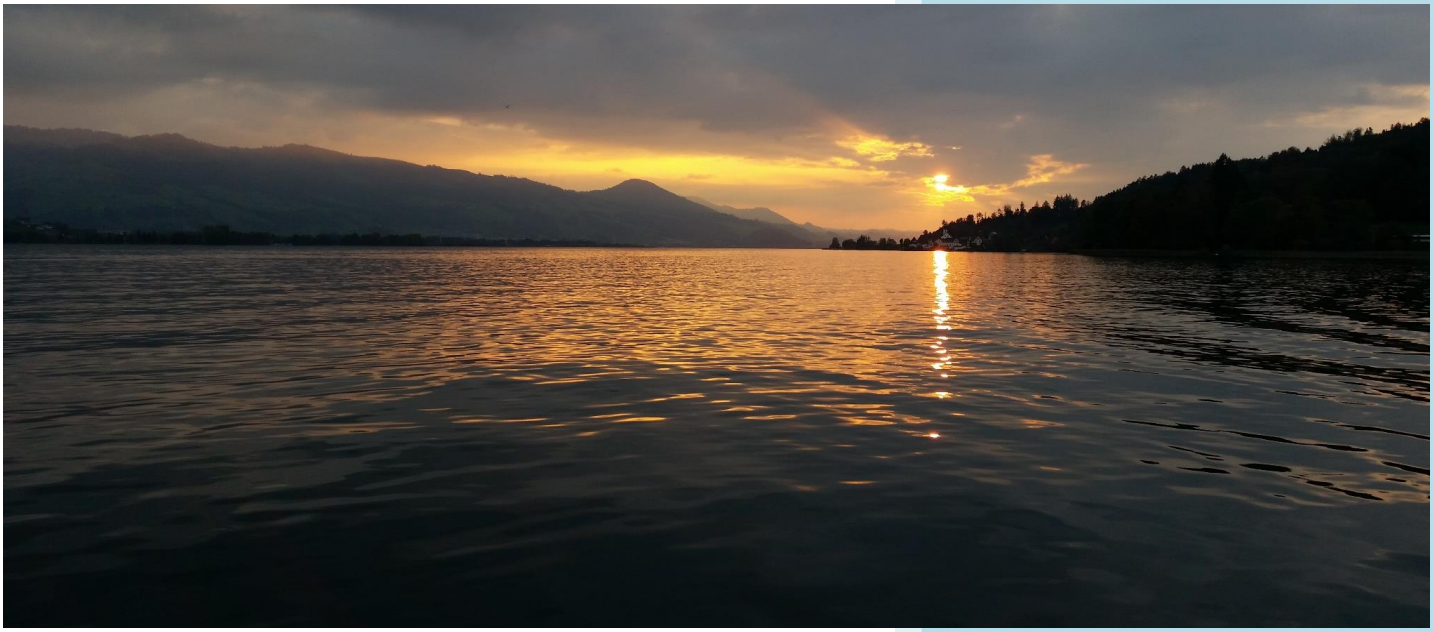
PROJET LAC
ASSESSING BIODIVERSITY OF FISH

Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Zürichsee



eawag
aquatic research

SCHLUSSBERICHT
22.12.2017

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, und
Universität Bern, Institut für Ökologie und Evolution
Balzerstrasse 6
CH-3012 Bern
Ole.Seehausen@eawag.ch

In Zusammenarbeit mit:
Guy Périat
Teleos sàrl
Les Rangiers 11 E
CH-2883 Montmelon
periat@teleos.info

Oliver M. Selz
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
oliver.selz@eawag.ch

Philine G. D. Feulner
Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
philine.feulner@eawag.ch

Zitiervorschlag:
Alexander T.J., Vonlanthen P., Périat G., Selz O.M., Feulner, P.G.D., Seehausen O. 2017. Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Zürichsee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Danksagung:
Hervé Décourcière, Carmela Dönz, Stéphane Ecuer, Arno Filli, Thomas Groubatsch, Oliver Köster, Michael Kugler, Marcel Häsler, Andreas Hertig, Beat Müller, Pius Niederhauser, Jonathan Paris, Markus Pehr, Timon Polli, Thomas Posch, Lukas Rüber, Erwin Schäffer, Daniel Schlunke, Seepolizei Zürichsee, Rosi Siber, Vincent Somerville, Patrick Steinmann, Hendrik Thiele, Kuno von Wattenwyl, Alfred Wüest.

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG 2

2 AUSGANGSLAGE 3

2.1 WESHALB EIN „PROJET LAC“ 3
2.2 ZIELSETZUNG 4

3 METHODEN 5

3.1 CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MESSREIHEN 5
3.2 HABITATKARTIERUNG 6
3.3 FELDAUFNAHMEN DER FISCHE 6
3.4 VORTEILE UND GRENZEN DER BEFISCHUNGSMETHODE 8
3.5 FISCHFANGSTATISTIKEN 9
3.6 BESTIMMUNG DER FELCHENARTEN 9

4 RESULTATE 10

4.1 PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE DATEN 10
4.2 HABITATKARTIERUNG 18
4.3 STANDARDISIERTE ABFISCHUNG 21
4.4 FISCHEREILICHE ASPEKTE 52

5 SYNTHESE 58

5.1 ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DES ZÜRICHSEES 58
5.2 FISCHEREILICHE NUTZUNG 60

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN 61

7 LITERATURVERZEICHNIS 62

8 ANHANG 64

8.1 HYDROAKUSTISCHE UNTERSUCHUNG DER FISCHBESTÄNDE DES VIERWALDSTÄTTERSEES UND DES ZÜRICHSEES 86

1 Zusammenfassung

Um unsere Gewässer zu schützen und zu bewirtschaften, muss ihr Zustand bekannt sein. Im „Projet Lac“ wurden von 2010 bis 2014 die Fischartenzusammensetzung verschiedener Alpenrandseen einmalig zwischen August und Oktober standardisiert erhoben. Dieser Bericht fasst die Resultate für den Zürichsee zusammen. Während sechs Tagen wurden im Jahr 2014 im Zürichsee insgesamt 246 standardisierte und reproduzierbare Befischungsaktionen durchgeführt.

Der Zürichsee ist ein Beispiel für einen ursprünglich oligotrophen perialpinen Flachlandsee, der im Verlauf des letzten Jahrhunderts stark beeinträchtigt wurde. Heute leidet der See nach wie vor unter den Auswirkungen der Nährstoffbelastung des letzten Jahrhunderts. Dies trifft insbesondere für den Untersee zu, dessen tiefere Hälfte nicht von Fischen genutzt werden kann. Zudem beeinflusst der Klimawandel mit den damit einhergehenden zunehmenden Wassertemperaturen die Stratifikation und vertikale Durchmischung des Untersees. Dies resultiert in einer schwächeren Winterzirkulation, ein Problem welches sich laut Klimaprognosen in Zukunft noch verschärfen dürfte, was auch für die Fische weitere Folgen haben wird.

Die litorale Habitatvielfalt im Zürichsee ist eher hoch. Im Untersee ist das Litoral allerdings stark anthropogen beeinflusst, nur ein Viertel des Ufers ist naturnah. Das Ufer des Obersees ist etwas besser erhalten, hier kann 53% des Uferbereichs als naturnah bezeichnet werden. Die Verbauungen stehen in beiden Seebecken grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Alle vorgefundenen Habitattypen sind mit mindestens einer Fischart positiv assoziiert, was die Wichtigkeit des Mosaiks von natürlichen Habitaten für eine vielfältige Fischgemeinschaft reflektiert.

Vor 1900 wurden im Zürichsee 27 Fischarten dokumentiert. Im Rahmen dieses Projektes wurden im Obersee 18 Fischarten gefangen. Davon sind 17 Arten im Zürichsee heimisch und eine (Kaulbarsch) gilt als standortfremd. Im Untersee wurden 20 Arten gefangen, wovon 16 als im Zürichsee heimisch gelten, der Kaulbarsch, Sonnenbarsch, Karpfen und die Schwarzfeder sind standortfremd. Im Obersee konnten drei Felchenarten nachgewiesen werden, Häglinge/Albeli (*Coregonus heglingus*), Schweber (*C. zuerichensis*) und Sandfelchen (*C. duplex*). Im Untersee hingegen konnten nur Schweber und Sandfelchen gefangen werden.

Anhand dieser Daten konnte zudem ein Einblick in die Bestände von nicht oder wenig befischten Arten, sowie nicht befischten Fischgrössen, erlangt werden. Weiter wurde auch klar, wie sich die Fische im See und über die Habitate verteilen und damit konnten Defizite in der Qualität der Lebensräume, z.B. in der Tiefe des Sees, oder bei den Uferstrukturen, identifiziert werden. Die daraus gewonnenen Resultate können in Zukunft als Vergleich für die Entwicklung der Fischzusammensetzung im Zürichsee herangezogen werden.

Stichwörter See – Fische – Biodiversität –Projet Lac –Zürichsee

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. 10*b* 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 (Gefährdungsstatus 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 Bioindikator 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 zusammen genommen 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. Weltweit nimmt die Artenvielfalt derzeit in keinem anderen Lebensraum so schnell ab, wie in den Süssgewässern.

Aufgrund dieser Tatsachen, aber auch wegen ihrer ökologischen, ökonomischen, touristischen und soziokulturellen Bedeutung, sollten den Fischen im Rahmen des Aktionsplans der nationalen Biodiversitätsstrategie eine Priorität eingeräumt werden. 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 perialpinen und der grössten alpinen Seen durch. Dabei wurden von 2010 bis 2014 insgesamt 25 Seen untersucht

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 derzeitige Taxonomie nicht erfasst wird, werden bei Bedarf - zusätzlich zu der bestehenden Taxonomie – morphologische und genetische Methoden verwendet.
- Erarbeitung von Zusammenhängen zwischen Umweltfaktoren und arten- und populationsspezifischer 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, aber auch die innerartliche Vielfalt innerhalb der häufigsten Arten, 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 Zürichsee vom 29. September bis 4. Oktober 2014 durchgeführt wurden. Ein Fokus

der Auswertungen wird auf die Artenzusammensetzung und die Habitatnutzung der Fische gelegt. Zudem werden die beiden Seebecken miteinander verglichen. Der Einfachheit halber bezeichnen wir in diesem Bericht den Zürich-Obersee als Obersee und den grösseren und tieferen Teil des Zürichsees als Untersee (nördlich beziehungsweise westlich der Seedammstrasse von Hurden nach Rapperswil-Jona). Wenn vom Zürichsee gesprochen wird, dann ist damit der ganze See mit beiden Seebecken gemeint (d.h. Obersee und Untersee zusammen).

3 Methoden

3.1 Chemische und physikalische Messreihen

Chemische und physikalische Parameter des Wassers des Zürichsees wurden routinemässig durch die Kantone erhoben. Die Zeitreihen dokumentieren die Entwicklung der abiotischen Faktoren des Ökosystems und werden zum besseren Verständnis der Fischartenzusammensetzung herangezogen. Temperatur-, Sauerstoff- und Phosphordaten wurden vom kantonalen Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft sowie der Wasserversorgung Zürich zur Verfügung gestellt. Die ufernahe Oberflächentemperatur wurde während des Projet Lac zusätzlich von August 2011 bis März 2012 (5 Min Intervalle) in Ufernähe in Horgen (WGS84 47.25442, 8.619078) mit einem Vemco Minilog II gemessen.

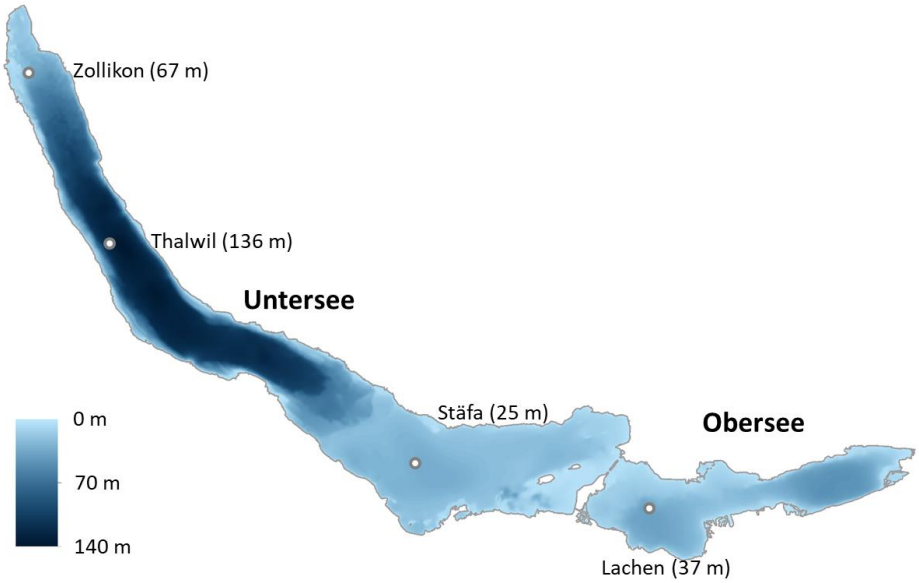


Abbildung 3-1. Bathymetrische Karte des Zürichsees mit den beiden Seebecken Obersee und Untersee und den Stationen für das regelmässige Gewässermonitoring.

3.2 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 unterscheiden sich die bevorzugten Habitat-Typen (Kottelat und Freyhof 2007). Der Zürichsee wurde daher in drei grosse Bereiche unterteilt (Degiorgi et al. 1993b):

- Die litorale Zone, die wir als bis zu einer Tiefe von 3 m definieren (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, wenn sie durch Blockwürfe, Mauern usw. gesichert sind oder eine hohe Bootsdichte aufwiesen (offene Bootsanlegestellen im See mit sichtbaren baulichen Massnahmen), 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 Abbildung 4-7 zusammengestellt.

3.3 Feldaufnahmen der Fische

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

a) 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 Gesamt-Fischbestand mit der nötigen Präzision abzuschätzen. Die entscheidende Kennzahl hierfür ist der Variationskoeffizient. Dieser ist abhängig vom Grad der Abdeckung, die definiert ist als $\lambda = D/\sqrt{A}$ (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 Zürichsee der Fall. Die gewonnenen Daten erfassten den Gesamt-Fischbestand mit genügender Präzision, so dass die Seen miteinander verglichen werden konnten.

   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 8.1).

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 innerhalb der Tiefenzonen, die im Protkoll definiert sind, eine zufällige räumliche Verteilung der Netze vorsieht (Appelberg et al. 2000). Die zweite Methode (in diesem 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 kartierten Uferhabitat-Typen mit geringen Wassertiefen (< 1 m) wurden elektrisch befischt. Dabei wurde an jedem Standort ein Durchgang entweder watend oder mit dem Boot durchgeführt. Es wurde versucht alle Habitat-Typen an mindestens drei verschiedenen Orten zu befischen. Die befischte Fläche wurde anschliessend für die Standardisierung der Daten herangezogen.

Die gefangenen Fische wurden, wenn immer möglich, bis 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 Probenahmestrategie

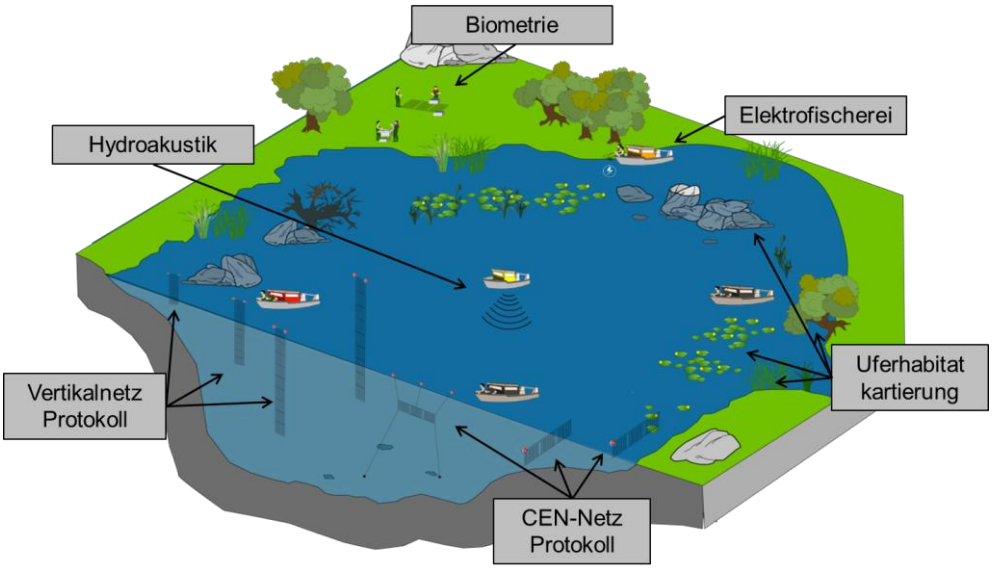


Abbildung 3-2. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Gogouilly).

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

3.4 Vorteile und Grenzen der Befischungsmethode

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 («Catch Per Unit Effort» d.h. Ertrag pro Aufwand) 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 so berechnet, dass zumindest bei

den zahlenmässig dominanten Fischarten zukünftige Bestandsänderungen von 50% oder mehr detektiert werden können, wenn eine erneute Befischung mit dem entsprechenden Aufwand durchgeführt wird.

3.5 Fischfangstatistiken

Für gewisse Auswertungen wurden die Resultate der „Projet Lac"-Fänge mit den Fängen der Angel- und Berufsfischer verglichen. Die entsprechenden Fangstatistiken wurden von der Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee zur Verfügung gestellt. Ziel dieses Vergleichs ist es zu untersuchen, wie sich die erfasste Artenzusammensetzung und die Bestandsschätzung mit den beiden Methoden unterscheiden. Wir fassen auch kurz die historischen Trends in der Fischerei-Statistik zusammen, da diese die besten Daten sind, die derzeit vorhanden sind, um zeitliche Veränderungen in der Fisch-Gemeinschaft aufzuzeigen.

3.6 Bestimmung der Felchenarten

Felchen sind im Feld sehr schwierig auf Artniveau zu bestimmen. Eine Bestimmung auf Artniveau kann meist nur für adulte Fische vorgenommen werden, weil nur bei diesen die morphologischen Unterschiede oder Verhältnisse von verschiedenen Köpermerkmalen voll ausgeprägt sind. Am besten werden erste Bestimmungen bei Felchenarten mit zwei komplementären Methoden überprüft, nämlich mit genetischen Verfahren und morphologischen Messungen. Im Feld können weder genetische Methoden noch akkurate morphologische Messungen angewendet werden. Die genetische Methode ist teuer und funktioniert nur, wenn man eine grössere Anzahl von Individuen jeder Art untersucht. Sie lässt sich also nur mit grossen Einschränkungen auf kleine Probenzahlen anwenden und gar nicht auf isolierte Einzeltiere. Daher braucht es immer eine erste Feldbestimmung basierend auf dem äusseren Erscheinungsbild (Phänotyp). Eine solche Feldbestimmung der adulten Felchen aus den Project Lac Fängen des Ober- und Untersees hat Prof. Ole Seehausen anhand der Fotos und der konservierten Fische vorgenommen. Ein kleiner Teil dieser Fische wurde anschliessend mit neusten genomischen Methoden durch Dr. Philine Feulner analysiert und diese Daten wurden zur Interpretation mit einem bereits bestehenden grösseren Datensatz von vorherigen Fängen im Zürich- und Walensee zusammengefügt.

4 Resultate

4.1 Physikalische und Chemische Daten

Untersee wärmer als Obersee

4.1.1 Wassertemperatur

Die Oberflächentemperaturen im Obersee (Messstation Lachen) sind tiefer als im Untersee (Messstationen Stäfa und Thalwil). Die Temperaturprofile vom September 2014, zeitnah zur Befischung des Sees durch das Projet Lac, zeigen einen Unterschied in den Oberflächentemperaturen zwischen Obersee und Untersee von über zwei Grad. Um diese Zeit waren die Temperaturprofile an den beiden Messstationen im Unterseebecken ähnlich (Abbildung 4-1, Abbildung 8-7). In diesen Profilen war die Wassertemperatur in den obersten 10 m ziemlich homogen verteilt (c. 19°C), mit einer deutlichen Abnahme der Temperatur auf ungefähr 6°C auf 35 m Tiefe. Die ufernahe Temperaturmessung, die in Horgen erfolgte, zeigt gar Temperaturen von über 25°C im Flachwasserbereich (Abbildung 8-3).

Die Daten von Langzeit-Monitoring Studien zeigen, dass die Wassertemperaturen im Zürichsee über die letzten Jahrzehnte stetig gestiegen sind. Die Temperatur des Oberflächenwassers ist seit dem Beginn der regelmässigen Messungen (1937-2016) in einigen Monaten durchschnittlich um ca. 2°C wärmer geworden (Abbildung 8-9). Ein besonders ausgeprägter Anstieg ist gegen Ende der 1980er Jahre (North et al. 2013) zu beobachten, was mit ähnlichen Langzeitstudien in anderen Seen der Nordhemisphäre übereinstimmt (Reid et al. 2016).

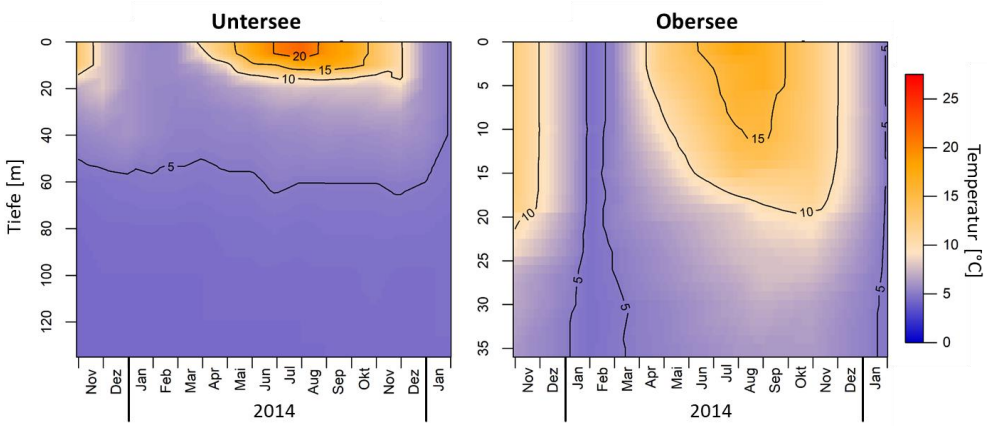


Abbildung 4-1. Temperaturprofile vom Untersee (Thalwil, 0-135 m) und Obersee (Lachen, 0-35 m) aus dem Jahr 2014. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

4.1.2 Sauerstoff

Sauerstoffzehrung in beiden Seen

Die Daten des Umwelt-Monitorings von 2014 zeigen, dass der Sauerstoff der Wassersäule sowohl im Ober- wie auch im Untersee Konzentrationen erreicht, die

für Fische und Makroinvertebraten problematisch sind. Im September 2014 wies das Wasser aller Messstationen (Lachen, Stäfa, Thalwil) unterhalb von 15 m weniger als 6 mg/l Sauerstoff auf (Abbildung 4-2, Abbildung 8-7). Zum Zeitpunkt des Fischfangs für das Projet Lac zeigte die Messung an der tiefsten Stelle des Untersees (Messstation Thalwil) zwei Zonen mit besonders tiefen Sauerstoffkonzentration (< 4 mg/l) in 12-27 m Tiefe und von 85 m bis zum Seegrund (Abbildung 4-2, Abbildung 8-8). Diese beiden sauerstoffarmen Zonen treten in den meisten Jahren seit 1940 (Anfang der Zeitreihen) auf (Abbildung 8-4).

Sauerstoffzehrung wird durch Atmung von lebenden Organismen und durch den Abbau von organischem Material verursacht. In ca. 20 m Tiefe bildet sich im Herbst ein ausgeprägtes metalimnisches Minimum durch erhöhte Sauerstoffzehrung. Es entsteht durch organisches Material, das sich am Ort der Thermokline aufgrund des grossen temperaturabhängigen Dichteunterschieds des Wassers ansammelt oder langsamer sinkt und deshalb lokal mehr Sauerstoff verbraucht. Die grosse Sedimentfläche bei Stäfa auf dieser Tiefe (20-25 m, Abbildung 3 1) verbraucht ebenfalls viel Sauerstoff und könnte zur Bildung der hypoxischen Zone im gesamten Untersee im Herbst jeden Jahres beitragen. Die hohe Konzentration von Burgunderblutalgen in dieser Tiefenzone könnte ebenfalls eine Rolle spielen. Im Obersee (Messstation Lachen) lagen die Messwerte unterhalb von 30 m Tiefe ebenfalls unter 4 mg/l. Das Tiefenwasser des Obersees wird bisher jährlich im Winter durch die Durchmischung erneuert, was jeweils zu einer temporären Erhöhung des Sauerstoffgehalts in der Tiefe führt (Abbildung 8-4).

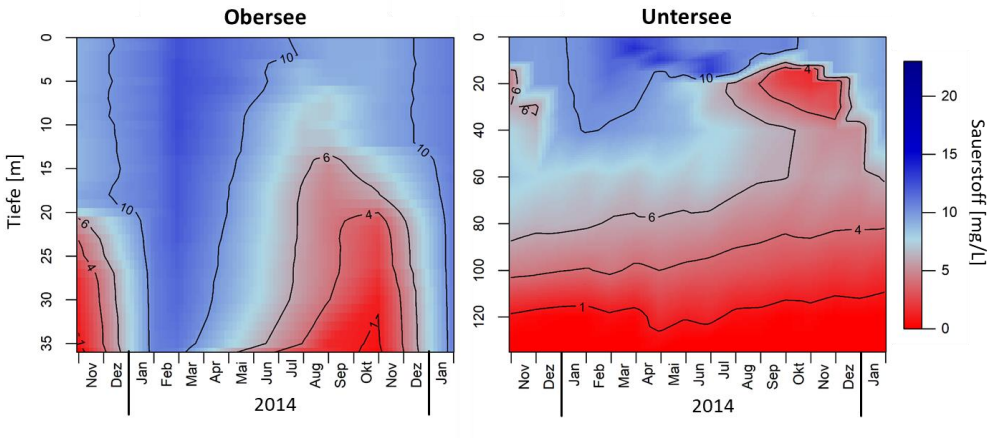


Abbildung 4-2. Sauerstoffprofile aufgenommen an den tiefsten Stellen im Untersee (Messstelle Thalwil) und Obersee (Messstelle Lachen) aus dem Jahr 2014. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

Im Untersee wiederum scheint die Erwärmung der Wassertemperaturen seit den frühen 1980er Jahren die Schichtung im Sommer verstärkt zu haben, so dass es nur eine begrenzte Gelegenheit zur vertikalen Durchmischung gibt. Dies hat zu einer Ausdehnung der hypoxischen Zone in der Tiefe geführt. Beim Prozess der vertikalen Durchmischung wird Sauerstoff in die Tiefe des Sees transportiert und zeitgleich Nährstoffe aus der Tiefe an die Oberfläche gebracht. Vertikale Durchmischung kann nur stattfinden, wenn die Temperatur des Oberflächenwassers über einen längeren

Zeitraum ähnlich der des Tiefenwassers ist (Homothermie). Wenn hingegen die Abkühlung des Oberflächenwassers im Winter nicht ausreichend ist, oder wenn der Winter besonders kalt ist und das Oberflächenwasser kälter ist als das Wasser in der Tiefe (sogenannte «inverse thermale Schichtung»), gibt es einen Unterschied in der Temperatur der Wasserschichten und somit in der Dichte des Wassers, welche dann als Barriere für eine vertikale Durchmischung der Wasserschichten fungiert.

Seit den ersten Messungen der Sauerstoffkonzentrationen in den 1930er Jahren sind zwei Perioden mit verstärkten hypoxischen Zonen im Untersee aufgetreten (Abbildung 8-6). Die Daten des Langzeit-Monitorings zeigen, dass es eine erste Periode von Beginn der Messreihe in den 1930er Jahren bis Mitte der 1960er Jahre gab, in der häufig eine inverse thermale Schichtung (d.h. das Oberflächenwasser ist kälter als das Wasser in der Tiefe) in der kalten Jahreszeit stattfand (Februar; Abbildung 4-3). Aufgrund der inversen Stratifikation, gab es nur ein reduziertes Zeitfenster, in dem es zu einer kompletten Durchmischung des Sees kommen konnte (Abbildung 4-3). Dies hat wahrscheinlich, in Kombination mit der schon erhöhten Produktion des Sees (Kunz 1911), zu den geringeren Sauerstoffkonzentrationen in der Tiefe während dieser Periode beigetragen.

Im Verlauf des Monitorings sind die Oberflächentemperaturen gestiegen, was dazu geführt hat, dass eine inverse Stratifikation im Februar seit 1970 nur noch sehr selten oder sehr viel schwächer vorkam. Das Zeitfenster von Homothermie und somit die Möglichkeit für eine vertikale Zirkulation des Wassers hat sich dadurch um mindestens einen Monat (Februar) ausgedehnt. Durch die Homothermie des Wassers über eine längere Zeitspanne kam es in den 1970er bis Ende 1980er Jahren zu einer verbesserten Zirkulation des Sees und damit einhergehend konnten höhere Sauerstoffkonzentrationen in der Tiefe beobachtet werden (Abbildung 8-6).

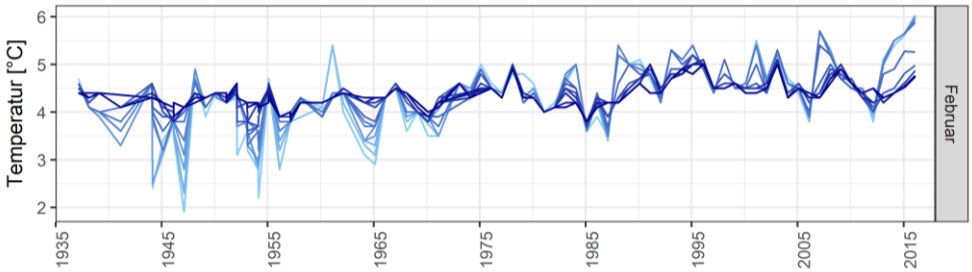


Abbildung 4-3. Zeitreihen der Wassertemperatur aus dem Langzeit-Monitoring des Untersees (Messstation Thalwil; 1937-2016) für den kältesten Monat im Jahr (Februar), wenn die vertikale Durchmischung des Sees stattfinden könnte. Die verschiedenen Wassertiefen sind von hellblau (0 m) bis dunkelblau (135 m) gekennzeichnet. Vgl. Abbildung 8-10 für die anderen Monate des Jahres. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

Der weitere stetige Anstieg der Oberflächentemperaturen hat seit den 1980er Jahren dazu geführt, dass die Sommer-Stratifikation bis in den Winter hinein bestehen bleibt. Dann ist das Oberflächenwasser in den Monaten Januar und Februar nicht kälter, sondern wärmer als das Tiefenwasser, was erneut zu einem

verkürzten Zeitfenster für eine vertikale Zirkulation des Sees führt oder sogar dazu, dass es zu gar keiner Vollzirkulation mehr kommt. Dadurch kommt es wieder vermehrt zu hypoxischen Zonen in der Tiefe. Vollzirkulation mit der für viele Fische minimal erforderlichen Sauerstoffkonzentration (d.h. > 4 mg/l) bis zum Seegrund im Untersee wurde in der letzten Dekade nur einmal beobachtet (2009, Abbildung 8-6). Dieser Effekt der Stratifizierung und damit einhergehenden hypoxischen Zone in der Tiefe ist in den letzten Jahren besonders stark geworden.

4.1.3 Phosphor

Phosphor ist ein qualitativer Indikator für die Produktivität eines Sees. Er reflektiert die Menge des organischen Material, welche an der Basis der Nahrungskette produziert wird (Primärproduktion) und von welcher die Pflanzenfresser und andere Konsumenten in den höheren trophischen Stufen abhängig sind. Allerdings kann die mit einem Aequivalent Phosphor assimilierte Menge Kohlenstoff stark variieren (bis zu einem Faktor drei), je nach Planktongruppe und Nährstoffangebot. Phosphor ist auch wichtig, weil die mit diesem Hauptnährstoff produzierte Menge organischen Materials verantwortlich für die im Tiefenwasser gezehrte Menge Sauerstoff ist.

Die meisten Diskussionen über den Phosphorgehalt beziehen sich auf den Gesamtphosphor (auch totaler Phosphor genannt). Dieser wird üblicherweise dargestellt als vertikale Konzentrationsprofile an der tiefsten Stelle des Sees. Die repräsentative Konzentration von Gesamtphosphor, die jeweils verwendet und angegeben wird, um die trophische Entwicklung des Sees zu dokumentieren, ist der volumengewichtete Mittelwert, der aus dem Konzentrationsprofil am Ende der Zirkulationsphase (im Februar / März) berechnet wird (z.B. Schildknecht et al. 2013).

Der Gesamtphosphor kann in analytisch in drei Klassen unterteilt werden: gelöster organisch gebundener Phosphor, gelöster anorganischer Phosphor und partikulärer Phosphor. Gelöster anorganischer Phosphor wird auch Phosphat-Phosphor (PO_4-P) genannt und ist jener Anteil am Gesamtphosphor, der für das Pflanzenwachstum direkt verfügbar ist. Hohe Konzentrationen von gelöstem Phosphor sind ein Indikator, dass Phosphor in einer höheren Rate zur Verfügung gestellt wird als durch die Biota aufgenommen werden kann und damit nicht produktionslimitierend ist. Partikulärer Phosphor kann organisch oder anorganisch sein. Die organische Komponente des partikulären Phosphors besteht zum Grossteil aus Phytoplankton und kleinem, wenig mobilen Zooplankton. Die anorganische Komponente des partikulären Phosphors ist dabei üblicherweise in den Schweizer Seen nicht signifikant, mit Ausnahme vom Brienzersee, der grosse Mengen von Erosionsmaterial in Form von Gletschersediment erhält.

Abbildung 4-4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Gesamtphosphors, welcher jährlich im Februar als Tiefenprofil an den Messstationen Lachen, Stäfa und Thalwil gemessen wird. Die Regionen um den Zürichsee waren schon im 18. Jahrhundert recht dicht besiedelt. Die organische Belastung des Zürichsees hat daher schon

recht früh angefangen, so dass der See bereits um 1910 einen eutrophen Zustand erreicht hat (Kunz 1911). Die Daten aus dem Langzeit-Monitoring zeigen zudem, dass der Obersee (Messstation Lachen) weniger stark von hohen Phosphorkonzentrationen betroffen war als der Untersee (Messstation Thalwil) (Abbildung 4-4, Abbildung 4-5, Abbildung 8-4, Abbildung 8-5, Abbildung 8-6). Vergleiche von alten Daten aus dem Untersee (inklusive Daten von Stationen, die heute nicht mehr routinemässige beprobt werden) lassen darauf schliessen, dass der Teil des Sees nahe der Stadt Zürich (Messstation Zollikon) und rund um den Ausfluss (Messstation Riesbach) sich ähnlich verhalten haben wie die Region um Thalwil (Gammeter 2002). Dies deutet auf einen Gradienten mit erhöhten Nährstoffkonzentrationen vom Obersee zum Untersee hin, mit besonders stark erhöhten Werten zwischen Stäfa und Thalwil, welche vor allem unterhalb der Thermokline aufteten.

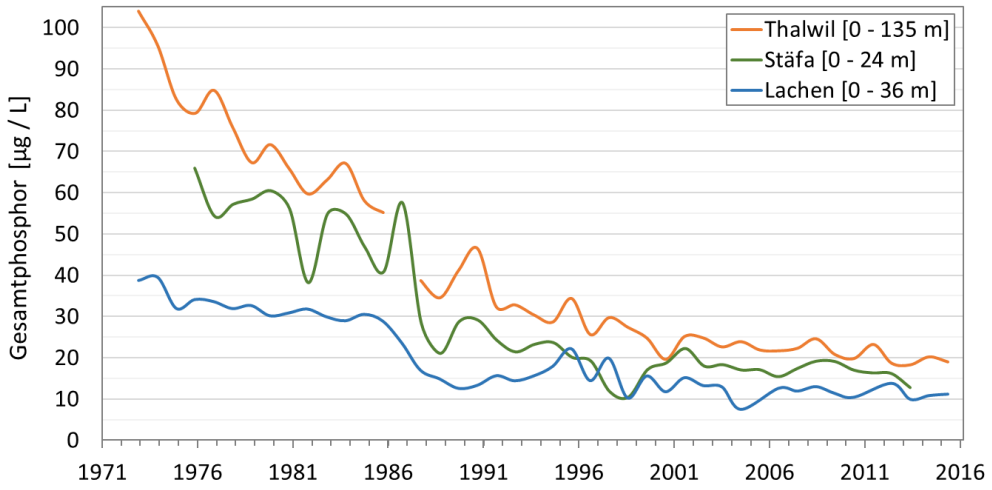


Abbildung 4-4. Durchschnittliche Gesamtphosphorwerte im Februar (Zeit der Winterzirkulation) über die ganze Wassersäule im Untersee (Stäfa und Thalwil) und im Obersee (Lachen). Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

Weniger als 10 µg/l gelöster anorganischer Phosphor im Februar bei Lachen und Stäfa seit 1991

Messungen des Gesamtphosphorgehalts sind üblicherweise für das Seemanagment am wichtigsten, da sie beides enthalten, den gelösten anorganischen Phosphor sowie den organischen Phosphor, welcher sich in Phytoplankton und kleineren Zooplanktonarten befindet. Die Betrachtung der Konzentration des gelösten anorganischen Phosphors oder Phosphats ist jedoch insbesondere für das Management des Zürichsee aus zwei Gründen relevant. Zum einen wurde das Phosphat seit den 1940er Jahren gemessen, wo hingegen die Messung des Gesamtphosphors erst seit den 1970er Jahren regulär durchgeführt wird. Die längere Zeitreihe liefert uns Informationen zum schnellen Anstieg in den 1950er Jahren und der Zeit des höchsten Phosphorgehalts während der Eutrophierung. Ein weiterer Grund, weshalb die Phosphatkonzentration zur Beurteilung des Zürichsee relevant ist, sind die schädlichen Cyanobakterien der Burgunderblutalgen (*Planktothrix rubescens*). Da im Zürichsee das Phytoplankton stark von den Burgunderblutalgen dominiert wird (Posch et al. 2012), machen sie auch einen grossen Teil der partikulären Phosphormenge aus (Yankova et al. 2017).

Mit der Messung von Phosphat wird also hauptsächlich der unter anderem für höhere Trophieniveaus verfügbare Phosphor berücksichtigt, während die Gesamtphosphormessung auch den von den Burgunderblutalgen beschlagnahmten Phosphor enthält.

