

Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Brienersee



ABSCHLUSSBERICHT

Autoren:

Pascal Vonlanthen

Guy Périat

Eawag, Abteilung Fischökologie und Evolution

Seestrasse 79

CH-6047 Kastanienbaum

pascal.vonlanthen@eawag.ch

In Zusammenarbeit mit:

Ole Seehausen, Eawag

Carmela Dönz, Eawag

Jessica Rieder, Eawag

Jakob Brodersen, Eawag

François Degiorgi, Université de Besançon

Jean Guillard, INRA Thonon

Michel Colon, INRA Thonon

Danksagung:

Die Autoren möchten sich recht herzlich bei allen bedanken, die beim Projekt mitgearbeitet oder das Projekt unterstützt haben. Insbesondere sind dies: Daniel Bernet, Hervé Decourcière, Jonathan Paris, Gregory Tourreau, Michael Gogouilly, Erwin Schaeffer, Jennifer Heuck, Jonas Streit, Thomas Vuille, Christoph Küng, Beat Abegglen, Hanspeter Kaufmann und Martin Flück. Finanziert wurde das Projekt vom BAFU, von der Eawag, und vom Fischereiinspektorat des Kantons Bern.

Zusammenfassung

Um unsere Gewässer effizient zu bewirtschaften und zu schützen, muss der Ist-Zustand bekannt sein. Im „Projet Lac“ wird die Fischartenzusammensetzung in den alpinen Seen zum ersten Mal überhaupt standardisiert erhoben. Dieser Bericht fasst die Resultate für den Brienersee zusammen.

14 Fischarten wurden im Rahmen dieses Projektes im Brienersee gefangen, wobei keine invasiven Arten festgestellt werden konnten. Die Fänge werden im Pelagial durch die Coregonen und im Litoral durch Egli und Rotaugen dominiert. Bei den Coregonen bestehen die Fänge aus ca. 88% Brienzlig, 10% Felchen und nur 2% Balchen. Die Artzusammensetzung ist typisch für einen nährstoffarmen, relativ kühlen, mineralisch bedingt trüben, grossen und tiefen Voralpensee. Einige Arten waren jedoch tendenziell untervertreten, wie z.B. die Seeforellen oder die Seesaiblinge.

Artübergreifend sind die Fische im Brienersee nicht grundsätzlich kleiner als in anderen Seen. Coregoniden – dabei ist die hohe Anzahl an kleinwüchsigen Brienzlige ausschlaggebend – sind jedoch im Durchschnitt kleiner als in anderen Seen. Weiter bestätigen die Resultate, dass der Brienersee ein ertragsarmer See ist. Die Unterschiede sind jedoch nicht so gross wie dies die Fischfangstatistiken vermuten lassen würden.

Der Brienersee ist für die Berufsfischer heute unattraktiv, was sich auch in der Abnahme des Befischungsdruckes widerspiegelt. Wenig produktive, grosse und tiefe Seen wie der Brienersee sind im stark urbanisierten Mitteleuropa jedoch einzigartige und seltene Ökosysteme und beherbergen oft endemische Arten, weshalb diese Seen besonders schützenswert sind. Es gilt demzufolge, die Schutz- und Nutzungsinteressen sorgfältig abzuwägen.

Stichwörter Fische - Biodiversität - Inventar – Projet Lac - See – Morphologie - Brienersee

Inhaltsverzeichnis

1	AUSGANGSLAGE	1
1.1	WESHALB EIN „PROJET LAC“	1
1.2	ZIELSETZUNG	2
2	METHODEN	3
2.1	CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE MESSREIHEN	3
2.2	HABITATKARTIERUNG	3
2.3	PROBENAHME DER FISCHE	3
2.4	FISCHFANGSTATISTIKEN	5
3	RESULTATE	6
3.1	PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE DATEN	6
3.2	HABITATKARTIERUNG IM BRIENERSEE	9
3.3	STANDARDISIERTE ABFISCHUNG	11
3.3.1	<i>Standorte der Probenahmen</i>	<i>11</i>
3.3.2	<i>Fischbestand und Artenvielfalt des Brienersees</i>	<i>11</i>
3.3.3	<i>Habitatnutzung</i>	<i>19</i>
3.4	FISCHEREILICHE ASPEKTE	24
4	SYNTHESE	30
4.1	ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DES BRIENERSEES	30
4.1.1	<i>Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers</i>	<i>30</i>
4.1.2	<i>Habitatdefizite</i>	<i>30</i>
4.1.3	<i>Artenvielfalt</i>	<i>31</i>
4.2	FISCHEREILICHE NUTZUNG	32
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	32
6	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	34
7	LITERATURVERZEICHNIS	36
8	ANHANG	38
8.1	ÜBERSICHT FÄNGE: CPUE DER GEFANGENEN FISCHE	38
8.2	RESULTATE DER PERMUTATIONEN	38
8.3	TIEFENVERTEILUNG DER HÄUFIGSTEN FISCHARTEN	39
8.4	GEOGRAFISCHE VERTEILUNG DER HÄUFIGSTEN FISCHARTEN	40

1 Ausgangslage

1.1 Weshalb ein „Projet Lac“

Zur rechtlichen Verpflichtung

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

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

Fische als Bioindikator

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

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

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

Aufgrund dieser Tatsachen, aber auch wegen den ökologischen, ökonomischen, touristischen und sozialen Werten, sollten Fische eine der Prioritäten in einer nationalen Biodiversitätsstrategie sein. Um dies zu erreichen führt die Eawag mit der Unterstützung verschiedener Partner aus Wissenschaft, Bund, Kantonen und dem Naturhistorischen Museum von Bern zum ersten Mal überhaupt eine standardisierte Inventur der Fischfauna der alpinen und voralpinen Seen durch. Insgesamt sollen von 2010 bis 2014 ca. 22 Seen erforscht werden.

1.2 Zielsetzung

Allgemeine Zielsetzung

Die allgemeinen Zielsetzungen des Projekts können wie folgt zusammengefasst werden:

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

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

Spezifische Zielsetzung

Der vorliegende Bericht behandelt spezifisch die Resultate der Abfischungen, die im Brienersee vom 12-16. September 2011 durchgeführt wurden. Ein Fokus der Auswertungen wird auf die Artenzusammensetzung und die Habitatnutzung der Fische gelegt. Weiter werden Zwischenresultate von zwei verschiedenen Studentenprojekten präsentiert. Schliesslich werden auch vorhandene Erkenntnisse aus anderen Projekten mitberücksichtigt.

2 Methoden

2.1 Chemische und physikalische Messreihen

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

2.2 Habitatkartierung

Verteilung der Fische im See ist nicht zufällig

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

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

Die sublitoralen und zentralen Zonen werden anhand der Bathymetrie eines Sees bestimmt. Die litorale Zone wird von einem Boot aus vor Ort mit Hilfe von Luftaufnahmen in ArcGIS kartiert. Da keine Taucheinsätze durchgeführt werden, können in stark getrübten Seen wie dem Brienersee nicht die gesamten 3m Tiefe kartiert werden. In klareren Seen können die Habitate oft tiefer als die durchschnittlichen 3m kartiert werden.

2.3 Probenahme der Fische

Verschiedene sich ergänzende Methoden

Vier Protokolle werden in jedem See simultan durchgeführt (Abbildung 2-1):

- a) Die Echolotuntersuchungen wurden vom INRA Thonon (Colon & Guillard 2012) durchgeführt. Zwei Personen haben dabei Tag- und Nacht-Messungen in Transekten durchgeführt. Folgendes Material wurde für die Messungen verwendet:
 - Echolot SIMAD EK 60 vom Typ split-beam, Frequenz: 70kHz.
 - Ein zirkularer Signalwandler von 11° bei -3 dB, der 70cm unterhalb der Wasseroberfläche platziert ist.
 - Notebook und GPS für die Aufnahme und Verarbeitung der Daten.

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

- b) Fische werden mit zwei verschiedenen Kiemennetzmethoden gefangen. Die erste entspricht der in der EU angewandten Methode der Wasserrahmenrichtlinie (im Dokument als CEN-Methode angesprochen), die eine zufällige Verteilung der Netze vorsieht (prEN 14757). Die zweite Methode (im Dokument als Vertikal-Methode angesprochen) wurde an der Universität Besançon ausgearbeitet und durch die EAWAG weiter entwickelt. Dabei werden im Pelagial mit vertikalen Netzen und am Ufer mit benthischen Netzen Habitate gezielt befischt (Degiorgi *et al.* 1994). Die benutzte Netzfläche wird für die Standardisierung der Daten herangezogen.

