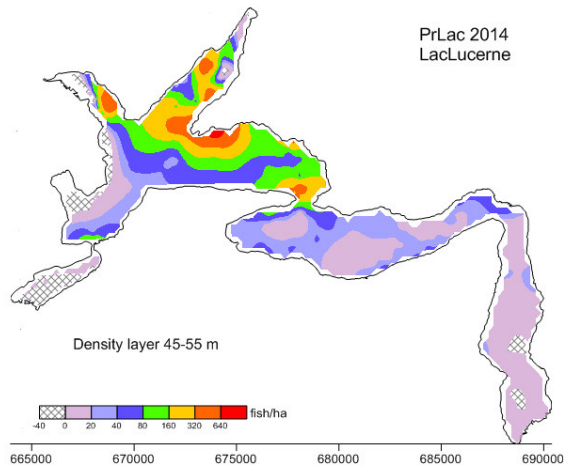
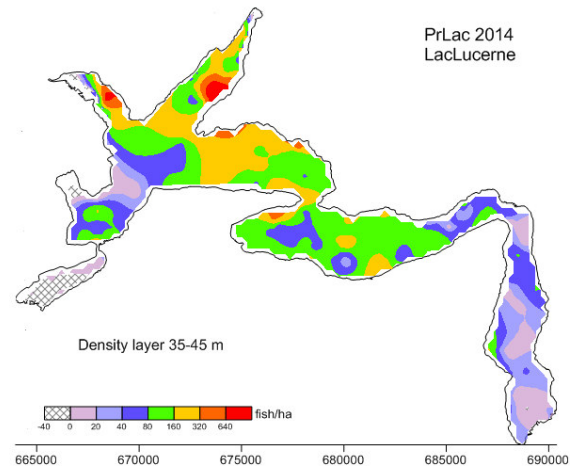
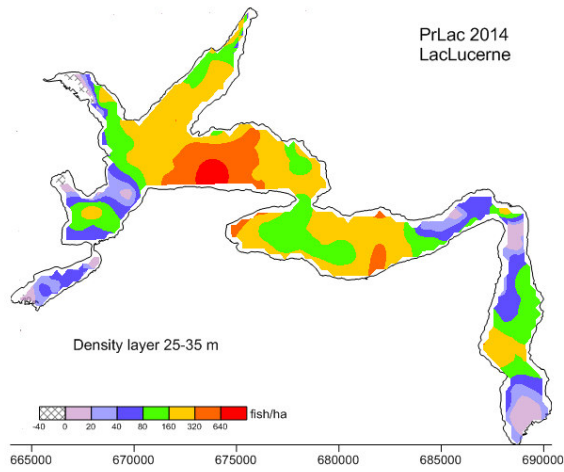
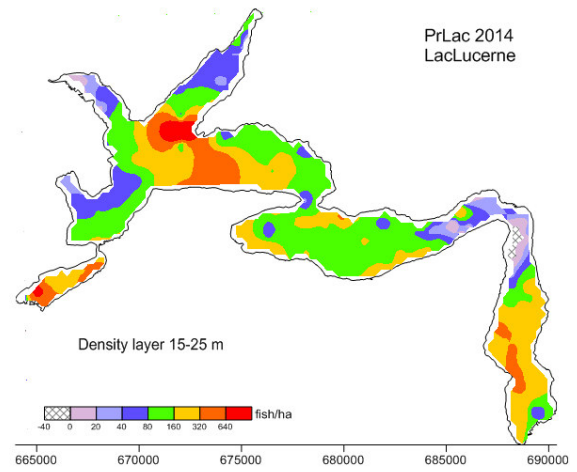
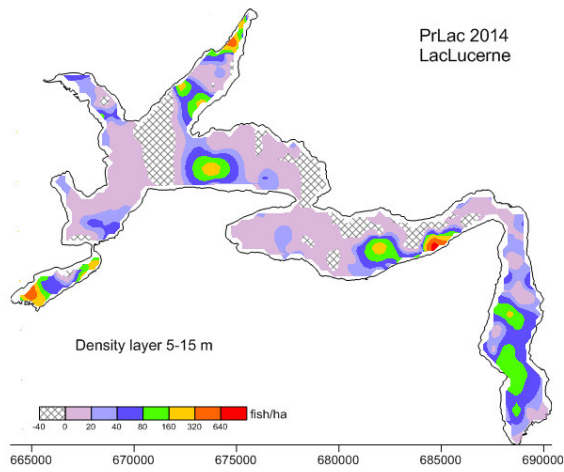


Abbildung 7: Gesamtfischdichte der sechs Tiefen-Layer von 5m bis 65m.