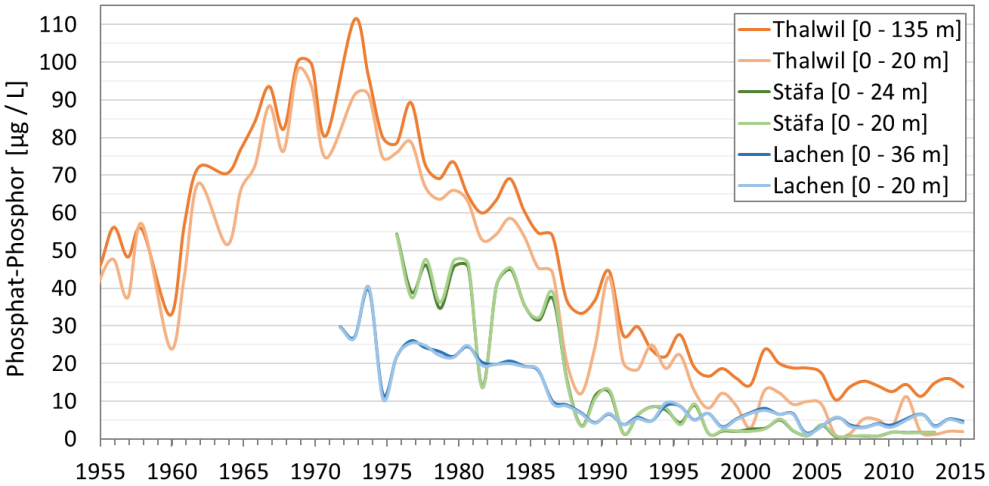


Abbildung 4-5. Volumengewichtete Phosphatkonzentrationen im Februar (Zeit der Winterzirkulation) nahe der Oberfläche (0, 5, 10, 15, 20 m Tiefe) und über die ganze Wassersäule im Obersee (Lachen) und im Untersee (Stäfa und Thalwil). Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich. Siehe auch Abbildung 4-6 für mehr Details zu den Änderungen der Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser in den letzten 20 Jahren.

Die schwächere Zirkulation des Wassers trägt nicht nur zur Problematik der jährlich schwankenden Sauerstoffkonzentrationen in bestimmten Tiefenschichten bei, sondern auch zur Zunahme von schädlichen Cyanobakterien wie der Burgunderblutalge, welche in den letzten vier Jahrzenten die Phytoplankton-Gemeinschaft des Zürichsees dominiert hat. Verringerte Phosphor-Konzentrationen, aber immer noch relativ hohe Stickstoff-Konzentrationen resultieren in einem hohen Stickstoff zu Phosphor (N:P) Verhältnis, welches diese Art fördert (Posch et al. 2012). Da die toxische Burgunderblutalge von den meisten Zooplanktonarten nicht gefressen wird, nimmt deren Biomasse nur ab, wenn sie während der Vollzirkulation in Tiefen transportiert wird, in denen ihre Auftriebsvakuolen kollabieren und die Alge abstirbt. Die schwache Zirkulation hat mit grosser Wahrscheinlichkeit dazu beigetragen, dass die Planktothrix-Biomasse in den letzten Jahren zugenommen hat.

Die Zunahme an Biomasse der Burgunderblutalge hat einen negativen Kaskadeneffekt auf die anderen trophischen Ebenen und somit auf das gesamte Ökosystem des Zürichsees: Nährstoffe, welche die Burgunderblutalge dem System entzieht, stehen mittelfristig nicht für andere, für Zooplankter „essbare“ Phytoplanktonarten zur Verfügung. Stattdessen wird ein grosser Teil der Biomasse der Burgunderblutalge direkt auf den Seegrund absinken und bei der Zersetzung durch Bakterien zum Sauerstoffmangel im Meta- und Hypolimnion beitragen. Im Ammersee (Deutschland) geht man davon aus, dass die Zunahme verschiedener

Cyanobakterienarten (Planktothrix) den Sauerstoffmangel im Meta- und Hypolimnion verstärkt und durch Akkumulation von Toxinen zu Missbildungen bei Felchenlarven geführt haben könnte (Ernst et al. 2001).

Die über die gesamte Wassersäule gemittelten Phosphatkonzentrationen während der Winterzirkulation liegen in Lachen (Obersee) und in Stäfa (Untersee) seit 25 Jahren unter 10 µg/l (Abbildung 4-5). In Thalwil (Untersee) haben in den letzten Jahren die Phosphatwerte an der Wasseroberfläche abgenommen, während die Werte der gesamten Wassersäule (volumen-gewichtete Werte über die gesamte Tiefe) hoch blieben sind. Dies deutet darauf hin, dass es zwar noch eine grosse Phosphor-Menge in den grösseren Tiefen des Sees gibt, dass aber wegen der verringerten Winterzirkulation weniger davon ins Oberflächenwasser eingemischt wird (Abbildung 4-6). Dies ist relevant, da die Algenproduktion in diesem Teil des Sees stattfindet. Die Vermehrung der Burgunderblutalgen und ihr dauerhaftes Vorkommen das ganze Jahr hindurch (möglicherweise begünstigt durch die schwächere vertikale Durchmischung) könnten auch signifikant zur tiefen Konzentration des gelösten Phosphats im Oberflächenwasser in den letzten Jahren beigetragen haben. Die Phosphatkonzentrationen im Oberflächenwasser bei Thalwil sind seit 2012 und bei Stäfa seit 2002 tiefer als 5 µg/l (Abbildung 4-6).

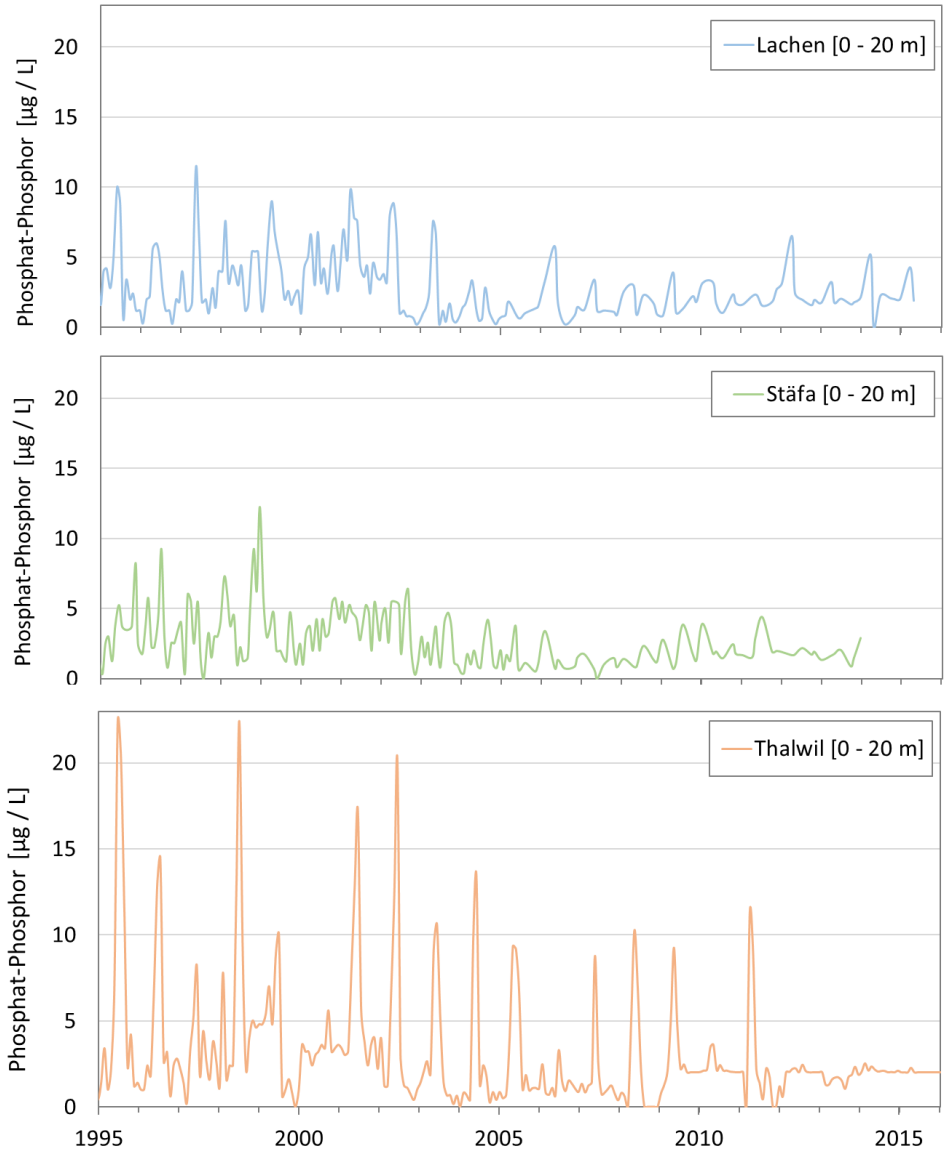


Abbildung 4-6. Variation der Phosphatwerte im Oberflächenwasser (0 – 20 m Tiefe) im Obersee (Lachen) und im Untersee (Stäfa und Thalwil) in den letzten 20 Jahren. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

4.2 Habitatkartierung

4.2.1 Obersee

Diverse Litoralhabitate aber stark verbaute Ufer im Obersee

Die Habitatkartierung (Abbildung 4-7) des Obersees hat gezeigt, dass strukturierte litorale Habitate (Blöcke, Vegetation, Totholz), die den Fischen wichtige Habitate bieten, gut vertreten sind (Abbildung 4-8). Schilfhabitate sind besonders häufig und grossflächig. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Obersee relativ hoch.

Ungefähr 53% des Seeufers im Obersee können heute als naturnah bezeichnet werden, 47% sind durch Verbauungen anthropogen beeinflusst (Abbildung 4-9). Das Ufer des Obersees ist somit eher stark verbaut. Die Verbauungen bestehen dabei flächenmässig zu ca. 72% aus Hafenanlagen und Stegen für Boote und zu ca. 28% aus Blockwürfen oder hart verbauten Seeufern. Die Verbauungen stehen grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Die Ufermorphologie des Obersees ist im Vergleich zum Untersee naturnaher erhalten.

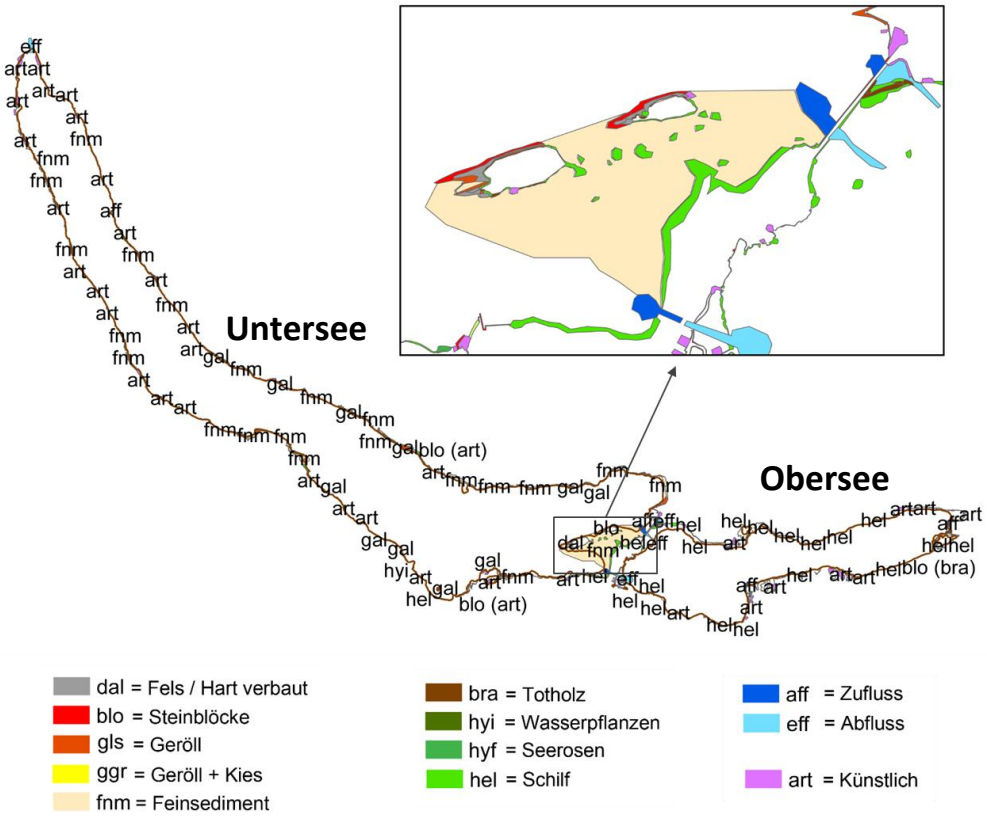


Abbildung 4-7. Ausschnitt der Standorte der litoralen Habitate für die habitatspezifischen Befischungen des Zürichsees.

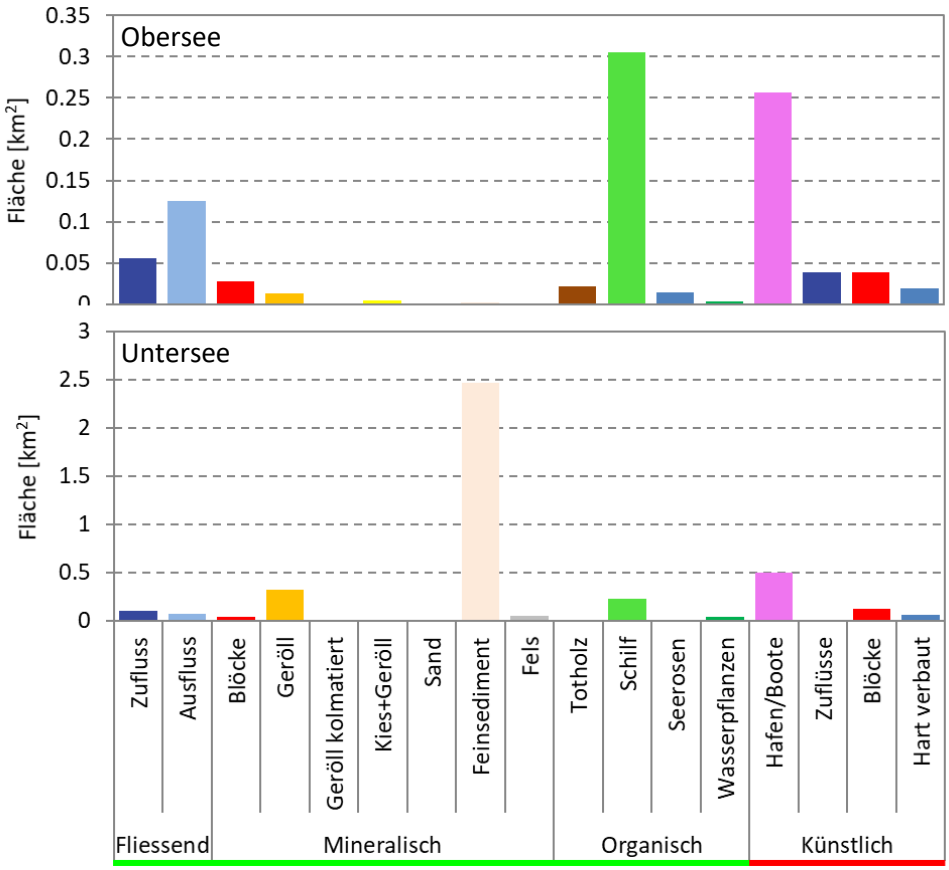


Abbildung 4-8. Fläche der verschiedenen litoralen Habitate im Zürichsee-Obersee (oben) und Zürichsee-Untersee (unten).

4.2.2 Untersee

Stark verbaute Ufer im Untersee

Im Vergleich zum Obersee sind im Untersee strukturierte litorale Habitate (Blöcke, Vegetation, Totholz), die den litoralen Fischen wichtige Habitate bieten, eher weniger vertreten (Abbildung 4-8). Feinsedimente und künstlich beeinflusste Habitate sind deutlich häufiger vorhanden. Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Untersee somit stärker beeinträchtigt als im Obersee.

Sehr hohe Anteile (76%) des Seeufers im Untersee sind heute durch Verbauungen anthropogen beeinflusst (Abbildung 4-9). Dies ist der höchste Wert, den wir in allen grossen Perialpenseen im Rahmen des Projet Lac bisher festgestellt haben. Die Verbauungen bestehen dabei flächenmässig, ähnlich wie im Obersee zu ca. 72% aus Hafenanlagen und Stegen für Boote und zu ca. 28% aus Blockwürfen oder hart verbauten Seeufern (z.B. Betonmauern). Die Verbauungen stehen grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Nur gerade 24% des Ufers können als naturnah bezeichnet werden, und diese finden sich meist im östlichen Bereich des Untersees.

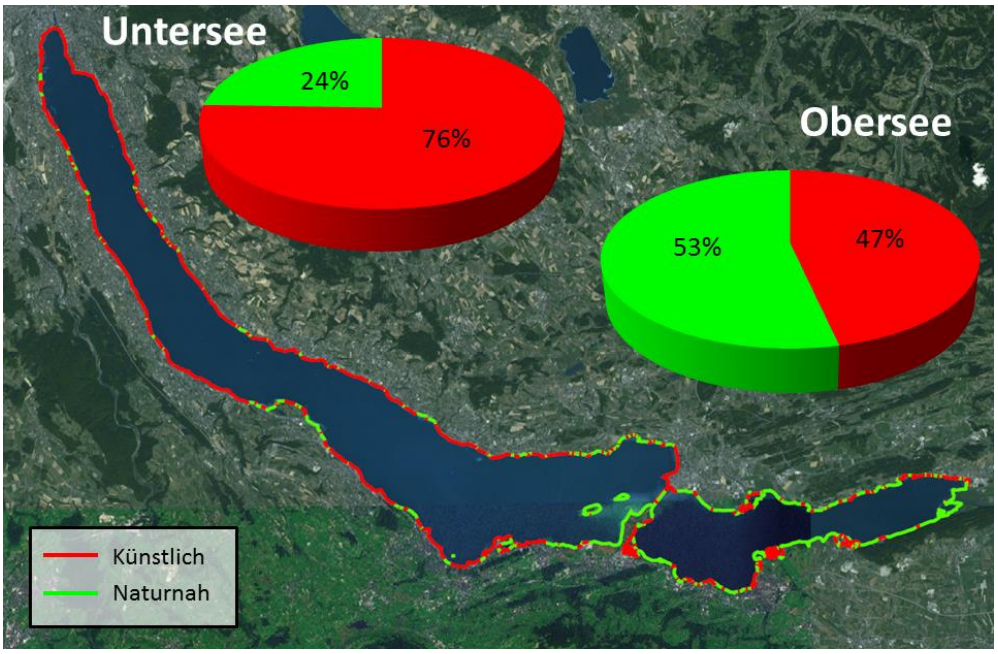


Abbildung 4-9. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Zürichsee (Luftaufnahme © Esri).

4.3 Standardisierte Abfischung

4.3.1 Standorte der Probenahmen

246 Befischungs-aktionen

Während sechs Tagen wurden im Zürichsee insgesamt 89 benthische CEN- (Obersee: 27, Untersee: 62); 20 pelagische CEN- (Obersee: 8, Untersee: 12), 52 uferhabitatspezifische Vertikal- (Obersee: 24, Untersee: 28), und 28 pelagische Vertikal-Netze (Obersee: 12, Untersee: 16) über Nacht gesetzt. Zusätzlich wurden 57 Uferstrecken (Obersee: 29, Untersee: 28) elektrisch befischt. Insgesamt sind somit 246 Befischungsaktionen durchgeführt worden (Abbildung 4-10).

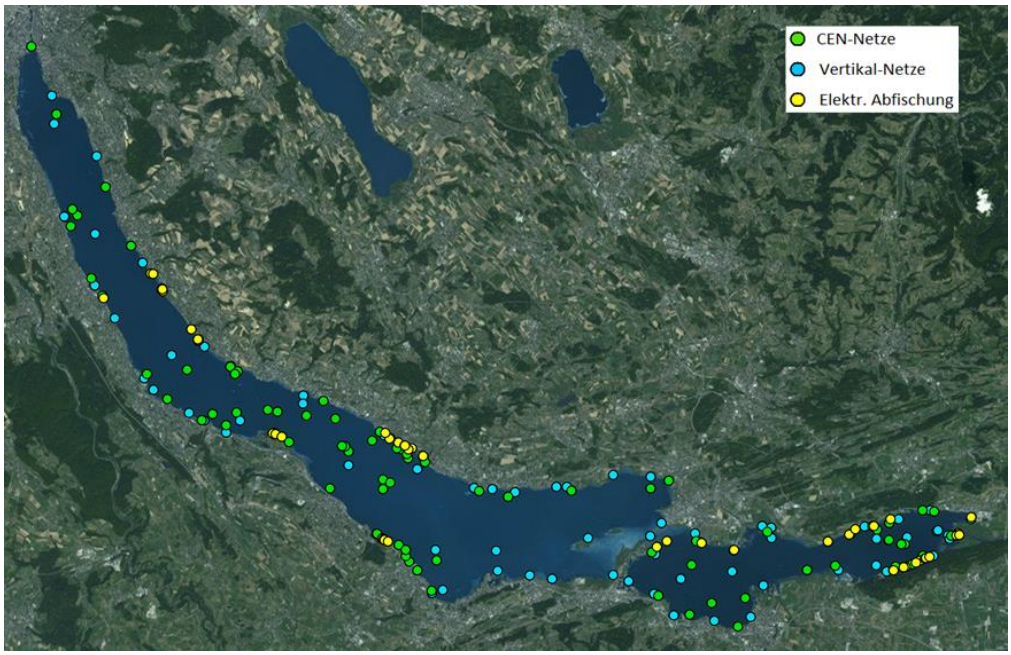


Abbildung 4-10. Karte der Befischungsstandorte im Zürichsee (Luftaufnahme © Esri).

4.3.2 Fischbestand und Artenvielfalt

4.3.2.1 Obersee

18 Fischarten im Obersee

Insgesamt wurden im Obersee 1'909 Fische von 18 Fischarten gefangen (Felchen nach Arten aufgetrennt; Tabelle 4-1; Tabelle 4-4;). Über alle Fangmethoden gesehen waren Flussbarsche mit 762 Individuen am häufigsten in den Fängen vertreten. Ebenfalls sehr häufig vertreten waren die gebietsfremden Kaulbarsche (N=692) und das Rotauge (N=149). Die Anzahl gefangener Felchen waren im Vergleich zum Untersee und in Anbetracht des getätigten Aufwandes höher (N=63). Der Felchenfangertrag in Biomasse korrigiert für den Aufwand war in den beiden Seen vergleichbar (Tabelle 8-1). Barben und Seesaiblinge wurden nur im Obersee und nicht im Untersee gefangen.

Die gesamte Biomasse des Fanges im Obersee betrug 44.7 kg (Tabelle 4-2). Der Alet stellte den grössten Anteil der Biomasse (11.1 kg), gefolgt vom Flussbarsch (7.4 kg), dem Rotauge (6.4 kg) und dem standortfremden Kaulbarsch (6.2 kg). Die Biomasse der gefangenen Felchen betrug 4.4 kg.

Tabelle 4-1. Zusammenstellung der Anzahl der gefangenen Individuen pro Art für die verschiedenen Fangmethoden und die beiden Seen.

Anzahl Individuen		**Obersee**				**Untersee**			
Deutsch	**Lateinisch**	**CEN**	**Elektrisch**	**Vertikal**	**Total**	**CEN**	**Elektrisch**	**Vertikal**	**Total**
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	430	22	310	762	402	13	275	690
Rotauge	*Rutilus rutilus*	100	14	35	149	222	36	24	282
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	622	13	57	692	212	2	62	276
Laube	*Alburnus alburnus*	13	-	22	35	36	-	55	91
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	12	-	51	63	25	-	42	67
Gründling	*Gobio gobio*	6	1	11	18	10	30	4	44
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	-	-	-	-	9	29	5	43
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	-	8	6	14	5	8	4	17
Brachse	*Abramis brama*	5	1	1	7	12	1	2	15
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp*	-	-	-	-	3	-	12	15
Groppe	*Cottus gobio*	3	21	2	26	2	11	-	13
Alet	*Squalius cephalus*	2	38	5	45	-	4	7	11
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	1	58	-	59	-	10	-	10
Hecht	*Esox lucius*	1	3	-	4	6	1	2	9
Schleie	*Tinca tinca*	-	1	2	3	4	-	2	6
Trüsche	*Lota lota*	2	20	4	26	4	1	-	5
Forelle	*Salmo trutta*	-	-	-	-	-	5	-	5
Karpfen	*Cyprinus carpio*	-	-	-	-	-	-	1	1
Barbe	*Barbus barbus*	-	5	-	5	-	-	-	-
Seesaibling	*Salvelinus umbla*	-	-	1	1	-	-	-	-
Total		**1197**	**205**	**507**	**1909**	**952**	**151**	**497**	**1600**
Anzahl Arten		12	13	13	16	14	13	14	18

4.3.2.2 Untersee

20 Fischarten im Untersee

Insgesamt wurden im Untersee 1'600 Fische von 20 Fischarten gefangen (Tabelle 4-1; Tabelle 4-4; Felchen nach Arten aufgetrennt). Über alle Fangmethoden gesehen waren Flussbarsche in den Fängen auch im Untersee mit 690 Individuen am häufigsten vertreten. Ebenfalls sehr häufig vertreten waren die Rotaugen (N=282) und die gebietsfremden Kaulbarsche (N=276). Die ebenfalls gebietsfremden Sonnenbarsche, sowie Rotfedern, Forellen und Karpfen wurden nur im Untersee gefangen.

Die gesamte Biomasse des Fanges im Untersee betrug 57.4 kg (Tabelle 4-1, Abbildung 4-11). Die Flussbarsche stellten erneut den grössten Anteil (10.6 kg), gefolgt von den Felchen (8.7 kg) und den Rotaugen (7.5 kg).

Tabelle 4-2. Zusammenstellung der Biomasse der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangmethoden.

Biomasse (kg)		Obersee				Untersee			
Deutsch	**Lateinisch**	**CEN**	**Elektrisch**	**Vertikal**	**Total**	**CEN**	**Elektrisch**	**Vertikal**	**Total**
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	3.22	0.24	3.95	7.41	6.84	0.11	3.66	10.61
Rotauge	*Rutilus rutilus*	4.60	0.03	1.80	6.43	5.62	0.03	1.89	7.54
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	5.22	0.21	0.74	6.18	2.16	0.02	0.76	2.94
Laube	*Alburnus alburnus*	0.10	-	0.20	0.31	0.41	-	0.61	1.02
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	1.77	-	2.65	4.42	3.99	-	4.73	8.72
Gründling	*Gobio gobio*	0.05	0.001	0.08	0.14	0.08	0.11	0.04	0.23
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	-	-	-	-	0.66	0.94	0.47	2.07
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	-	0.03	0.37	0.40	0.52	0.02	0.35	0.89
Brachse	*Abramis brama*	0.02	0.001	0.003	0.02	0.04	0.002	0.01	0.05
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp.*	-	-	-	-	0.83	-	5.04	5.86
Groppe	*Cottus gobio*	0.02	0.06	0.01	0.08	0.01	0.03	-	0.03
Alet	*Squalius cephalus*	1.96	2.25	6.88	11.09	-	0.45	4.18	4.63
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	0.002	0.10	-	0.11	-	0.02	-	0.02
Hecht	*Esox lucius*	4.15	0.53	-	4.68	2.01	0.12	0.07	2.20
Schleie	*Tinca tinca*	-	0.01	1.12	1.13	3.50	-	1.04	4.54
Trüsche	*Lota lota*	0.33	1.71	0.17	2.20	0.37	0.003	-	0.38
Forelle	*Salmo trutta*	-	-	-	-	-	0.05	-	0.05
Karpfen	*Cyprinus carpio*	-	-	-	-	-	-	5.62	5.62
Barbe	*Barbus barbus*	-	0.01	-	0.01	-	-	-	-
Seesaibling	*Salvelinus umbla*	-	-	0.14	0.14	-	-	-	-
Total		**21.44**	**5.18**	**18.12**	**44.73**	**27.04**	**1.90**	**28.46**	**57.40**
Anzahl Arten		12	13	13	16	14	13	14	18

4.3.2.3 Volumenkorrigierte Fänge

Die Fische sind nicht zufällig im See verteilt. Anhand unserer Daten können Häufigkeit und Biomasse der einzelnen Fischarten für die Verfügbarkeit der verschiedenen Habitate (in diesem Fall das vorhandene Volumen der einzelnen Habitate) korrigiert werden. Bei dieser Auswertung stellt sich heraus, dass bezogen auf die Bestandsdichte der Flussbarsch in beiden Seebecken dominiert, vor den Felchen. Es folgen darauf der Kaulbarsch, die Laube und das Rotauge.

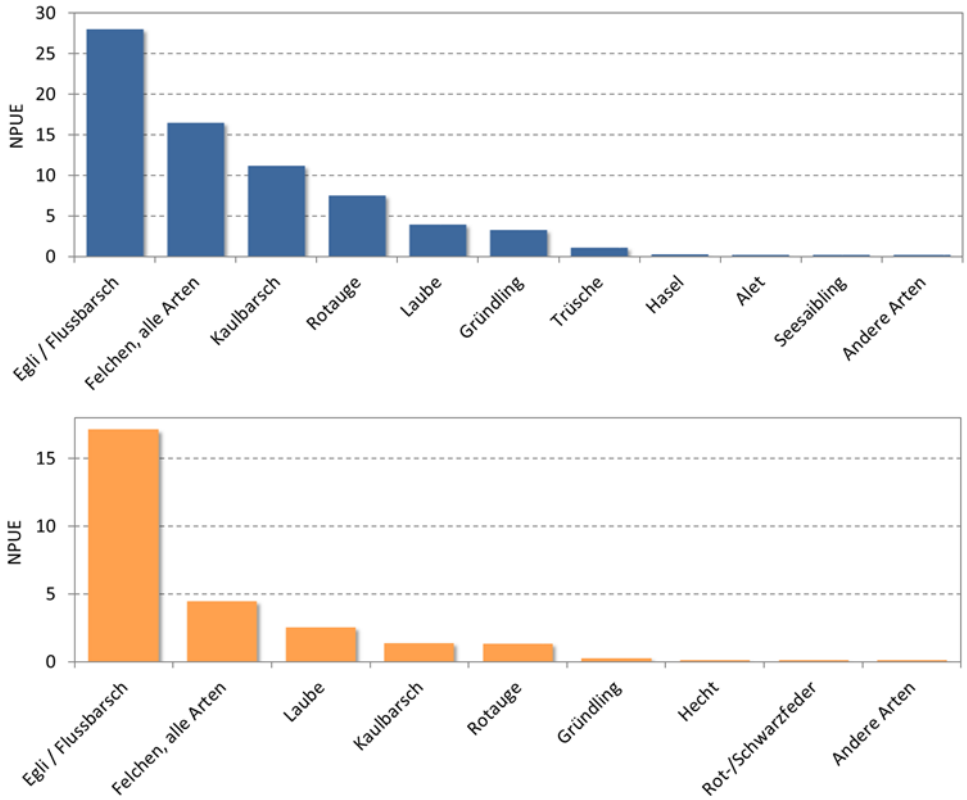


Abbildung 4-11. Die Anzahl der im Obersee (oben) und Untersee (unten) mit den Vertikalnetzen gefangenen Fische, korrigiert für die Netzfläche und die Habitatverfügbarkeit. NPUE = Anzahl Fische pro tausend Quadratmeter Netz.

4.3.2.4 Museumssammlung

Von den gefangenen Fischen wurden 149 vom Obersee und 232 vom Untersee in die Museumssammlung des Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde Bern aufgenommen (Tabelle 4-3). Weitere genetische Proben wurden in die Sammlungen der Eawag aufgenommen (insgesamt 745). Schliesslich wurde von 635 Fischen standardisierte Fotos erstellt.

Tabelle 4-3. Liste der im naturhistorischen Museum von Bern aufbewahrten Fische und der genetischen Proben, die an der Eawag aufbewahrt werden.

Sammlung		**Museum (Ganze Fische)**		**Eawag (Genetische Proben)**	
Fischart		**Obersee**	**Untersee**	**Obersee**	**Untersee**
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	7	26	53	82
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	22	10	23	10
Gründling	*Gobio gobio*	5	26	8	30
Laube	*Alburnus alburnus*	7	24	27	44
Alet	*Squalius cephalus*	20	10	21	10
Groppe	*Cottus gobio*	20	10	22	10
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	7	23	71	59
Rotauge	*Rutilus rutilus*	4	24	64	63
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	12	14	13	14
Trüsche	*Lota lota*	20	5	21	5
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	10	7	10	10
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	0	17	0	18
Brachsmen	*Abramis brama*	5	10	6	10
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp.*	0	12	0	13
Hecht	*Esox lucius*	2	9	3	9
Barbe	*Barbus barbus*	5	0	6	0
Forelle	*Salmo trutta*	0	5	0	5
Schleie	*Tinca tinca*	3	0	4	1
Total		**149**	**232**	**352**	**393**

4.3.3 Vielfalt der historischen und aktuellen Fischgesellschaft

4.3.3.1 Obersee

Im Rahmen des Projet Lac wurden im Obersee insgesamt 18 Fischarten gefangen (Felchen nach Arten aufgetrennt). Davon sind 17 Arten im Zürichsee heimisch, wohingegen der Kaulbarsch basierend auf historischen Dokumenten im Zürichsee nicht heimisch ist (Escher 1692; Hartmann 1827). Bis heute wurden im ganzen See (beide Becken) insgesamt 41 Fischarten dokumentiert (Tabelle 4-4). Vor 1900 wurden im Zürichsee 27 Arten dokumentiert (Escher 1692; Hartmann 1827). Von den 27 historisch dokumentierten Fischarten konnten 2014 bei den Befischungen vom Projet Lac im Obersee nur 16 Arten gefangen werden.

Nicht gefangen wurden zehn der historisch als einheimisch dokumentierten Fischarten: Aal, Äsche, Bachneunauge, Blicke, Elritze, Forelle, Karpfen, Lachs, Nase und Rotfeder. Die Äsche, der Aal, die Forelle, die Rotfeder und der Karpfen wurden in den letzten Jahren im Obersee aber noch nachgewiesen. Gemäss Fischereiaufseher Josef Kälin sind Elritzen und Bachneunaugen in Zuflüssen bekannt und könnten dabei auch im Mündungsbereich dieser Gewässer bis heute auftreten. Der Lachs war nur saisonal im See vorhanden, ist aber heute im Zürichsee nicht mehr vorhanden.

Verschiedene standortfremde Arten, die dem Fischatlas zufolge im Zürichsee nachgewiesen wurden, konnten im Rahmen der „Projet Lac“-Befischungen ebenfalls nicht festgestellt werden (Sonnenbarsch, Forellenbarsch, Karausche, Goldfisch, Karpfen, Dreistachliger Stichling, Wels, Katzenwels, Kanadische Seeforelle, Bachsaibling und Regenbogenforelle). Dies deutet darauf hin, dass diese Arten, falls sie noch vorhanden sind, entweder nur in geringen Dichten vorhanden sind oder nur in begrenzten Gebieten. So wurde zum Beispiel der Sonnenbarsch in Zuflüssen vom Obersee (linker Hintergraben, Linthkanal) gemäss Fischereibehörde beobachtet.

Tabelle 4-4. Artenfundliste des Zürichsees. Die Fänge des Projet Lac sind rot umrandet. Die Arten wurden aufgrund der historischen Vorkommen als im Zürichsee einheimisch oder gebietsfremd eingestuft. In Hartmann 1827 wurde der Zürichsee nicht explizit erwähnt, die Arten wurden aber als weit verbreitet bezeichnet. Die Spalte «Fischatlas» zeigt die Angaben aus dem Schweizer Fischatlas (Zaugg et al. 2003). Hier sind alle im Zürichsee dokumentierten und dem Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna bis 2003 gemeldeten Fischarten aufgeführt. Die Spalte «Fischerei» zeigt die Liste, der von Berufs- und Angelfischern gefangene Arten, gemäss Fischfangstatistiken von 2000-2016.

				1692	1827	2003	2000 - 2016	Projet Lac 2014	
Familie	**Art**		**Status**	**Escher**	**Hartmann**	**Fischatlas**	**Fischerei**	**Obersee**	**Untersee**
Anguillidae	*Anguilla anguilla*	Aal	einheimisch	1	1	1	1		
Centrarchidae	*Lepomis gibbosus*	Sonnenbarsch	gebietsfremd			1	1		**1**
	Micropterus salmoides	Forellenbarsch	gebietsfremd			1	1		
Cottidae	*Cottus gobio*	Groppe	einheimisch	1	1	1		**1**	**1**
Cyprinidae	*Abramis brama*	Brachsmen	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
	Alburnus alburnus	Laube	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
	Barbus barbus	Barbe	einheimisch	1	1	1	1	**1**	
	Blicca bjoerkna	Blicke	einheimisch	1	1	1			
	Carassius carassius	Karausche	gebietsfremd			1	1		
	Carassius auratus	Goldfisch	gebietsfremd			1			
	Chondrostoma nasus	Nase	einheimisch	1	1	1			
	Cyprinus carpio	Karpfen	gebietsfremd	1	1	1	1		**1**
	Gobio gobio	Gründling	einheimisch	1		1		**1**	**1**
	Leuciscus leuciscus	Hasel	einheimisch	1	1	1		**1**	**1**
	Phoxinus phoxinus	Elritze	einheimisch	1		1			
	Rutilus rutilus	Rotauge / Schwalen	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
	Scardinius erythrophthalmus	Rotfeder	einheimisch	1		1	1		**1**
	Scardinius hesperidicus	Schwarzfeder	gebietsfremd						**1**
	Squalius cephalus	Alet	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
	Tinca tinca	Schleie	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
Esocidae	*Esox lucius*	Hecht	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
Gadidae	*Lota lota*	Trüsche	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
Gasterosteidae	*Gasterosteus aculeatus*	Dreistachliger Stichling	gebietsfremd			1			
Nemacheilidae	*Barbatula barbatula*	Bartgrundel / Schmerle	einheimisch		1	1		**1**	**1**
Ictaluridae	*Ameiurus melas*	Katzenwels	gebietsfremd			1			
Percidae	*Gymnocephalus cernua*	Kaulbarsch	gebietsfremd			1	1	**1**	**1**
	Perca fluviatilis	Egli / Flussbarsch	einheimisch	1	1	1	1	**1**	**1**
	Sander lucioperca	Zander	gebietsfremd				1		
Petromyzontidae	*Lampetra planeri*	Bachneunauge	einheimisch	1					
Salmonidae	*Salmo trutta*	Forelle	einheimisch	1	1	1	1		**1**
	Salmo salar	Lachs	einheimisch	1	1				
	Coregonus zuerichensis	Bratfisch / Blaalig / Schweber	einheimisch	1	1			**1**	**1**
	Coregonus heglingus †	Hägling / Albeli	einheimisch	1	1		1	**1**	
	Coregonus duplex	Grunder / Sandfelchen	einheimisch				1	**1**	**1**
	Coregonus sp.	Felchen unbest.	einheimisch			1	1	**1**	**1**
	Salvelinus namaycush	Kanadische Seeforelle	gebietsfremd			1			
	Salvelinus fontinalis	Bachsaibling	gebietsfremd			1			
	Salvelinus umbla ††	Seesaibling	einheimisch	1	1	1	1	**1**	
	Oncorhynchus mykiss	Regenbogenforelle	gebietsfremd			1			
Siluridae	*Silurus glanis* †††	Wels	gebietsfremd	1	1	1	1		
Thymallidae	*Thymallus thymallus*	Äsche	einheimisch	1	1	1	1		
Anzahl einheimische Arten			26	24	21	22	16	**17**	**16**
Anzahl eingeführte Arten			14	2	2	12	7	**1**	**4**
Total Anzahl Arten			40	26	23	34	23	**18**	**20**

† Steinmann (1950) hat eine Sommer- und eine Winterlaichende Form des Albeli (*Coregonus heglingus*) beschrieben. Da keine laichreifen *C. heglingus* gefangen wurden, kann weder ausgeschlossen noch bestätigt werden, dass heute noch beide oder nur eine der Formen im See vorkommen.