Beispiel der Probenahme-strategie

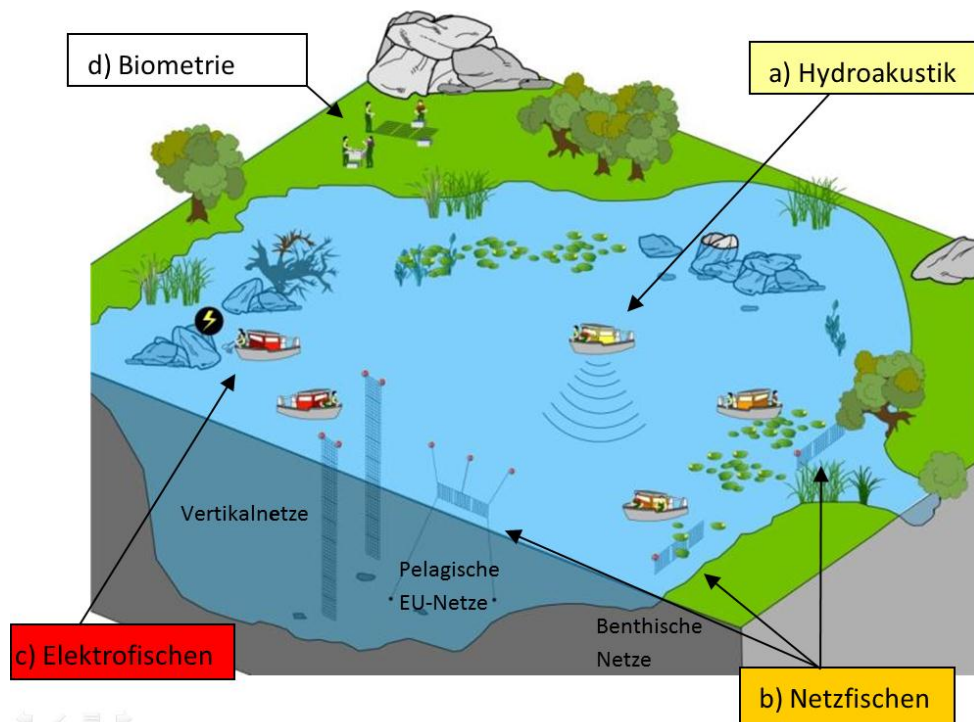


Abbildung 2-1. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Goguilly)

- c) Verschiedene Uferhabitate mit geringen Wassertiefen (<1m) werden elektrisch befischt. Dabei wird immer ein Durchgang entweder zu Fuss oder mit dem Boot durchgeführt. Die befischte Fläche wird für die Standardisierung der Daten herangezogen.

*Fische fürs
Museum*

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

2.4 Fischfangstatistiken

Die Resultate der „Projet Lac“-Fänge werden mit den Fängen der Berufs- und Angelfischer verglichen. Die Fangstatistiken werden deshalb für die Auswertungen mit einbezogen.

3 Resultate

3.1 Physikalische und Chemische Daten

*Ein eher kühler
Voralpensee*

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

Temperaturprofile stehen von 1994 bis 2012 zur Verfügung und zeigen, dass Temperaturschwankungen bis in Tiefen von ca. 60-80m vorkommen (Abbildung 3-1). Die Oberflächentemperatur überschreitet dabei im Sommer nur selten die 20 C-Marke (Abbildung 3-2). Die höchste Temperatur wurde im Sommer 2002 mit 20.6°C gemessen. Im Winter fällt die Temperatur gegen 5°C. Die mittlere Temperatur beträgt 10.85°C. Der Brienersee ist demzufolge im Vergleich zu den anderen grossen voralpinen Seen ein eher kühler See.

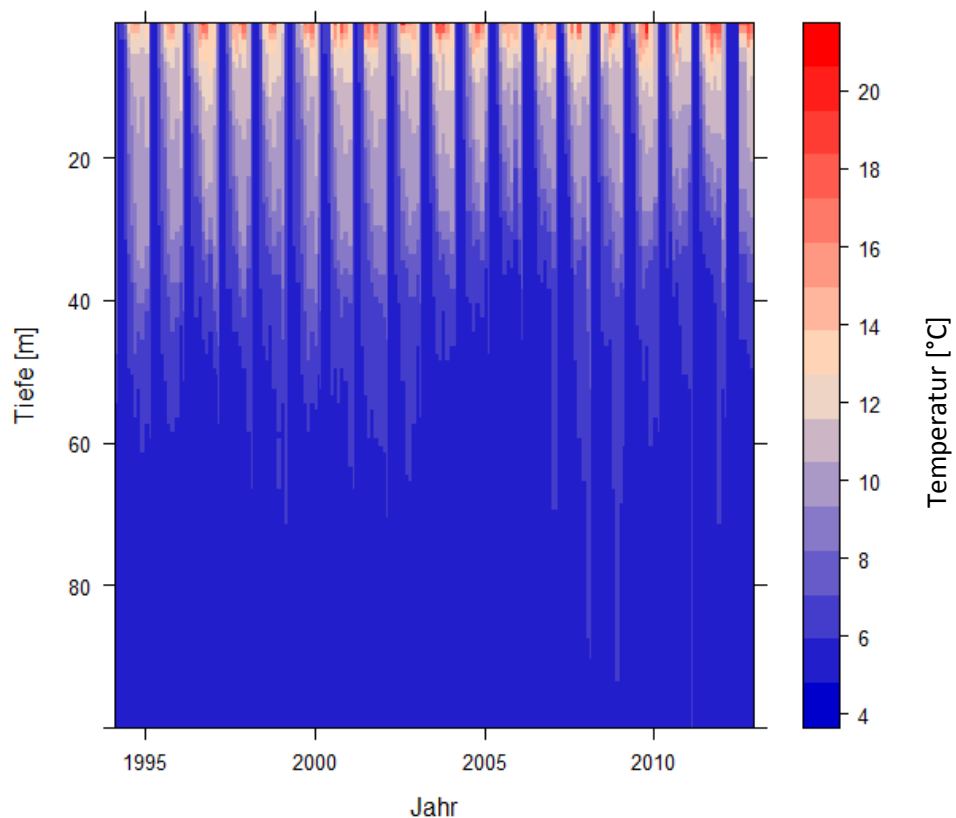


Abbildung 3-1. Temperaturprofile des Brienersees von 1994 bis 2012. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.

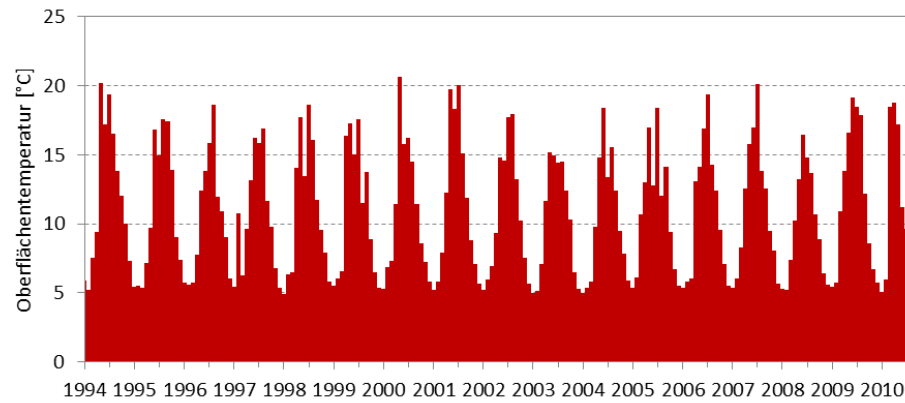


Abbildung 3-2. Oberflächentemperatur des Brienersees (1996-2012). Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.

Kein Sauerstoffmangel mehr

Die Sauerstoffmessungen zeigen, dass seit 1999-2000 alle Seetiefen immer gut mit Sauerstoff versorgt waren. Vorher konnten in der Tiefe allerdings Anzeichen von Sauerstoffzehrung beobachtet werden (Abbildung 3-3).

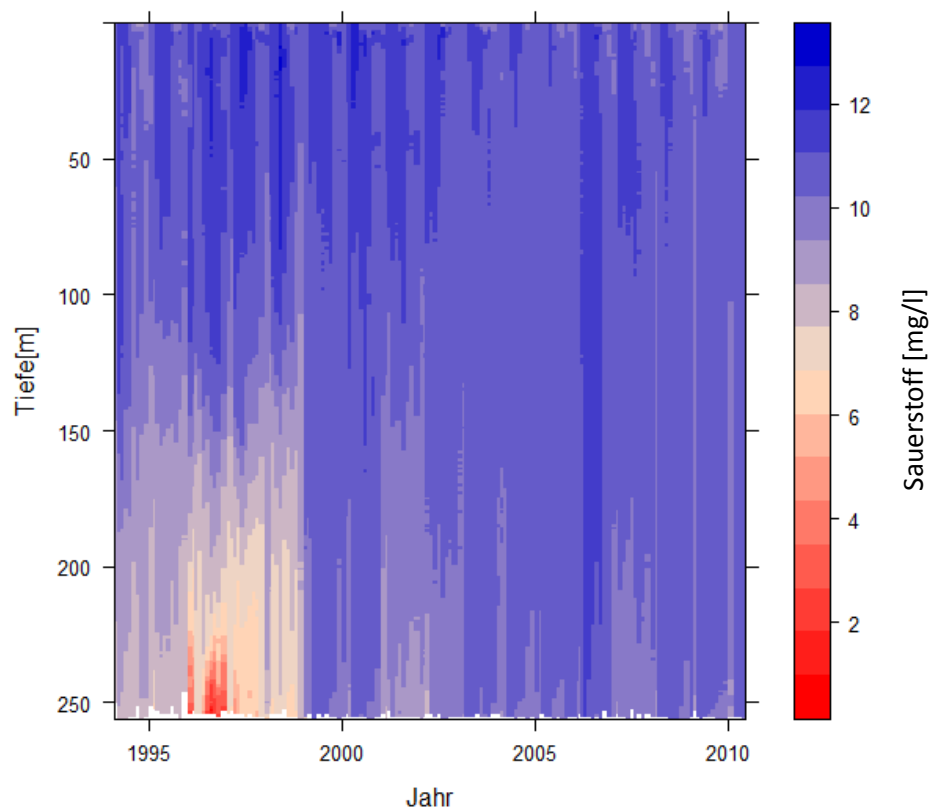


Abbildung 3-3. Sauerstoffprofile Brienersee (1994-2010). Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.