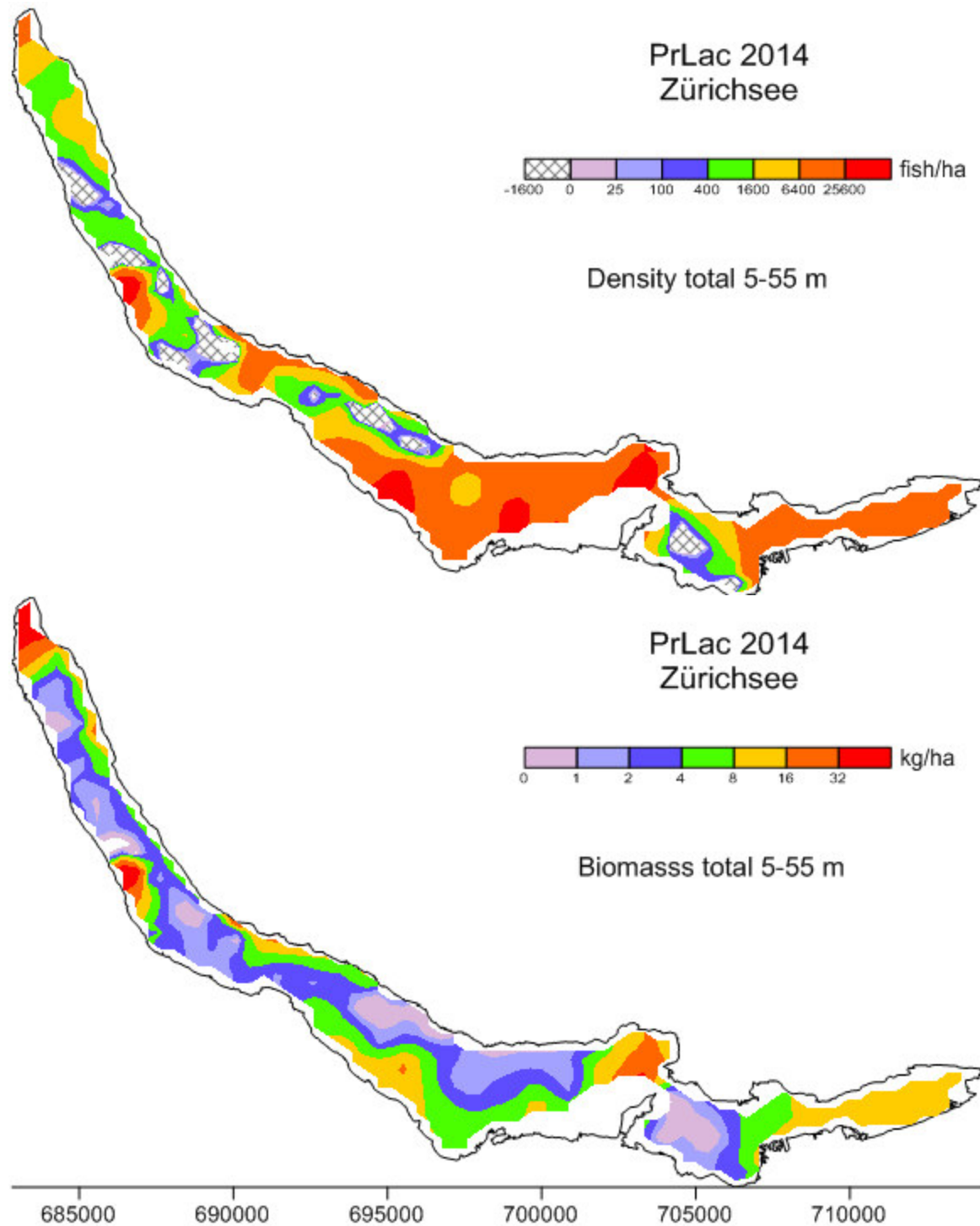


Abbildung 8: Horizontals Verteilungsmuster der Gesamtfischdichte (oben) und der Gesamtbiomasse (unten) im Zürichsee. Maßstab: Schweizer Landeskoordinaten.