†† Zusätzlich zur grossen Normalform wurde eine kleinwüchsige Tiefseeform 1575 von Gessner im Zürichsee beschrieben. Diese gilt heute als verschollen und ist wahrscheinlich ausgestorben.

††† Im 17 Jh. aus Schwaben in den Zürichsee eingeführt (Escher 1692; Hartmann 1827).

4.3.3.2 Untersee

Im Rahmen des Projet Lac wurden im Untersee insgesamt 20 Fischarten gefangen. Davon sind 16 Arten im Zürichsee heimisch und vier gelten nach historischen Dokumenten (Escher 1692; Hartmann 1827) als gebietsfremd. Von den 26 historisch als einheimisch dokumentierten Fischarten konnten 2014 bei den Befischungen vom Projet Lac im Untersee nur 16 gefangen werden.

Die zehn historisch dokumentierten Fischarten, die nicht gefangen wurden sind: Aal, Hägling/Albeli (*Coregonus heglingus*), Äsche, Bachneunauge, Barbe, Blicke, Elritze, Lachs, Nase und Seesaibling. Die Äsche, der Aal, die Barbe, die Nase und der Seesaibling, wurden in den letzten Jahren im Untersee noch nachgewiesen. Der Lachs war nur saisonal im See vorhanden und gilt heute im Zürichsee als ausgestorben. Die Elritze ist möglicherweise noch in Zuflüssen des Sees vorhanden, doch offenbar sehr selten. In der Fischereistatistik des Kantons werden „Albeli“ aufgelistet, es ist aber zu erwähnen, dass es sich dabei genetisch und phänotypisch um den Schweber (*C. zuerichsensis*) und nicht um das Hägling/Albeli (*C. heglingus*) handelt, welches erstmals seit Steinmann erst im Rahmen des Project Lac im Obersee genetisch und phänotypisch wieder nachgewiesen wurde (siehe Abschnitt 4.3.5 Artenvielfalt der Felchen).

Die vier gebietsfremden Arten sind der Karpfen (schon vor 1900 vorhanden), der Kaulbarsch, der Sonnenbarsch und die Schwarzfeder. Das Vorhandensein der Schwarzfeder (*Scardinius hesperidicus*) aus dem Adriabereich konnten wir eindeutig erst durch das Sequenzieren der diagnostischen Merkmale in der mitochondrialen DNA nachweisen. 13 unserer 15 Tiere hatten den *S. erythrophtalmus* Phänotyp, während ein Tier phänotypisch eindeutig ein Hybrid war, und ein weiteres Tier ebenfalls gemischte Merkmale aufwies. Es handelt sich bei unseren Tieren mit *S. hesperidicus* Mitochondrien um natürliche Hybriden zwischen *Scardinius hesperidicus* und *S. erythrophtalmus*. Durch Rückkreuzung der ursprünglichen Hybridgeneration mit *S. erythrophtalmus* können Fische entstehen, die wie *S. erythrophtalmus* aussehen, aber Mitochondrien von *S. hesperidicus* besitzen.

Auch im Untersee, konnten verschiedene standortfremde Arten, die dem Fischatlas zufolge im Zürichsee nachgewiesen wurden, nicht festgestellt werden: Forellenbarsch, Karausche, Goldfisch, Dreistachliger Stichling, Wels, Katzenwels, Kanadische Seeforelle, Bachsaibling und Regenbogenforelle.

4.3.4 Artenvielfalt der Felchen

Ursprünglich wurden im Zürichsee drei Felchenarten beschrieben (Fatio 1890, Steinmann 1950); das Albeli oder Hägling (*Coregonus heglingus*), der Schweber (*C. zuerichensis*) und der Sandfelchen oder Grunder (*C. duplex*). Steinmann hielt es allerdings für möglich, dass noch eine vierte Art vorkam. Vor der Bestandsaufnahme durch das Project Lac führten genetische Untersuchungen an

Felchen, welche von Berufsfischern an bekannten Laichplätzen von Albeli und Schweber gefangen wurden, zu dem Schluss, dass sich diese Arten im Zürichsee derzeit nicht mehr genetisch differenzieren liessen, und dass sich nur noch ein Kleinfelchen und ein Grossfelchen genetisch differenzieren liessen (Vonlanthen et al. 2008). Auch im Walensee wurde eine, allerdings deutlich stärkere, genetische Differenzierung nur zwischen Kleinfelchen und Grossfelchen gefunden. Die Grossfelchen konnten als Grunder (*C. duplex*) identifiziert werden, die Kleinfelchen wurden bis zum Project Lac in beiden Seen als Albeli (*C. heglingus*) interpretiert, trotz grosser Unterschiede in der Morphologie. Man ging davon aus, dass der Schweber (*C. zuerichensis*) im Zürichsee im letzten Jahrhundert ausgestorben sei. Dass die Kleinfelchen der beiden Seen phänotypisch und genetisch verschieden waren, wurde damals als Folge von ausgeprägter Hybridisierung mit dem Grossfelchen im Zürichsee interpretiert. Zwischenzeitlich wurde unter den üblichen Kleinfelchen im Zürichsee einmal ein laichreifer Kleinfelchen gefangen, welches phänotypisch dem Kleinfelchen des Walensees entsprach (Seehausen pers. Beobachtung an Fischen, die von Bänz Lundsgaard-Hansen gefangen wurden). Erst im Projet Lac wurden jetzt mehrere solche Kleinfelchen im Obersee gefangen, die phänotypisch nicht dem grösseren Kleinfelchen des Zürichsees glichen, sondern dem Kleinfelchen des Walensees. Die neuen genomischen Daten bestätigen nun, dass die abweichenden Phänotypen tatsächlich genetisch dem Kleinfelchen des Walensees gleichen, während die grösseren Kleinfelchen aus Projet Lac Fängen des Zürichsees genetisch denen aus den früheren Arbeiten gleichen.

Diese neuen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass die ursprünglich als Albeli des Zürichsees bezeichneten Kleinfelchen genetisch dem Schweber (*C. zuerichensis*) zugehörig sind, und dass die abweichenden Kleinfelchen Phänotypen aus dem Project Lac richtigerweise genetisch und phänotypisch dem Hägling/Albeli (*C. heglingus*) zuzuordnen sind. Es existieren also alle drei Arten von Felchen im Zürichsee, *C. heglingus*, *C. zuerichensis* und *C. duplex*, und alle drei koexistieren derzeit im Obersee. Wie weit verbreitet *C. heglingus* im Obersee ist und ob es sich um eine Wiederbesiedelung vom Walensee über den Linthkanal handelt oder ob die Art im Zürichsee selber in geringer Zahl überlebt hat und derzeit im Obersee vielleicht wieder zunimmt, bedarf zukünftiger Untersuchungen. Im Untersee wurden keine *C. heglingus* während dem Project Lac gefangen. Es ist aber nicht auszuschliessen, dass diese Art auch im Untersee in geringer Zahl vorkommt.

Steinmann (1950) hat eine sommer- und eine winterlaichende Form von *C. heglingus* beschrieben. Ob sowohl winter- wie sommerlaichende Häglinge/Albeli im Zürichsee vorkommen, bedarf weiterer Untersuchungen. Die von uns im Obersee gefangen Tiere waren nicht laichreif. *C. zuerichensis* und *C. duplex* konnten beide sowohl im Obersee wie auch im Untersee festgestellt werden, und zwar sowohl phänotypisch als auch genetisch.

Eine weitere neue Erkenntnis zu den Felchen des Zürich- und Walensee betrifft die Felchen aus dem Linthkanal. Der Zürichsee und der Walensee sind über den Linthkanal miteinander verbunden und alljährlich wandern Felchen zum Laichen in

den Linthkanal ein. Frühere genetische Daten und die heutigen genomischen Daten unter Einbeziehung der Felchen aus dem Project Lac zeigen, dass die Linthfelchen der Art *C. duplex* zugehörig sind, und dass sie der Population aus dem Walensee genetisch nahestehen, von der Population aus dem Zürichsee aber unterschieden sind (Vonlanthen et al. 2008, Feulner et al. unpubliziert). Unklar war bisher, ob die Felchen im Linthkanal vom Zürichsee her aufsteigen oder vom Walensee her absteigen. Messungen von stabilen Isotopen, die in Zusammenarbeit mit Jakob Brodersen (Eawag) durchgeführt wurden, konnten nun aufzeigen, dass die Linthkanalfelchen in ihrer Isotopensignatur *C. duplex* des Zürichsee gleichen und von denen des Walensees unterschieden sind. Das war ein unerwartetes Ergebnis, denn es bedeutet, dass der Linthfelchen im Zürichsee lebt und von dort zum Laichen in den Linthkanal aufsteigt, dass er aber vom im selben See lebenden Grunder genetisch unterschieden ist. Es handelt sich also sehr wahrscheinlich um eine eigenständige Population, die als solche zu managen wäre. Unsere Daten weisen also auf die Existenz von vier genetisch und ökologisch oder phänotypisch unterscheidbaren Felchenformen im Zürich Obersee hin.

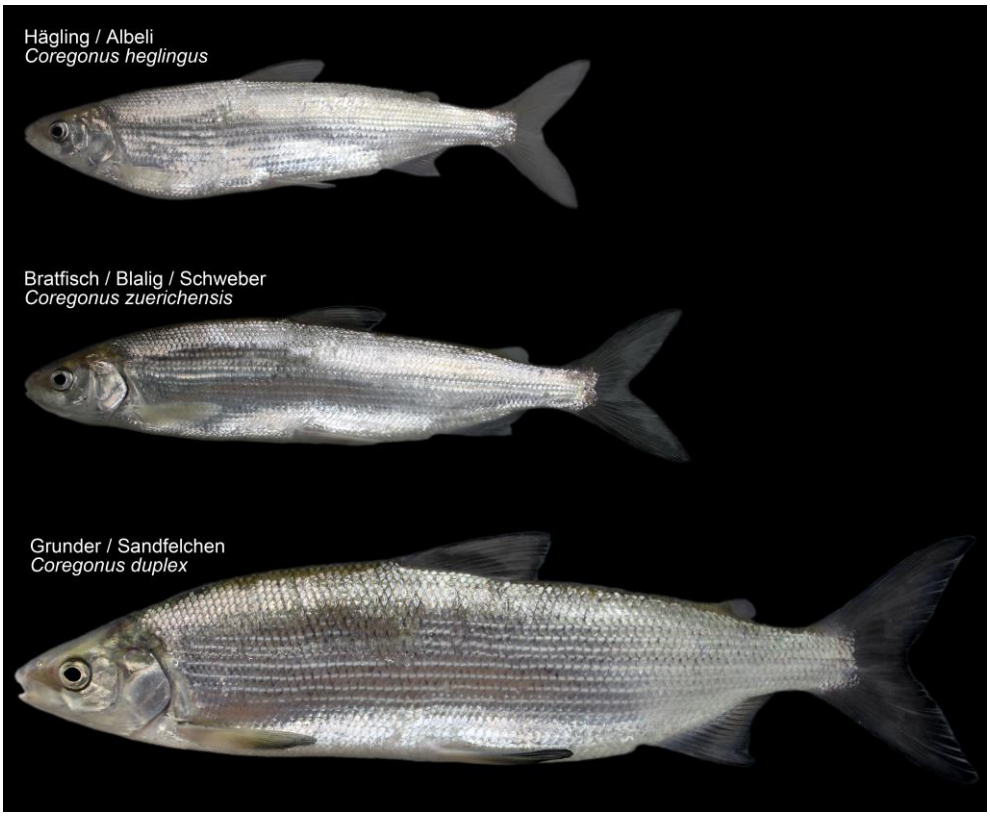


Abbildung 4-12. Felchenarten (*Coregonus spp.*) des Zürichsees.

Die räumliche Verteilung der Felchen, ihre Körperlängen- und Wassertiefenverteilung und ihre Längenverteilung nach Wassertiefe wurden für die adulten Felchen, welche den verschiedenen Arten zugeteilt werden konnten, abgebildet (Abbildung 4-13, Abbildung 4-25, Abbildung 4-26, Abbildung 4-27). In den restlichen Abbildungen und Tabellen wurden die adulten und juvenilen Felchen zusammen als Felchen (*Coregonus* spp.) ausgewiesen, da die juvenilen Felchen nicht artspezifisch identifizert werden konnten.

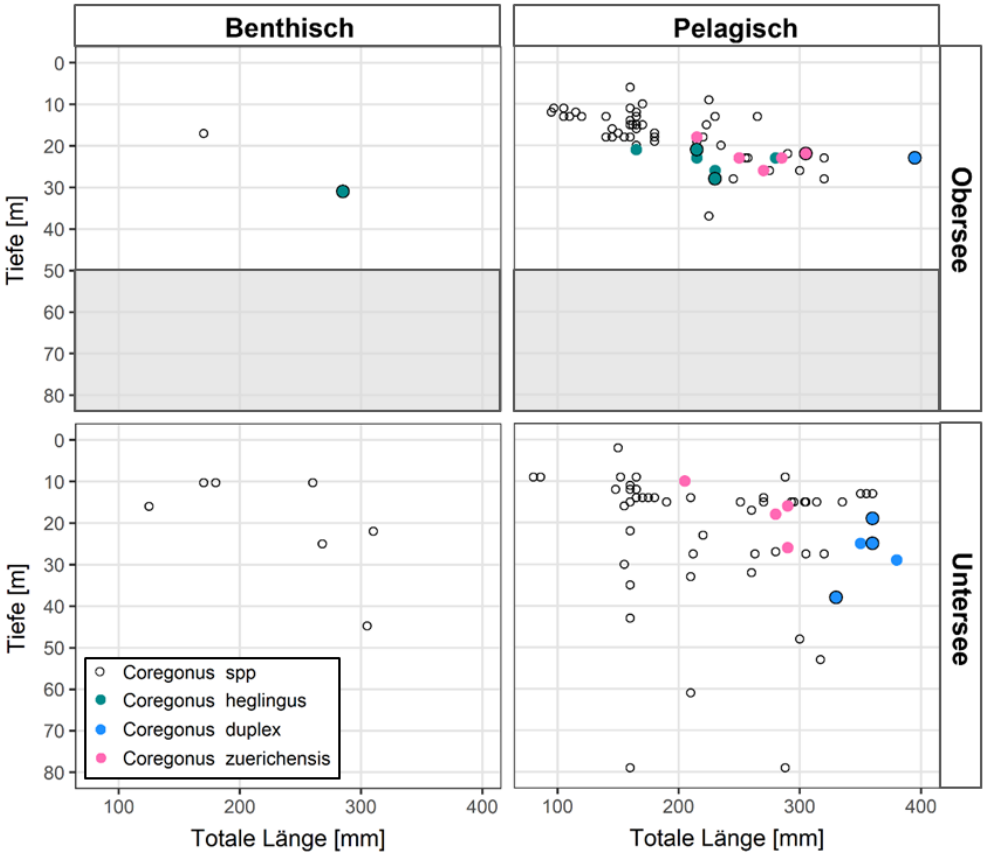


Abbildung 4-13. Grösse und Fangtiefe von Felchen (*Coregonus* spp.) in den beiden Seeteilen, Ober- und Untersee, in benthischen und pelagischen Habitaten. Die Arten wurden anhand von Fotos von Prof. Ole Seehausen identifiziert. Cyanblaue Punkte ● entsprechen *C. heglingus* (umgangsprachlich Hägling oder Albeli), blaue Punkte ● sind *C. duplex* (umgangssprachlich Grunder oder Sandfelchen) und pinkfarbige Punkte ● sind *C. zurichensis* (umgangssprachlich Blaalig oder Schweber). Ein schwarzer Ring um den Punkt bedeutet, dass die Art-Identifikation durch genomische Analysen bestätigt wurde. Ungefüllte Kreise ○ sind Individuen, die keiner Art zugeordnet werden konnten. „Benthisch" schliesst die benthischen CEN Netze, sowie die untersten 3 m der Vertikalnetze mit ein. Der Obersee hat eine Maximaltiefe von 50 m. Die Maximaltiefe des Untersees ist 136 m, die Graphik ist aber bei 80 m abgeschnitten, da in grösseren Tiefen keine Felchen gefangen wurden.

4.3.5 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). Die Resultate wurden anschliessend benutzt, um die 5% und 95%-Konfidenzintervalle für jede Art zu schätzen.

Die Resultate (Tabelle 4-5) zeigen, dass die Streuung für die meisten Arten im Bereich von ca. 50% liegt. Somit kann bei einer erneuten, quantitativen Beprobung des Sees mit dem gleichen Aufwand eine zukünftige Zunahme oder 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 Europäischen CEN prEN 14757 Norm. Zukünftige repräsentative Befischungen können somit statistisch mit denen von 2014 verglichen werden, wenn der Aufwand vergleichbar ist.

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

Fischart		Obersee							Untersee					
Deutsch	**Lateinisch**	**Min.**	**0.05**	**Mitte**	**Wert**	**0.95**	**Max.**		**Min.**	**0.05**	**Mitte**	**Wert**	**0.95**	**Max.**
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	112	239	432	430	651	800		116	203	400	402	627	863
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	194	409	619	622	836	1090		84	149	213	212	280	345
Rotauge	*Rutilus rutilus*	50	71	100	100	130	164		21	65	221	222	464	756
Laube	*Alburnus alburnus*	0	2	13	13	26	40		2	11	37	36	67	96
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	1	5	12	12	20	29		3	12	25	25	39	51
Brachse	*Abramis brama*	0	1	5	5	10	15		0	5	12	12	20	30
Gründling	*Gobio gobio*	0	2	6	6	12	18		0	4	10	10	16	24
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	-	-	-	-	-	-		1	4	9	9	15	19
Hecht	*Esox lucius*	0	0	1	1	3	4		0	2	6	6	11	16
Trüsche	*Lota lota*	0	0	2	2	4	8		0	1	4	4	7	10
Groppe	*Cottus gobio*	0	1	3	3	5	6		0	0	2	2	4	7
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	-	-	-	-	-	-		0	0	5	5	11	19
Schleie	*Tinca tinca*	-	-	-	-	-	-		0	2	4	4	7	10
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp.*	-	-	-	-	-	-		0	0	3	3	7	11
Alet	*Squalius cephalus*	0	0	2	2	6	8		-	-	-	-	-	-
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	0	0	1	1	3	4		-	-	-	-	-	-
Total Anzahl		**357**	**730**	**1195**	**1194**	**1706**	**2186**		**227**	**458**	**950**	**952**	**1575**	**2257**

4.3.6 Habitatnutzung

4.3.6.1 Pelagial – Benthisch – Obersee

Gewisse Fischarten bevorzugen die pelagischen, andere eher die benthischen Habitate im See. Im Fall des Obersees ist – wie in allen bisher untersuchten Seen – die grösste Artenvielfalt in den benthischen Netzen zu finden. In der Abundanz sind dabei im Benthal insbesondere die Kaulbarsche und Flussbarsche dominant. Die Dichte der Kaulbarsche ist dabei äusserst hoch. Das Pelagial teilen sich Felchen, Rotaugen und Flussbarsche zu ungefähr gleichen Anteilen (Abbildung 4-14).

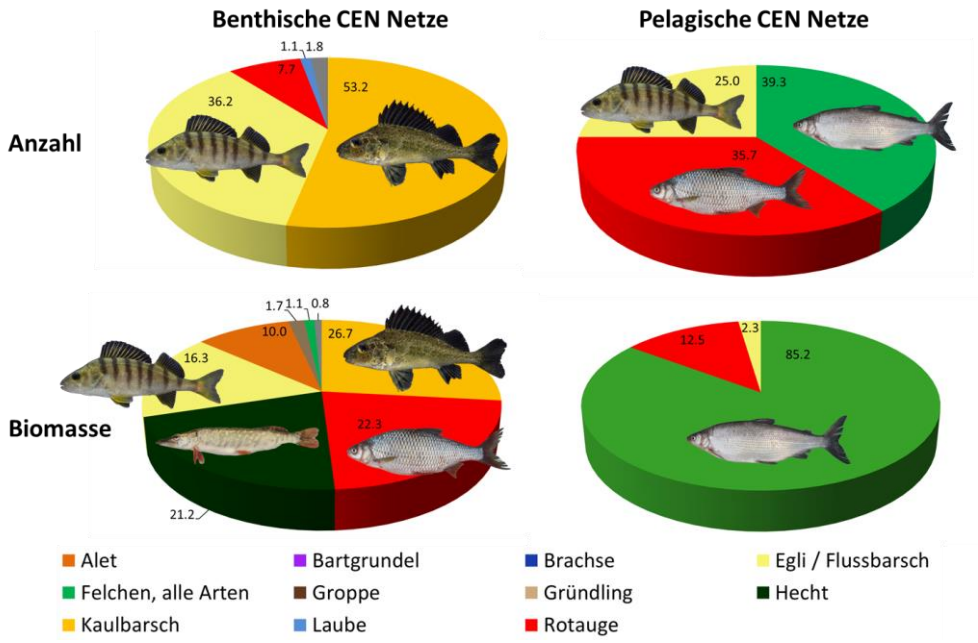


Abbildung 4-14. Nutzung der pelagischen und benthischen Habitate des Obersees durch die verschiedenen Fischarten (CEN-Netze).

Die Biomasse verteilt sich im Benthal ausgeglichener auf verschiedene Fischarten. Die Kaulbarsche, Flussbarsche und Rotaugen sind im Obersee dominant. Ebenfalls dominant in der Biomasse sind die Hechte. Dies ist allerdings auf den Fang eines grossen Exemplars zurückzuführen (99 cm für 4.5 kg). Bezüglich Biomasse dominieren im Pelagial die Felchen aufgrund des grossen Körpergewichts im Vergleich zu Rotauge und Flussbarsch. Das Pelagial wird bei diesen beiden letzten Arten hauptsächlich von kleinen Fischen besiedelt, die sich von Zooplankton ernähren.

4.3.6.2 Pelagial – Benthisch – Untersee

Auch im Untersee ist die grösste Artenvielfalt in den benthischen Netzen zu finden. In der Abundanz sind dabei im Benthal insbesondere der Flussbarsch, das Rotauge und der Kaulbarsch dominant. Die Dichte der Kaulbarsche ist dabei geringer als im Obersee. Im Pelagial ist die Abundanz, wie im Obersee auch durch Felchen dominiert, wobei diese im Untersee dominanter sind als im Obersee. Ebenfalls häufig war die Laube (Abbildung 4-15).

Die Biomasse verteilt sich im Benthal des Untersees ausgeglichener auf verschiedene Fischarten. Die Flussbarsche, die Rotaugen und die Schleien machen dabei den grössten Teil der Fischbiomasse aus, gefolgt von Kaulbarschen und Hechten. Im Pelagial stellen die Felchen aufgrund ihrer Grösse auch hier wie im Obersee klar den Grossteil der Fischbiomasse dar (Abbildung 4-15).

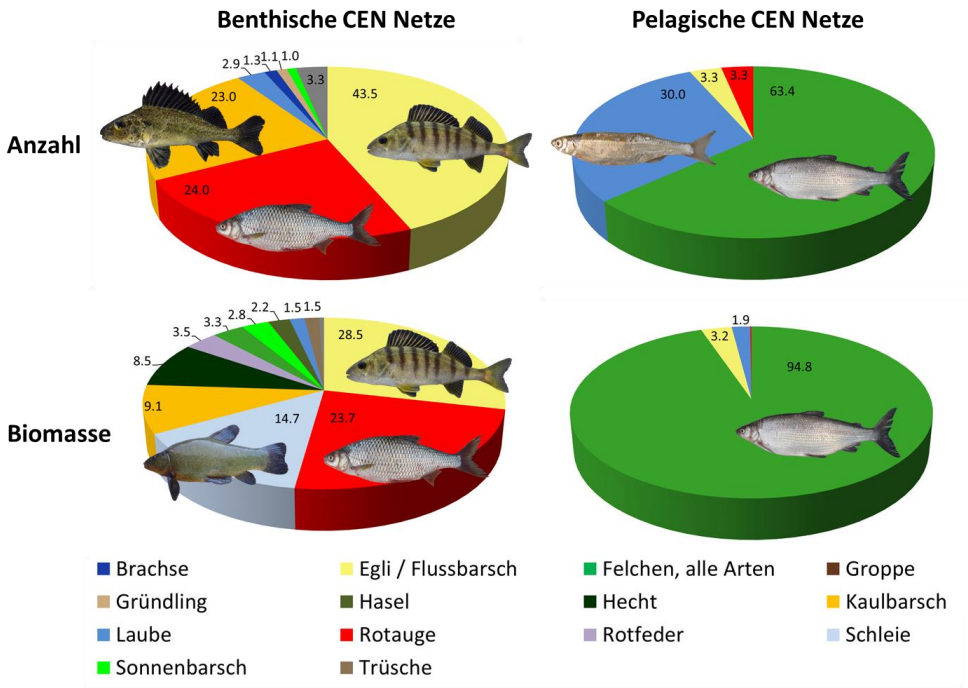


Abbildung 4-15. Nutzung der pelagischen und benthischen Habitate des Untersees durch die verschiedenen Fischarten (CEN-Netze).

4.3.6.3 Tiefenverteilung der Fische im Obersee

Im Obersee wurde die höchste Fischdichte in benthischen Netzen über alle Fischarten gesehen in Tiefen zwischen 0 und 20 m beobachtet (Abbildung 4-16). Dies ist hauptsächlich auf die Tiefenverteilung der Flussbarsche, Rotaugen, Lauben und Kaulbarsche zurückzuführen. Felchen wurden in benthischen Netzen nur wenige gefangen. Die Trüschen wurden in geringer Dichte in der Tiefe des Obersees gefangen. Somit konnten zum Zeitpunkt der Befischung alle Tiefen des flacheren Obersees von Fischen besiedelt werden.

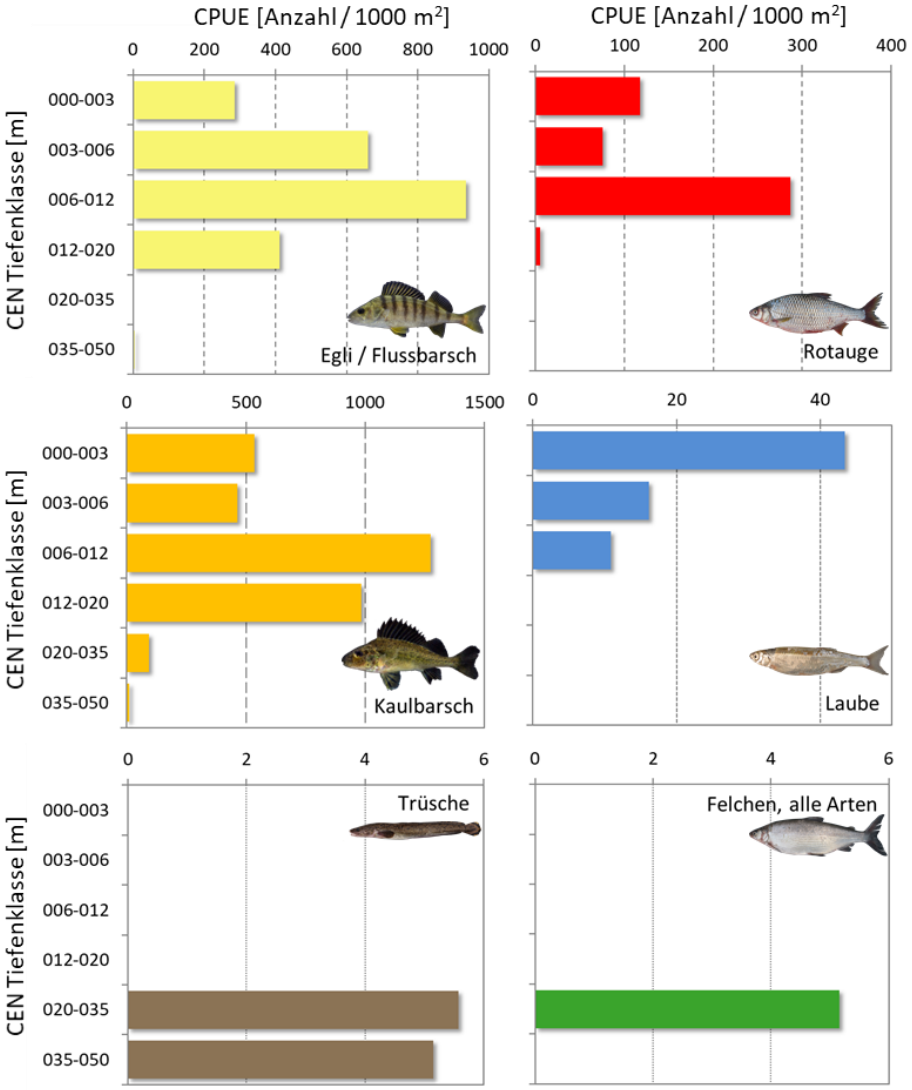


Abbildung 4-16. Die Anzahl der im Obersee gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für verschiedene Tiefengruppen die in der CEN-Norm für benthische CEN-Netze definiert wurden. Zu beachten ist, dass die Y-Achse nicht gleichmässig ist. Die Tiefenverteilung in Vertikalnetzen und die Tiefenverteilung der Felchenarten (vorläufig definiert über die Länge) sind im Appendix zu finden (Abbildung 4-13).

4.3.6.4 Tiefenverteilung der Fische im Untersee

Im Untersee wurde die höchste Fischdichte in benthischen Netzen über alle Fischarten gesehen ebenfalls in Tiefen zwischen 0 und 20 m beobachtet (Abbildung 4-17). Mehr als 60% aller Fische, die in benthischen CEN Netzen gefangen wurden, wurden auf einer Tiefe von 6-12 m gefangen. Dies ist hauptsächlich auf die Tiefenverteilung der Flussbarsche, Rotaugen, Lauben und Kaulbarsche zurückzuführen, die alle vier in derselben Tiefenzone ihre grösste Abundanz aufwiesen. Felchen wurden in geringer Anzahl zwischen 6 und 50 m Tiefe gefangen. Trüschen wurden in geringer Anzahl bis in eine Tiefe von 75 m gefangen. Tiefer als 80 m konnten im Untersee keine Fische nachgewiesen werden. Somit besiedeln Fische zum Zeitpunkt der Befischungen nur die obere Hälfte der vorhandenen Wassertiefen des Untersees. Dies ist wahrscheinlich assoziiert mit der niedrigen Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser.

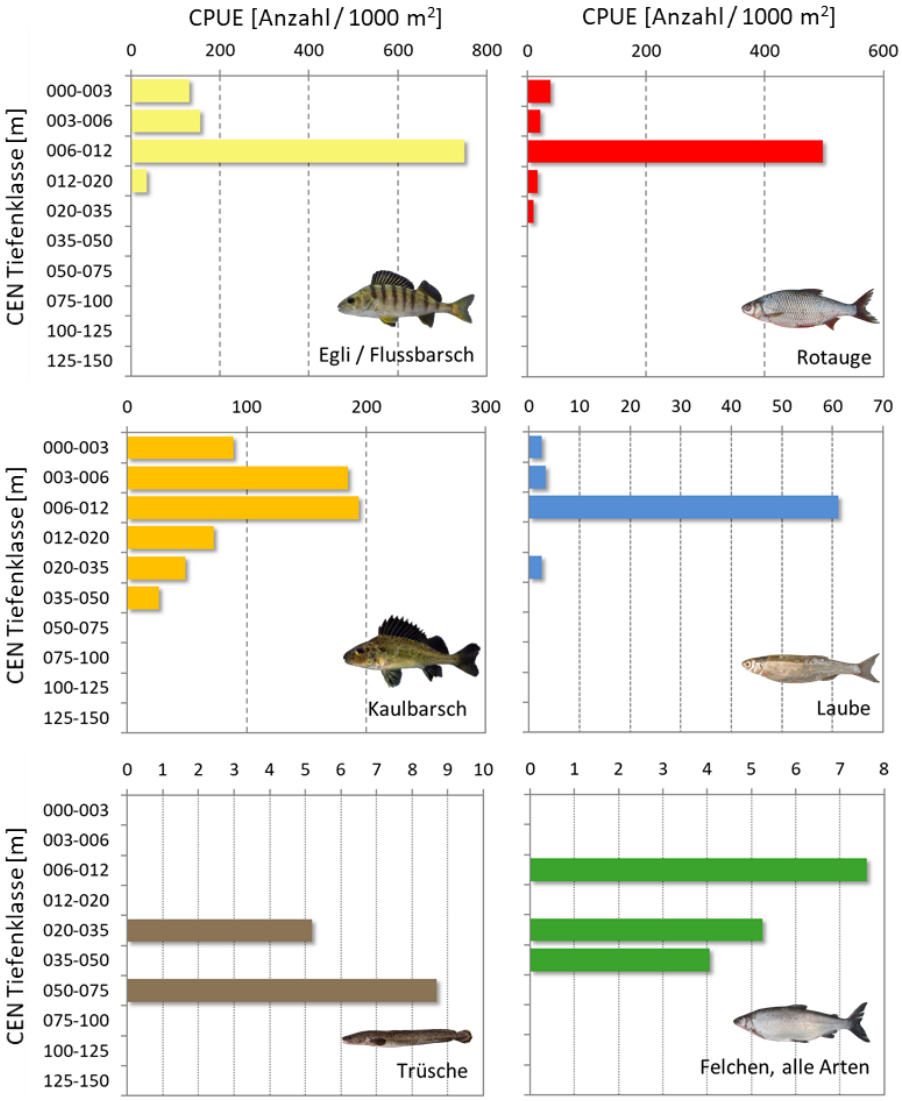


Abbildung 4-17. Die Anzahl der im Untersee gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE) dargestellt für verschiedene Tiefenzonen der CEN-Norm für benthische CEN-Netze. Zu beachten ist, dass die Y-Achse nicht gleichmässig ist. Die Tiefenverteilung in Vertikalnetzen und die Tiefenverteilung der Felchenarten (vorläufig definiert über die Länge) sind im Appendix zu finden (Abbildung 4-13).

Die Groppe, eine streng benthische Fischart, die im benachbarten Walensee bis in 150m Tiefe vorkommt, konnten wir im Obersee nur bis in Tiefen von 20m in geringen Zahlen nachweisen, und im Untersee sogar nur im litoralen Flachwasser.

4.3.6.5 Uferhabitate

Die Netzbefischung der Uferhabitate zeigt, dass sowohl im Obersee als auch im Untersee die gefangenen Arten und die Anzahl gefangener Fische ungleichmässig über die Habitate verteilt sind. Flussbarsche oder Egli sind die bei Weitem häufigste Art in der litoralen Zone des Obersees und waren in beiden Seebecken besonders bei Felsblöcken häufig. Dieser Zusammenhang für Flussbarsche konnte auch schweizweit im Rahmen einer Masterarbeit gezeigt werden (Hefti 2017). Sonnenbarsche wurden ebenfalls hauptsächlich bei Felsblöcken gefangen (Untersee). Die Bartgrundel (Obersee) wurde vorwiegend bei Zuflüssen, über Steinen (Geröll) und felsigem Habitat gefangen, Rotaugen meist im Schilf beider Seen (Abbildung 4-18).

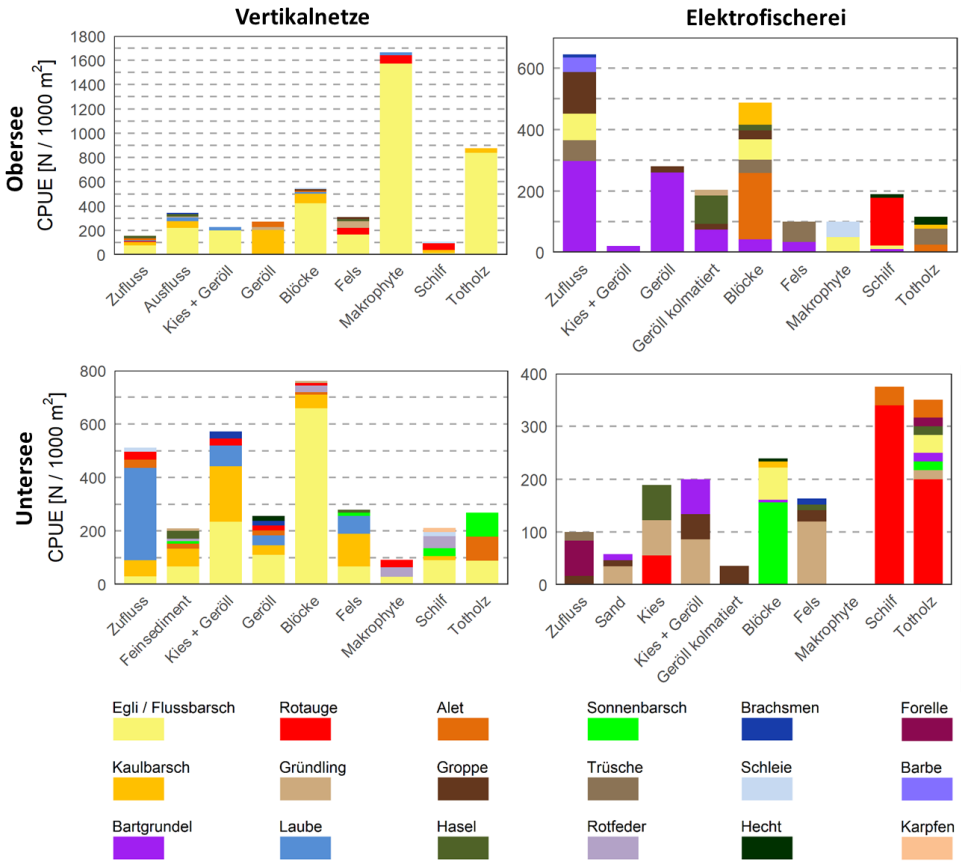


Abbildung 4-18. Für den Aufwand korrigierte Anzahl Fische, die bei den verschiedenen Litoralhabitaten mit Vertikalnetze (linke Spalte) und Elektrofischerei (rechte Spalte) im Obersee (obere Reihe) und Untersee (untere Reihe) gefangen wurden.

Insgesamt und bezogen auf die nachgewiesene Artenvielfalt komplementieren sich die Elektrofischereifänge und die Netzfänge gut, da mit den Netzen Arten gefangen

werden, die sich aktiv bewegen. Bei der Elektrofischerei hingegen werden insbesondere benthische Arten gefangen, die in strukturierten Uferbereichen Schutz suchen, während die im offenen Wasser stehenden Fische mehrheitlich fliehen.

4.3.7 Assoziation mit litoralen Habitaten

Tabelle 4-1 zeigt den positiven Zusammenhang von Fischarten mit verschiedenen litoralen Habitaten im Obersee und Untersee. Dabei gilt, je öfter wir eine Fischart gefunden haben, desto sicherer können wir sagen, mit welchen Habitaten sie assoziiert sind.

Egli / Flussbarsche wurden in beiden Seen nahe von Felsen, Blöcken und Makrophyten gefunden. Im Gegensatz dazu wurden die Karpfenartigen Fische wie Schleie, Rot-/Schwarzfeder und Karpfen mehrheitlich bei Vegetation registriert. Totholz scheint ein speziell attraktives Habitat im Untersee zu sein, wo acht von siebzehn litoralen Fischarten positiv mit diesem Habitat assoziiert sind. Alle Habitatstypen sind mit mindestens einer Fischart positiv assoziiert, was die Wichtigkeit des Mosaiks von natürlichen Habitaten für eine vielfältige Fischgemeinschaft reflektiert.