Die Secchi-Tiefenmessungen zeigen, dass die Trübung über die letzten Jahren in zugenommen hat (Abbildung 3-4). Dies wurde auch durch weitergehende Studien bestätigt (Anselmetti *et al.* 2007).

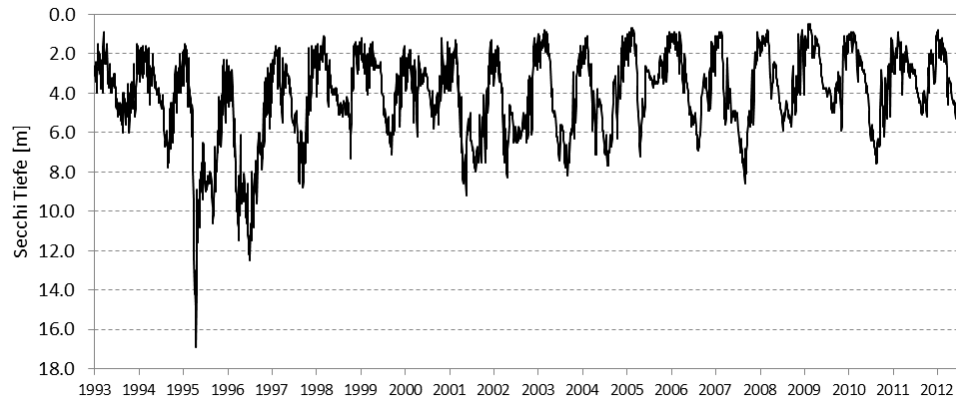


Abbildung 3-4. Trübung gemessen als Secchi-Tiefe des Brienersees. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.

Wenig Phosphor im See

Der Phosphorgehalt hat in den letzten Jahren, nach gemessenen Höchstwerten zwischen 1980 und 1985, kontinuierlich abgenommen und hat sich seit den späten 90er Jahren auf einem sehr tiefen Niveau eingependelt (Abbildung 3-5). Die Phosphat-Phosphorwerte liegen heute unter der Methodischen Nachweisgrenze.



Abbildung 3-5. Entwicklung der Gesamtphosphorwerte im Brienersee. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.

3.2 Habitatkartierung im Brienersee

Viele strukturierte
Habitate

Die Habitat-Kartierung (Abbildung 3-6) des Brienersees zeigt, dass strukturierte litorale Habitate (Blöcke, Kiesel, Kies und Totholz), die den Fischen Unterschlupf bieten, weit verbreitet sind (Abbildung 3-7). Die Habitate Sand und organische oder anorganische Feinsedimente sind im Litoral kaum vorhanden. Ebenfalls selten sind höhere Wasserpflanzen, die nur in vereinzelt kleinen Flächen auftreten. Auf den ganzen See bezogen ist der Brienersee durch steile Ufer charakterisiert, mit einer Halde, die bis in grosse Tiefen reicht. Die Fläche der litoralen Zone ist im Vergleich mit anderen Schweizer Seen gering.

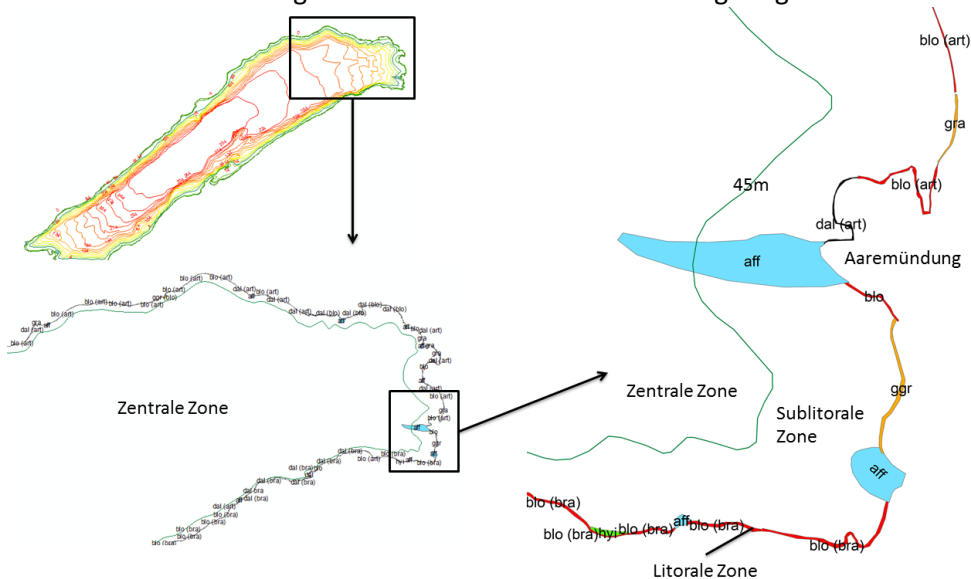


Abbildung 3-6. Ausschnitt der Kartierung der litoralen Habitate des Brienersees. Eingezeichnet ist ebenfalls die Trennung zwischen der zentralen und sublitoralen Zone.

Verbaute Ufer sind
häufig

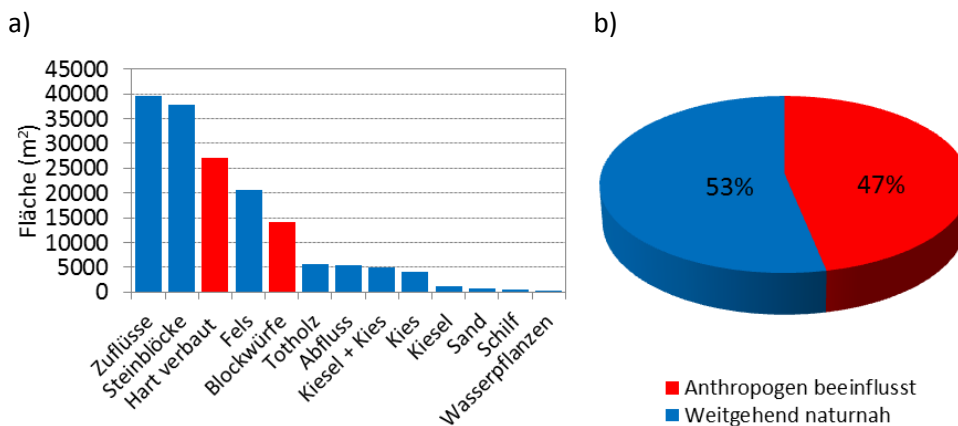


Abbildung 3-7. a) Häufigkeit der verschiedenen litoralen Habitate im Brienersee (Fläche); b) Prozentanteil der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen litoralen Zone (linear).

Gleichzeitig wird ersichtlich, dass fast die Hälfte des Seeufers durch Verbauungen anthropogen beeinflusst ist (Abbildung 3-7b, Abbildung 3-8). Die Verbauungen bestehen dabei zu ca. 1/3 aus Blockwürfen und zu 2/3 aus Mauern mit wenigen Zwischenräumen, die den Fischen kaum Unterschlupf bieten. Die Verbauungen stehen oft in Verbindung mit Siedlungen oder Strassen in Seenähe.

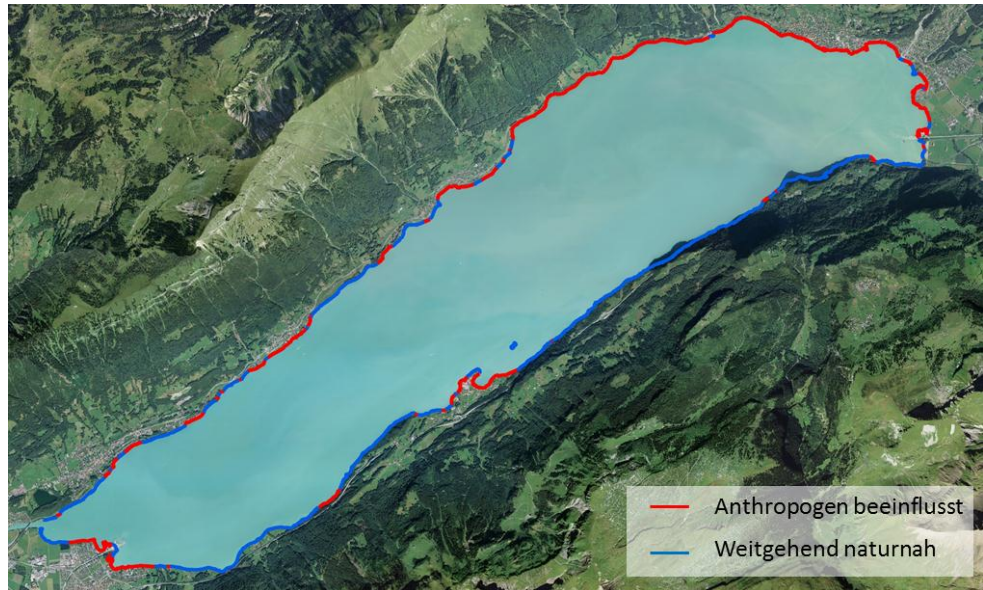


Abbildung 3-8. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahem Uferzonen im Brienersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

3.3 Standardisierte Abfischung

3.3.1 Standorte der Probenahmen

Aufwand der Abfischungen

Über vier Tage (12-16.09.2011) wurden insgesamt 63 benthische CEN-, 12 pelagische CEN-, 45 Habitat spezifische Vertikal-, und 77 Vertikal-Netze über Nacht gesetzt. Zusätzlich wurden 26 Uferstrecken elektrisch befischt. Wie die Karte zeigt, erscheint der Befischungsdruck stark uferbetont zu sein. Dies ist auf die sehr steil verlaufende Halde des Brienersees zurückzuführen. Ein benthisches Netz, das zum Beispiel auf 75m gesetzt wurde, war oft relativ nah am Ufer.