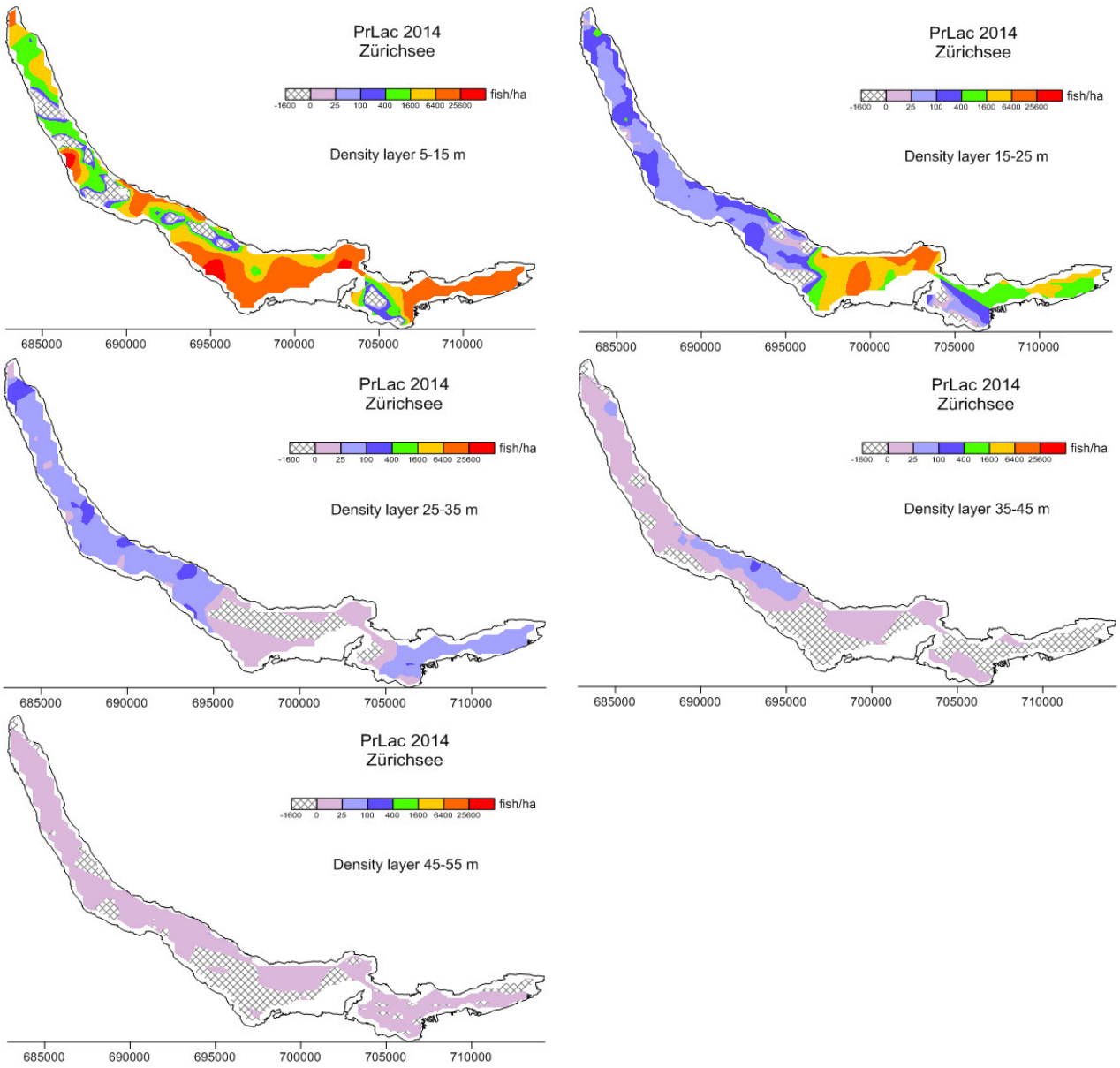


Abbildung 9: Gesamtfischdichte der sechs Tiefen-Layer von 5m bis 65m.

5 ANHANG

5.1 BEI DER KONVERTIERUNG VON ROHDATEN IN DAS DATENFORMAT DER SOFTWARE SONAR5-PRO VERWENDETE EINSTELLUNGEN

Frequency	120 kHz	
TS transducer gain	25.83 dB	
Sa correction	-0.54 dB	
Electric Power	250 W	
Pulse width	0.256 ms	
3dB beamwidth	athwardship 6.52°	alongship 6.50°
Angle sensitivity	athwardship 23.00	alongship 23.00
Angle offset	athwardship -0.08°	alongship -0.02°
Equivalent 2-way beam angle		-21.35 dB
pH	8.0	
Temperature	5.0°)	(corrected during data
Alpha	5.55 dB/km)	processing according to
Speed c	1425.7 m/s)	actual temperature profiles)
Single echo detection	min. echo length	0.8
	Max. echo length	1.2
	Min. target size	-80 dB
	Max. angle S.D.	0.8
	Max gain compensation (1-way)	3 dB
Amplitude echogram threshold		-100 dB

5.2 DIE ZUR KORREKTUR DER SCHALLGESCHWINDIGKEIT VERWENDETEN TEMPERATURPROFILE

Tabelle der zur Korrektur der Schallgeschwindigkeit verwendeten Temperaturdaten. VWS: Vierwaldstättersee; ZS: Zürichsee mit Datum der Datenerhebung.

VWS	Tiefe (m)	Temp. (°C)	ZS	Tiefe (m)	Temp. (°C)
08.08.2014	0	23.1	08.10.2014	0	18
	2	18.6		2.5	18
	5	15.7		5	18
	10	13.6		10	16.4
	15	12.6		15	10.4
	20	11.3		20	7.7
	25	9		30	6.4
	40	6.4		40	5.7
	50	5.9		60	5
	80	5.3		80	4.7
	100	5.1		100	4.5
	140	4.8		120	4.5
				135	4.5

6 LITERATUR

ⁱ Simmonds, John, and David N. MacLennan. *Fisheries acoustics: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2008.

ⁱⁱ Mehner T 2006: Mehner, Thomas. "Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches." *Fisheries Research* 79.1 (2006): 162-169.