Tabelle 4-6. Positive Habitatsassoziationen der litoralen Fische in Obersee und Untersee basieren auf Präsenz-/Absenz-Daten welche durch Elektrofischerei und Vertikalnetze erhoben wurden. Punkte zeigen wo die Fischarten häufiger gefunden wurden als bei zufälligem Verteilungsmuster erwartet wird. Habitate sind eingefärbt in blau für Habitate in der Nähe von Fliessgewässern, braun für mineralische/steinige Habitate, gelb für Sand/Sediment und grün für pflanzenbasierte Habitate. Kies, Feinsediment und Makrophyten im Obersee und nahe des Ausfluss im Untersee wurden nicht befischt.

Arten		**See**	Zufluss	Ausfluss	Fels	Blöcke	Geröll	Kies + Geröll	Kies	Sand	Feinsediment	Schilf	Makrophyte	Totholz	Anzahl littorale Befischungsaktionen Beobachtet
Brachsmen	*Abramis brama*	Obersee	●	●											2
		Untersee					●	●							2
Laube	*Alburnus alburnus*	Obersee		●				●					●		6
		Untersee			●		●	●							4
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	Obersee			●		●	●							10
		Untersee						●		●				●	3
Barbe	*Barbus barbus*	Obersee	●												2
Groppe	*Cottus gobio*	Obersee	●		●	●	●								10
		Untersee	●		●		●	●		●					6
Karpfen	*Cyprinus carpio*	Untersee										●			1
Hecht	*Esox lucius*	Obersee										●		●	2
		Untersee				●	●								2
Gründling	*Gobio gobio*	Obersee		●	●		●								4
		Untersee						●	●	●	●			●	7
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	Obersee		●		●								●	17
		Untersee				●	●	●							12
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	Untersee				●						●		●	11
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	Obersee		●	●		●								9
		Untersee							●		●			●	6
Trüsche	*Lota lota*	Obersee			●	●								●	8
		Untersee	●												1
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	Obersee		●	●	●							●		19
		Untersee			●	●							●	●	23
Rotauge	*Rutilus rutilus*	Obersee			●							●	●		5
		Untersee					●	●	●				●	●	7
Forelle	*Salmo trutta*	Untersee	●											●	2
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp*	Untersee				●					●	●	●		6
Alet	*Squalius cephalus*	Obersee				●	●								7
		Untersee					●				●	●		●	6
Schleie	*Tinca tinca*	Obersee										●	●		3
		Untersee	●									●			2

4.3.8 Geografische Verteilung der Fänge

Zum Teil heterogene Verteilung

Bei der geografischen Verteilung konnten, wie schon in vielen anderen Seen auch, ungleiche Verbreitungsmuster für verschiedene Fischarten beobachtet werden. So scheint die Bartgrundel insbesondere am Nordufer des Obersees häufig zu sein (Abbildung 4-19). Demgegenüber konnten im Obersee keine Sonnenbarsche gefangen werden, während diese im Untersee an mehreren Stellen im ganzen Seebecken verteilt gefangen werden konnten (Abbildung 4-20). Andere Fischarten wie Flussbarsche und Felchen scheinen in beiden Seebecken mehr oder weniger gleichmässig verteilt zu sein (Abbildung 4-21 bis Abbildung 4-23 und Abbildung 4-25 bis Abbildung 8-18).

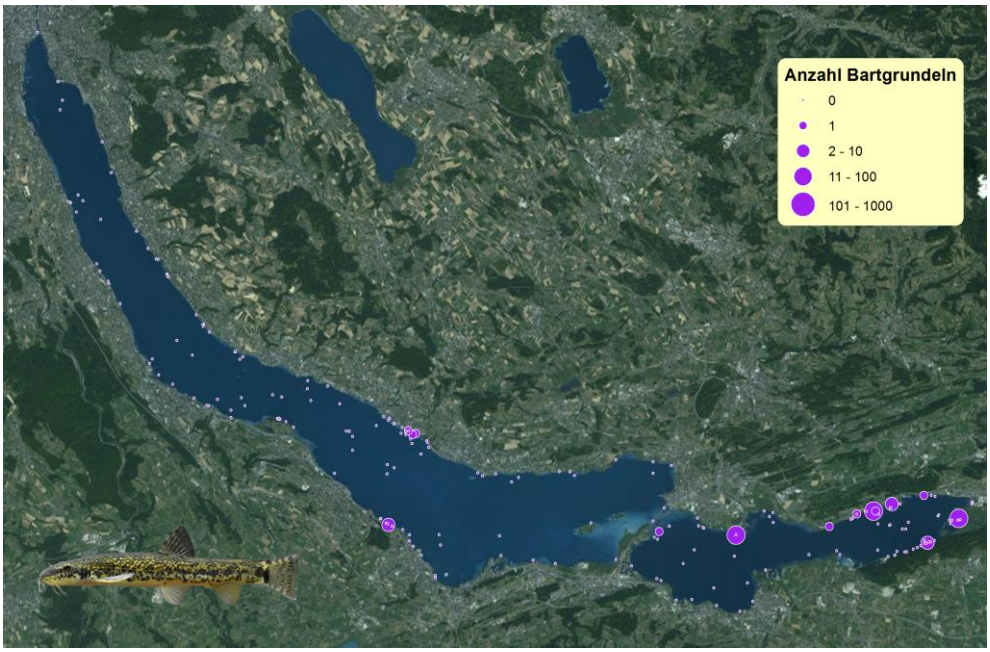


Abbildung 4-19. Geografische Verteilung der Bartgrundel-/Schmerlenfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

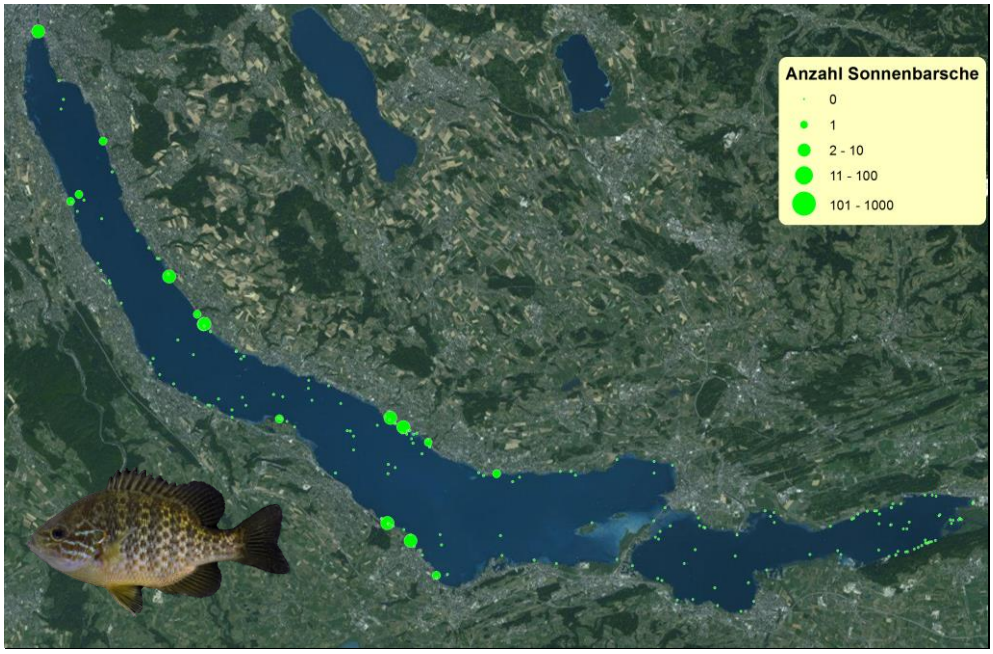


Abbildung 4-20. Geografische Verteilung der Sonnenbarschfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

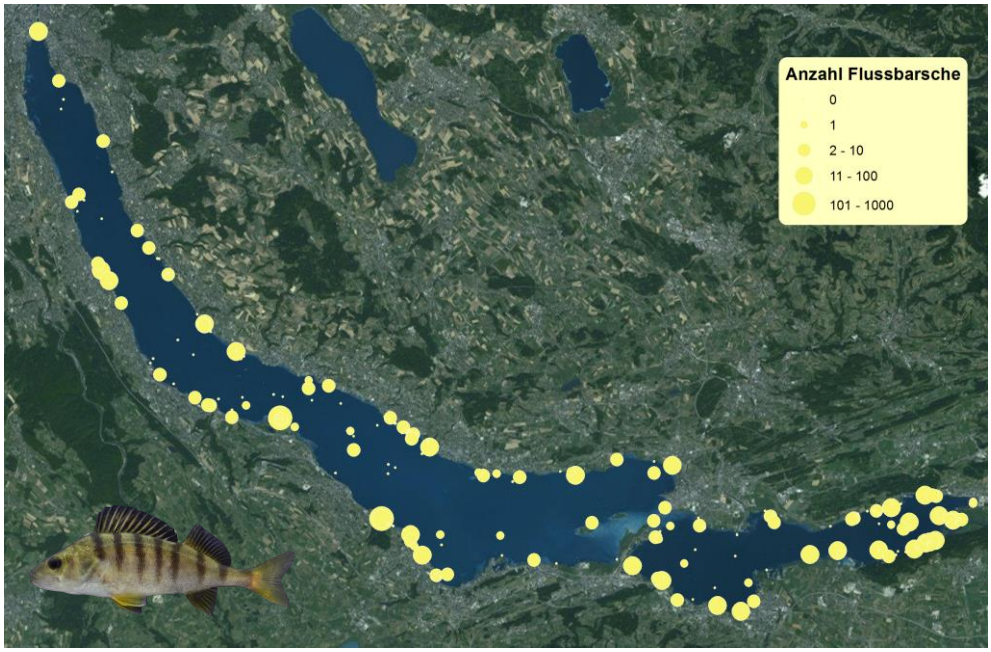


Abbildung 4-21. Geografische Verteilung der Egli-/Flussbarschfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

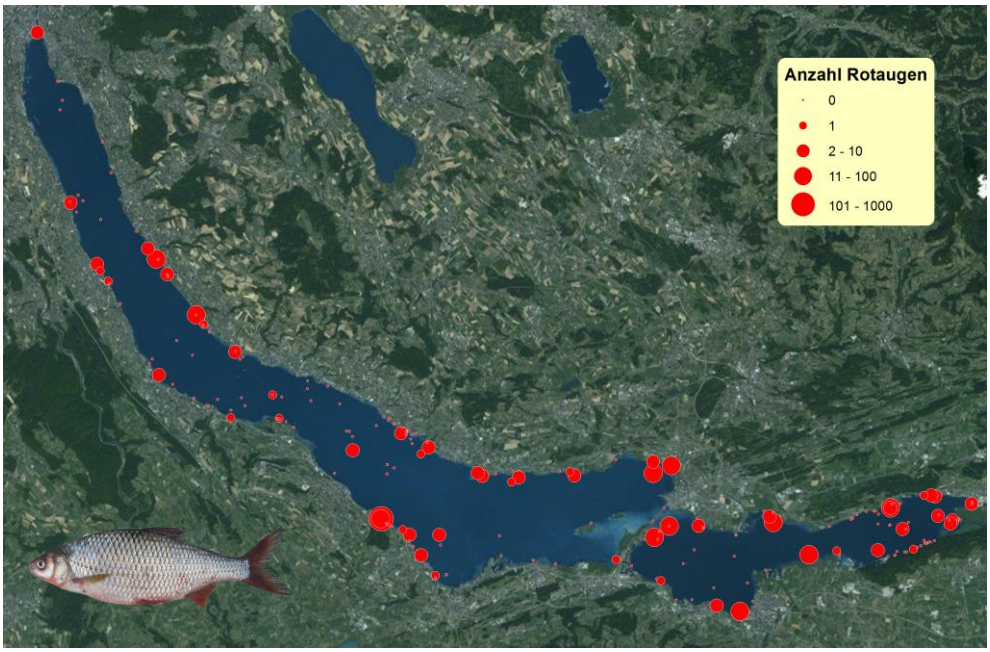


Abbildung 4-22. Geografische Verteilung der Rotauge-/Schwalenfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

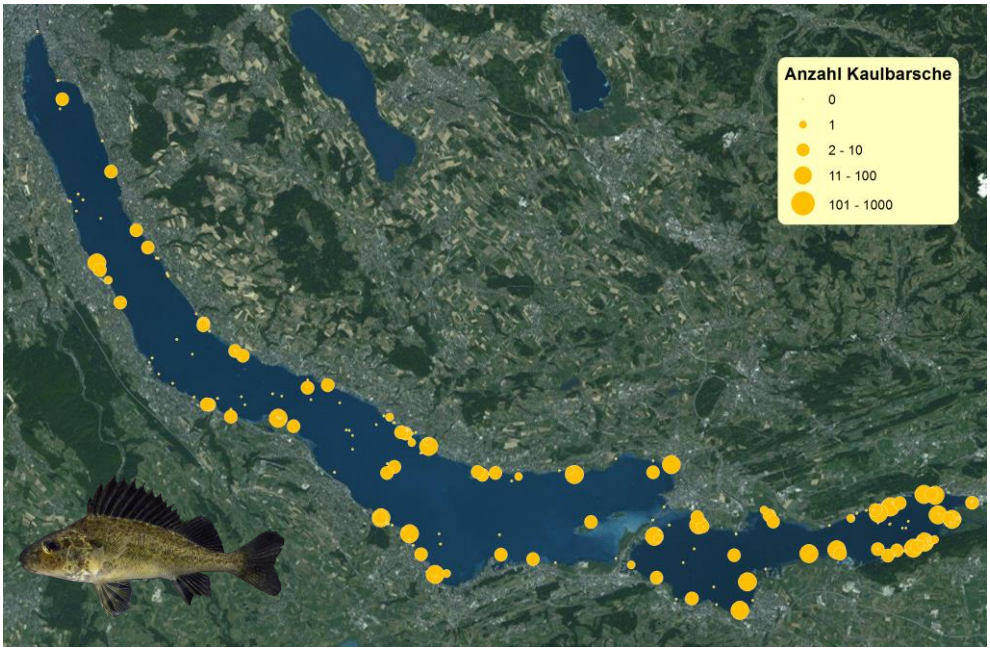


Abbildung 4-23. Geografische Verteilung der Kaulbarschfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

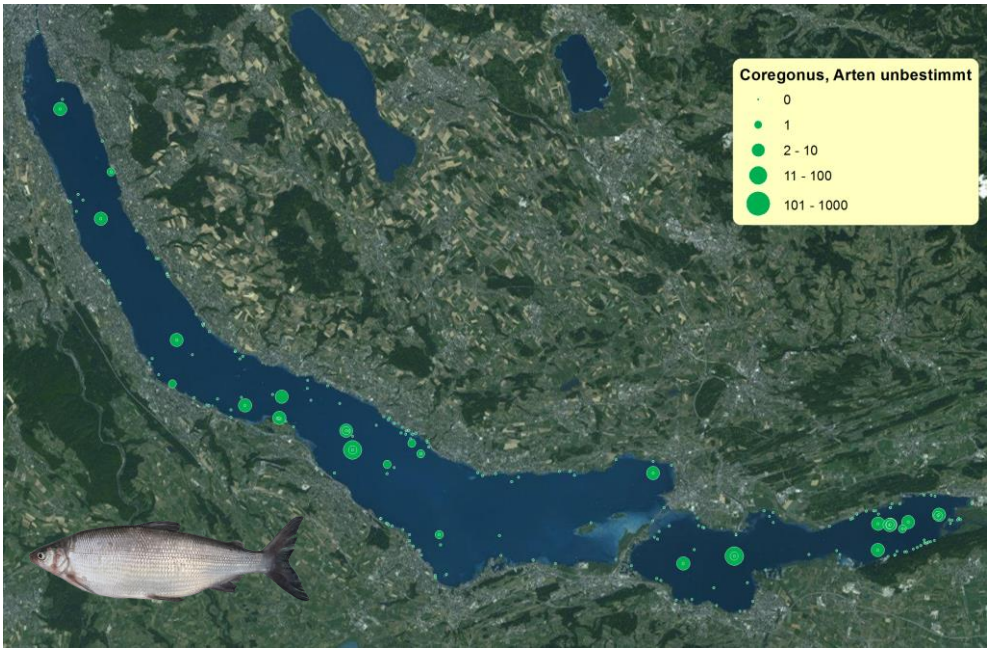


Abbildung 4-24. Geografische Verteilung der Felchenfänge (alle Arten) im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri). Die Verteilung der einzelnen Felchenarten ist im Abbildung 4-25, Abbildung 4-26 und Abbildung 4-27 zu finden.

Abbildung 4-25. Geografische Verteilung der Grunderfänge (*Coregonus duplex*) im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

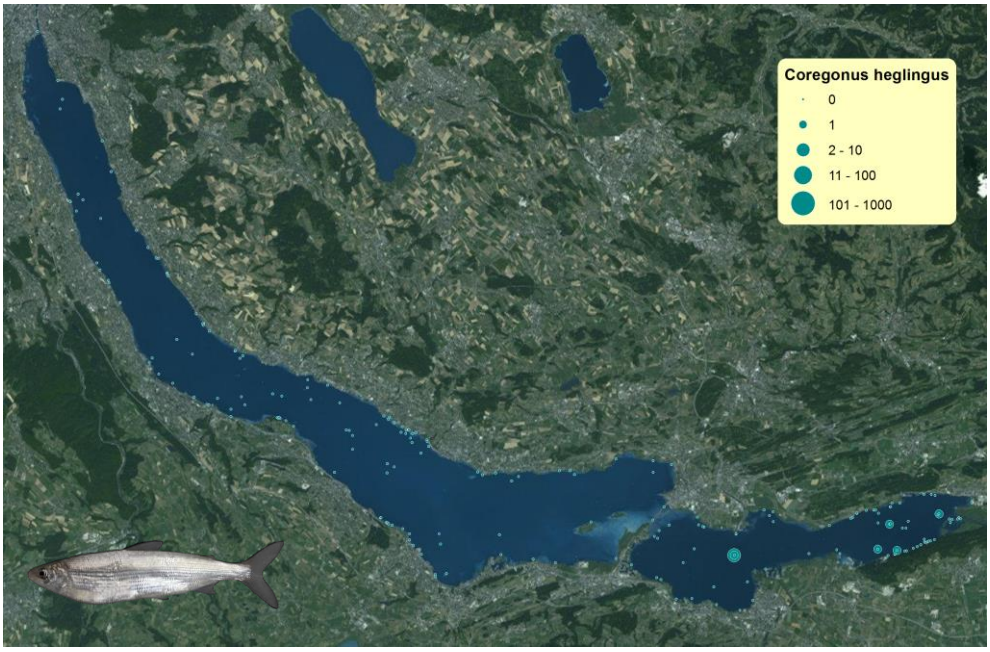


Abbildung 4-26. Geografische Verteilung der Albelifänge (*Coregonus heglingus*) im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

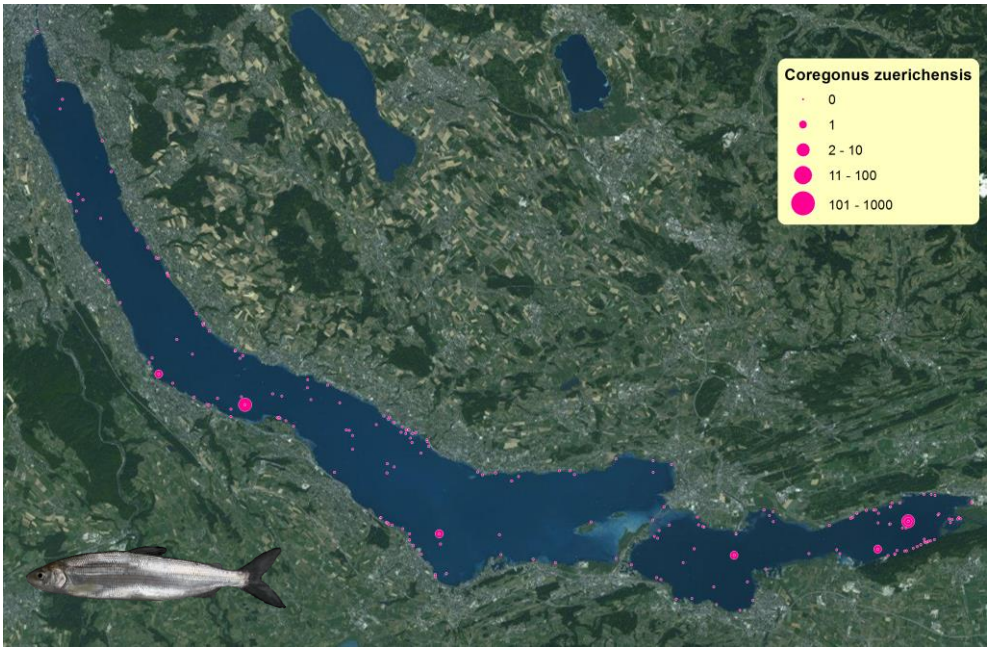


Abbildung 4-27. Geografische Verteilung der Schweberfänge (*Coregonus zuerichensis*) im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

4.3.9 Echolotaufnahmen

Die Echolotaufnahmen zeigen, dass im Zürichsee zwar viele, aber vorwiegend kleine Fische vorhanden sind; Fische größer als ca. 30 cm sind selten. Knapp 75% aller Einzelfischechos (SEDs) stammen aus der Tiefenschicht 5-15 m, 68% aller Einzelfischechos stammen von den kleinsten Fischen in dieser Tiefenschicht. Die Tiefenverteilung passt also gut mit den Netzdaten überein.

Die geografische Verteilung zeigt ein relativ heterogenes Bild für die Fischbiomasse (Abbildung 4-28, Abbildung 4-29). Im Rahmen der Untersuchungen der anderen Seen im Projet Lac hat sich gezeigt, dass die geographischen Muster der Echolotaufnahmen und der Netzfänge sich nur schwer vergleichen lassen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass verschiede Fischarten Schwärme bilden, was bei den Echolotaufnahmen lokal hohe Häufigkeiten verursacht. Durch die Mobilität der Fischschwärme verschwimmen solche lokalen Peaks bei den Netzfängen, da die Netze über mehrere Tage verteilt gesetzt werden.

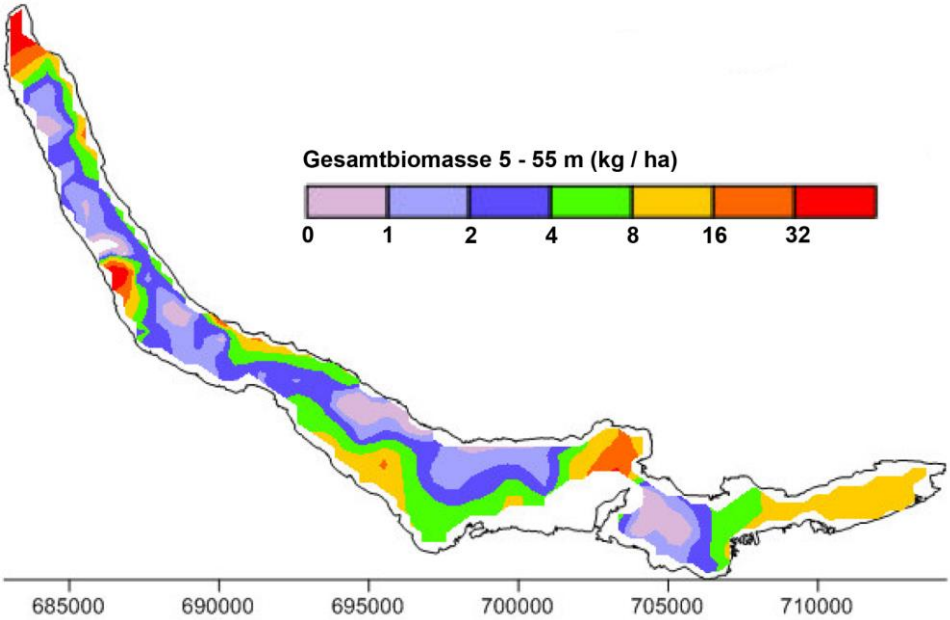


Abbildung 4-28. Schätzung der Fischbiomasse in Tiefen von 5 - 55 m für den Zürichsee. Biomasse hergeleitet von Echolotsequenzen, die entlang von Transekten erhoben wurden. In Tiefen <5 m können keine aussagekräftigen Echolotaufnahmen durchgeführt werden. Diese sind auf der Karte nicht eingefärbt.

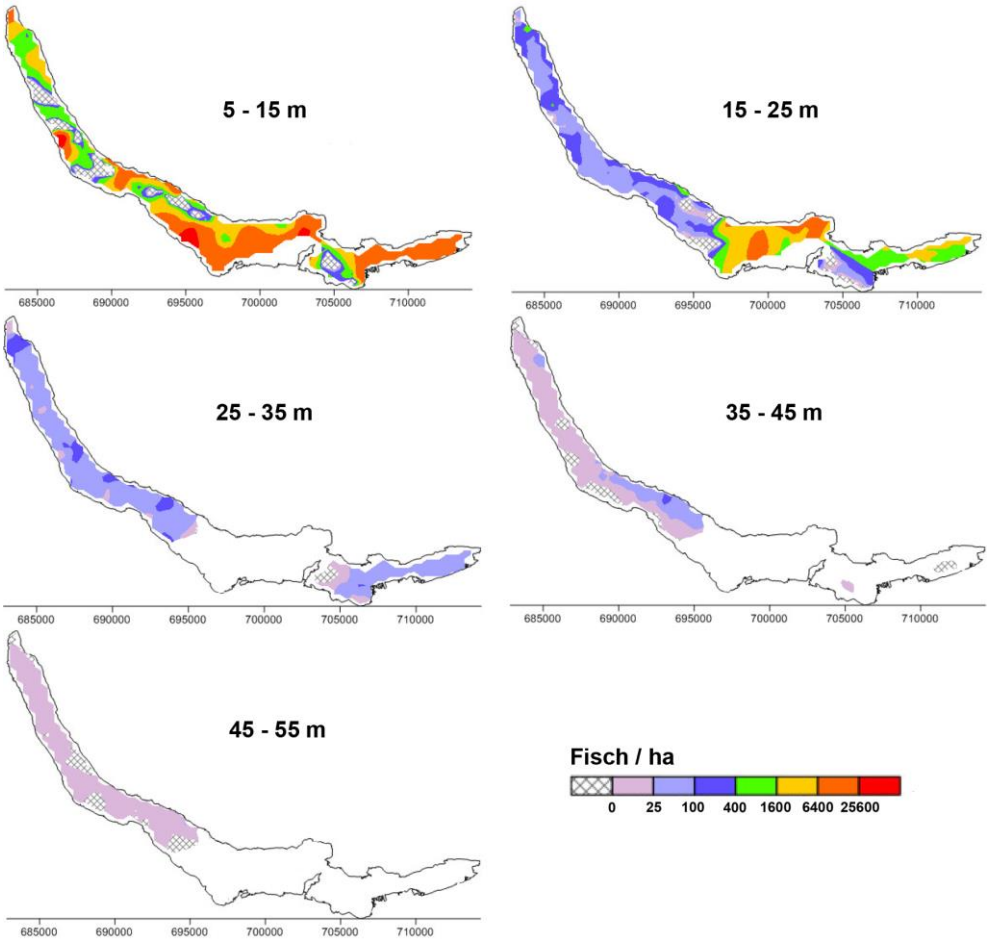


Abbildung 4-29. Schätzung der Fischbiomasse aufgeteilt für die verschiedenen Tiefen hergeleitet von Echolotsequenzen, die entlang von Transekten erhoben wurden.

4.3.10 Längenselektivität der Maschenweiten

Die Längenselektivität der Netze ist abhängig von der Fischart (Regier und Robson 1966; Fujimori und Tokai 2001). Anhand der standardisierten Fänge kann für jede Fischart und für jede Maschenweite die Verteilung und somit die Selektivität bestimmt werden (Abbildung 4-30). Welche Fischlängen durch die erlaubten Maschenweiten gefangen werden, ist in Abbildung 4-31 dargestellt.

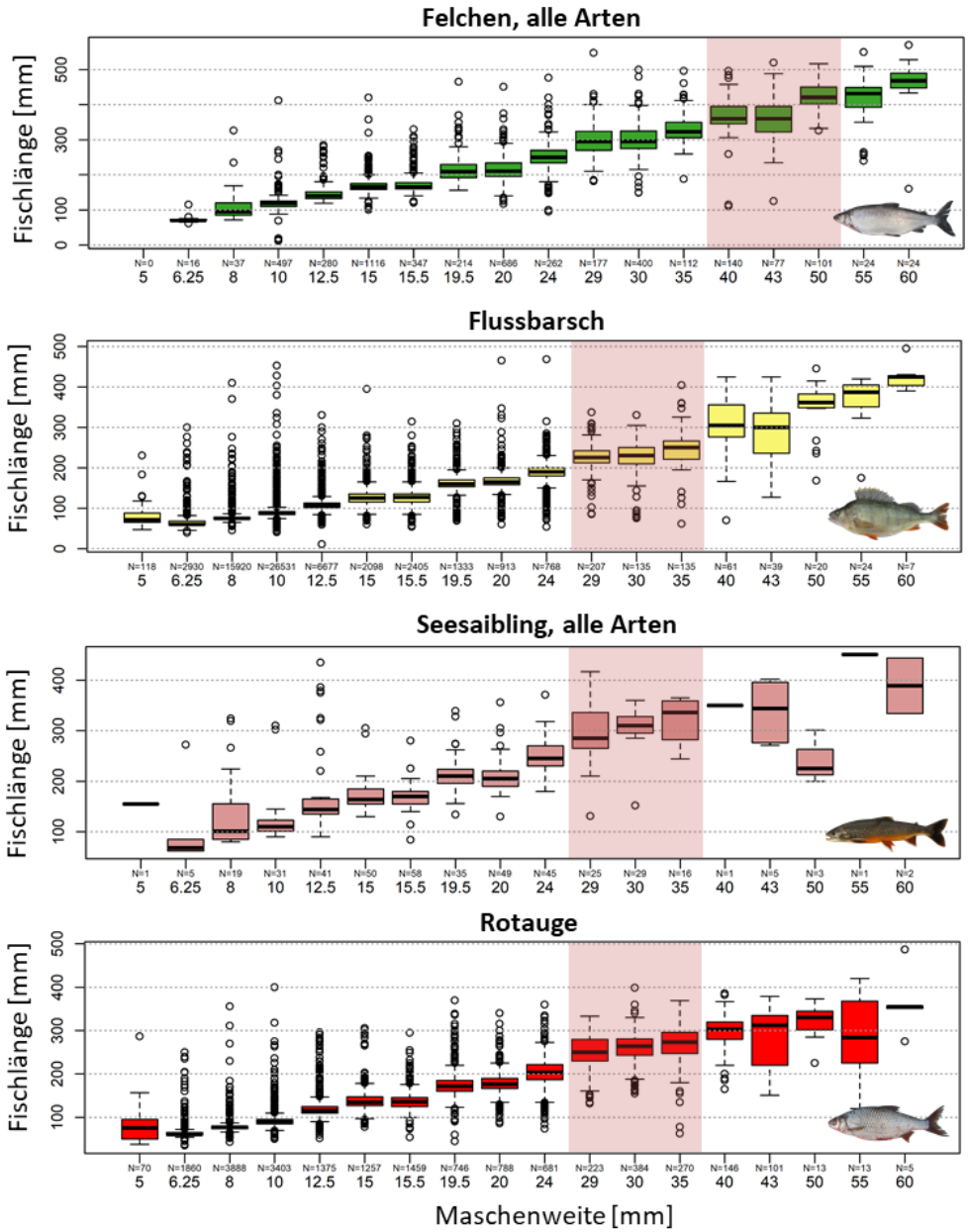


Abbildung 4-30. Längenselektivität der Netzmaschen für vier wichtige Fischtaxa (Fänge von Projet Lac 2010-2014 von allen Seen zusammengenommen). Rosa markiert sind die durch die Fischerei benutzten Maschenweiten. Für diese Graphik wurden alle Felchenarten gemeinsam als „Felchen“ dargestellt, und alle Saiblingstypen gemeinsam als „Seesaibling“. Es ist aber wichtig, darauf hinzuweisen, dass die Längenselektivität zwischen den Arten und Typen variiert, da diese in der Regel sehr unterschiedlich wachsen und verschiedene Körperproportionen aufweisen. Die Längenselektivität der einzelnen Felchenarten ist im Abbildung 8-13 zu finden.

4.3.11 Längenverteilung

4.3.11.1 Obersee

Die Längenverteilungen zeigen, dass Jungfische bei den Felchen, den Rotaugen und den Flussbarschen der „Projet Lac"-Fänge im Obersee gut vertreten sind (Abbildung 4-31). Bei den Felchen ist der Fang von kleinen Fischen (<100 mm) mit Maschennetzen eher wenig effizient (Abbildung 4-30), weshalb ein Fehlen in dieser Grössenklasse nicht überraschend ist. Die Populationsstruktur zeigt bei den Rotaugen keine Auffälligkeiten. Eine Aussage zur Populationsstruktur der Felchen kann leider nicht gemacht werden, da ein Grossteil der Felchen sub-adulte Fische sind und daher nicht den einzelnen Arten zugewiesen werden konnten. Bei den Egli / Flussbarschen ist die 0+ Kohorte sehr stark ausgeprägt, während grössere Barsche eher wenig vertreten sind.

4.3.11.2 Untersee

Wie im Obersee zeigen die Längenverteilungen auch im Untersee bei den Felchen, den Rotaugen und den Flussbarschen, dass Jungfische gut vertreten sind (Abbildung 4-32). Kleine Felchen (<100 mm) sind auch im Untersee nur wenig in den Fängen vertreten. Eine Aussage zur Populationsstruktur der Felchen kann leider nicht gemacht werden, da ein Grossteil der Felchen sub-adulte Fische sind und daher nicht den einzelnen Arten zugewiesen werden konnten. Bei den Egli / Flussbarschen und Rotaugen sind auch im Untersee die 0+ Kohorten sehr stark ausgeprägt. Im Untersee wurden vergleichsweise aber mehr und grössere Egli und Felchen gefangen.

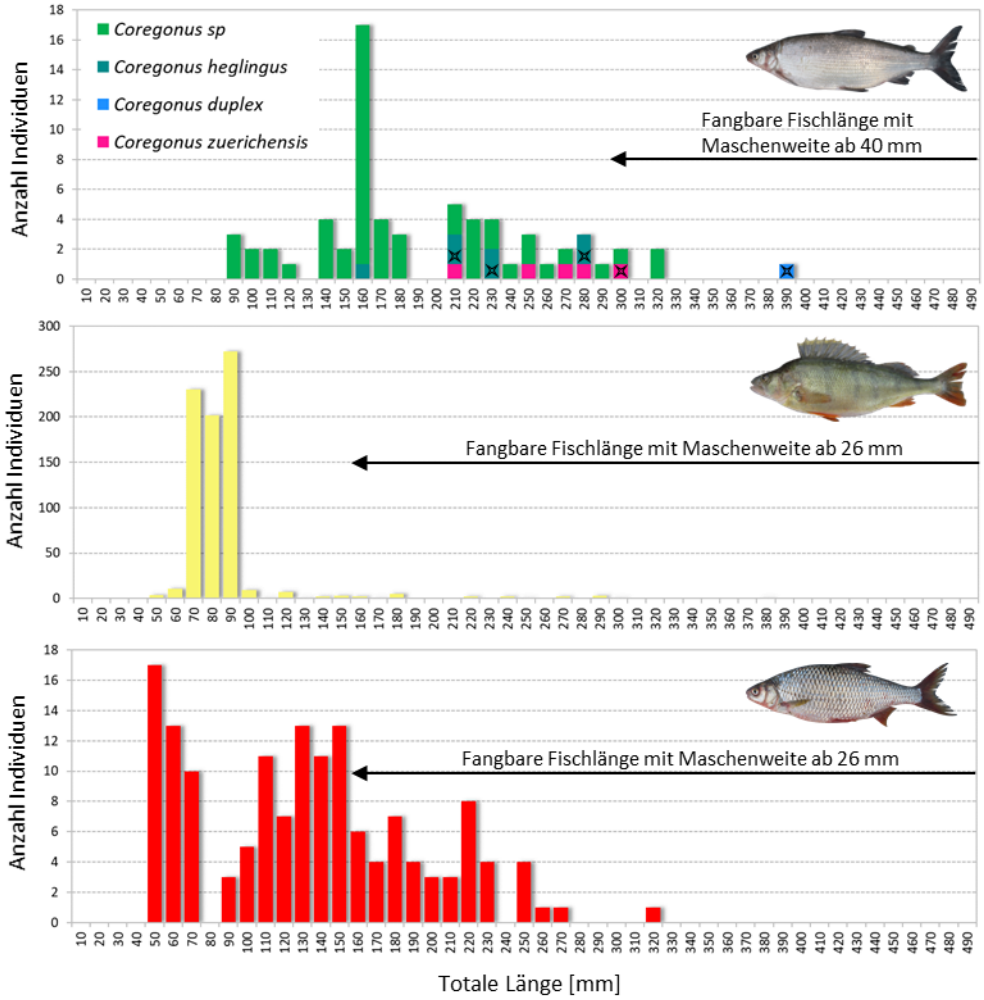


Abbildung 4-31. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche und Rotaugen der „Projet Lac"-Fänge im Obersee. Der schwarze Pfeil entspricht den Fischlängen, die mit den erlaubten Maschenweiten im Obersee gefangen werden können. Einige Felchen wurden bis auf Artniveau von Ole Seehausen identifiziert. Kreuze weisen auf Individuen hin, die mit genetischen Methoden bestätigt wurden. Die Tiefenverteilung der Felchenarten (definiert über die Länge) ist im Appendix zu finden.

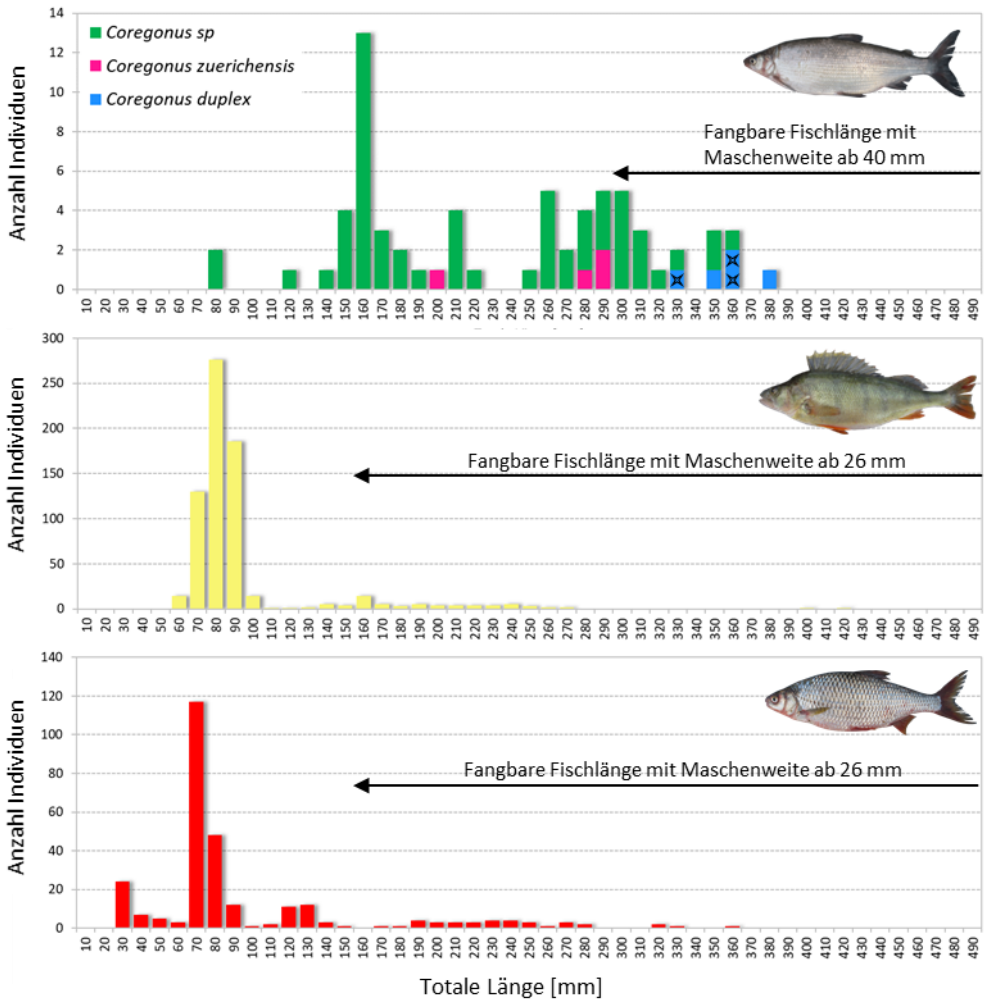


Abbildung 4-32. Längenverteilung der Felchen, Flussbarsche und Rotaugen der „Projet Lac"-Fänge im Untersee. Der schwarze Pfeil entspricht den Fischlängen, die mit den erlaubten Maschenweiten im Untersee gefangen werden können. Einige Felchen wurden bis auf Artniveau von Ole Seehausen identifiziert. Kreuze weisen auf Individuen hin, die mit genetischen Methoden bestätigt wurden. Die Tiefenverteilung der Felchenarten (definiert über die Länge) ist im Appendix zu finden.