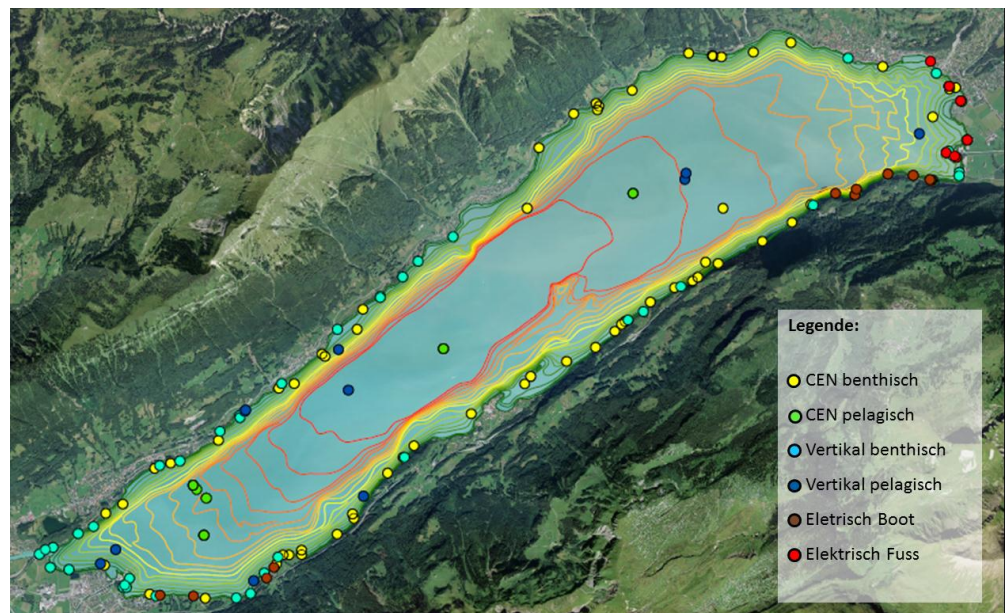


Abbildung 3-9. Karte der Befischungsstandorte im Brienersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).

3.3.2 Fischbestand und Artenvielfalt des Brienersees

14 Fischarten wurden gefangen

Insgesamt wurden im Brienersee 14 Fischarten gefangen (Abbildung 3-10, Tabelle 3-1). Anzahlmässig waren die Brienzlige klar die häufigsten, dies insbesondere aufgrund ihrer Dominanz im Pelagial. Gefolgt werden sie von den Egli, Rotaugen und Lauben, die insbesondere im Litoral dominant waren. Von sechs Arten (Hecht, Elritze, Seeforelle, Alet, Seesaibling) wurden nur fünf oder weniger Individuen gefangen. Bei den gefangenen Fischen waren keine in der Schweiz invasiven Arten vorhanden, anders als dies in vielen anderen Seen der Fall ist.

14 weitere Arten, die im Brienersee beschrieben sind (Tabelle 3-1), konnten nicht nachgewiesen werden. Aus den Fischfangstatistiken des Fischereiinspektorates des Kantons Bern geht hervor, dass Äschen in den letzten Jahren kaum mehr im Brienersee gefangen wurden (2008: fünf, 2009: vier, 2010: eine, 2011: keine). Barben, Karpfen und Brachsen wurden in den letzten vier Jahren keine gefangen. Die Regenbogenforelle, die Kanadische Seeforelle und der Bachsaibling werden in

den Fischfangstatistiken nicht aufgeführt. Alle nicht gefangenen Arten waren aber auch früher eher selten oder nicht vorhanden (Heuscher 1901).

823 Fische von 14
Arten im Museum

Insgesamt fällt auf, dass sowohl die Abundanz als auch die Anzahl Arten, die im „Projet Lac“ gefangen wurden von den Fischereistatistiken abweichen (Abbildung 3-10). Die für den Aufwand (Netzfläche) korrigierten Fänge (CPUE) sind im Anhang aufgeführt (Tabelle 8-1). Von den gefangenen Fische wurden 823 (davon 479 Coregonen) in die Museumssammlung vom Naturhistorischen Museum der Burgergemeinde von Bern aufgenommen.

Tabelle 3-1. Artenfundliste im Brienersee. Die Fänge des „Projet Lac“ sind rot umrandet.

Familie	Art	Code	1901	1991	2003	2011	2009
			Heuscher J.	Pedroli et al	BAFU	ProjetLac	Fischereistat.
Percidae	<i>Perca fluviatilis</i>	Egli	PER	1	1	1	1
Cyprinidae	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Eiritze	VAI	1	1	1	1
	<i>Squalius cephalus</i>	Alet	CHE	1	1	1	1
	<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	ABL	1	1	1	1
	<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	VAN	1	1	1	1
	<i>Rutilus rutilus</i>	Rotauge	GAR	1	1	1	1
	<i>Barbus barbus</i>	Barbe	BAF	1	1	1	
	<i>Gobio gobio</i>	Gründling	GOU	1	1	1	
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder	ROT	1	1	1	1
	<i>Cyprinus carpio</i>	Karpfen	CCO	1	1	1	
	<i>Tinca tinca</i>	Schleie	TAN		1	1	
	<i>Abramis brama</i>	Brachmen	BRE		1	1	
	<i>Rhodeus amarus</i>	Bitterling	BOU			1	
	<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Schneider	SPI			1	
	Salmonidae	<i>Salmo trutta lacustris</i>	Seeforelle	TRL	1	1	1
<i>Salvelinus umbla</i>		Seesaibling	OBL	1	1	1	1
<i>Coregonus sp.</i>		Felchen	COR	1			1
<i>Coregonus sp.</i>		Brienzig	COR	1	1	1	1
<i>Coregonus sp.</i>		Balchen	COR	1			1
<i>Salvelinus namaycush</i>		Kanadische Seeforelle	CRI		1	1	
<i>Salvelinus fontinalis</i>		Bachsaibling	SAF			1	
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Regenbogenforelle	TAC		1	1	
Esocidae	<i>Esox lucius</i>	Hecht	BRO	1	1	1	1
Gadidae	<i>Lota lota</i>	Trüsche	LOT	1	1	1	1
Cottidae	<i>Cottus gobio</i>	Groppe	CHA	1	1	1	1
Thymallidae	<i>Thymallus thymallus</i>	Äsche	OBR		1	1	1
Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>	Aal	ANG	1			
Nemacheilidae	<i>Barbatula barbatula</i>	Bartgrundel, Schmerle	LOF			1	
	TOTAL einheimische Arten			19	19	22	14
	TOTAL eingeführt Arten			0	2	3	0
	TOTAL beschriebene Arten			19	21	25	14

Tabelle 3-2. Zusammenstellung der Anzahl der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangmethoden. Alle Felchen, die nicht genetisch zu einer Art zugewiesen wurden, sind als *Coregonus_sp* aufgeführt.

Art Latein	Art Umg.	CEN	CEN	CEN	VERT	VERT	VERT	Elektro	Total
		Benthisch	Pelagisch	Total	Benthisch	Pelagisch	Total		
<i>Coregonus sp</i>	Coregonus_sp	101	135	236	0	230	230	0	466
<i>Coregonus albellus</i> *	Brienzzlig	64	34	98	0	133	133	0	231
<i>Coregonus sp Felchen</i> *	Felchen	4	5	9	1	14	15	0	24
<i>Coregonus sp Balchen</i> *	Balchen	3	0	3	0	2	2	0	5
<i>Perca fluviatilis</i>	Egli	163	2	165	90	6	96	23	284
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotauge	94	1	95	126	15	141	17	253
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	51	18	69	76	25	101	6	176
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	8	0	8	14	3	17	0	25
<i>Cottus gobio</i>	Groppe	5	0	5	0	0	0	7	12
<i>Lota lota</i>	Trüsche	4	0	4	0	0	0	8	12
<i>Salmo trutta</i>	Forelle	0	0	0	1	3	4	1	5
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	2	0	2	0	0	0	1	3
<i>Esox lucius</i>	Hecht	1	0	1	1	0	1	0	2
<i>Salvelinus umbla</i>	Seesaibling	0	0	0	0	1	1	0	1
<i>Squalius cephalus</i>	Alet	0	0	0	1	0	1	0	1
Total		500	195	695	310	432	742	63	1500
Anzahl Arten		11	5	11	8	9	11	7	14

* Die Aufteilung in die verschiedenen Coregonenarten wurde genetisch vorgenommen.