4.3.12 Vergleich der Fänge mit anderen Seen

4.3.12.1 Obersee

Der Obersee ist heute ein Flussbarsch- und Felchensee

Im Vergleich mit anderen Alpenrandseen und aufgrund der für die Netzfläche und die Verfügbarkeit der Habitate korrigierten Fänge entspricht der Obersee heute einem Übergangstyp zwischen einem Flussbarschsee und einem Felchensee (Abbildung 4-33). Die Fischgemeinschaft entspricht der eines flachen, oligotrophen Perialpensees. Felchen dominieren das offene Wasser, aber die proportional hohe Fläche pro Volumen der litoralen oder benthischen Zone führt dazu, dass es auch einen grossen Anteil an benthisch orientierten Arten wie Flussbarsch und Rotauge hat. Wegen der hohen Anzahl an gebietsfremden Kaulbarschen im Obersee weicht die Fischartenzusammensetzung heute vom natürlicherweise zu erwartenden Zustand ab.

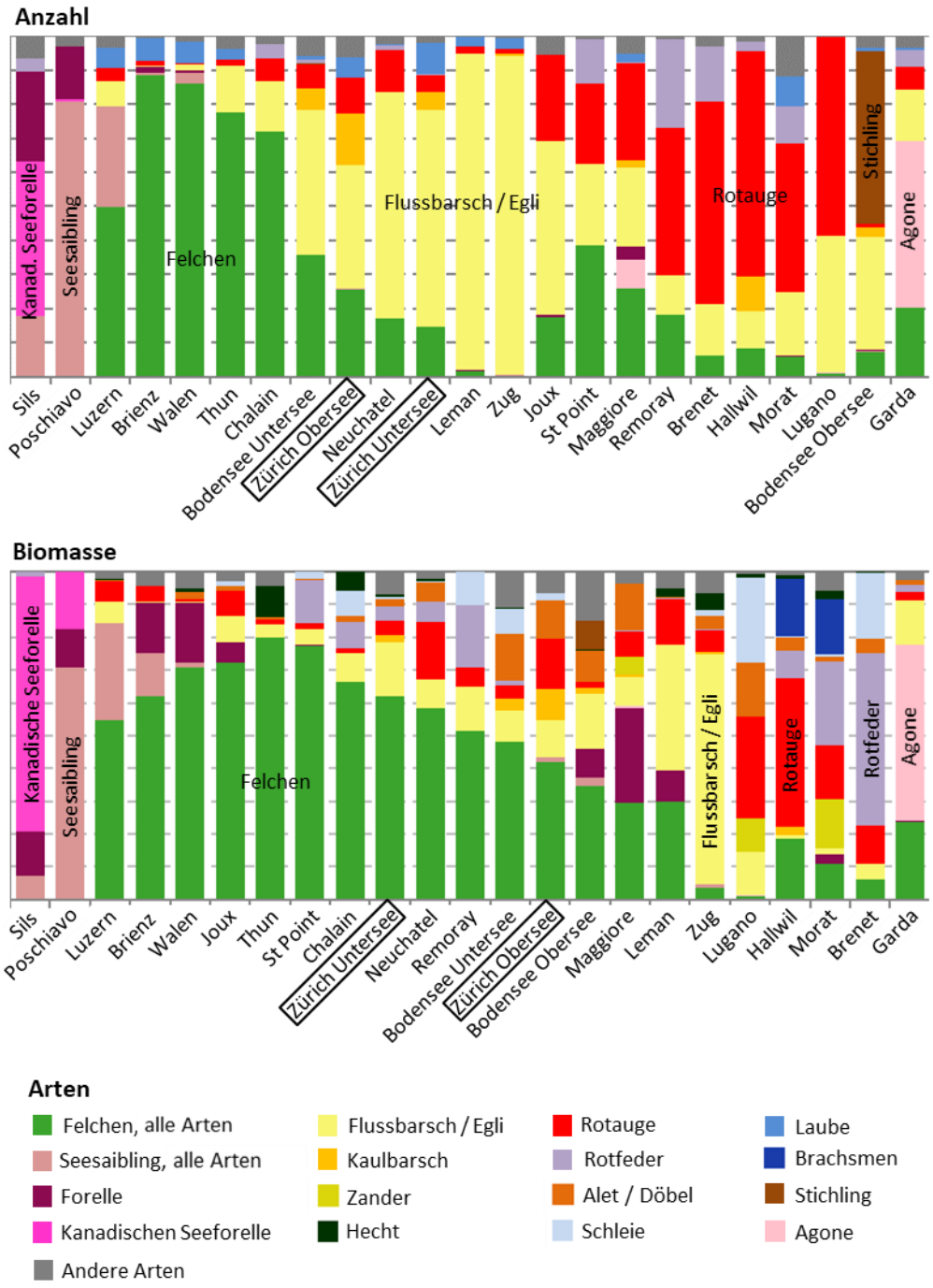


Abbildung 4-33. Vergleich der Anzahl (oben) und Biomasse (unten) der Fische in den verschiedenen Seen. Gezeigt werden die für den Aufwand und für die Volumen korrigierten Fänge von Vertikalnetzen.

4.3.12.2 Untersee

Der Untersee ist heute zahlenmässig ein Flussbarschsee

Im Vergleich mit anderen Alpenrandseen und aufgrund der für die Netzfläche und die Verfügbarkeit der Habitate korrigierten Fänge wird der Untersee zahlenmässig von Flussbarschen dominiert (Abbildung 4-33) und reiht sich in der Artenzusammensetzung in die eher nährstoffbelasteten tiefen Perialpenseen ein

(Genfersee, Zugersee). Natürlicherweise wäre zu erwarten, dass auch im Untersee die Felchen zahlenmässig dominieren. Aufgrund des grossen volumetrischen Anteils des pelagischen Wasserhabitats dominieren die Felchen in der Biomasse (mehr so als im Obersee). Das Dominanzverhältnis der Fischartenzusammensetzung im Untersee weicht also heute stark vom natürlicherweise zu erwartenden Verhältnis ab.

4.4 Fischereiliche Aspekte

4.4.1 Fischfangstatistik

Schwankende Berufsfischerfänge

Stabile aber schwankende Anglerfänge

Die Entwicklungen in den Fischereifängen sind zwischen den beiden Seebecken vergleichbar (Abbildung 4-34, Abbildung 4-35). In beiden sind Felchen die am häufigsten gefangene Art, vor allem der grössere Sandfelchen/Grunder (*Coregonus duplex*). Letztere schwanken über die Jahre stark, wobei die Variation ungefähr einem Zyklus von ca. 5-7 Jahren folgt. Die Zyklen in den Fängen von Anglern und Berufsfischern sind in etwa gleich, wobei die Fänge der Berufsfischer ungefähr ein Jahr früher den Höhepunkt erreichen (Abbildung 8-22, Abbildung 8-23). Interessanterweise zeigen die Zyklen eine gewisse Synchronizität mit den Zyklen der Felchenfänge im nahen Bodensee (Alexander et al. 2016). Die Ursachen für diese Zyklen sind bis jetzt unklar. Sie könnten mit intra- oder interspezifischer Konkurrenz, Zyklen in Prädation oder regionalen Wettermustern zusammenhängen.

In beiden Seebecken sind die Sandfelchen-Fänge seit den 1990er gegenüber früheren Jahren höher, schwanken aber beträchtlich (Abbildung 4-34, Abbildung 4-35). Vergleiche der durchschnittlichen Jahresfänge von Sandfelchen zwischen den Perioden 1955-1995 und 1996-2016 zeigen den Anstieg deutlich: Obersee = 15.8 gegenüber 43.5 Tonnen und im Untersee = 34.1 gegenüber 85.1 Tonnen. Fänge von Rotaugen, welche die Mehrheit der „übrigen Arten“ ausmachen (Abbildung 8-23), waren zwischen Mitte der 1970er bis in die 1990er Jahre in beiden Seebecken höher. Vergleiche der durchschnittlichen Jahresfänge von „übrigen Arten“ für die Perioden 1955-1995 und 1996-2016 zeigen einen deutlichen Rückgang: Obersee = 18.4 gegenüber 8.8 Tonnen und Untersee = 75.2 gegenüber 44.6 Tonnen. Auch Forellen wurden früher häufiger gefangen. Der Höhepunkt der Forellenfänge wurde in den frühen 1970er Jahren erreicht. Bis in die 1990er Jahre sanken die Forellenbestände wieder um den heutigen Stand zu erreichen.

Der Vergleich zwischen den Fängen von Anglern und Berufsfischern für die beiden Seebecken über die Jahre 2000 bis 2016 zeigt, dass die Felchen sowohl für Angelfischer wie auch für Berufsfischer einen wichtigen Teil des Fangs ausmachen. Angler fangen jedoch proportional mehr Flussbarsch und Hecht, während Rotaugen einen grösseren Anteil der Fänge der Berufsfischer ausmachen (Abbildung 8-24). Die durchschnittlichen jährlichen Erträge pro Hektar durch Angel- und

Berufsfischern waren über die letzten Jahre sehr ähnlich (Angler: Obersee = 4.2 kg/ha, Untersee = 4.4 kg/ha; Berufsfischer: Obersee = 24.6 kg/ha, Untersee = 22.8 kg/ha; Abbildung 8-22, Abbildung 8-23).

Der Totalertrag pro Hecktar war zwar ähnlich, aber die Zusammensetzung der Fänge unterschied sich deutlich zwischen den Seebecken für die Perioden 2000-2016 (Abbildung 8-24). Felchenerträge waren rund 70% höher im Obersee als im Untersee sowohl für Angler wie auch für Berufsfischer (Berufsfischereiertrag: 17.4 kg/ha im Obersee und 10.3 kg/ha im Untersee). Auf der anderen Seite waren die Erträge für Flussbarsch im Untersee mehr als zweimal so hoch wie im Obersee sowohl für Angler wie auch für Berufsfischer (Berufsfischereiertrag: 1.4 kg/ha in Obersee, 4.0 kg/ha in Untersee). Der durchschnittliche jährliche Ertrag für Rotaugen für Berufsfischer war auch 60% höher im Untersee als im Obersee (3.2 kg/ha im Obersee und 5.2 kg/ha im Untersee). Die Erträge für Hechte waren ungefähr gleich für die beiden Seen sowohl für Angler wie auch für Berufsfischer (Berufsfischer: 0.71 kg/ha im Obersee und 0.8 kg/ha in Untersee; Angler: 0.84 kg/ha im Obersee und 0.86 kg/ha im Untersee). Aufgrund des Ausmasses der zeitlichen Fluktuationen und der Zyklen in den Fängen ist es, basiert auf den verfügbaren Fischereistatistiken, unmöglich auf irgendwelche Auf- oder Abwärtstrends in den letzten Jahrzenten zu schliessen.

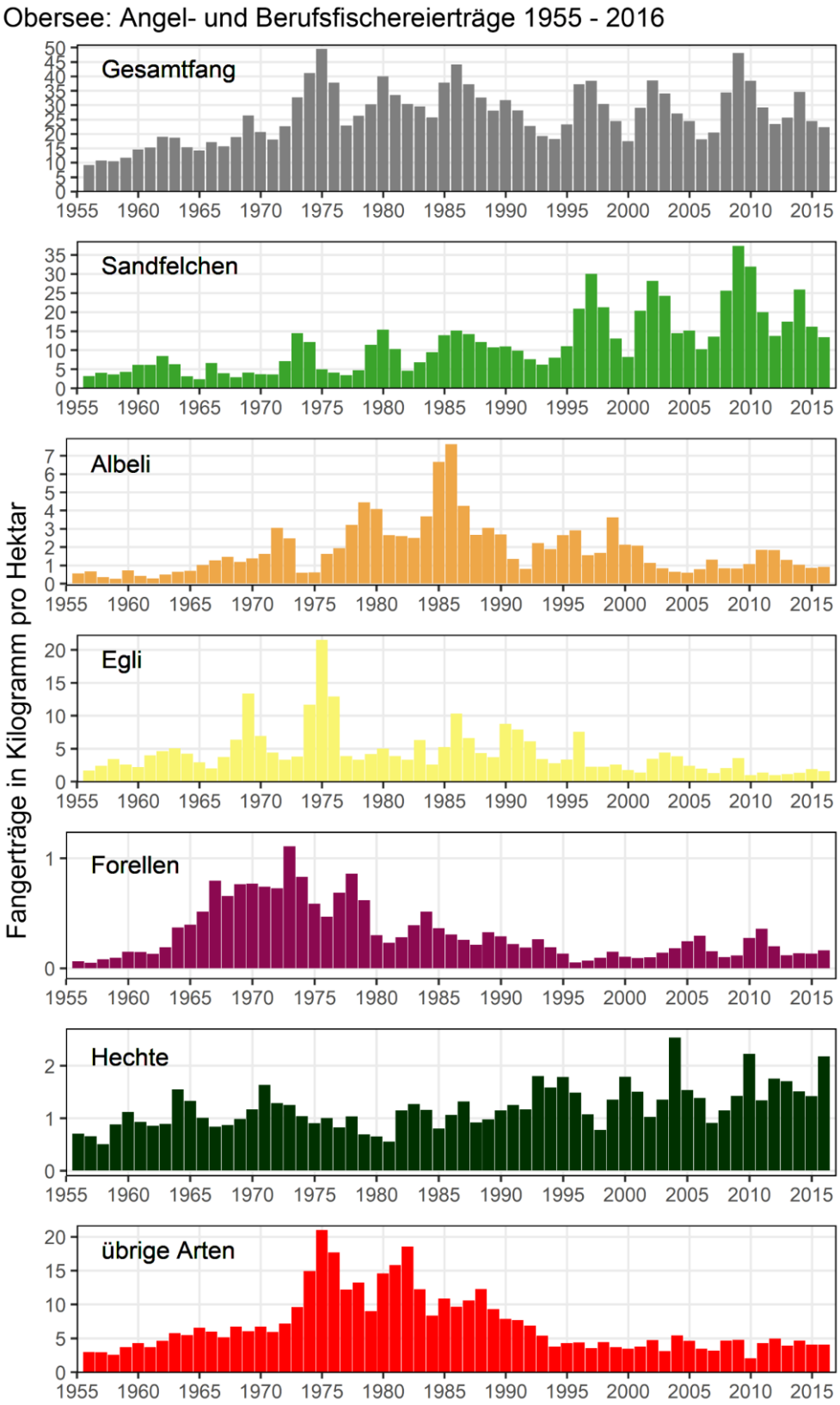


Abbildung 4-34. Entwicklung der kombinierten Fänge von Berufs- und Angelfischereierträgen im Obersee von 1955-2016. Die Mehrheit der „übrigen Arten“ sind Schwalen / Rotaugen. Die Skala der Y-Achse variiert zwischen den Arten. Vergleiche mit Abbildung 8-19, Abbildung 8-22 und Abbildung 8-23 (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee). Die Oberfläche des Obersees ist 2’170 ha.

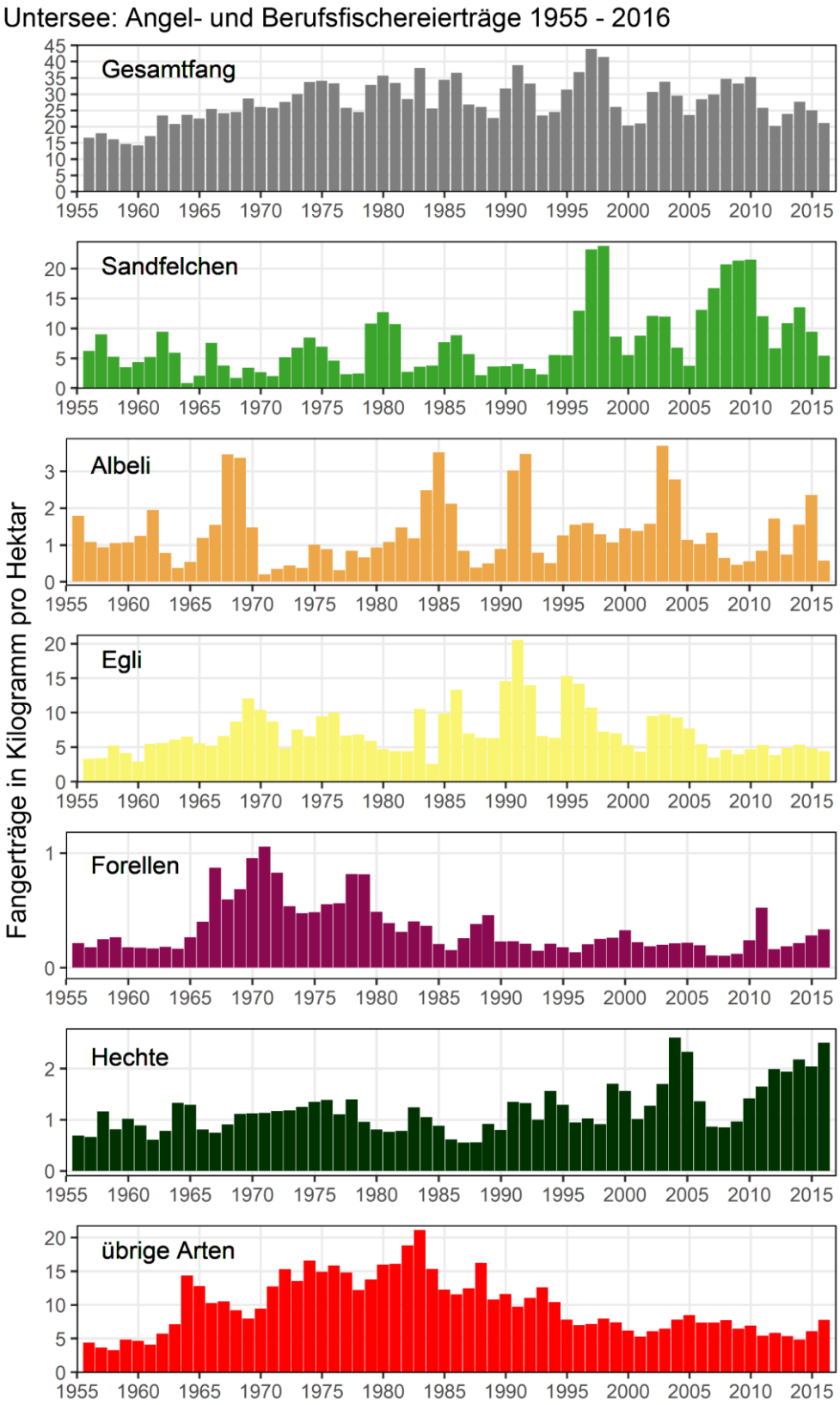


Abbildung 4-35. Entwicklung der kombinierten Fänge von Berufs- und Angelfischereierträgen im Untersee von 1955-2016. Die Mehrheit der „übrigen Arten“ sind Schwalen / Rotaugen. Die Skala der Y-Achse variiert zwischen der Arten. Vergleiche mit Abbildung 8-20, Abbildung 8-22 und Abbildung 8-23 (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee). Die Oberfläche des Untersees ist 6’660 ha.

Fischart und Grösse in allen Seehabitaten liefert zusätzliche Informationen zum ökologischen Zustand eines Sees

Wenn die relativen Häufigkeiten und Biomasse von Fischarten zwischen Anglerfängen mit denen von Berufsfischern und den Fängen des Projet Lac verglichen werden, zeigt sich, dass Felchen das Bild der Fischgemeinschaft in beiden Seebecken für alle drei Fischfang-Methoden dominieren (Abbildung 4-36). Mit allen drei Methoden war der Anteil an Flussbarschen im Untersee höher als im Obersee. Es gibt aber auch einige klare Unterschiede. Hechte waren sehr viel häufiger in den Fängen der Angler und das Rotauge bildete einen substantiellen Anteil bei den Fängen der Berufsfischer. Interessanterweise waren die Anteile an Rotaugen in den Fängen der Berufsfischer und des Projet Lac sehr ähnlich im Obersee, unterschieden sich jedoch im Untersee. Im Untersee wurden im Projet Lac sehr viel weniger Rotaugen gefangen als von Berufsfischern. Die Fisch-Biomasse war gemäss den Fängen des Projet Lac ziemlich gleichmässig unter den Arten verteilt. Die Resultate zeigen, dass die Befischung aller Seehabitate, aller Fischarten und deren Längen wichtige zusätzliche und ausgewogenere Informationen zum ökologischen Zustand eines Seeökosystems liefert.

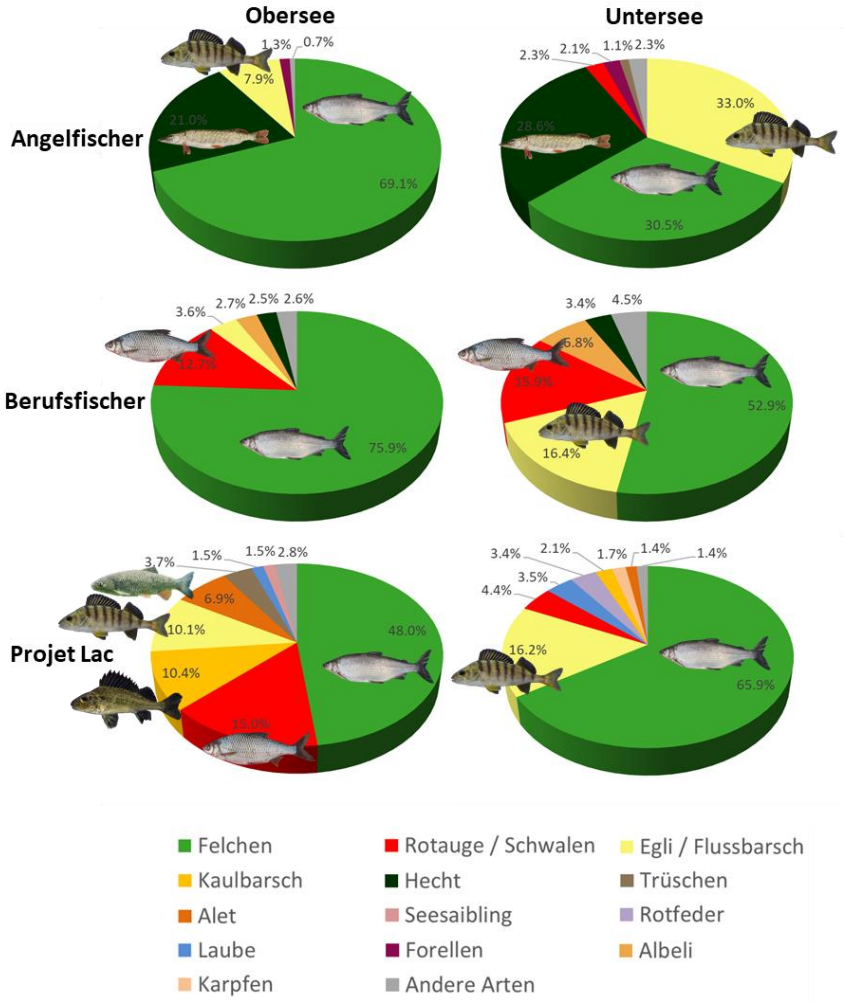


Abbildung 4-36. Verteilung der Berufsfischer- und Angler-Fänge von 2014 und der standardisierten „Projet Lac"-Fänge (Biomasse) auf die verschiedenen Fischarten im Obersee und Untersee. Nur in den Berufsfischerfängen sind „Albeli" (also *C. zuerichensis* und *C. heglingus* zusammen) getrennt von Sandfelchen / Grunder (*C. duplex*) aufgeführt (Daten: Projet Lac und Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee)

4.4.1.1 Schweizweiter Vergleich Berufsfischerfänge

Die mittleren Fänge der Berufsfischer aus dem Zeitraum 2011 bis 2014, fallen im Zürichsee (korrigiert für die Seefläche, also kein CPUE) im Vergleich mit anderen Perialpensee ausgiebig aus (Abbildung 4-37).

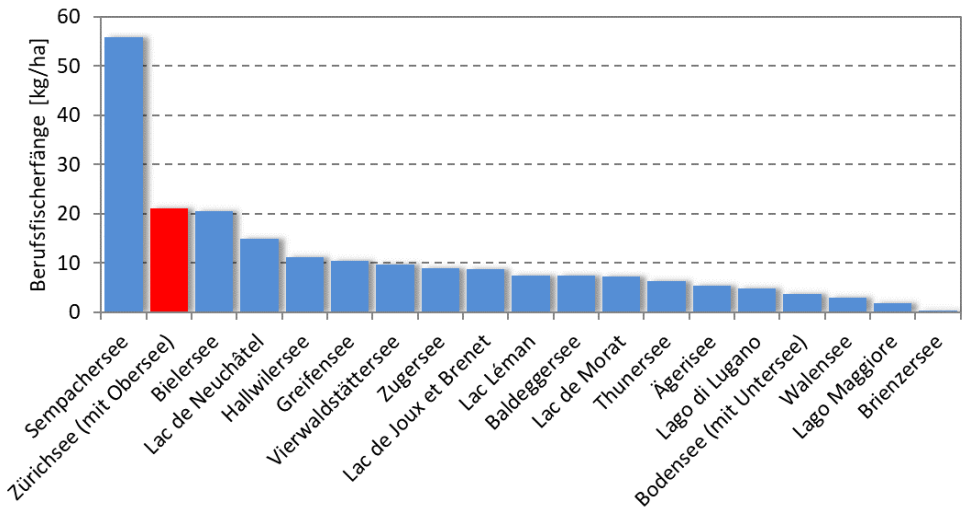


Abbildung 4-37. Mittelwert der Berufsfischerfänge in den Jahren 2011-2014 in verschiedenen Schweizer Seen (Daten: BAFU) korrigiert für die Seefläche aber nicht für den Fischereiaufwand (z.B. Anzahl Berufsfischer und Befischungstage).

5 Synthese

5.1 Ökologische Bewertung des Zürichsees

5.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers

5.1.1.1 Untersee

Untersee ist mesotroph und sauerstoffarm

Der Untersee ist heute ein tiefer, mesotropher und eher oberflächenwarmer Perialpensee. Obwohl die Nährstoffbelastung in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen hat, leidet der See noch heute unter einem erheblichen Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser. Die Variation der hypolimnetischen Sauerstoffkonzentration in den letzten Jahrzehnten ist eng mit den Wassertemperaturen und der Intensität der winterlichen Durchmischung der Wasserschichten verbunden. Eine geringere Durchmischung hat dazu geführt, dass die Sauerstoffkonzentrationen in den tieferen Wasserschichten in den letzten 10 Jahren weiter gesunken sind.

Somit steht den Fischen im Untersee nur zirka die Hälfte der Seetiefe als Lebensraum ganzjährig zur Verfügung (Fische wurden bis in eine Tiefe von 80 m gefangen, die maximale Seetiefe beträgt 143 m). Tiefenwasserformen von Felchen, Saiblingen und Groppen, welche z.B. im Walensee vorkommen, fehlten in unseren Fängen vom Zürichsee vollständig. Das zwischen 15 und 30 m Tiefe auftretende metalimnische Sauerstoffminimum hat sich vermutlich seit den späten 1980er Jahren verstärkt. Deshalb konzentrierte sich die grosse Mehrheit der Fische im Untersee zwischen 6 und 12 m Tiefe (zum Zeitpunkt der Probenahme des Projet Lac). Dies dürfte auch erklären, weshalb Felchen, Barsche, Kaulbarsche und Rotfedern fast identische Tiefenverteilungen aufwiesen, was in anderen Seen zur selben Jahreszeit nicht der Fall ist. Der Lebensraum für Fische und andere aquatische Organismen wird in Zukunft noch mehr schrumpfen, wenn die sauerstofffreien Bereiche sich im See weiter ausbreiten.

5.1.1.2 Obersee

Der Obersee ist heute ein flacher, oligotropher See. Dieser Teil des Zürichsees war in der Vergangenheit im Vergleich zum Untersee weniger durch die Nährstoffbelastung beeinträchtigt. Trotzdem mangelt es in der Tiefe spätestens seit 1930 jeweils Ende des Sommers an Sauerstoff. Im Gegensatz zum Untersee gibt es im Obersee noch jährlich eine volle Zirkulation (beginnend jeweils im Dezember), womit wieder Sauerstoff bis zum Seegrund gelangt. Das Verhältnis zwischen Sauerstoff und der Tiefenverteilung der Fische im Obersee war etwas überraschend. Trüschen, Felchen und auch ein Saibling wurden alle in einer Tiefe von über 30 m gefangen, trotz einer Sauerstoffkonzentration von weniger als 4 mg/l. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese Fische dauerhaft unter solch

niedrigen Sauerstoffkonzentrationen leben. Wahrscheinlicher erscheint deshalb, dass die Sauerstoffdefizite in der Tiefe räumlich nicht homogen verteilt sind.

5.1.2 Uferhabitate

Eher attraktives und diverses Litoral im Obersee

Stark beeinträchtigtes Litoral im Untersee

Insgesamt ist die litorale Habitatvielfalt im Zürichsee eher hoch. Im Untersee ist das Litoral allerdings stark anthropogen beeinflusst. So sind ca. drei Viertel des Ufers durch Blockwürfe, Mauern oder durch Hafenanlagen beeinflusst und als künstlich eingestuft. Nur ein Viertel des Ufers ist naturnah. Ein Grossteil davon liegt dabei im Naturschutzgebiet Frauenwinkel. Das Ufer des Obersees ist etwas besser erhalten. Immerhin 53% kann als naturnah bezeichnet werden. Die Verbauungen stehen in beiden Seebecken grösstenteils in Zusammenhang mit Hafenanlagen, Strassen am Seeufer und Siedlungen. Alle Habitatstypen sind mit mindestens einer Fischart positiv assoziiert, was die Wichtigkeit des Mosaiks von natürlichen Habitaten für eine vielfältige Fischgemeinschaft reflektiert.

5.1.3 Artenvielfalt und „Projet Lac“-Fänge

Eine standortfremde Art im Obersee

Drei standortfremde Arten im Untersee

Im Rahmen dieses Projektes wurden im Obersee 18 Fischarten gefangen. Davon sind 17 Arten im Zürichsee heimisch und eine (Kaulbarsch) gilt aufgrund der historischen Literatur im See als standortfremd. Im Untersee wurden 20 Arten gefangen, wovon 16 als im Zürichsee heimisch gelten (Kaulbarsch, Sonnenbarsch, Karpfen und Schwarzfeder sind standortfremd). Vor 1900 wurden im Zürichsee 27 Fischarten dokumentiert. Die meisten im Rahmen der „Projet Lac“-Befischungen nicht gefangenen Arten wurden in den letzten Jahren im Zürichsee noch nachgewiesen. Nicht mehr vorhanden ist vermutlich nur der Lachs, wobei mehrere andere Arten (z. B. die Nase oder Elritze) nur selten in den letzten Jahren im See nachgewiesen wurden. Die Zwergform des Seesaiblings, die von Gessner (1575) aus dem Zürichsee beschrieben wurde, ist mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgestorben, während diese oder eine ähnliche Form im Walensee noch vorkommt und im Projet Lac nachgewiesen wurde.

Erfreuliche Überraschungen waren die eindeutige Bestätigung der Existenz von Häglingen (*Coregonus heglingus*) im Obersee, als dritte Felchenart sympatrisch mit Schwebern (*C. zuerichensis*) und Grundern (*C. duplex*), sowie das Fortbestehen im Obersee eines Wanderfelchens (Linthfelchen), der nahe verwandt aber offenbar genetisch differenziert vom sympatrisch lebenden Zürichsee-Grunder ist.

Fischfauna im Obersee naturnaher als der Untersee

Im Obersee dominieren in den Fängen Felchen und Flussbarsche. Flussbarsche waren insbesondere in den benthischen Netzen in Ufernähe häufig. Basiert auf der volumenkorrigierten Biomasse hat der Obersee einen tieferen Anteil Felchen als der Untersee (Abbildung 4-33). Insgesamt kann der Obersee als ein Übergangstyp zwischen einem Flussbarschsee und einem Felchensee eingestuft werden. Aufgrund von historischer Literatur kann zudem davon ausgegangen werden, dass der natürliche historische Zustand dem eines Felchensees entspricht. Der

gebietsfremde Kaulbarsch war in den Fängen der benthischen Zone besonders häufig.

Im Untersee wird die Anzahl gefangener Fische durch Flussbarsche und die Biomasse durch Felchen dominiert. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Fang mit der relativen Häufigkeit der verschiedenen Habitate im See korrigiert wird. Es kann davon ausgegangen werden, dass vor der Eutrophierung die Felchen auch im Untersee in der Anzahl dominiert haben. Anzunehmen ist auch, dass mindestens drei Felchenarten sowie Tiefwasser-Zwergsaiblinge im Untersee vorgekommen sind. Momentan besteht eine eingeschränkte Tiefenverteilung aufgrund des Sauerstoffmangels in den tiefsten Bereichen und es kommen mehrere gebietsfremde Arten vor. Dies suggeriert, dass die Fischfauna des Zürichsees heute relativ stark vom ursprünglichen und natürlichen Zustand abweicht.

Weiter gilt es festzuhalten, dass verschiedene gebietsfremde Arten, die im Zürichsee im Verlauf der letzten Jahrzehnte beobachtet wurden, nicht gefangen werden konnten. Diese sind im See also entweder nicht mehr oder wenn dann nur in sehr geringer Dichte vorhanden. Somit hält sich der Anteil an standortfremden Arten im Vergleich zu einigen anderen perialpinen Seen, wie zum Beispiel dem Bodensee, in Grenzen. Insgesamt kann gefolgert werden, dass die Fischfauna des Obersees dem ursprünglichen Zustand näher ist, als die des Untersees.

5.2 Fischereiliche Nutzung

Fischerei beruht auf Felchen-, Flussbarsch-, Rotauge- und Hechtfang

Die Berufsfischerei im Zürichsee (Obersee und Untersee) basiert hauptsächlich auf dem Fang von Felchen, Flussbarschen und Rotaugen. Die Fischerei des Zürichsees ist somit stark abhängig von der Entwicklung dieser drei Artengruppen. Die Fänge der Felchen sind starken Variationen unterworfen die eine Zyklizität von 5-7 Jahren aufweisen. Die Fänge von Flussbarschen und Rotaugen sind zwar geringer, dafür aber stabiler. Seit 2000 sind die jährlichen durchschnittlichen Gesamtfangerträge pro Hektar Seefläche im Ober- und Untersee ähnlich. Die Zusammensetzung der Fänge unterscheidet sich aber zwischen den Seen. Im Obersee werden pro Seefläche beständig höhere Felchenerträge erzielt als im Untersee, während die Erträge für Flussbarsche und Rotaugen im Untersee höher sind.

Angler fangen im Zürichsee hauptsächlich Felchen, gefolgt von Flussbarschen und Hechten. Der flächenkorrigierte Gesamtertrag der Angler (kg/ha) war in den Jahren 2000-2016 im Ober- und Untersee sehr ähnlich. Auch bei den Angelfischern sind die Felchen-Erträge im Obersee höher als die der Flussbarsche und Rotaugen im Untersee. Die Hechterträge waren vergleichbar zwischen den Seen. Aufgrund des Ausmasses der zeitlichen Fluktuationen und der Zyklen in den Fängen ist es anhand der verfügbaren Fischereistatistiken, unmöglich auf irgendwelche Auf- oder Abwärtstrends in den letzten Jahrzenten zu schliessen. Zuletzt wurde für das Jahr 2017 durch die Fischereibehörden jedoch ein signifikanter Einbruch der Fänge festgestellt.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ein einzigartiges Ökosystem ist beeinträchtigt

Der Zürichsee ist ein Beispiel für einen ursprünglich oligotrophen perialpinen Flachlandsee, der im Verlauf des letzten Jahrhunderts stark beeinträchtigt wurde. Dabei hat sich die einheimische Fischartenvielfalt im See verändert und verschiedene gebietsfremde Arten haben den See besiedelt.

Heute leidet der See nach wie vor unter den Auswirkungen der Nährstoffbelastung des letzten Jahrhunderts. Dies trifft insbesondere für den Untersee zu, dessen tiefere Hälfte nicht von Fischen genutzt werden kann. Zudem beeinflusst der Klimawandel mit den damit einhergehenden zunehmenden Wassertemperaturen die physikalischen Eigenschaften des Sees (Stratifikation und vertikale Durchmischung). Dies resultiert in einer schwächeren Winterzirkulation, wodurch sich die Bereiche mit ungenügendem Sauerstoffgehalt erweitern. Die schwächere Zirkulation führt auch zu geringfügig verringertem Einmischen von Nährstoffen aus der Tiefe in die produktive Zone nahe der Oberfläche und trägt zugleich zur Vermehrung von toxischen Cyanobakterien bei. Wegen ihrer Ungeniessbarkeit für Zooplankton wird eine signifikante Menge an Nährstoffen von einem eigentlich übermässig produktiven Nahrungsnetz abgeführt. Die Problematik mit der fehlenden Winterzirkulation und den damit einhergehenden Folgen dürften sich laut Klimaprognosen in Zukunft noch verschärfen, was auch für die Fische weitere Folgen haben wird.

Der Obersee leidet im Spätsommer ebenfalls unter Sauerstoffschwund, erfährt aber jedes Jahr eine Vollzirkulation im Februar, welche auch die Tiefe jeweils wieder versorgt. Abgesehen von der hohen Abundanz des Kaulbarsches in der benthischen Zone, ist der Fischbestand des Obersees näher am ursprünglichen Zustand als es der Untersee ist. So kommt im Obersee z.B. bis heute eine grössere Vielfalt der Felchenarten vor.

Gute Berufsfischereifänge im Vergleich zu anderen perialpinen Seen

Anzumerken ist, dass die Berufsfischereifänge im Zürichsee bis 2016 im Vergleich zu anderen grossen und tiefen perialpinen Seen hoch waren. Trotz der Verringerung der Nährstoffbelastung hat sich der Gesamtfang der Berufsfischer bis heute kaum verändert, ist allerdings grossen Fluktuationen und Zyklen unterworfen, die eine Erkennung von Trends erschwert. Die Artenzusammensetzung der Fänge hat sich jedoch verändert. Heute werden wieder vermehrt Felchen gefangen und weniger Cypriniden.

Standardisiertes Fischmonitoring bringt zusätzliche Information

Schliesslich zeigen die Befischungen des Projet Lac auch am Zürichsee den Wert einer standardisierten Aufnahme der Fischfauna. Diese erlaubt es, einen Einblick in die Bestände von nicht oder wenig befischten Arten, sowie nicht befischten Fischgrössen, zu erlangen. Weiter wird auch klar, wie sich die Fische im See und über die Habitate verteilen und wo Defizite in der Qualität der Lebensräume, z.B. in der Tiefe des Sees, oder bei den Uferstrukturen, bestehen. Schliesslich erlauben diese Methoden die Seen mit einer reproduzierbaren Datengrundlage

untereinander zu vergleichen. Anhand dieser ersten Aufnahme wird es in Zukunft auch möglich sein, die Entwicklung der Fischfauna im Zürichsee weiter zu verfolgen.

7 Literaturverzeichnis

Alexander TJ, P. V, G. P, Raymond JC, Degiorgi F, Seehausen O (2016) Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Bodensee. Projet Lac, Eawag

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) Ètude 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 I'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

Ernst B, Hitzfeld B, Dietrich D (2001) Presence of *Planktothrix* sp. and cyanobacterial toxins in Lake Ammersee, Germany and their impact on whitefish (*Coregonus lavaretus* L.). Environmental Toxicology 16: 483-488

Escher HE (1692) Beschreibung des Zürichsees samt der daran gelegen Orten, Zürich, Schweiz

Fujimori Y, Tokai T (2001) Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. Fisheries Science 67: 644-654

Gammeter S (2002) Langzeitentwicklung und saisonale Dynamik im Zürichsee - welchen Einfluss hat die Auswahl der Untersuchungsstelle? Wasserversorgung Zürich

Gessner C (1575) Fischbuch. Forer, Zürich

Hartmann GL (1827) Helvetische Ichthyologie: oder ausführliche Naturgeschichte der in der Schweiz sich vorfindenden Fische. Drell, Füβli and Compagnie, Zürich, Schweiz

Hefti H (2017) Natural and anthropogenic factors influencing fishes in the littoral zone of alpine and pre-alpine lakes. Institute of Ecology and Evolution, Faculty of Science, University of Bern,

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

Kunz W (1911) Vergleich der gasvolumetrischen mit der titrimetrischen Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes und Bestimmung des vom Zürichseewasser absorbierten Sauerstoffes. Mitteilungen physikalische Gesellschaft Zürich 16: 1-53

Mehner T (2006) Prediction of hydroacoustic target strength of vendace (*Coregonus albula*) from concurrent trawl catches. Fisheries Research 79: 162-169

North RP, Livingstone DM, Hari RE, Köster O, Niederhauser P, Kipfer R (2013) The physical impact of the late 1980s climate regime shift on Swiss rivers and lakes. Inland Waters 3: 341-350

Posch T, Koster O, Salcher MM, Pernthaler J (2012) Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming. Nature Clim Change 2: 809-813

Regier HA, Robson DS (1966) Selectivity of Gill Nets Especially to Lake Whitefish. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 23: 423-&

Reid PC, Hari RE, Beaugrand G, Livingstone DM, Marty C, Straile D, Barichivich J, Goberville E, Adrian R, Aono Y, Brown R, Foster J, Groisman P, Hélaouët P, Hsu H-H, Kirby R, Knight J, Kraberg A, Li J, Lo T-T, Myneni RB, North RP, Pounds JA, Sparks T, Stübi R, Tian Y, Wiltshire KH, Xiao D, Zhu Z (2016) Global impacts of the 1980s regime shift. Global Change Biology 22: 682-703

Schildknecht A, Köster O, Koss M, Forster R, Leemann M (2013) Gewässerzustand von Zürichsee, Zürichobersee und Walensee. Auswertungen der Untersuchungsergebnisse bis 2010. Stadt Zürich, Wasserversorgung

Simmonds J, Maclennan D (2008) Fisheries acoustics: theory and practice. Wiley-Blackwell, Oxford

Steinmann P (1950) Monographie der schweizerischen Koregonen: Beitrag zum Problem der Entstehung neuer Arten. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 12: 109-112

Vonlanthen P, Lundsgaard-Hansen B, Hudson AG, Seehausen O (2008) Untersuchungen zur Verwandtschaft der Felchen aus dem Zürichsee, dem Walensee und dem Lindtkanal. Eawag, Kastanienbaum

Yankova Y, Neuenschwander S, Köster O, Posch T (2017) Abrupt stop of deep water turnover with lake warming: drastic consequences for algal primary producers. Scientific Reports 7: 13770

Zaugg B, Stucki P, Pedroli J-C, Kirchhofer A (2003) Fauna Helvetica 7 - Pisces Atlas. Centre Suisse de Cartographie de la Faune

8 Anhang

Tabelle 8-1. Zusammenstellung der Anzahl und der Biomasse der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangarten, korrigiert für den Fangaufwand (Anzahl Individuen pro 1000m^2 Netzfläche oder Elekrofischfangfläche).

CPUE (Anzahl Individuen/1000m^2)		Obersee					Untersee				
Deutsch	**Lateinisch**	**CEN benthisch**	**CEN pelagisch**	**Elec.**	**Vertikal benthisch**	**Vertikal pelagisch**	**CEN benthisch**	**CEN pelagisch**	**Elec.**	**Vertikal benthisch**	**Vertikal pelagisch**
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	348.15	4.86	34.27	260.42	22.97	143.73	0.46	15.66	134.48	17.14
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	511.93	-	20.25	39.06	5.64	75.99	-	2.41	44.83	2.5
Rotauge	*Rutilus rutilus*	74.07	6.94	21.81	14.32	5.01	79.21	0.46	43.37	9.2	1.74
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	0.82	-	90.34	-	-	-	-	12.05	-	-
Alet	*Squalius cephalus*	1.65	-	59.19	6.51	-	-	-	4.82	8.05	-
Laube	*Alburnus alburnus*	10.70	-	-	9.11	3.13	9.68	4.17	-	39.08	2.28
Gründling	*Gobio gobio*	4.94	-	1.56	6.51	1.25	3.58	-	36.14	2.3	0.22
Groppe	*Cottus gobio*	2.47	-	32.71	2.60	-	0.72	-	13.25	-	-
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	-	-	-	-	-	3.23	-	34.94	5.75	-
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	-	-	12.46	7.81	-	1.79	-	9.64	4.6	-
Trüsche	*Lota lota*	1.65	-	31.15	-	0.84	1.43	-	1.2	-	-
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	0.82	7.64	-	-	10.65	2.15	8.8	-	-	4.56
Brachse	*Abramis brama*	4.12	-	1.56	1.30	-	4.3	-	1.2	2.3	-
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp.*	-	-	-	-	-	1.08	-	-	12.64	0.11
Hecht	*Esox lucius*	0.82	-	4.67	-	-	2.15	-	1.2	1.15	0.11
Schleie	*Tinca tinca*	-	-	1.56	2.60	-	1.43	-	-	2.3	-
Barbe	*Barbus barbus*	-	-	7.79	-	-	-	-	-	-	-
Forelle	*Salmo trutta*	-	-	-	-	-	-	-	6.02	-	-
Karpfen	*Cyprinus carpio*	-	-	-	-	-	-	-	-	1.15	-
Seesaibling	*Salvelinus umbla*	-	-	-	-	0.21	-	-	-	-	-
Total		962.14	19.44	319.32	350.24	49.7	330.47	13.89	181.9	267.83	28.66

BPUE (kg/1000m^2)		Obersee					Untersee				
Deutsch	**Lateinisch**	**CEN benthisch**	**CEN pelagisch**	**Elec.**	**Vertikal benthisch**	**Vertikal pelagisch**	**CEN benthisch**	**CEN pelagisch**	**Elec.**	**Vertikal benthisch**	**Vertikal pelagisch**
Alet	*Squalius cephalus*	1.61	-	3.51	8.95	-	-	-	0.54	4.81	-
Egli / Flussbarsch	*Perca fluviatilis*	2.62	0.03	0.37	3.38	0.28	2.42	0.05	0.14	2.49	0.16
Rotauge	*Rutilus rutilus*	3.59	0.16	0.05	1.16	0.19	2.01	0.002	0.04	0.79	0.13
Kaulbarsch	*Gymnocephalus cernua*	4.30	-	0.34	0.51	0.07	0.77	-	0.03	0.51	0.03
Karpfen	*Cyprinus carpio*	-	-	-	-	-	-	-	-	6.46	-
Rot-/Schwarzfeder	*Scardinius spp.*	-	-	-	-	-	0.3	-	-	5.18	0.06
Hecht	*Esox lucius*	3.42	-	0.82	-	-	0.72	-	0.15	0.01	0.01
Felchen, alle Arten	*Coregonus spp.*	0.17	1.09	-	-	0.55	0.28	1.49	-	-	0.51
Schleie	*Tinca tinca*	-	-	0.01	1.46	-	1.25	-	-	1.2	-
Trüsche	*Lota lota*	0.27	-	2.66	-	0.04	0.13	-	0.004	-	-
Sonnenbarsch	*Lepomis gibbosus*	-	-	-	-	-	0.24	-	1.14	0.54	-
Hasel	*Leuciscus leuciscus*	-	-	0.04	0.48	-	0.19	-	0.02	0.41	-
Laube	*Alburnus alburnus*	0.09	-	-	0.12	0.02	0.13	0.03	-	0.39	0.03
Gründling	*Gobio gobio*	0.002	-	0.002	0.07	0.01	0.03	-	0.14	0.03	0.002
Bartgrundel	*Barbatula barbatula*	0.002	-	0.16	-	-	-	-	0.02	-	-
Groppe	*Cottus gobio*	0.01	-	0.09	0.01	-	0.002	-	0.03	-	-
Brachse	*Abramis brama*	0.02	-	0.002	0.01	-	0.01	-	0.002	0.01	-
Forelle	*Salmo trutta*	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-
Seesaibling	*Salvelinus umbla*	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-
Barbe	*Barbus barbus*	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-
Total		16.14	1.28	8.06	16.15	1.19	8.48	1.57	2.3	22.83	0.93

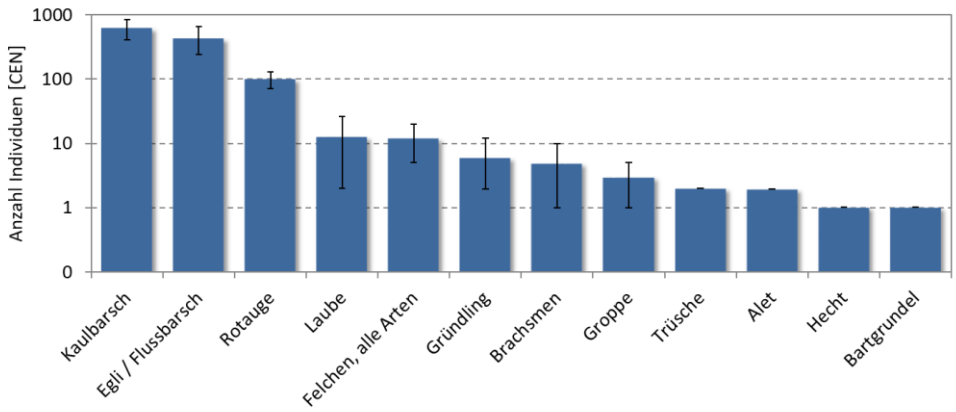


Abbildung 8-1. Konfidenzintervalle der Abundanz der verschiedenen Fischarten in den Fängen der CEN-Netze im Obersee.

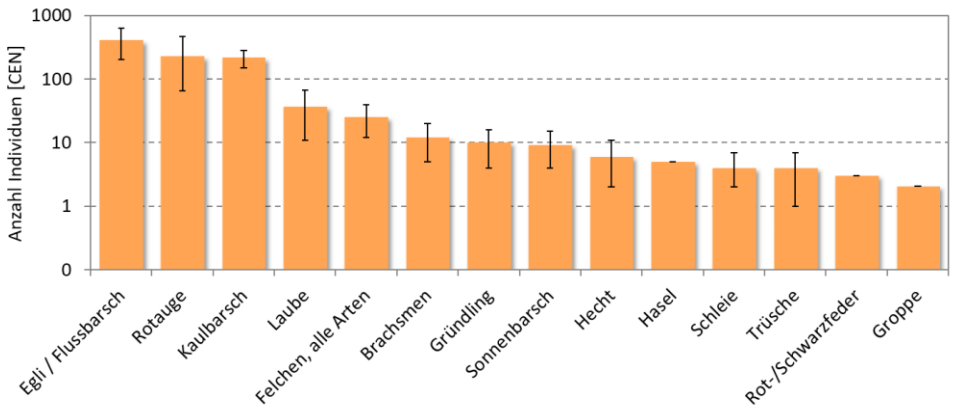


Abbildung 8-2. Konfidenzintervalle der Abundanz der verschiedenen Fischarten in den Fängen der CEN-Netze im Untersee.

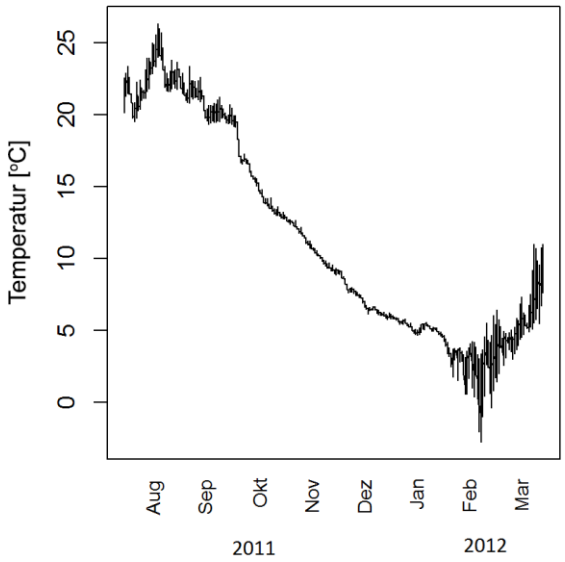


Abbildung 8-3. Ufernahe Oberflächentemperatur des Untersees (Daten: Temperaturlogger, Projet Lac; 47.25442, 8.619078).

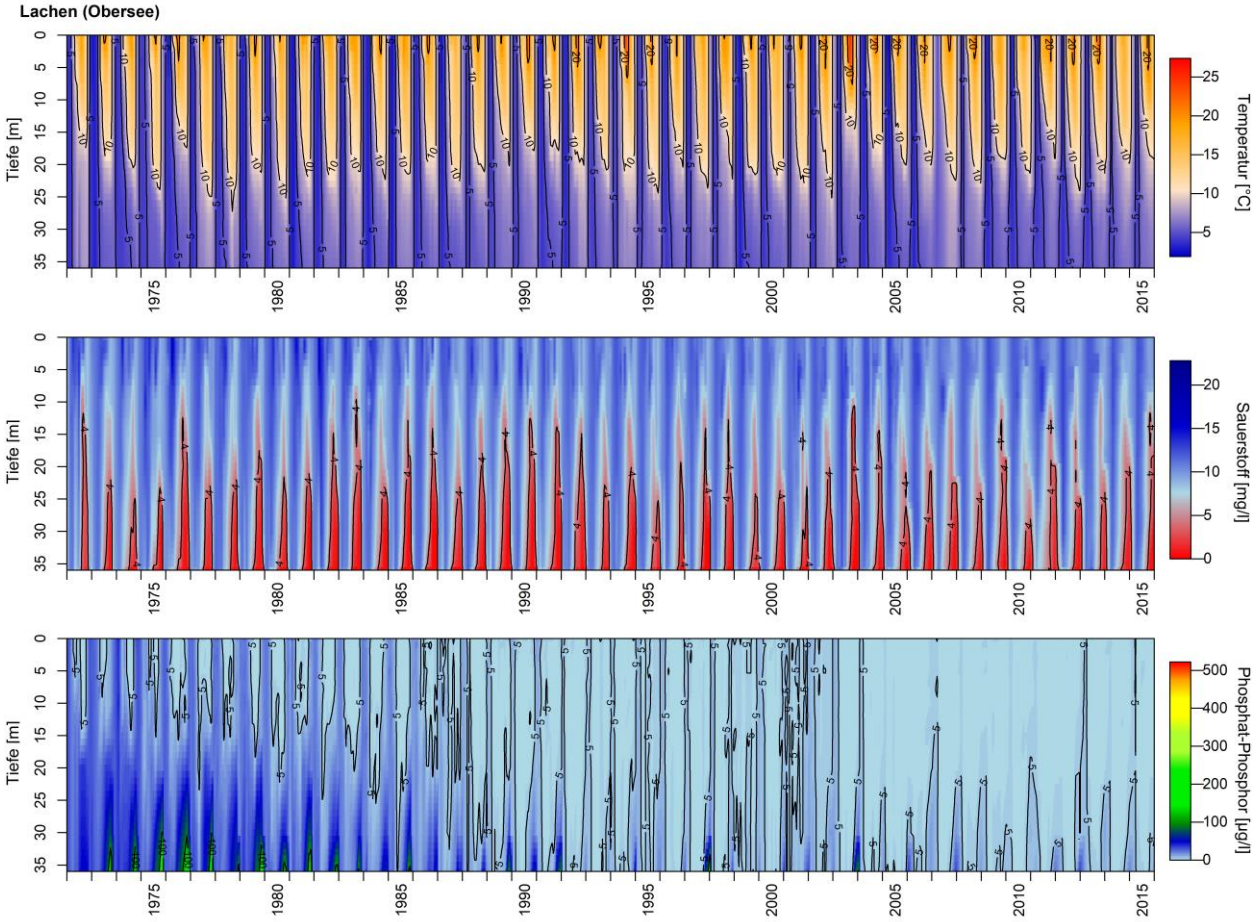


Abbildung 8-4. Langzeit Monitoring von Temperatur, Sauerstoff und Phosphat in Zürichsee bei Lachen (Obersee). Die oberste Graphik zeigt die Wassertemperaturen [°C], die mittlere Graphik den gelösten Sauerstoff [mg/l] und die unterste Graphik die Phosphatkonzentration [PO_4, µg/l]. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

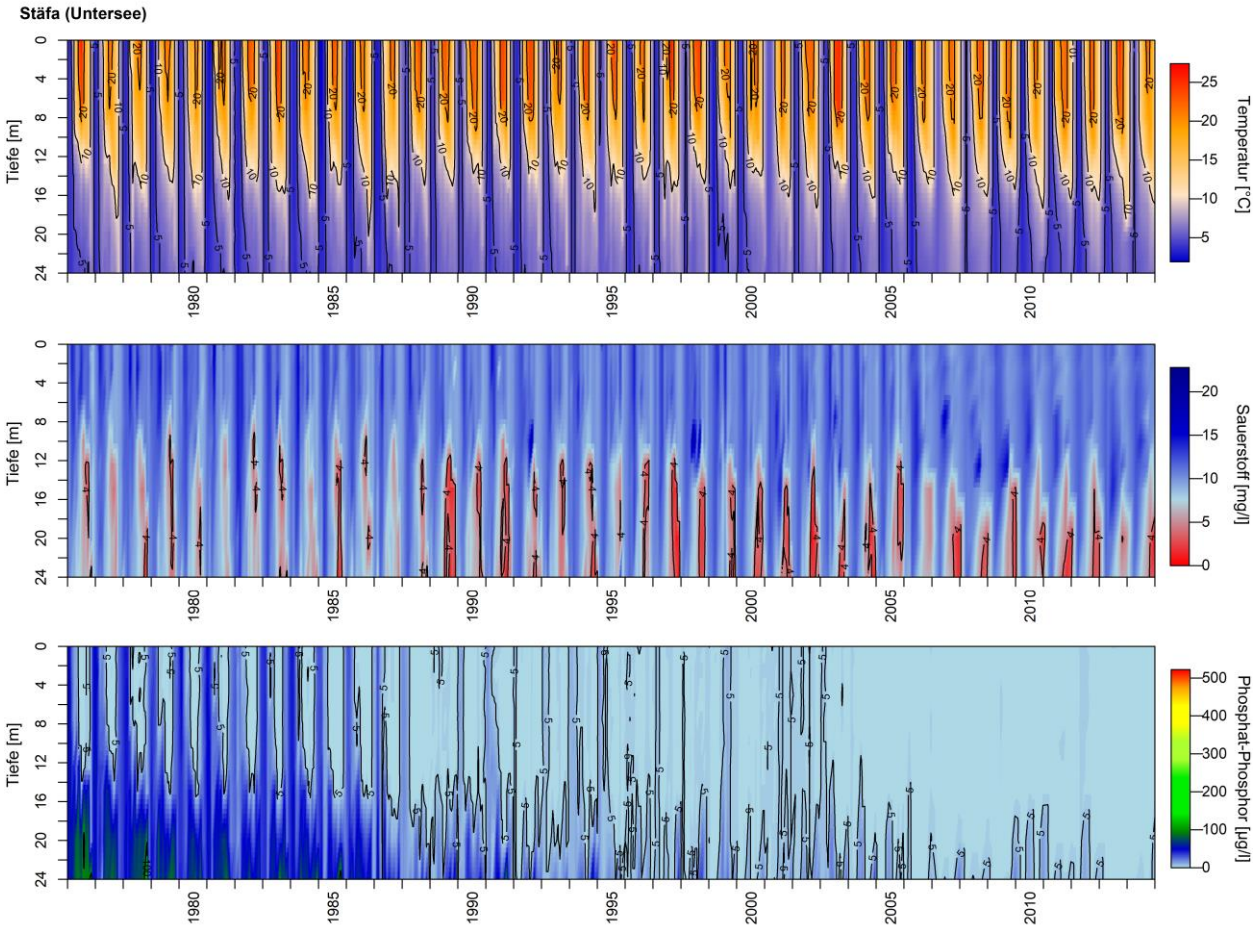


Abbildung 8-5. Langzeit Monitoring von Temperatur, Sauerstoff und Phosphat im Zürichsee bei Stäfa (Untersee). Die oberste Graphik zeigt die Wassertemperaturen [°C], die mittlere Graphik den gelösten Sauerstoff [mg/l] und die unterste Graphik die Phosphatkonzentration [PO_4, µg/l]. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

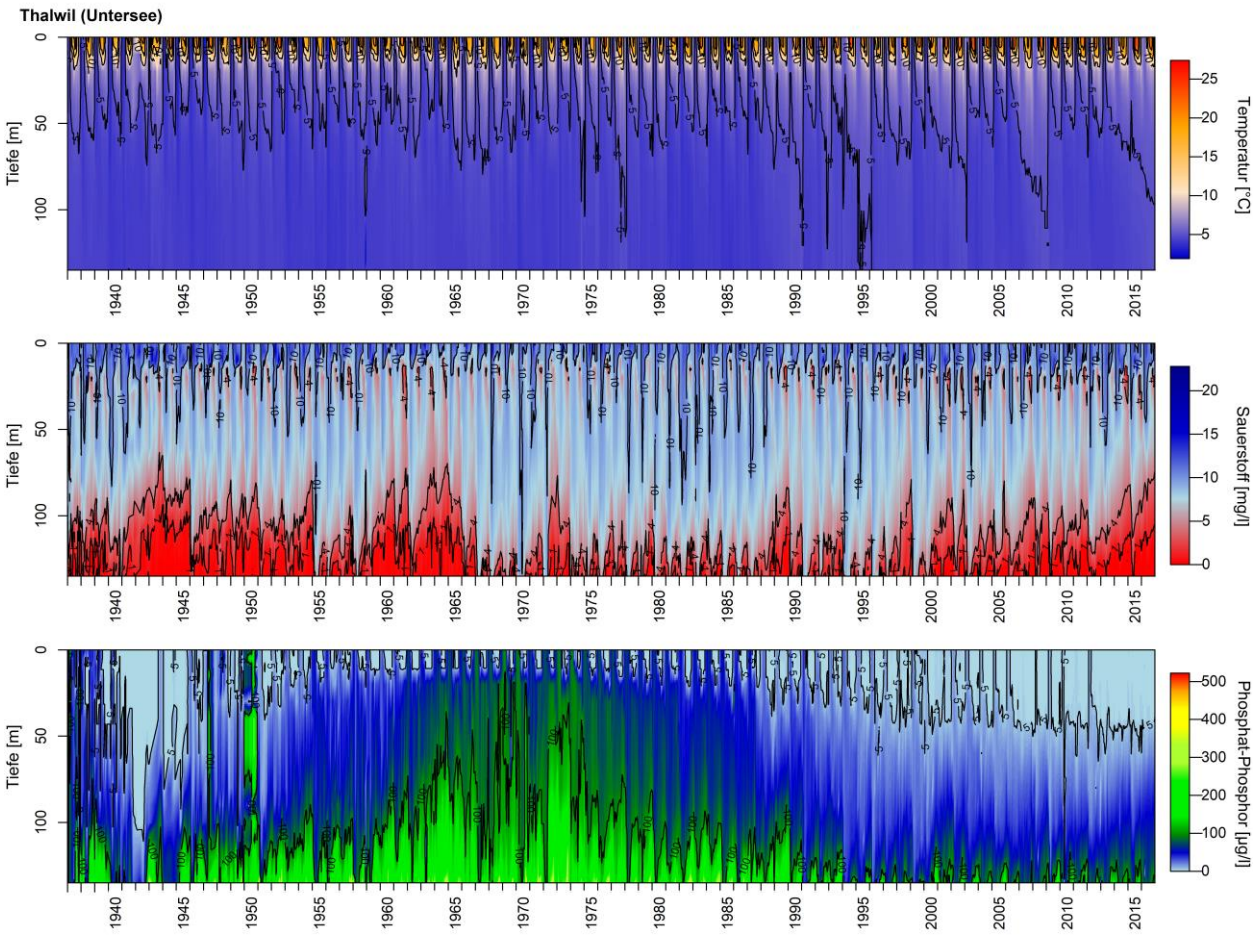


Abbildung 8-6. Langzeit Monitoring von Temperatur, Sauerstoff und Phosphat im Zürichsee bei Thalwil (Untersee). Die oberste Graphik zeigt die Wassertemperaturen [°C], die mittlere Graphik den gelösten Sauerstoff [mg/l] und die unterste Graphik die Phosphatkonzentration [PO_4, µg/l]. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich. Die Daten für Phosphat-Phosphor vor 1951 sind nicht mit den Daten nach 1951 vergleichbar aufgrund von unterschiedlichen Messmethoden.

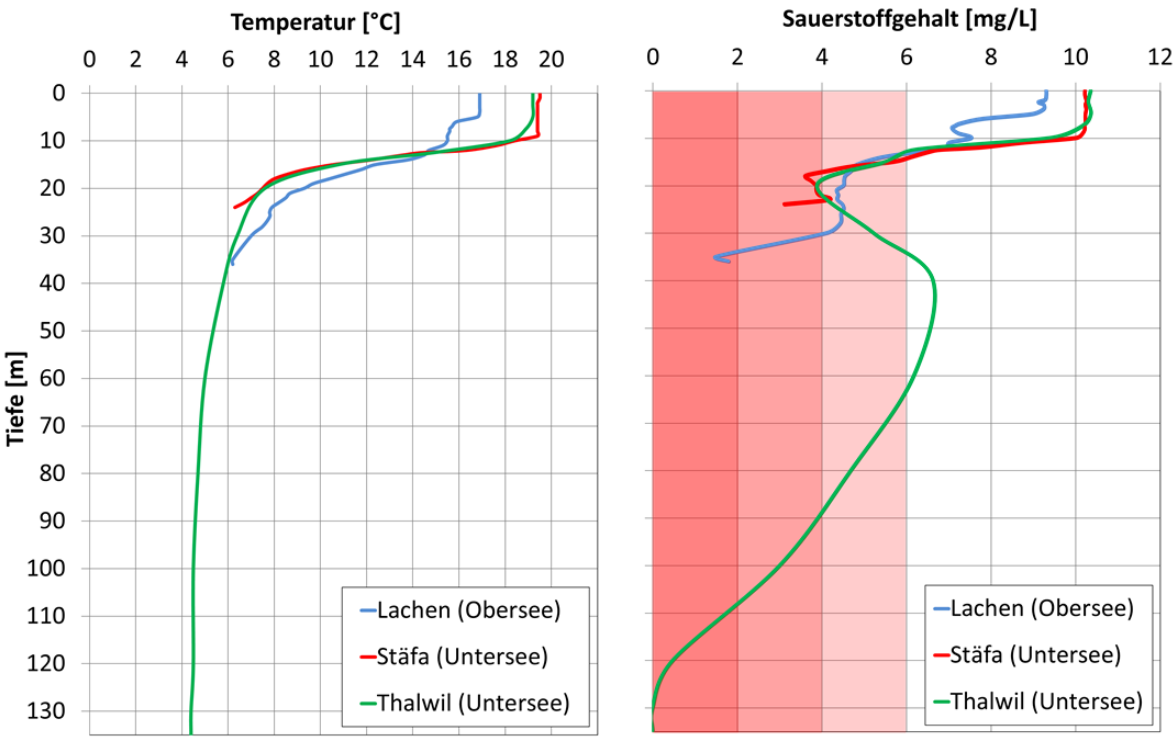


Abbildung 8-7. Temperatur- und Sauerstoff-Profile in der ersten Woche des Septembers 2014 von den drei Messstationen Lachen, Stäfa und Thalwil. In Lachen und Stäfa wird sechsmal im Jahr gemessen, in Thalwil monatlich. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

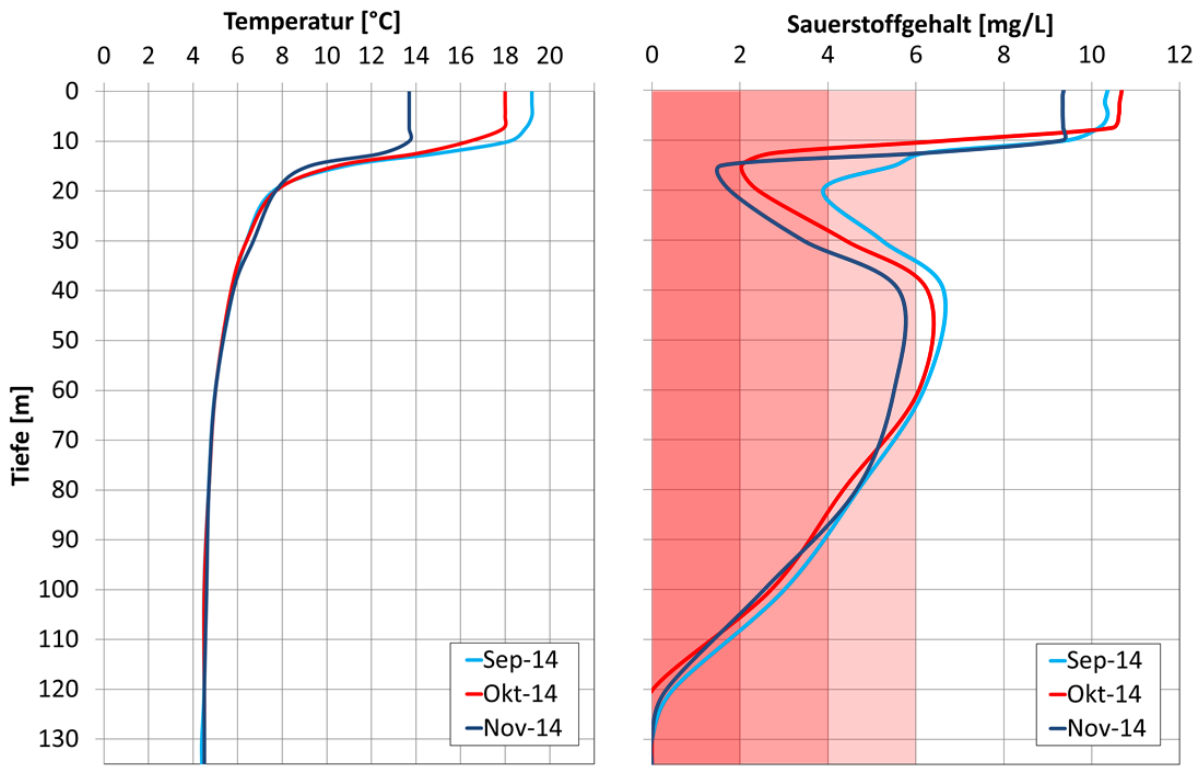


Abbildung 8-8. Temperatur- und Sauerstoff-Profile am tiefsten Punkt des Untersees (Thalwil) am 3. September, 8. Oktober und am 5. November 2014. Projet Lac befischte den See zwischen dem 30. September und dem 4. Oktober 2014. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

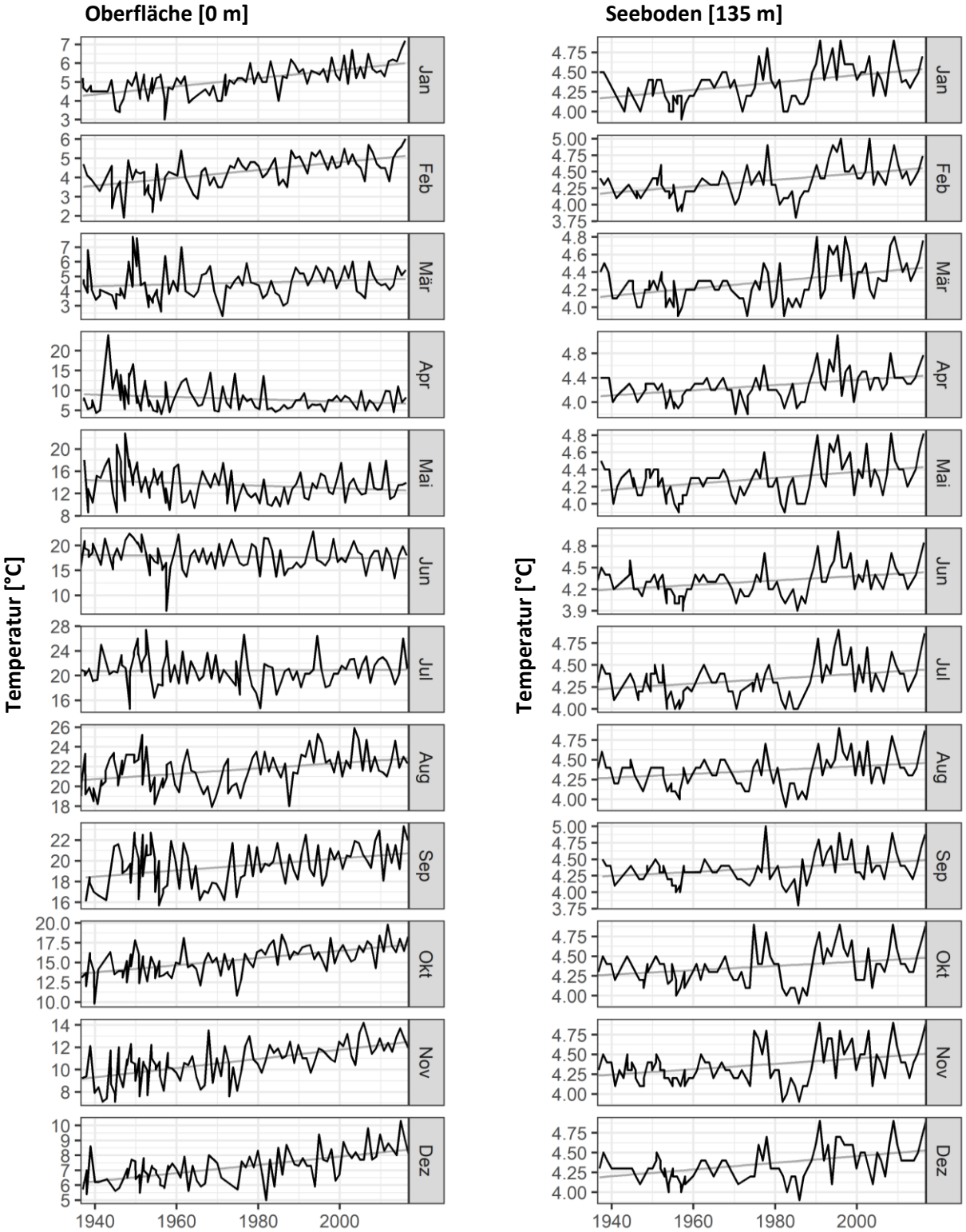


Abbildung 8-9. Zeitreihen von Wassertemperatur-Messungen (1937-2016) im Untersee (Messstation Thalwil) in jedem Monat eines Jahres. Die linke Spalte zeigt die Temperaturen an der Wasseroberfläche (0 m), die rechte Spalte jene ein Meter über dem Seeboden auf 135 m Tiefe. Graue Linien zeigen den Trend als lineare Regression. Der Einfluss des Klimawandels ist besonders deutlich in den späten 1980er Jahren in Temperaturen am Seeboden zu erkennen, wo es einerseits einen klaren Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen und andererseits deutlich mehr Variabilität zwischen den Jahren gibt. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

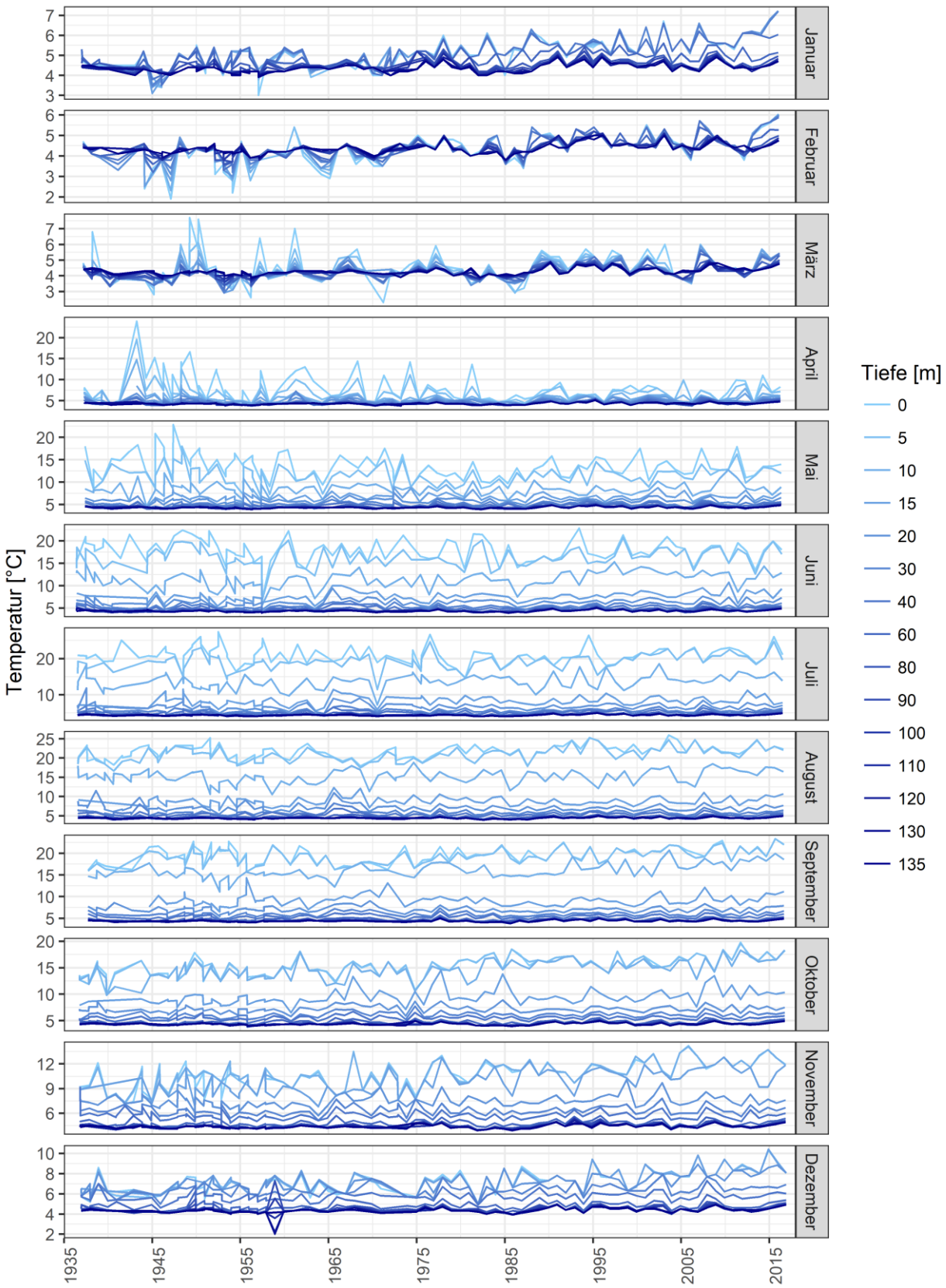
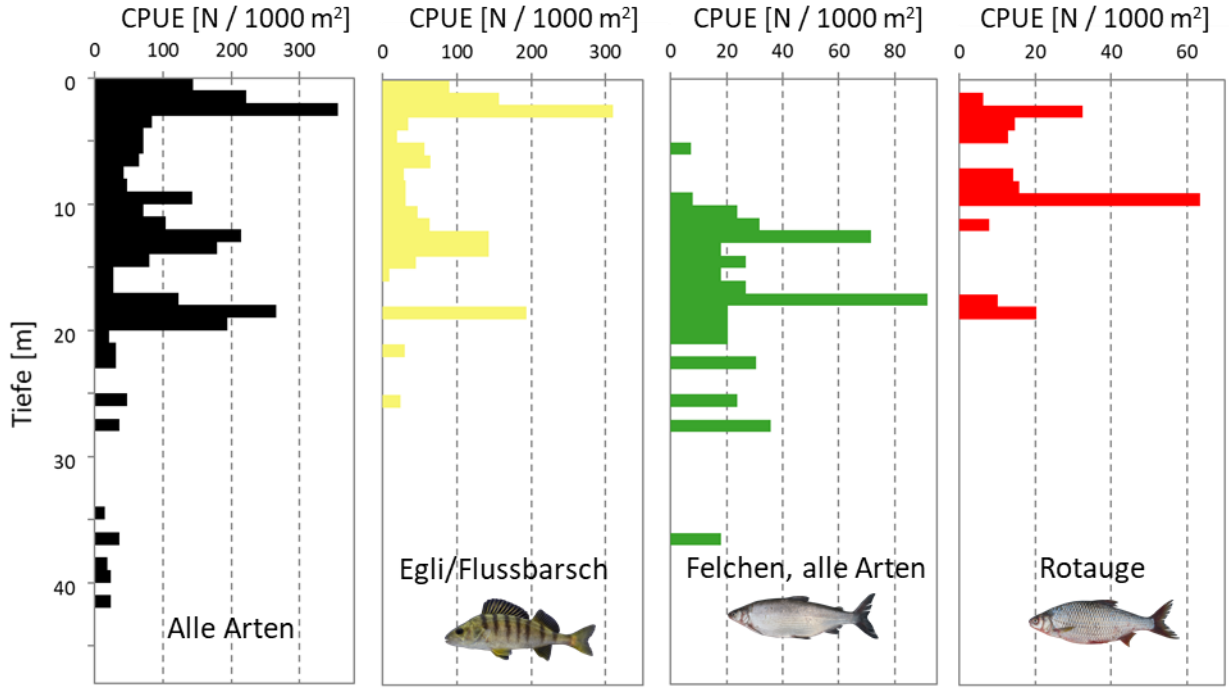


Abbildung 8-10. Zeitreihen der Wassertemperatur aus dem Langzeit-Monitoring des Untersees (Messstation Thalwil; 1937-2016) für alle Monate im Jahr. Die verschiedenen Wassertiefen sind von hellblau (0 m) bis dunkelblau (135 m) gekennzeichnet. Daten: Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) und Wasserversorgung Zürich.