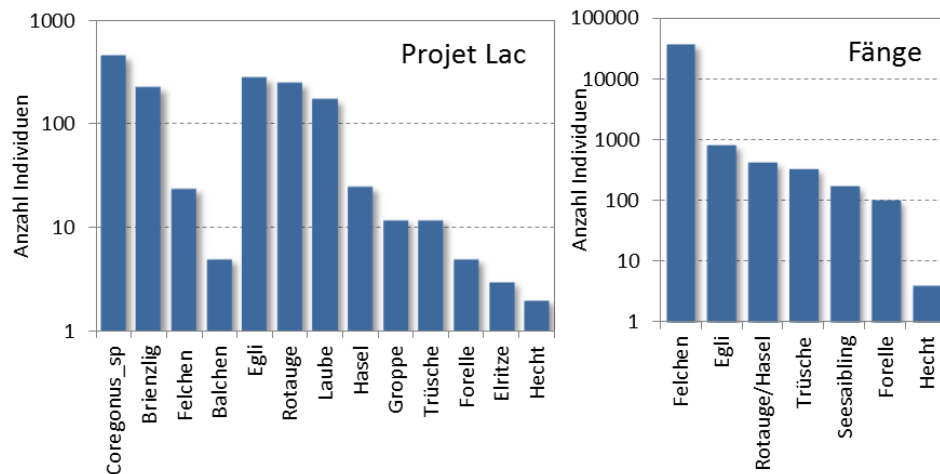


Abbildung 3-10. Vergleich Fänge des „Projet Lac“ mit den Fängen der Angler und Berufsfischer von 2011.

Besondere und wenig bekannte Vielfalt

Coregonen

Viele Brienzzlig,
wenig Balchen

Aus dem Brienersee sind bisher 3 Coregonenarten bekannt: „Balchen“, „Felchen“ und „Brienzzlig“ (Bittner 2009; Vonlanthen *et al.* 2012). Die Artbestimmung ist bei Coregonen, insbesondere bei juvenilen Fischen, jedoch nicht ganz einfach. Für einen Teil der im Brienersee gefangenen Coregonen wurden deshalb genetische Methoden verwendet, um die Artzugehörigkeit zu ermitteln (Doenz 2012; Vonlanthen *et al.* 2009). Mit Hilfe von genetischen Referenzproben (Bittner 2009; Vonlanthen *et al.* 2012) der drei bekannten Coregonenarten des Brienersees wurden die einzelnen Fische des „Projet Lac“-Fangs anhand des genetischen Fingerabdrucks einer der drei Arten zugewiesen. Von insgesamt 260 untersuchten

Fischen wurden 231 den Brienzlig, 24 den Felchen und 5 den Balchen zugewiesen. Die Zuweisung von Felchen und Brienzlig war trotz guter Referenzproben nicht immer eindeutig.

Interessanterweise scheinen viele Individuen genetisch intermediär zwischen Felchen und Brienzlig zu sein (Abbildung 3-11). Dies ist neu und wurde in bisherigen Studien, die Brienerseefelchen nur von bekannten Laichplätzen untersucht hatten, nicht beobachtet. Ob es sich bei den Felchen und Brienzlig um einen Artengradienten handelt, der aus verschiedenen, noch unbekannt Arten besteht, was zum Beispiel im Vierwaldstättersee beobachtet wurde (Lundsgaard-Hansen *et al.* Submitted to Evolution), oder ob es sich um einen kontinuierlichen Gradienten zwischen den zwei bekannten Arten handelt, was im Neuenburgersee der Fall ist (Vonlanthen *et al.* 2009), müsste noch genauer abgeklärt werden. Ersteres ist jedoch auf Grund der hohen genetischen Unterschieden wahrscheinlicher. Probenahmen während der Laichzeit aus allen Tiefen sind erforderlich um diese Frage abschliessend zu klären.

Die meisten der in 250m Tiefe gefangenen Coregonen konnten mit den bisher angewandten genetischen Methoden nicht vom Brienzlig unterschieden werden. Jedoch sind uns gewisse morphologische Eigenheiten aufgefallen, die auf eine Differenzierung hinweisen. Zusätzlich wurde in dieser Tiefe ein Individuum gefangen, das genetisch verschieden ist von allen anderen. Es scheint genetisch intermediär zwischen den Felchen und den Balchen zu sein, ist morphologisch aber von beiden verschieden. Die Einteilung in die drei bekannten Coregonenarten in diesem Bericht ist demzufolge konservativ. Weitere Untersuchungen mit effizienteren genetischen Methoden und mehr Coregonen aus den grossen Tiefen des Brienersees sind erforderlich um der Artenstruktur der Coregonen genauer auf den Grund zu gehen.

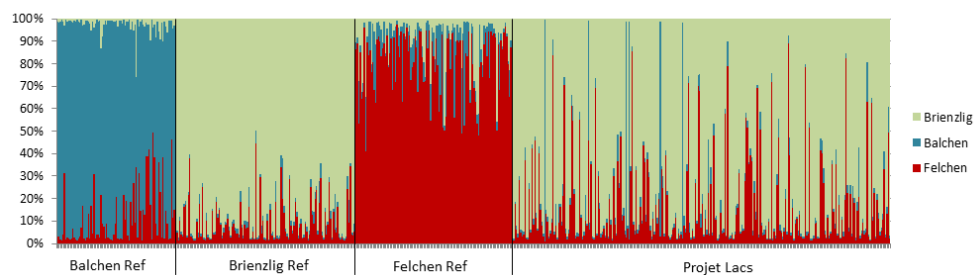


Abbildung 3-11. Genetische Zuweisung der Coregonen des Brienersees. Die blauen Balken entsprechen dem Balchen, die roten dem Felchen und die grünen dem Brienzlig.

Seesaiblinge

Aus den Fängen der Berufsfischer sind uns zusätzlich zu dem einzelnen, in diesem Projekt gefangenen piscivoren Seesaibling, pelagische Seesaiblinge bekannt, die morphologisch von der piscivoren Form unterschieden werden können (Abbildung 3-12). Es kann daher vermutet werden, dass im Brienersee mehrere Seesaiblingsarten vorkommen. Saiblinge sind dafür bekannt, sich innerhalb eines

Sees adaptiv in verschiedene Arten aufzuspalten (Adams *et al.* 2008; Skulason *et al.* 1993; Westgaard *et al.* 2004). Dies ist auch aus einigen subalpinen Seen der Schweiz bekannt: Aus dem Bodensee und dem Neuenburgersee sind je zwei Seesaiblingsarten bekannt, von denen jedoch jeweils eine bereits als ausgestorben gilt (Kottelat & Freyhof 2007), während im deutschen Königssee drei bis vier Seesaiblingsformen unterschieden werden (Schindler 1939). Eine Masterarbeit, welche die Artenstruktur der Seesaiblinge in verschiedenen alpinen Seen der Schweiz untersucht, wurde vor kurzem lanciert und wird mehr Licht in die Saiblingstaxonomie der Schweiz bringen.



Abbildung 3-12. Oben: ein pelagischer Seesaibling; Unten: ein piscivorer Seesaibling aus dem Brienersee.

Rotaugen und Hasel vom Brienersee

Aussergewöhnliche Rotaugen

In den Fangstatistiken wird im Brienersee nicht zwischen Rotaugen, Hasel und Rotfeder unterschieden. Interessanterweise ähneln sich das Rotauge und der Hasel makroskopisch mehr als in anderen Seen. Subjektiv gesehen fehlten den Rotaugen bei den meisten Individuen die typische Rotfärbung der Augen und Flossen. Auffallend war auch ein vergleichsweise stark unterständiges Maul (Abbildung 3-13).



Abbildung 3-13. Beispiel eines Rotauges und eines Hasels des Brienersees. Die Unterscheidung zwischen den beiden Arten kann auch bei grösseren Fischen unter Umständen schwierig sein.

Folglich ähnelten die Rotaugen den Haseln manchmal sehr. Um die beiden Arten auseinanderzuhalten, musste die Anzahl Schuppen entlang der lateralen Linie gezählt werden (Abbildung 3-14). Die Rotaugen wiesen dabei Schuppenzahlen zwischen 39 und 45 auf und die Hasel zwischen 46 und 50. In der Literatur werden für die Rotaugen 42-44 und für die Hasel 43-52 angegeben (Kottelat & Freyhof 2007).