Obersee



Untersee

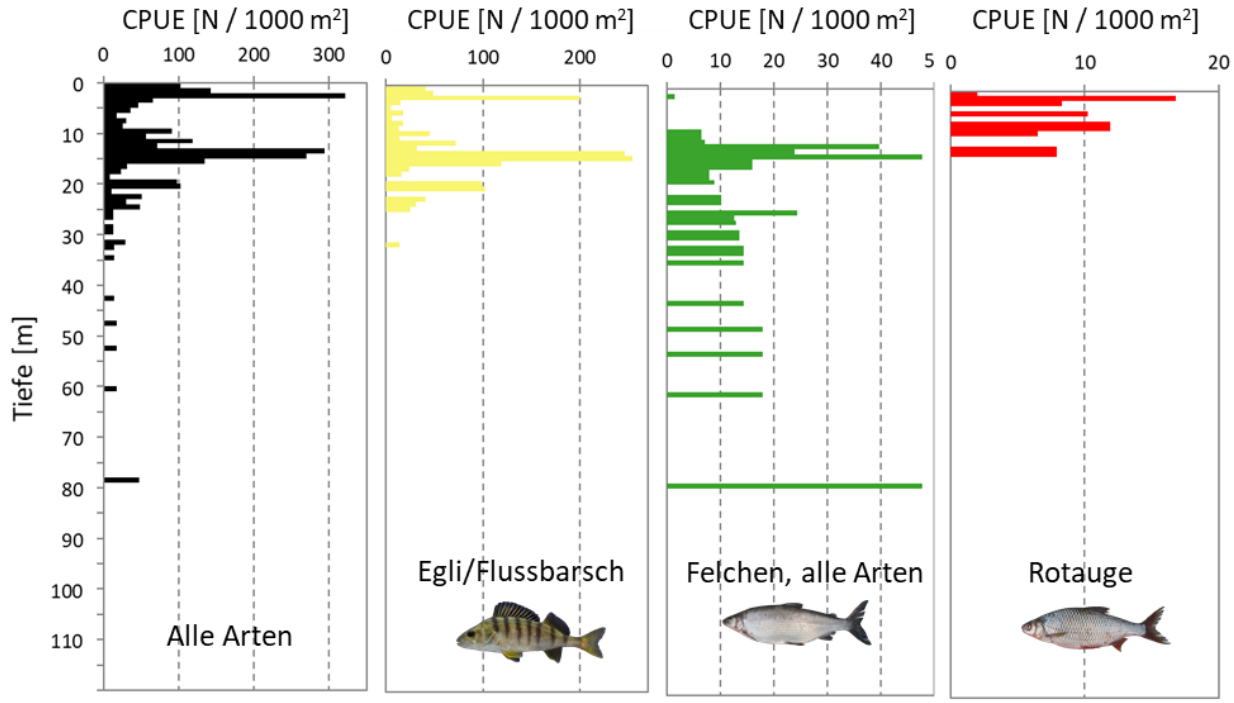


Abbildung 8-11. Die Anzahl der gefangenen Fische im Obersee und Untersee in Vertikalnetzen korrigiert für die Netzfläche (CPUE). Die Graphik für den Untersee ist bei 120 m abgeschnitten (Maximaltiefe ist 143 m). Unterhalb von 17 m wurden nur noch einzelne Individuen in jedem Meterabschnitt gefangen (ausser auf Tiefen von 25 m und 79 m). Die Änderungen in CPUE entstehen daher vor allem durch die immer geringer werdende Netzfläche in der Tiefe.

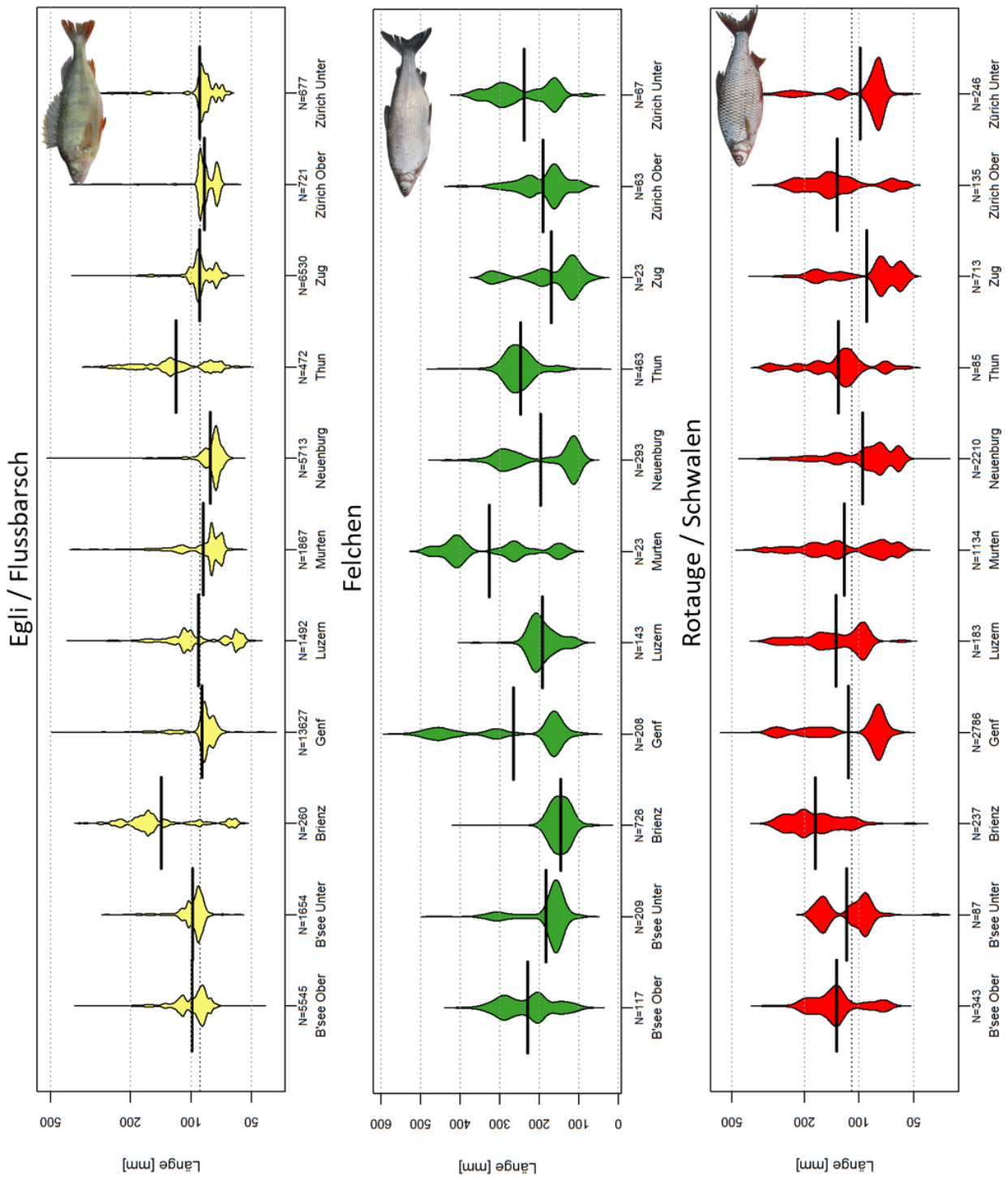


Abbildung 8-12. Längenverteilung der Egli / Flussbarsch, Felchen und Schwalen / Rotaugen in einigen der untersuchten Seen.

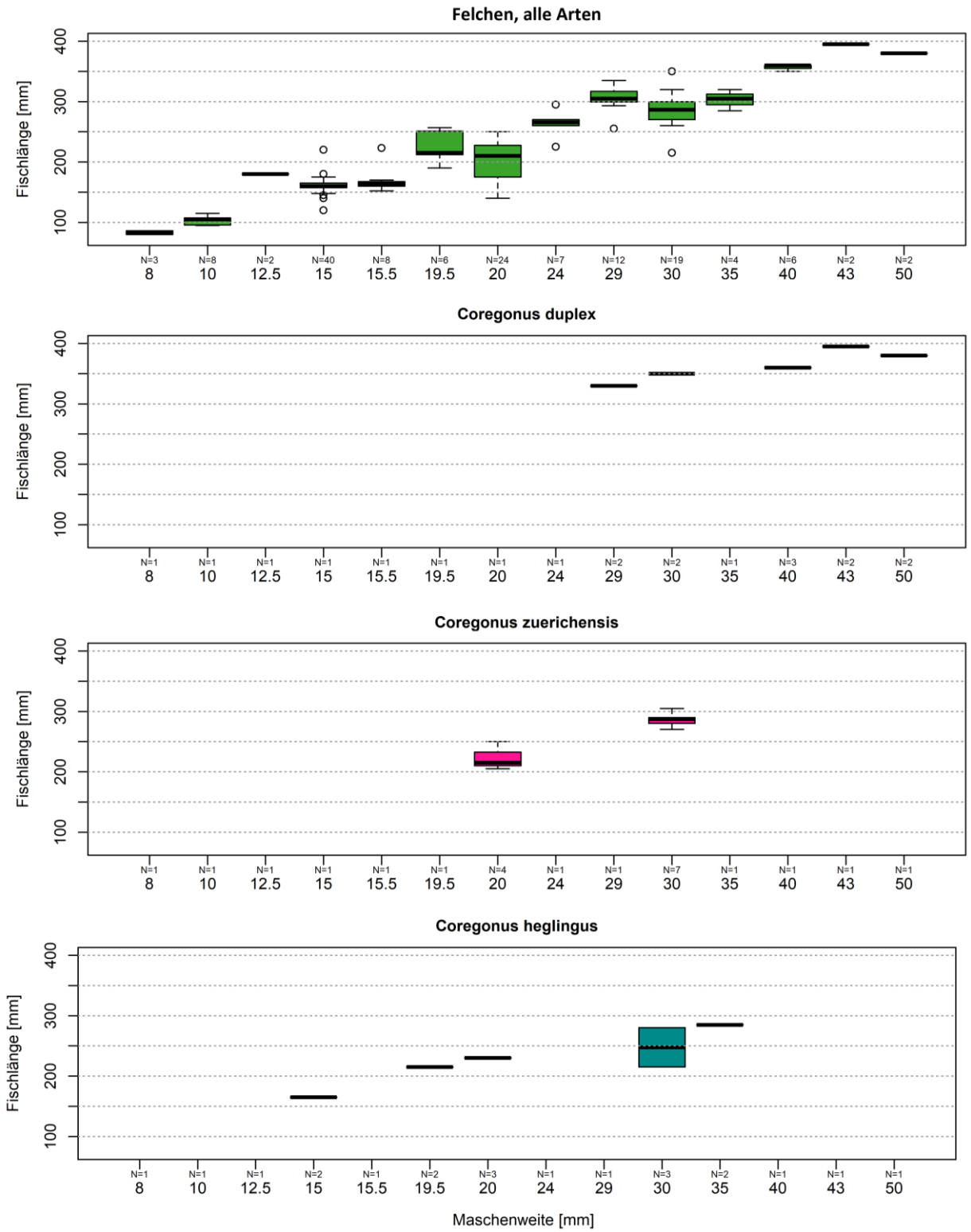


Abbildung 8-13. Längenselektivität der Netzmaschen für Felchen. Alle Felchenarten des Zürichsees zusammengenommen (oberst Grafik) und ein Teil der gefangenen Fische, die den drei Arten zugewiesen werden konnten, sind getrennt aufgezeigt.

Abbildung 8-14. Geografische Verteilung der Groppefänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

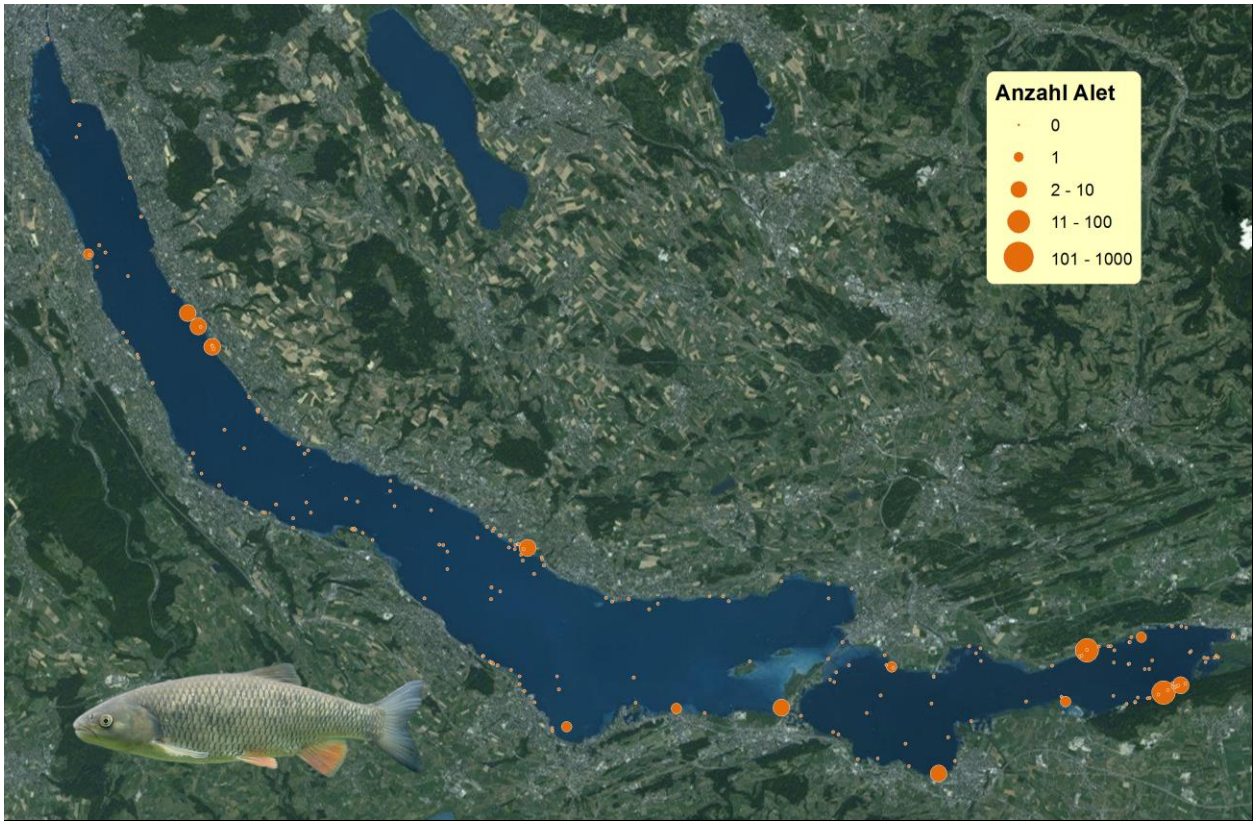


Abbildung 8-15. Geografische Verteilung der Aletfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

Abbildung 8-16. Geografische Verteilung der Hechtfänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

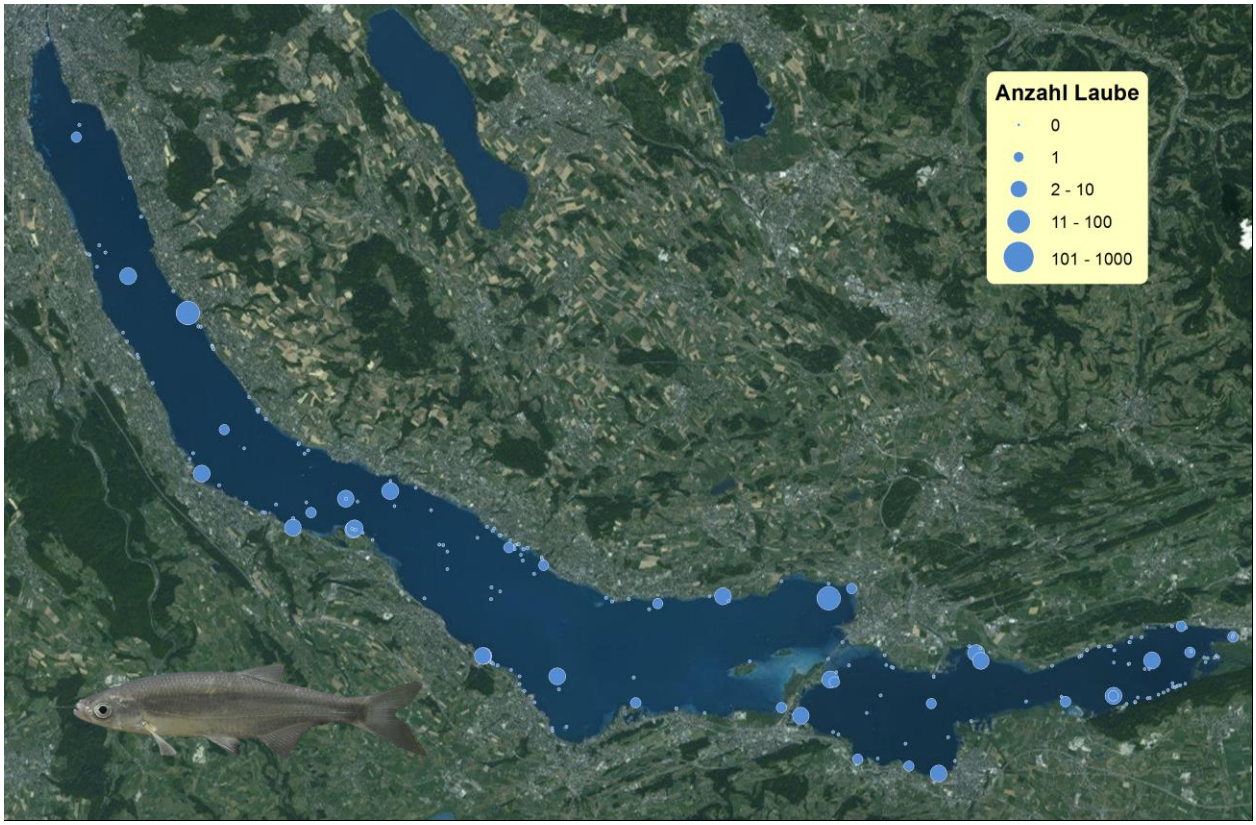


Abbildung 8-17. Geografische Verteilung der Laubefänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

Abbildung 8-18. Geografische Verteilung der Trüschefänge im Zürichsee (alle Protokolle) (Luftaufnahme © Esri).

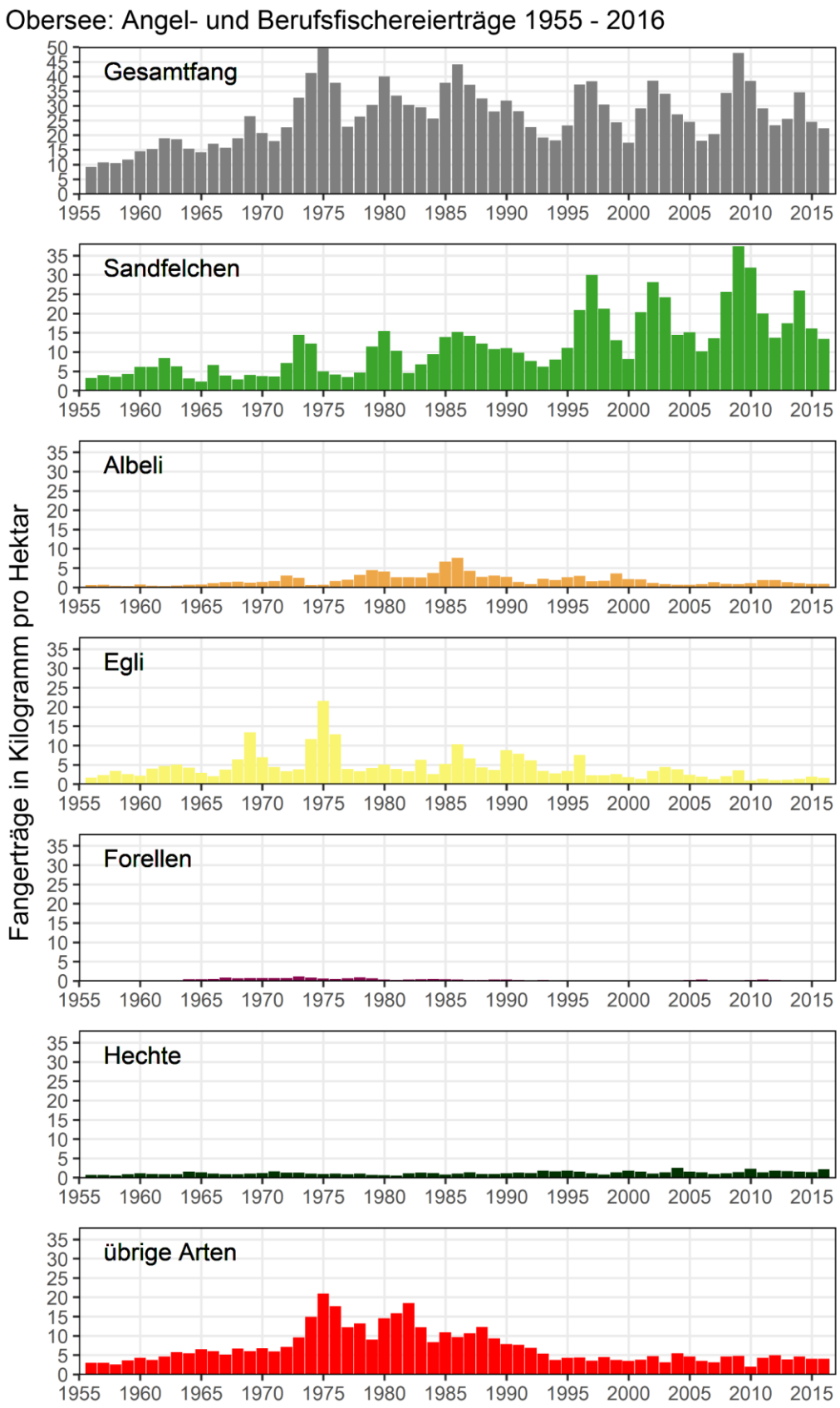


Abbildung 8-19. Entwicklung der kombinierten Fänge der Berufs- und Anglerfänge im Obersee von 1955-2016. Die Skala der Y-achse ist gleich zwischen den Arten, um Vergleiche zu erleichtern. Vergleiche auch mit Abbildung 4-34, Abbildung 8-22 und Abbildung 8-23 (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee). Die Fläche des Obersee ist 2’170 ha gross.

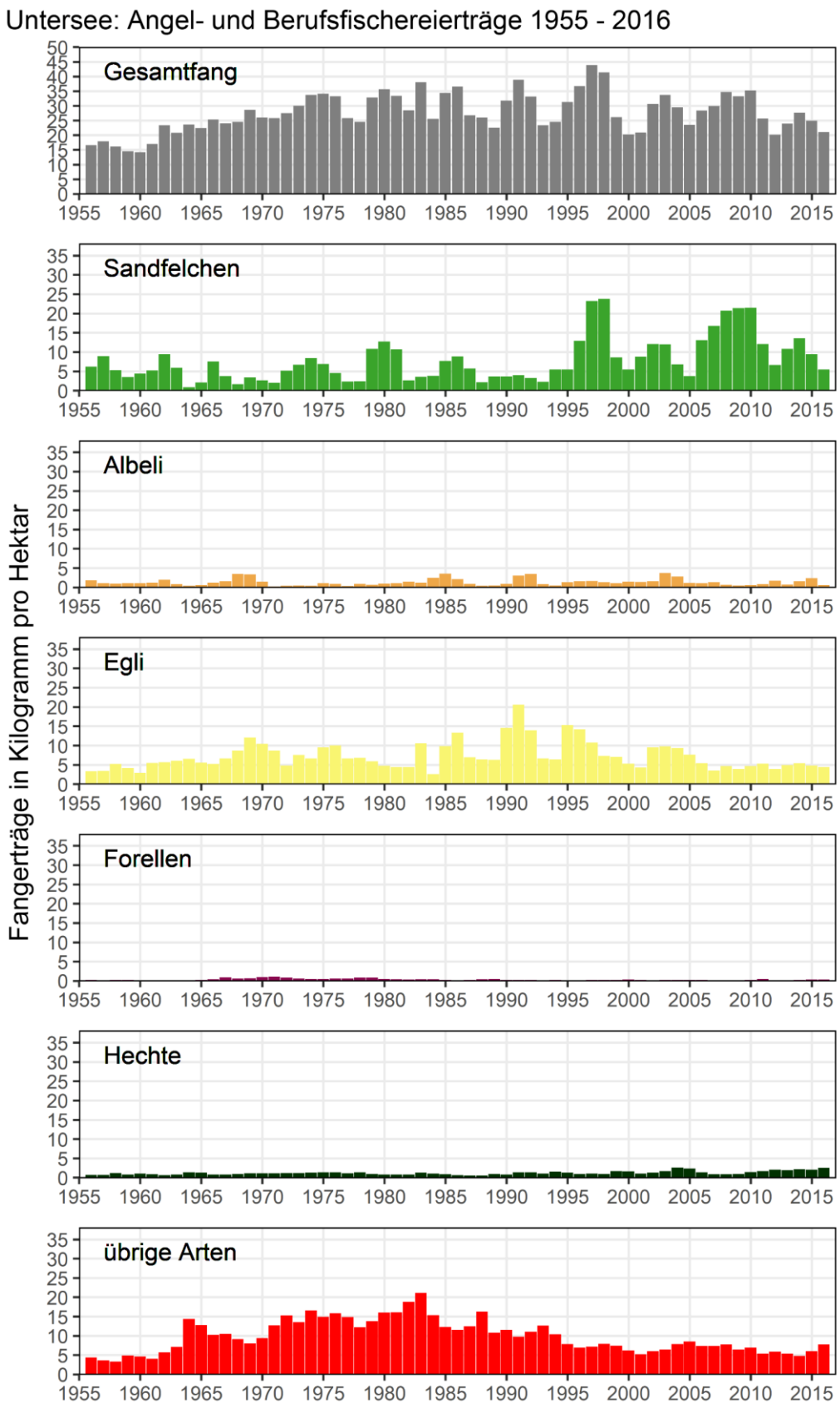


Abbildung 8-20. Entwicklung der kombinierten Fänge der Berufs- und Anglerfänge im Untersee von 1955-2016. Die Skala der Y-achse ist gleich zwischen den Arten, um Vergleiche zu erleichtern. Die Mehrheit der «übrigen Arten» sind Schwalen / Rotaugen. Vergleiche auch mit Abbildung 4-35, Abbildung 8-22 und Abbildung 8-23 (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee). Die Fläche des Untersee ist 6’660 ha.

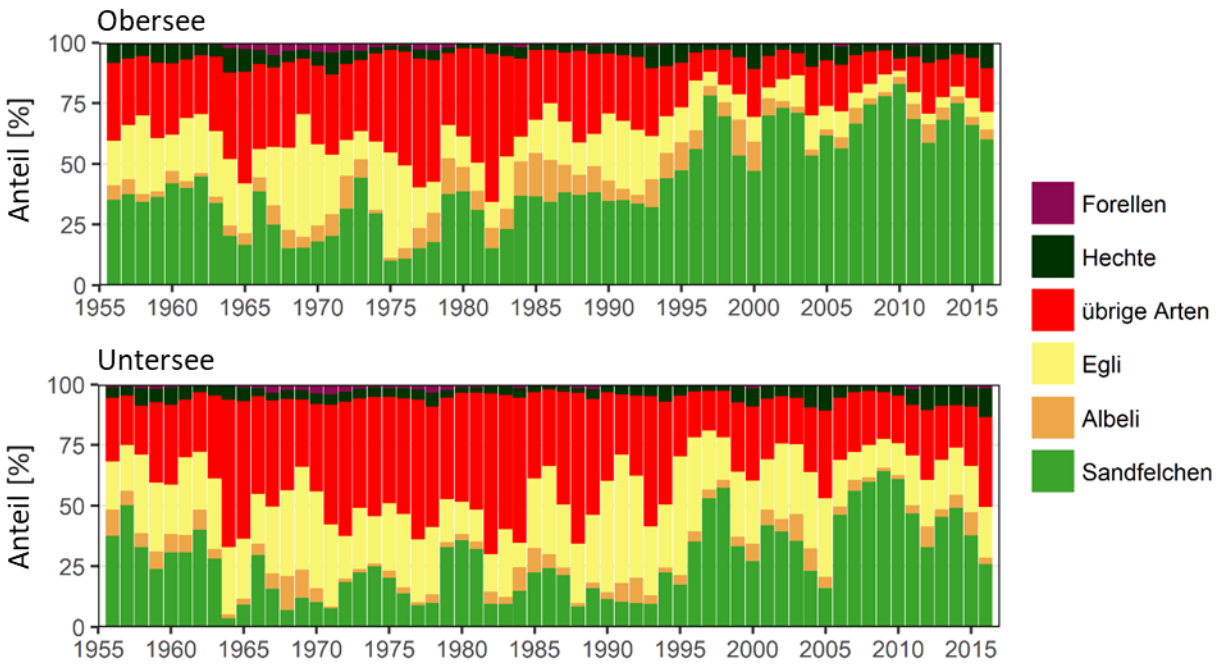


Abbildung 8-21. Entwicklung der relativen Anteile der verschiedenen Arten in den kombinierten Fänge der Berufs- und Anglerfänge im Obersee (oben) und Untersee (unten) von 1955 bis 2016. Die Mehrheit der «übrigen Arten» sind Schwalen / Rotaugen (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee).

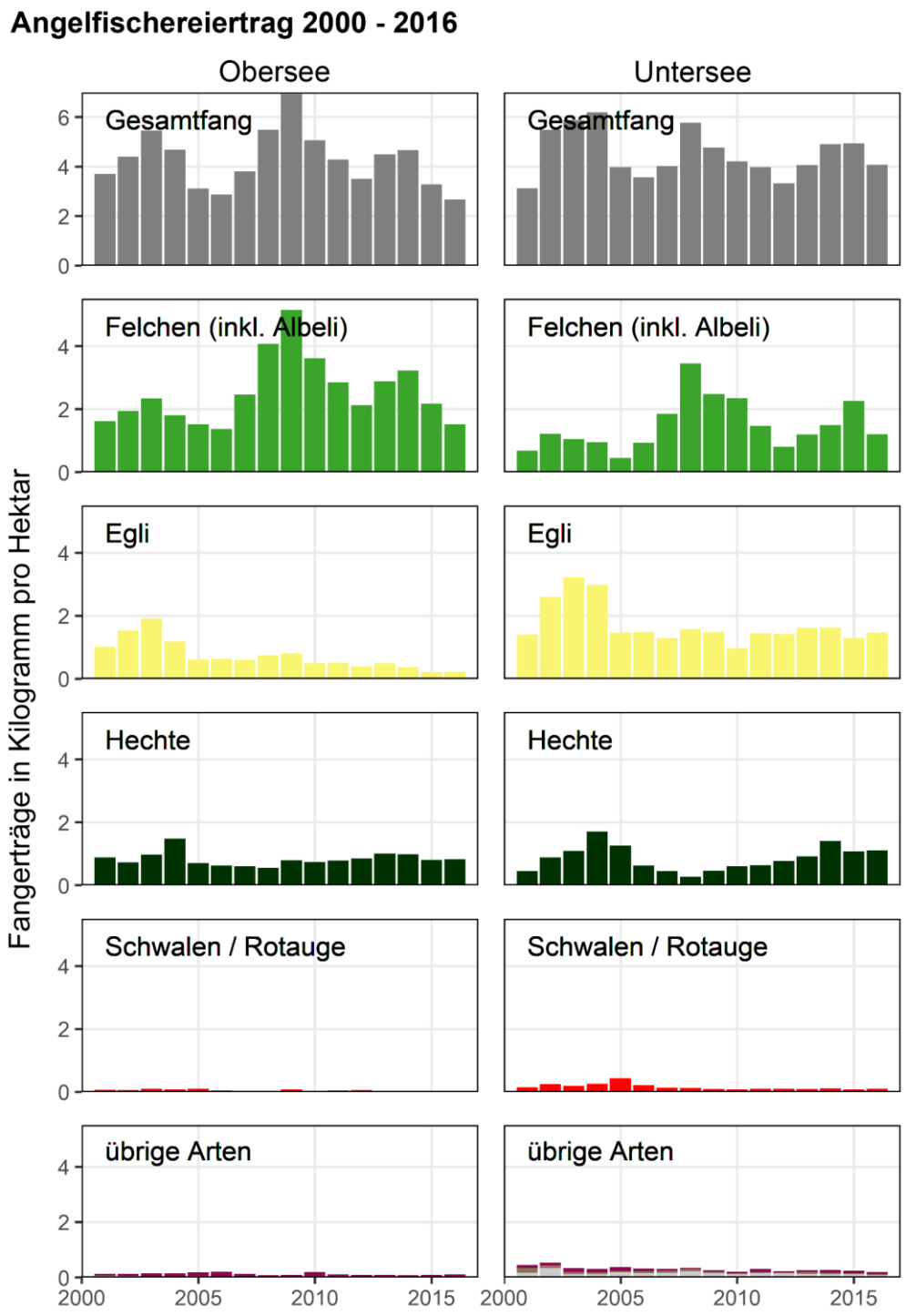


Abbildung 8-22. Entwicklung der Angelfischerfänge im Zürichsee (Obersee und Untersee) von 2000 bis 2016. Obersee-Fänge der Angelfischer im 2010 beinhalten den Schwyzer-Anteil des Zürichsees. (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee).