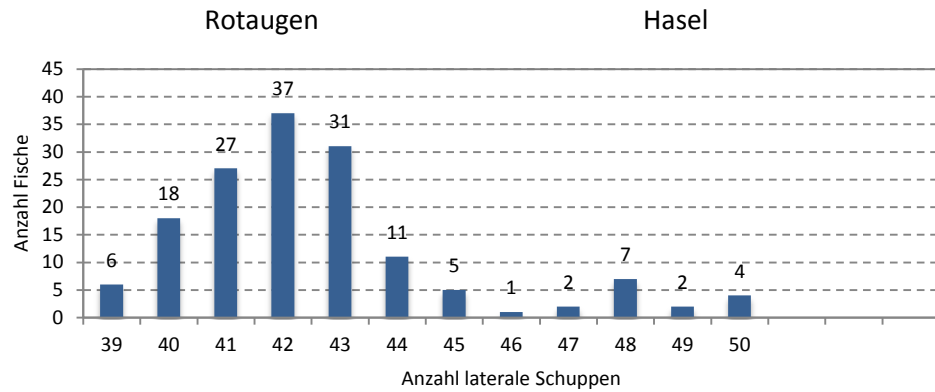


Abbildung 3-14. Histogramm der Anzahl lateraler Schuppen der Rotaugen und Hasel, die im Brienersee gefangen wurden. Eine knappe Überlappung ist zu beobachten, doch insgesamt können die beiden Arten gut unterschieden werden.

In ihrer Masterarbeit, hat Jessica Rieder ebenfalls die geometrische Morphometrie dieser Fische genauer untersucht und herausgefunden, dass die Brienersee Hasel den Haseln von anderen Seen ähneln (linker Pfeil Abbildung 3-15). Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Rotaugen nicht nur in der Farbe, sondern auch in ihrer Gestalt von anderen Schweizer Rotaugen (rechter Pfeil Abbildung 3-15). Die morphologischen Merkmale der Briener Rotaugen sind dabei ein kleinerer Kopf im Verhältnis zur Länge des Fisches und wie erwartet ein stärker unterständiges Maul. Diese Unterschiede könnten auf eine Anpassung an die Umweltbedingungen des Brienersees zurückzuführen sein. Es könnte sich somit um lokale Anpassung oder sogar um eine endemische Art handeln.

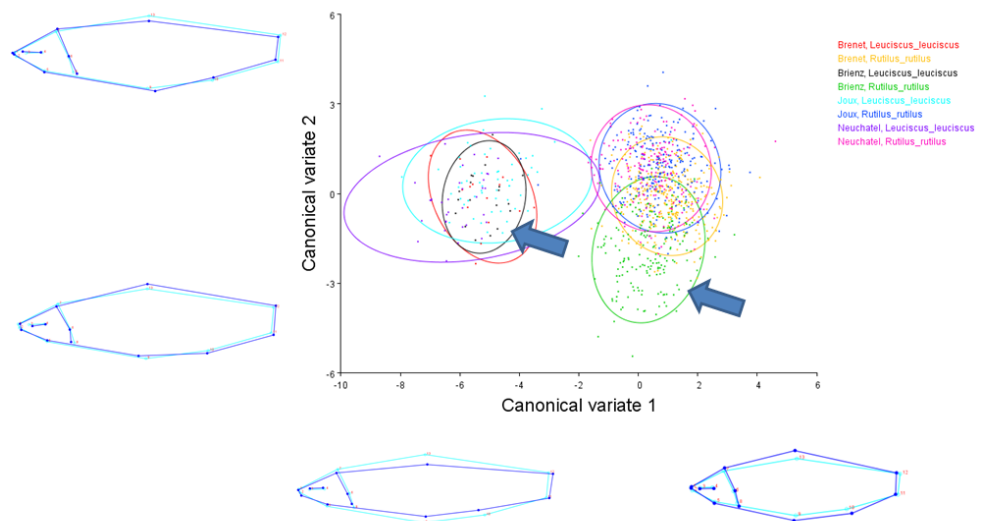


Abbildung 3-15. Resultate der kanonischen Varianzanalyse der geometrischen Morphometriedaten der Rotaugen und Hasel aus vier verschiedenen Schweizer Seen.

CEN Netze und Konfidenzintervalle

Schätzung der Konfidenzintervalle

Die Streuung der Anzahl Fische, die pro Netz in den verschiedenen Tiefen (Replikate) gefangen wurden, ist bei der Schätzung für zukünftige Vergleiche im Brienersee oder mit anderen Seen wichtig. Um die Streuung zu berechnen, wurden mit 10'000 Permutationen theoretische Fänge berechnet (pelagische und benthische Netze separat). Die Resultate wurden anschliessend benutzt, um die 5% und 95%-Konfidenzintervalle für jede Art zu schätzen.

Die Resultate (Abbildung 3-16, Tabelle 8-2) zeigen, dass die Streuungen insgesamt nicht all zu hoch sind. Eine Zunahme oder eine Abnahme der Fänge einer Art um mehr als ca. 50% können demzufolge als signifikant betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für die häufigeren Arten, welche die Fänge dominieren. Bei den Arten, die in den Fängen selten vorkommen und näher an der Nachweisgrenze liegen, sind die Konfidenzintervalle grösser.

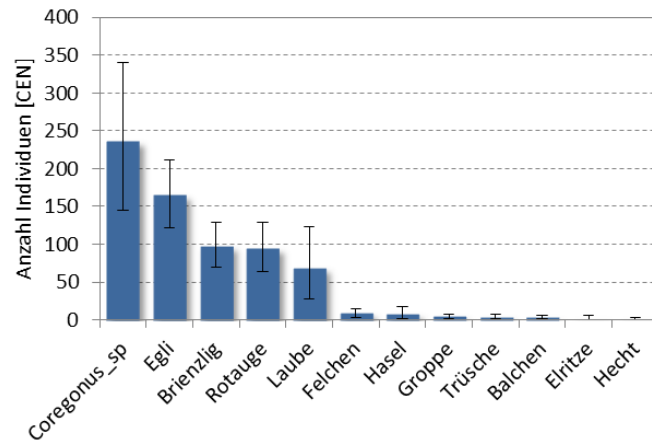


Abbildung 3-16. Anzahl Fische, die pro Art in den CEN Netzen gefangen wurden. Angegeben sind ebenfalls die 5% und 95%-Konfidenzintervalle, die anhand einer Permutation mit 10'000 Stichproben geschätzt wurden.

Biomasse der gefangenen Fische

Insgesamt wurde etwas mehr als 60kg Fisch gefangen. Somit ist der Eingriff dieser Versuchsfänge auf die natürlichen Populationen gering. Zum Vergleich, die Fischer im Brienersee fangen pro Jahr ca. 6000kg. Die Biomassen der Egli, Rotaugen und Coregonen waren dabei in etwa gleich (Abbildung 3-17). Erneut sind Egli und Rotaugen eher im Litoral zu finden, während die Coregonen eher im Pelagial gefangen wurden. Ebenfalls zeigen die Fischfangstatistiken eine unterschiedliche Artenzusammensetzung im Vergleich zu den nicht gezielten Befischungen. Der CPUE für die gefangene Biomasse ist im Anhang aufgeführt (Tabelle 8-1).

Tabelle 3-3. Zusammenstellung der Biomasse (kg) der gefangenen Arten für die verschiedenen Fangmethoden.

Art Latein	Art Umg.	CEN			VERT			Elektro	Total
		Benthisch	Pelagisch	Total	Benthisch	Pelagisch	Total		
<i>Coregonus sp.</i>	Coregonus sp.	2.252	2.065	4.317	0	5.170	5.170	0	9.486
<i>Coregonus albellus</i>	Brienzig*	1.469	0.656	2.125	0	3.035	3.035	0	5.160
<i>Coregonus sp. Balchen</i>	Balchen*	0.055	0	0.055	0	0.557	0.557	0	0.612
<i>Coregonus sp. Felchen</i>	Felchen*	0.083	0.128	0.211	0.013	0.370	0.383	0	0.594
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaugen	7.113	0.050	7.163	10.101	1.780	11.881	0.007	19.051
<i>Perca fluviatilis</i>	Egli	8.556	0.008	8.564	6.016	0.690	6.706	0.343	15.613
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	0.631	0.137	0.768	1.248	0.432	1.680	0.002	2.449
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	0.829	0	0.829	0.968	0.176	1.144	0	1.973
<i>Squalius cephalus</i>	Alet	0	0	0	1.286	0	1.286	0	1.286
<i>Salmo trutta</i>	Forelle	0	0	0	0.093	1.150	1.243	0.010	1.253
<i>Esox lucius</i>	Hecht	0.823	0	0.823	0.316	0	0.316	0	1.139
<i>Lota lota</i>	Trüsche	0.642	0	0.642	0	0	0	0.376	1.018
<i>Salvelinus umbla</i>	Seesaibling	0	0	0	0	1.000	1.000	0	1.000
<i>Cottus gobio</i>	Groppe	0.022	0	0.022	0	0	0	0.008	0.030
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	0.003	0	0.003	0	0	0	0.001	0.004
Total		22.478	3.043	25.521	20.041	14.360	34.401	0.747	60.669

* Die Aufteilung in die verschiedenen Coregonenarten wurde genetisch vorgenommen.