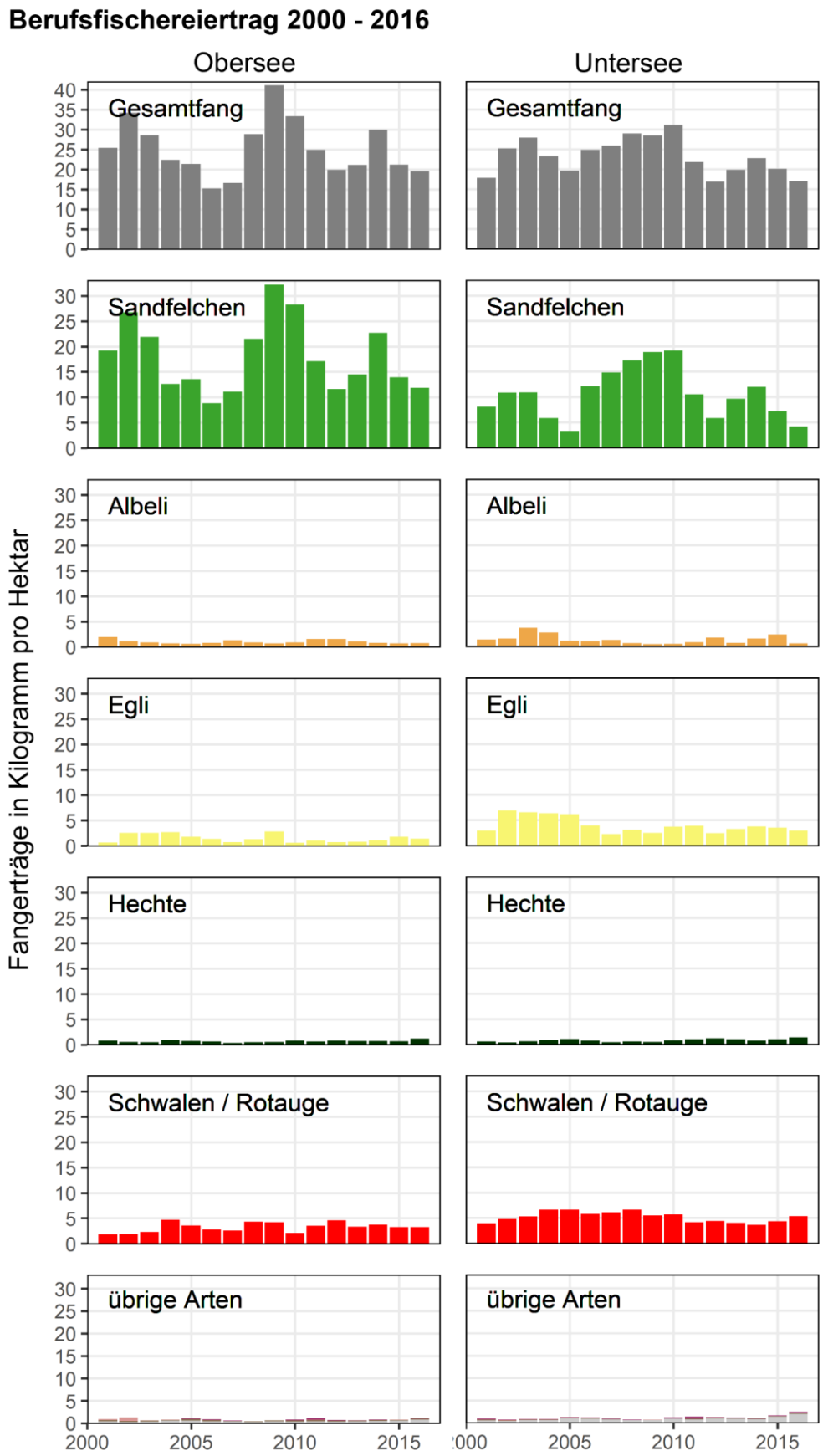


Abbildung 8-23. Entwicklung der Berufsfischerfänge im Zürichsee (Obersee und Untersee) von 2000 bis 2016 (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee).

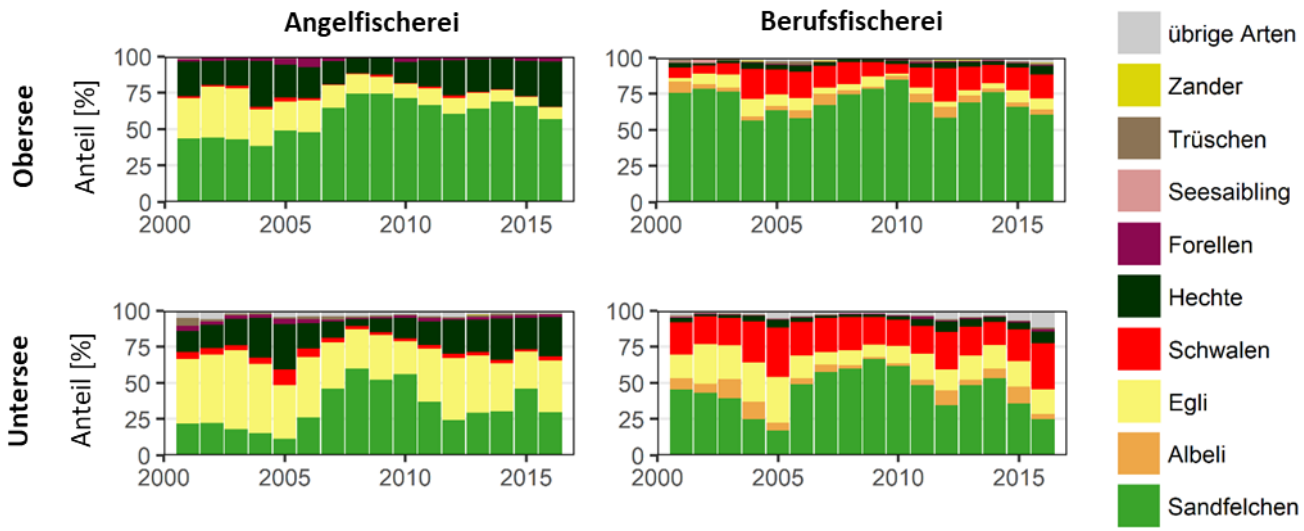


Abbildung 8-24. Entwicklung der relativen Anteile der verschiedenen Arten in den Fängen der Angel- (linke Spalte) und Berufsfischerfänge (rechte Spalte) im Obersee (oben) und Untersee (unten) von 2000 bis 2016. In den Graphiken für die Angelfischerei beinhalten die Fänge der „Sandfelchen“ (grün) auch die Fänge von „Albeli“, welche in den Graphiken für die Berufsfischer in orange dargestellt sind (Daten: Fischereikommission für den Zürichsee, Linthkanal und Walensee).

8.1 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 Küssnacht. Er gliedert sich in folgende Becken: Urnersee im Südosten, Gersauersee und Kreuztrichter als zentrale Becken und Alpnachersee im Südwesten.

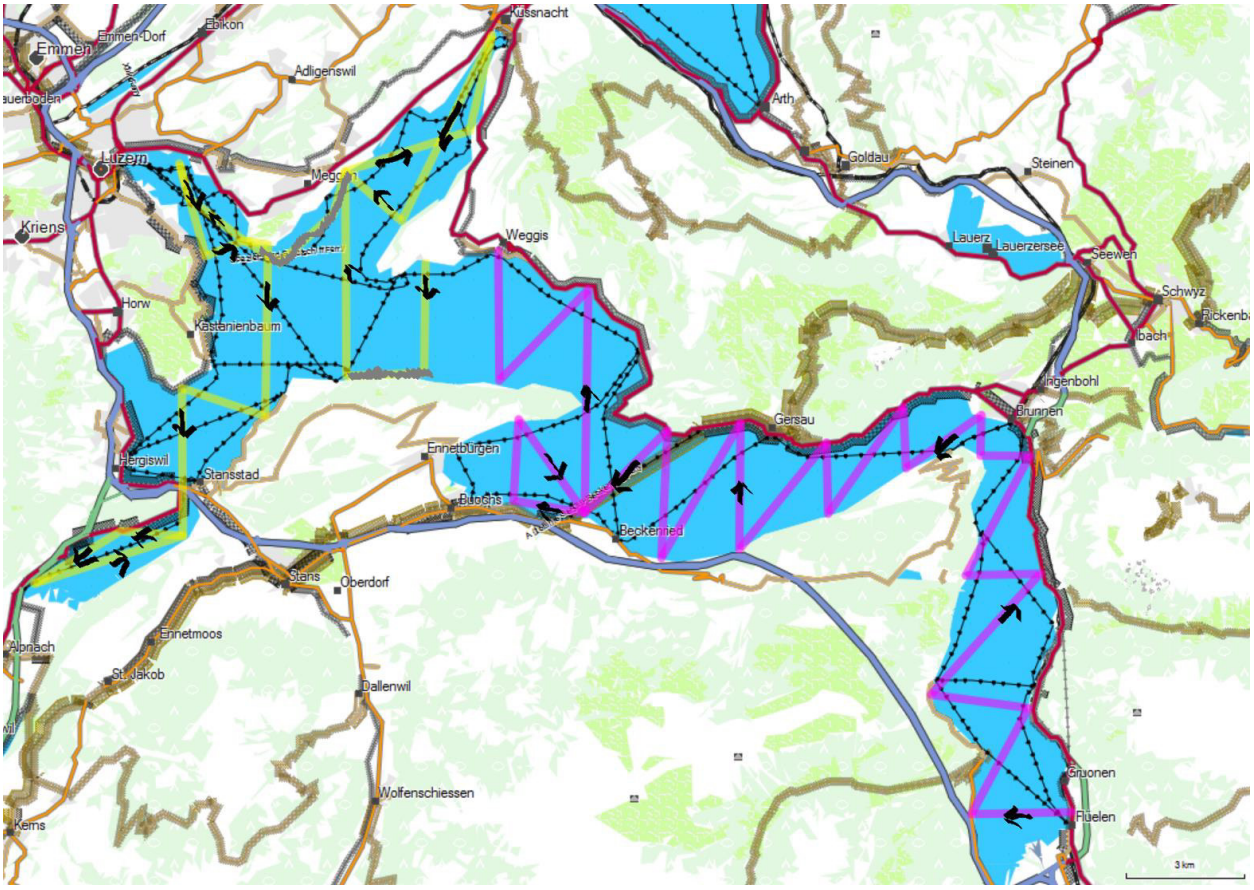


Abbildung 1: Graphische Darstellung des Vierwaldstättersees (nach MAPSOURCE von GARMIN) mit Transektlinien. Befahrene Transekte (jeweils eine gerade Verbindungslinie zwischen zwei Wendepunkten) in der Nacht vom 22.-23.08.2014 (Magenta: Start rechts unten) und in der Nacht vom 23.-24.08.2014 (Gelb: Start 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 $\Lambda = D/\sqrt{A}$ (D = Summe der Transektlängen; A = Fläche des Gebiets)[i]. In Tabelle 1 sind die Coverage-Werte für beide Seen aufgeführt.

Tabelle 1: Coverage für Vierwaldstättersee und Zürichsee.

Seeteil	A [Fläche km2]	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 erfassten die Fischbestände beider Seen somit mit genügender Präzision und sind auch untereinander vergleichbar.

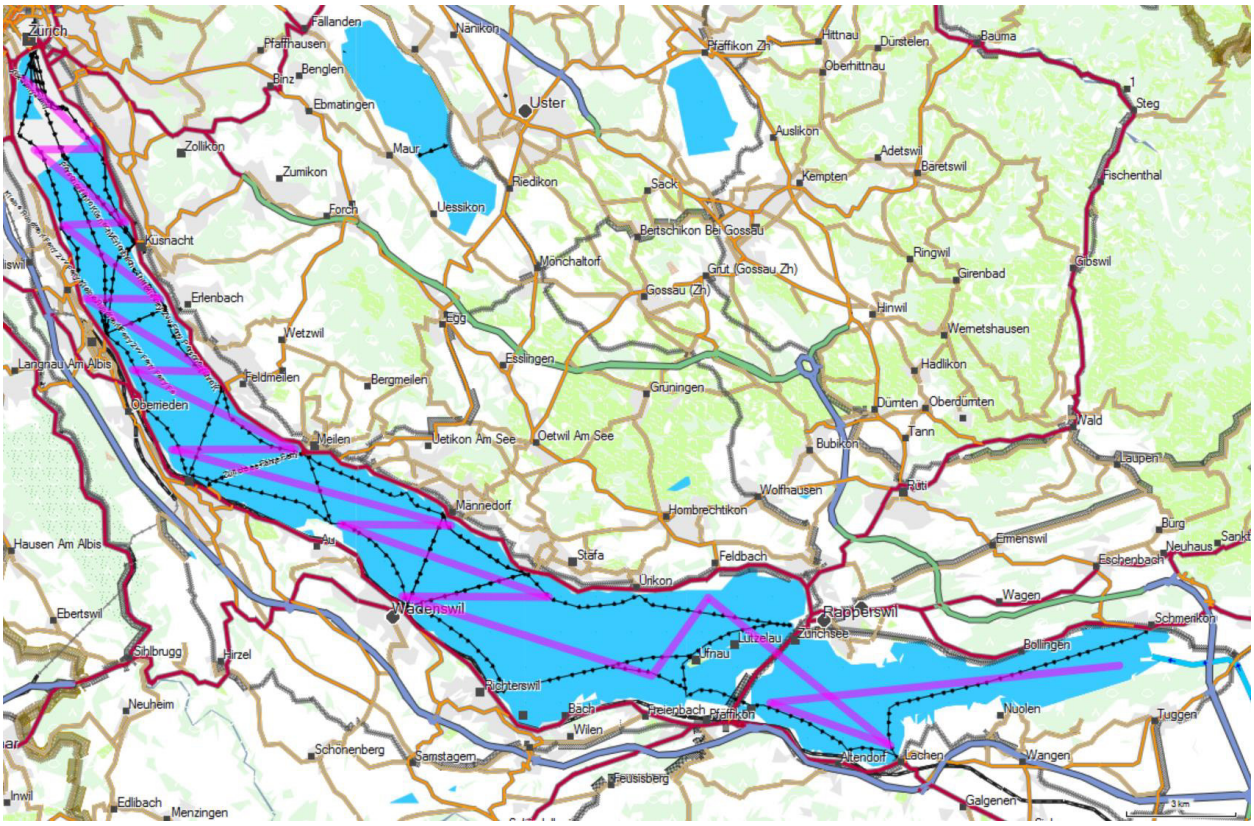


Abbildung 2: Graphische Darstellung des Zürichsees (nach MAPSOURCE von GARMIN) mit Transektlinien. Befahrene Transekte (jeweils eine gerade Verbindungslinie zwischen zwei Wendepunkten) in der Nacht vom 03.-04.10.2014 (Magenta) von rechts unten nach links oben.

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 benutzten Dateiformats 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: Frischgewicht = 0,0054*Totallänge^3,128 [ii] . 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.

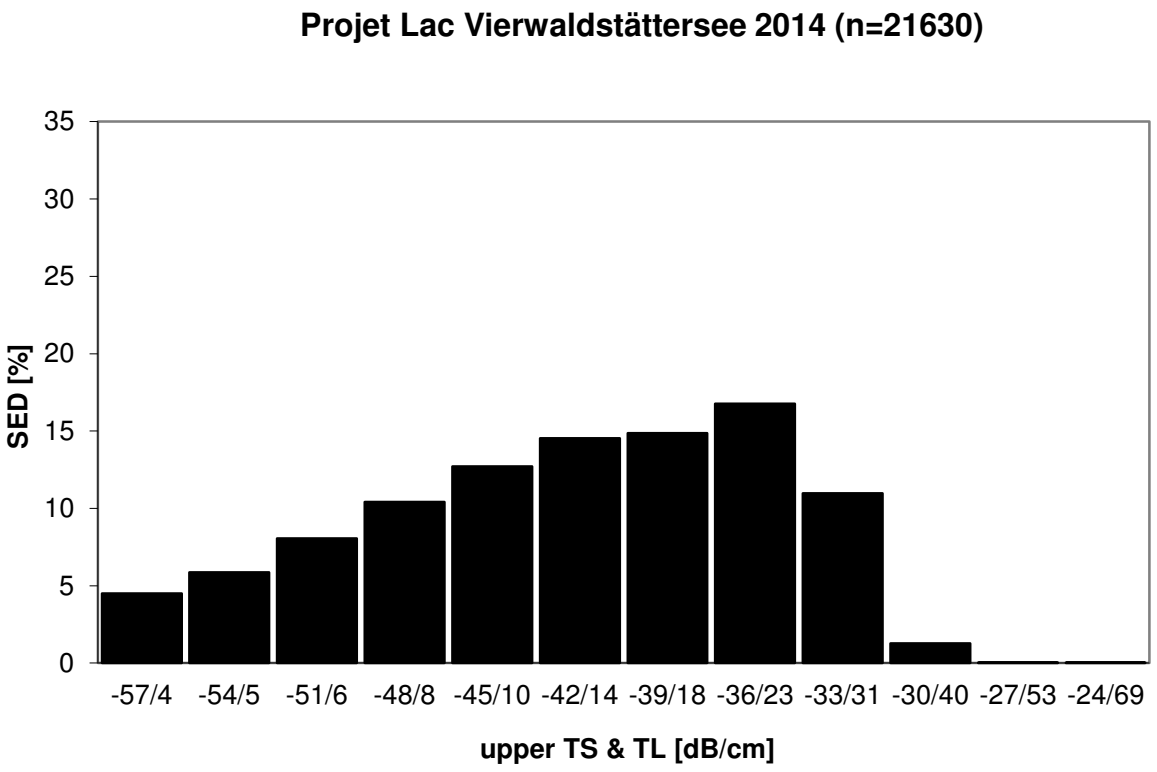


Abbildung 3: Echostärken-Verteilung Vierwaldstättersee über alle Tiefenstufen integriert. Dargestellt sind Einzelfischechos in 3dB-Klassen zusammengefasst (Targetstrength TS) mit der zugehörigen Fischlängenklasse (Total Length TL).

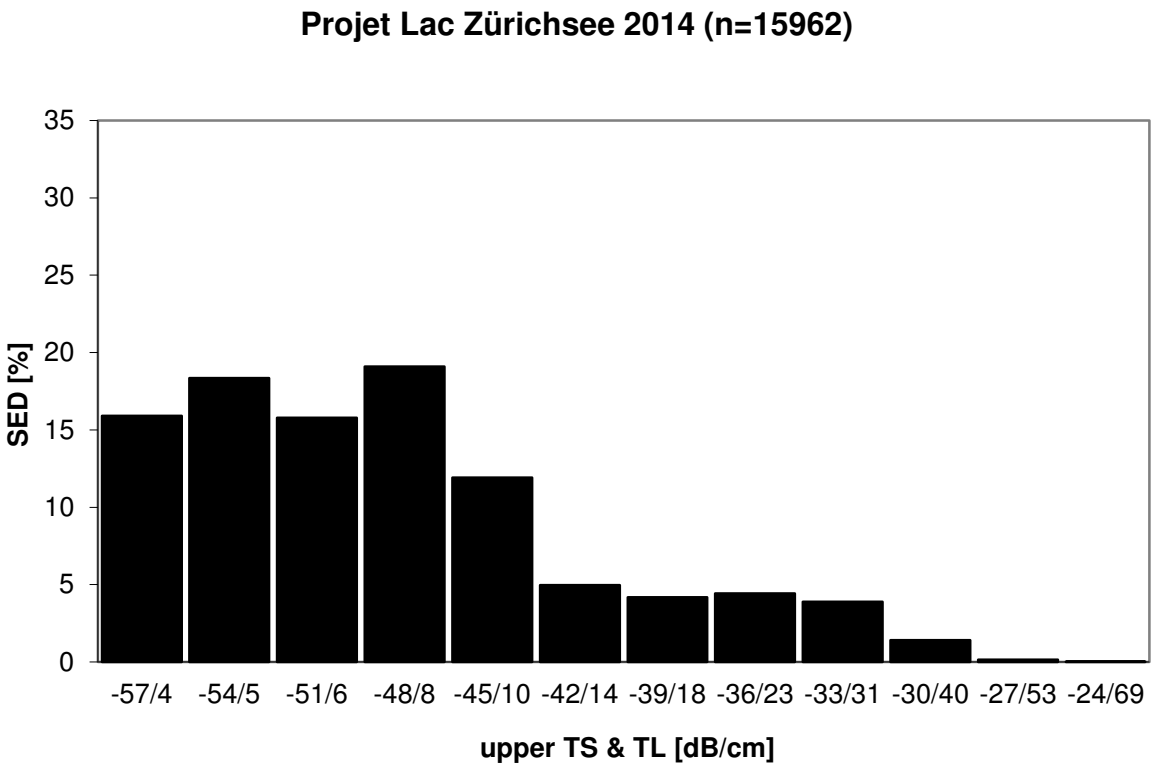


Abbildung 4: Echostärken-Verteilung Zürichsee über alle Tiefenstufen integriert. Dargestellt sind Einzelfischechos in 3dB-Klassen zusammengefasst (Targetstrength TS) mit der zugehörigen Fischlängenklasse (Total Length TL).

Die Verteilungen der Einzelfischechos über die Tiefenstufen sind in Abbildung 5 dargestellt. Dabei wurden die Echostärkeklassen 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

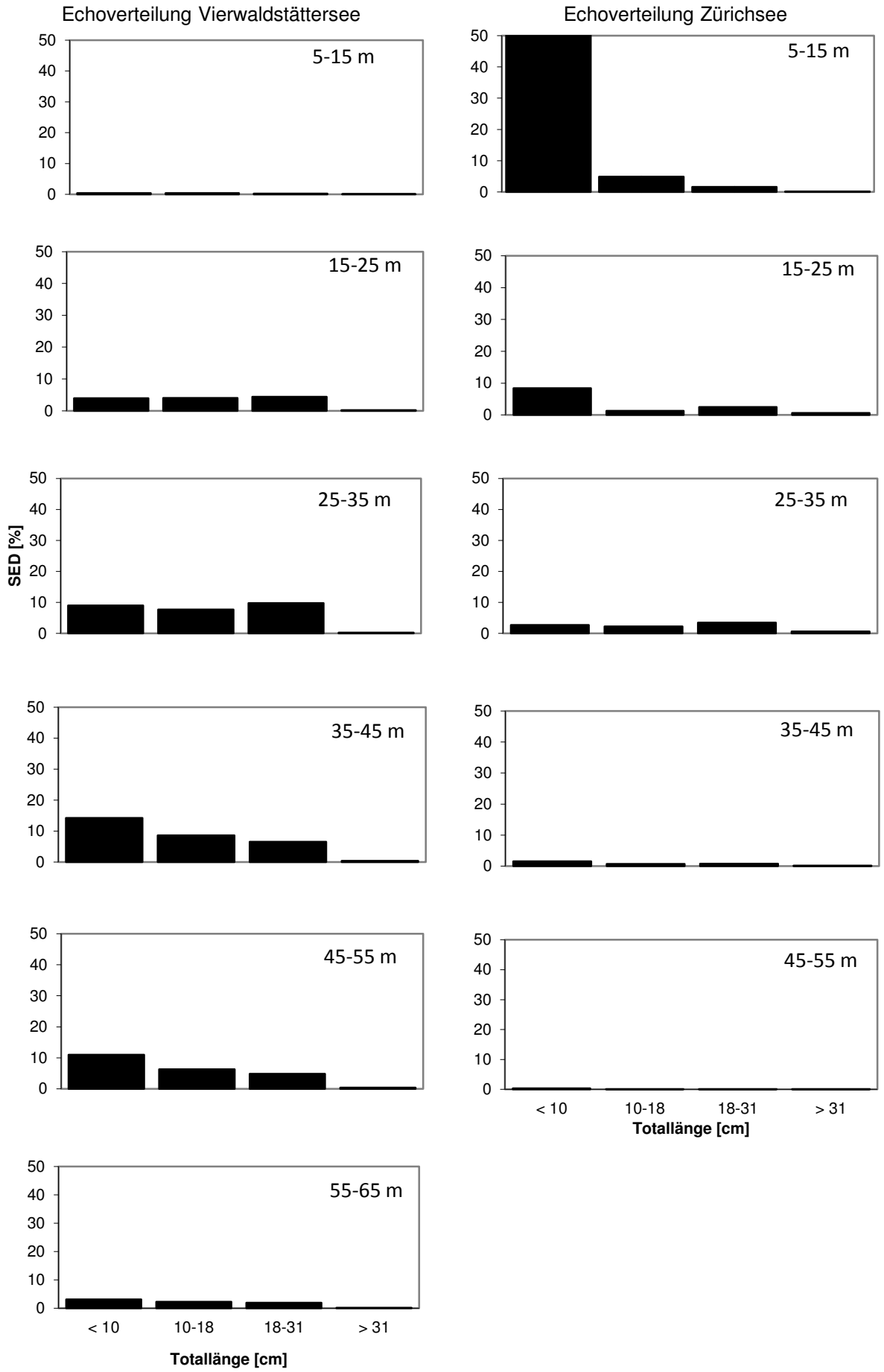


Abbildung 5: Echostärken-Verteilung nach Tiefenstufen getrennt und in vier Größenklassen zusammengefasst.

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 Befischungsintensität 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 Fischdichte 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.

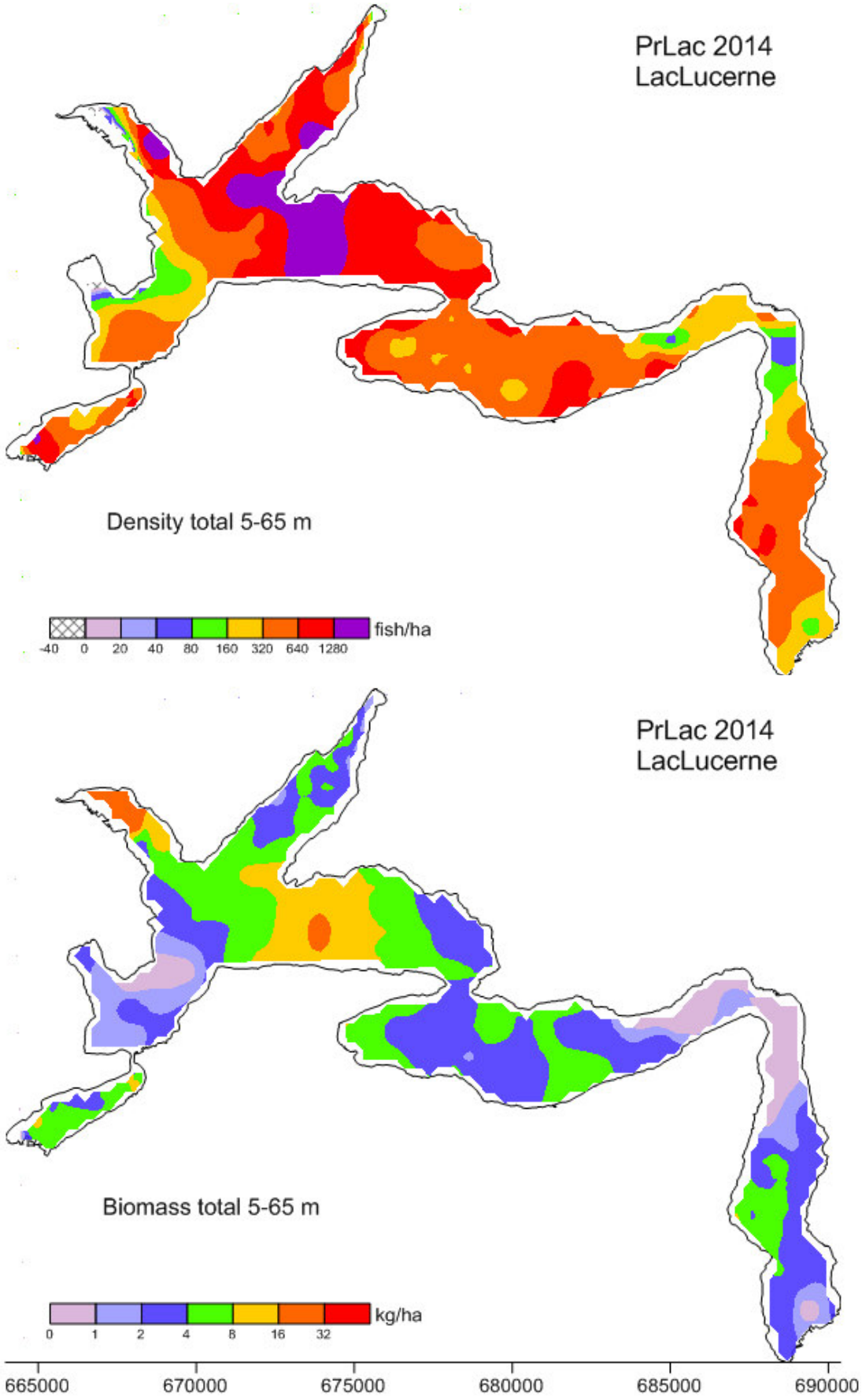


Abbildung 6: Horizontals Verteilungsmuster der Gesamtfischdichte (oben) und der Gesamtbiomasse (unten) im Vierwaldstättersee. Maßstab: Schweizer Landeskoordinaten.

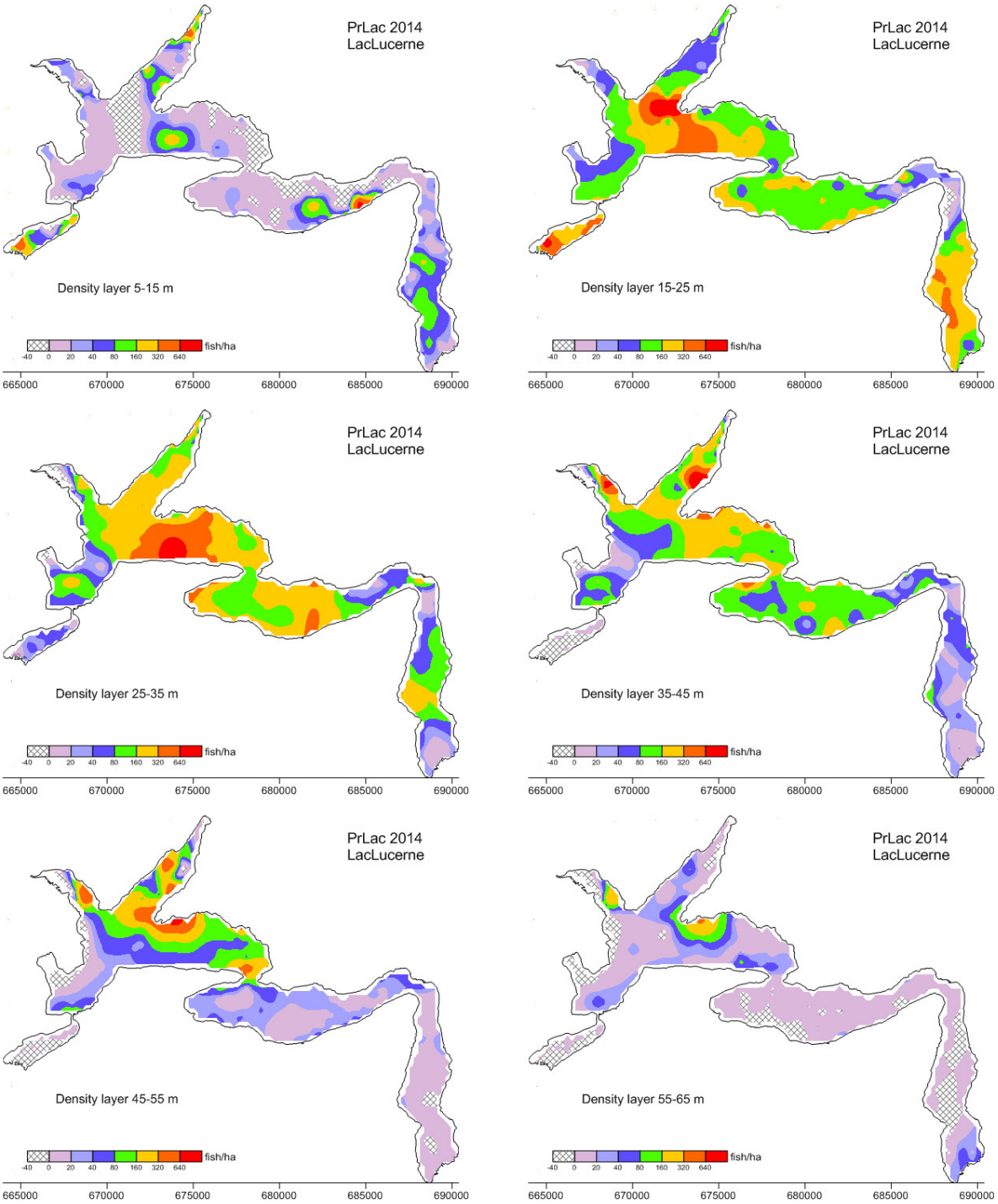


Abbildung 7: Gesamtfischdichte der sechs Tiefen-Layer von 5m bis 65m.

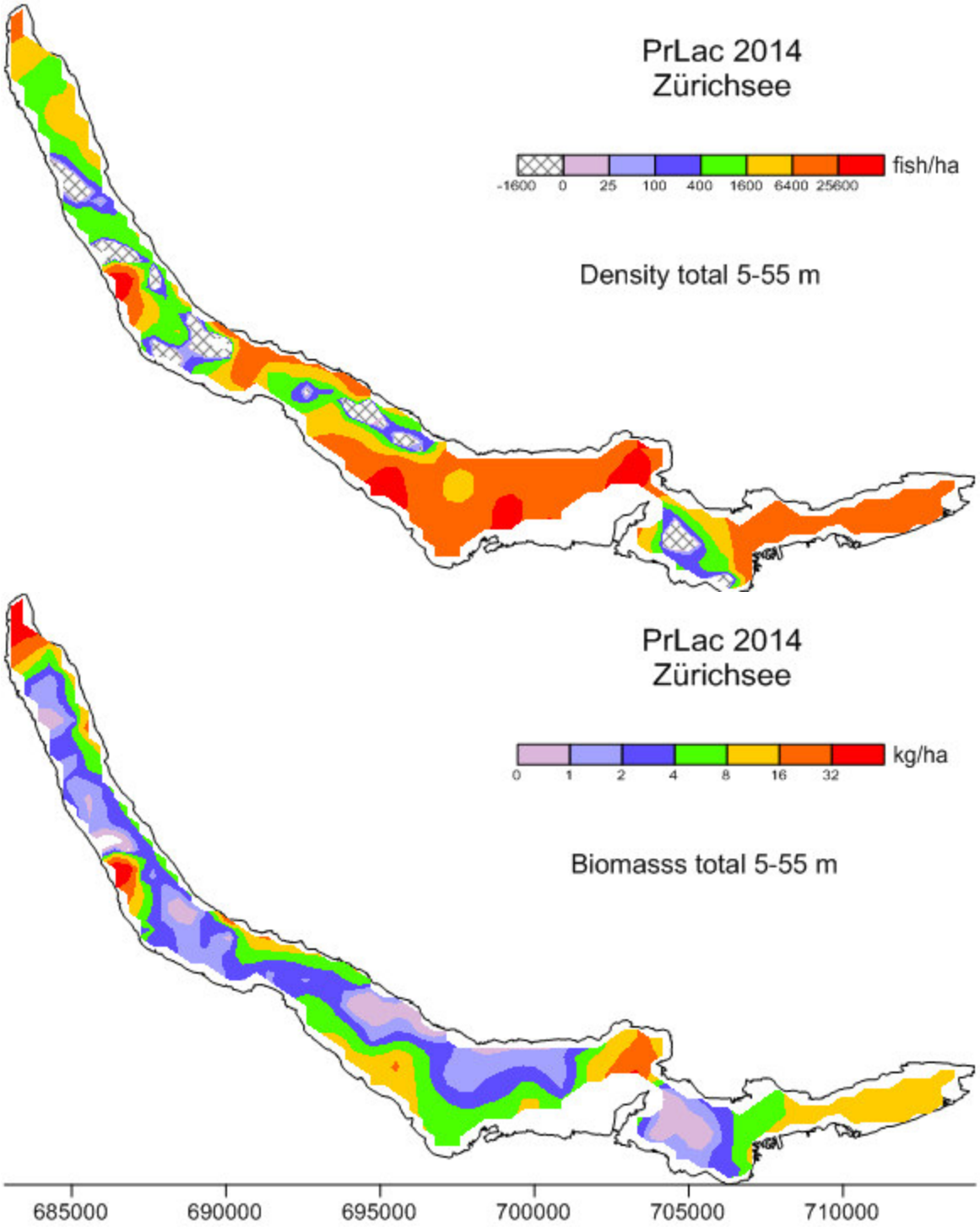


Abbildung 8: Horizontals Verteilungsmuster der Gesamtfischdichte (oben) und der Gesamtbiomasse (unten) im Zürichsee. Maßstab: Schweizer Landeskoordinaten.

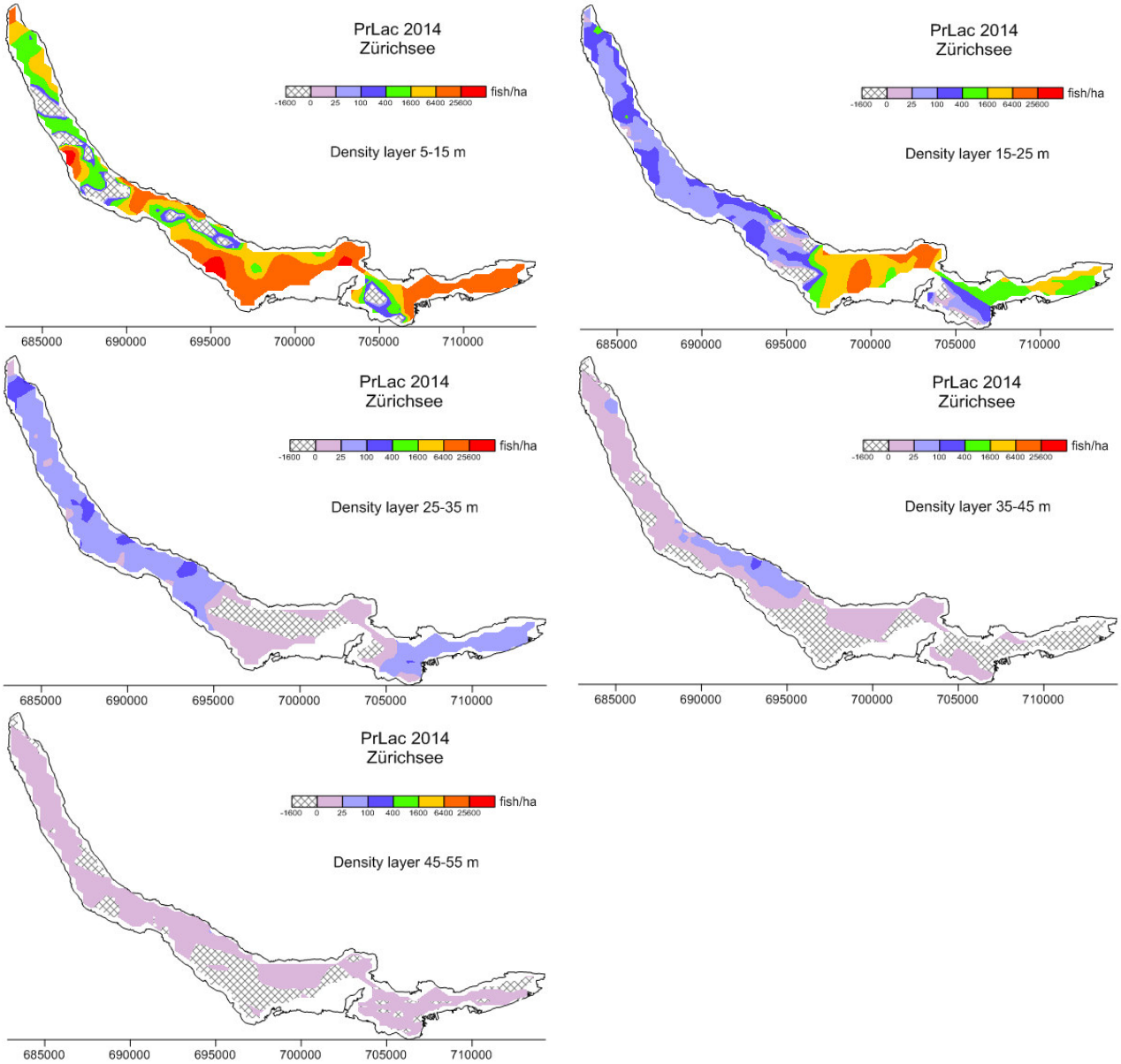


Abbildung 9: Gesamtfischdichte der sechs Tiefen-Layer von 5m bis 65m.

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)
08.08.2014	0	23.1
	2	18.6
	5	15.7
	10	13.6
	15	12.6
	20	11.3
	25	9
	40	6.4
	50	5.9
	80	5.3
	100	5.1
	140	4.8

ZS	Tiefe (m)	Temp. (°C)
08.10.2014	0	18
	2.5	18
	5	18
	10	16.4
	15	10.4
	20	7.7
	30	6.4
	40	5.7
	60	5
	80	4.7
	100	4.5
	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.