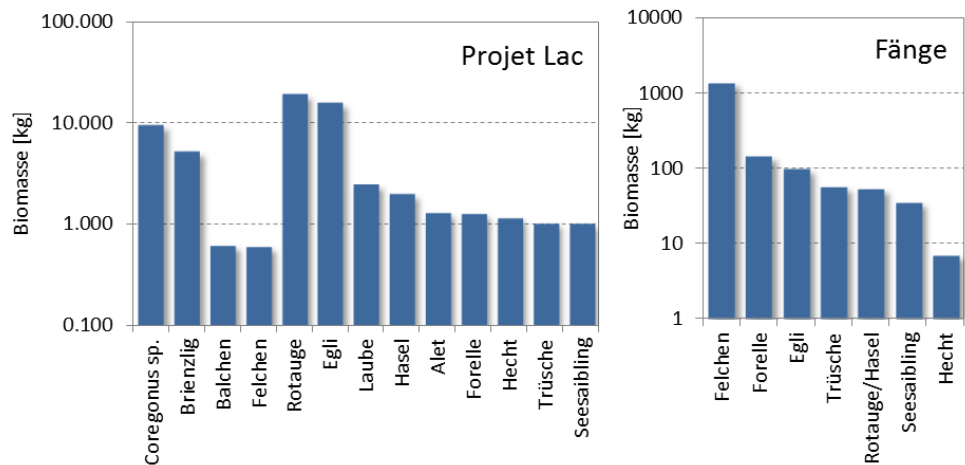


Abbildung 3-17. Vergleich der Biomasse der Fänge von „Projet Lac“ mit den Fängen der Angler und Berufsfischer von 2011.

3.3.3 Habitatnutzung

Tiefe

Coregonen bis in 250m Tiefe

Wie in den meisten Seen befindet sich die höchste Fischdichte auch im Brienersee in den obersten 10m (Abbildung 3-18). Diese fällt dann bis 20m rasch ab. Interessanterweise ist zwischen 30-40m sowie zwischen 200-260m Tiefe die Fischdichte ebenfalls erhöht. Dies kann nicht auf den Befischungsdruck zurückgeführt werden, da die Anzahl Fische für den Befischungsdruck korrigiert wurde. Die Lücke zwischen 70 und 200m kann durch die Tatsache, dass in diesen Tiefen keine benthischen Netze gesetzt wurden, erklärt werden. Die artspezifischen Tiefenverteilungen zeigen, dass die erhöhten Dichten in der Tiefe insbesondere auf die Verteilung der Coregonen zurückzuführen ist (Abbildung 3-19, Abbildung 8-1).

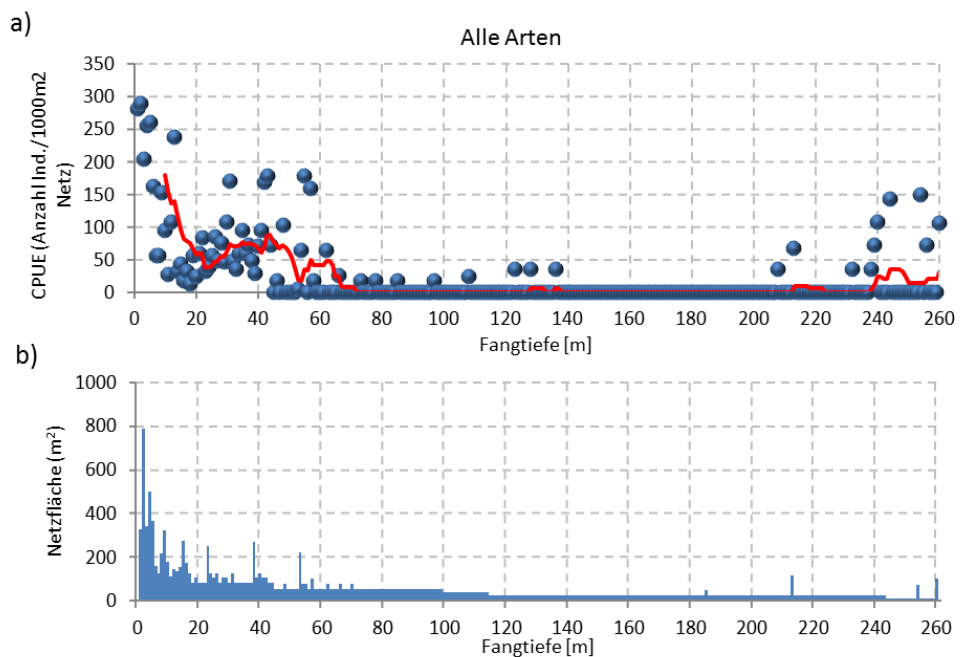


Abbildung 3-18. a) Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE). Die rote Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 10m Tiefe. b) Befischungsaufwand.

Die Coregonen nutzen in der Tat einen grossen Teil der Seetiefe. Sie kommen zwar auch gehäuft in den obersten 10-15m des Sees vor, dies insbesondere im Pelagial, wurden aber auch in tieferen Regionen des Sees gefangen. Viele – aber nicht alle – der am Grund gefangenen Coregonen waren laichreife Felchen. Diese scheinen überall im See zu laichen und dies auch in dessen tiefsten Stellen. Die grössten Dichten konnten allerdings an der Halde zwischen 20-50m Tiefe beobachtet werden (siehe auch Abbildung 3-22).

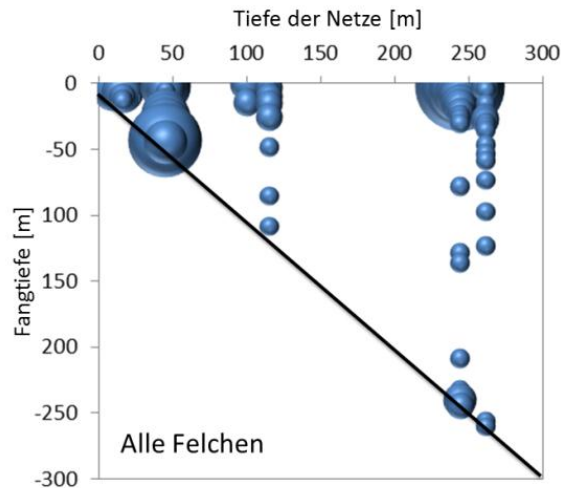


Abbildung 3-19. Tiefenverteilung der Coregonen in den Vertikalnetzen.

Uferhabitate

Habitate sind nicht alle gleich attraktiv

Die Befischung der Uferhabitate zeigt, dass in den Netzen grösstenteils Egli, Rotaugen und Lauben gefangen wurden. Die höchsten Dichten wurden bei den Zuflüssen, bei Totholz und über kiesigem Substrat gefangen. Wie erwartet sind strukturarme Uferhabitate wie Sand, Fels und hart verbaute Ufer eher wenig attraktiv. Ein Permutationstest zeigt, dass in den Zuflüssen signifikant mehr Fische gefangen wurden als dies durch Zufall zu erwarten wäre ($p < 0.05$). Auf Sand wurden signifikant weniger Fische gefangen als durch Zufall zu erwarten wäre ($p < 0.05$). Die erhöhten Fänge bei Totholz, Kiesel sowie Kiesel und Kies waren nur knapp nicht signifikant. Zuflüsse und die eher flacheren Uferbereiche mit Kiesel und Kies sowie Totholz scheinen für Fische attraktive Habitate darzustellen, vergleichbar mit Fließgewässern (Degiorgi *et al.* 2002; Vlach *et al.* 2005). Bei den Elektroabfischungen wurden ebenfalls im Kies und Kiesel sowie bei Wasserpflanzen die höchsten Dichten beobachtet, während Sand und felsige Substrate für die Fische keinen Unterschlupf bieten.

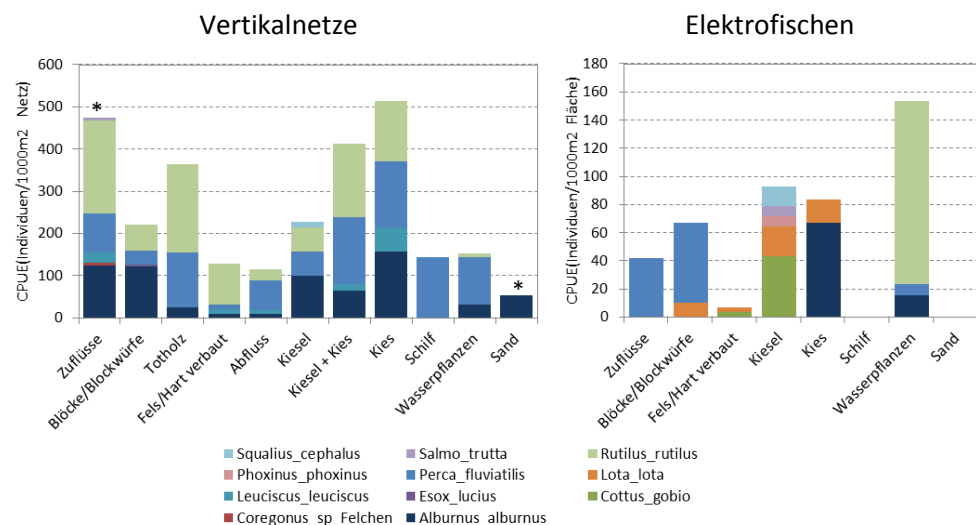


Abbildung 3-20. Anzahl für den Aufwand korrigierte Fische, die bei den verschiedenen Habitaten gefangen wurden. Mit * sind die Habitate markiert, in denen die Fischabundanz signifikant höher oder geringer ist als dies durch Zufall zu erwarten wäre (Permutationstest).

Die Elektrofischereifänge und Netzfänge komplementieren sich gut, da bei den Netzen Fische gefangen werden, die sich aktiv bewegen. Bei der Elektrofischerei hingegen fliehen die im offenen Wasser stehenden Fische und somit werden insbesondere die Arten gefangen, die Schutz suchen oder dort leben. Somit können durch die Elektrofischerei Arten gefangen werden, die in den Netzen selten gefangen werden und umgekehrt.

Geografische Verteilung der Fänge

Eher homogene Verteilung

Wenn alle Arten und alle Tiefen in Betracht gezogen werden, erscheint die Verteilung der Fischfänge in den benthischen Netzen im Brienersee geografisch eher homogen (Abbildung 3-21). Wenn die Verteilung allerdings artspezifisch betrachtet wird (Abbildung 8-2), können gewisse Muster erkannt werden. So scheinen die Coregonen die zentralen Partien des Sees zu bevorzugen, während die Rotaugen häufiger bei den beiden Seeenden vorkommen. Dies kann nicht allein durch die Tiefe der gesetzten Netze erklärt werden. Dieses Verteilungsmuster der Coregonen ist auch bei den Echolotaufnahmen ersichtlich (Abbildung 3-25).

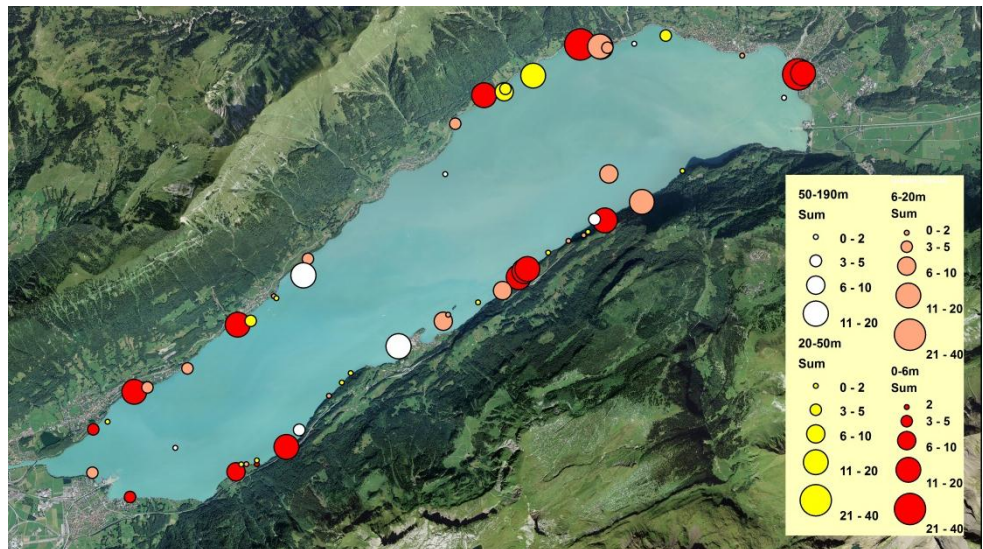


Abbildung 3-21. Fänge (Anzahl Fische) für die benthischen Netze der CEN Methode. Die verschiedenen Farben markieren die verschiedenen Tiefen.

Echolotaufnahmen

Viele Fische im Pelagial

Die Echolotaufnahmen zeigen (Abbildung 3-22), dass sowohl in der oberen als auch in der unteren Wasserschicht die grössten Fischdichten im Pelagial beobachtet wurden. Die Uferzonen und die beiden Enden des Sees wiesen vergleichsweise eher geringere Fischdichten auf (Abbildung 3-23-Abbildung 3-26).

Die Mittlere „Sa“ Werte (akustische Dichte, siehe Kapitel 2.3) der oberen Schicht beträgt $0.28 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-2}$ und der unteren Schicht $0.23 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-2}$. Dies entspricht geschätzten 11 kg/ha für die obere Schicht und 8 kg/ha für die untere Schicht. Zum

Vergleich, im Jahr 2009 wurden von Berufsfischern und Angelfischern zusammen 1.9 kg/ha gefangen.

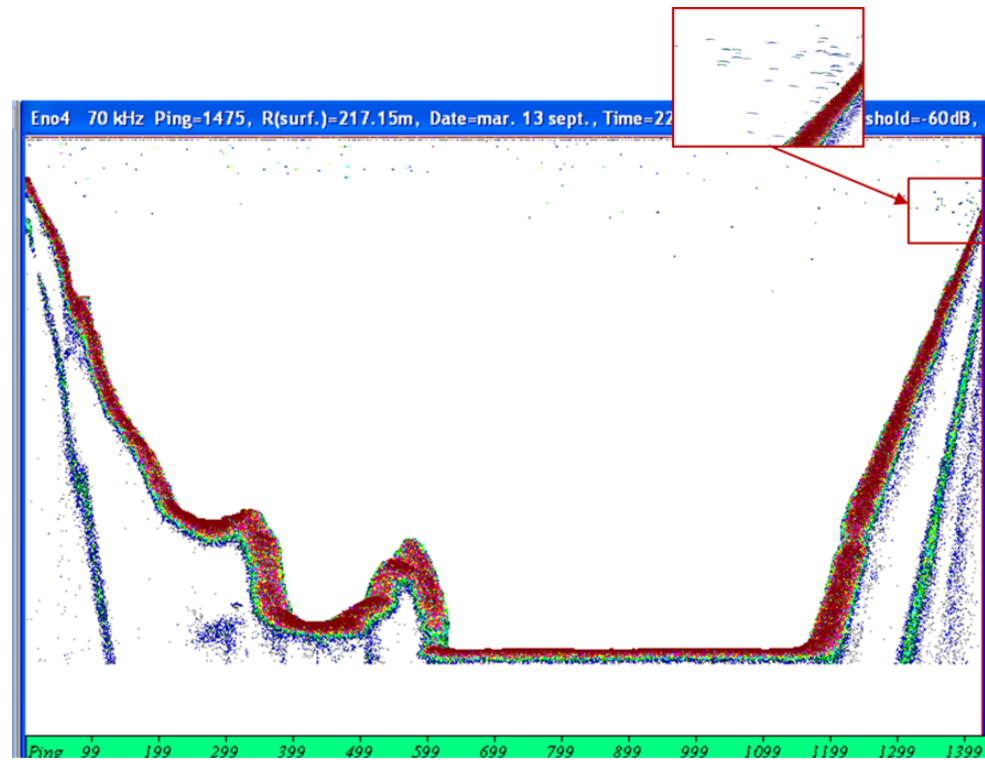


Abbildung 3-22. Beispiel einer Echolotaufnahme. Ersichtlich ist die hohe Fischdichte an der Halde unterhalb von 20m. Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei um laichende Brienzlige. Interessanterweise wurde diese Ansammlung sowohl bei Tag als auch bei Nacht beobachtet.

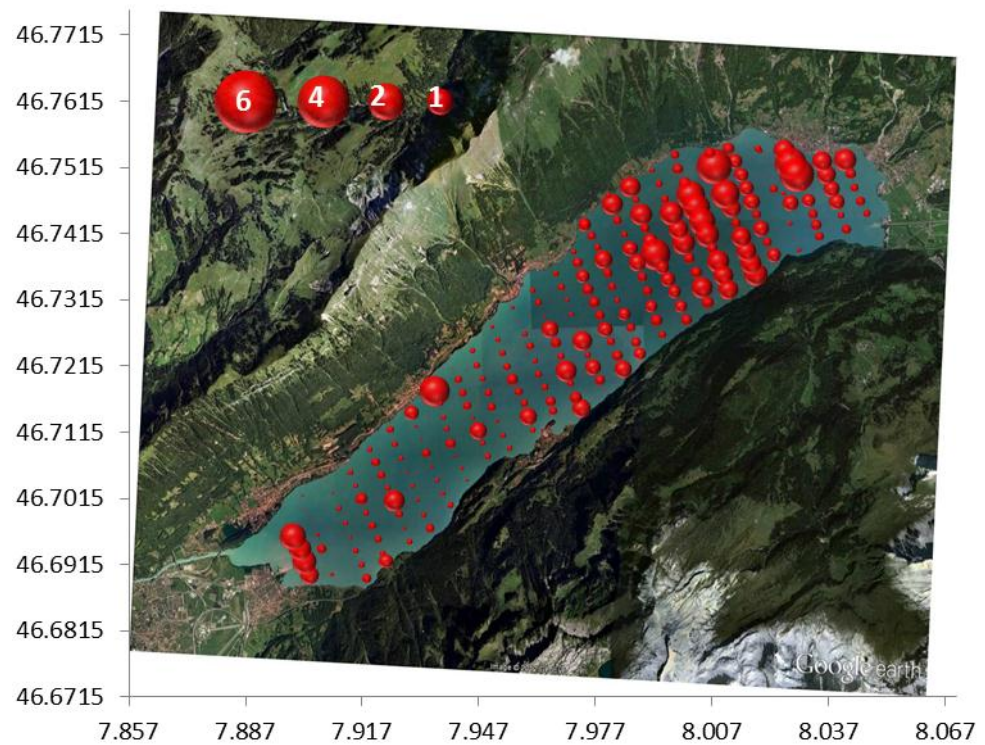


Abbildung 3-23. Echolotsequenz der oberen Schicht (2.5-20m) durchgeföhrt bei Tag (26 Transekte).

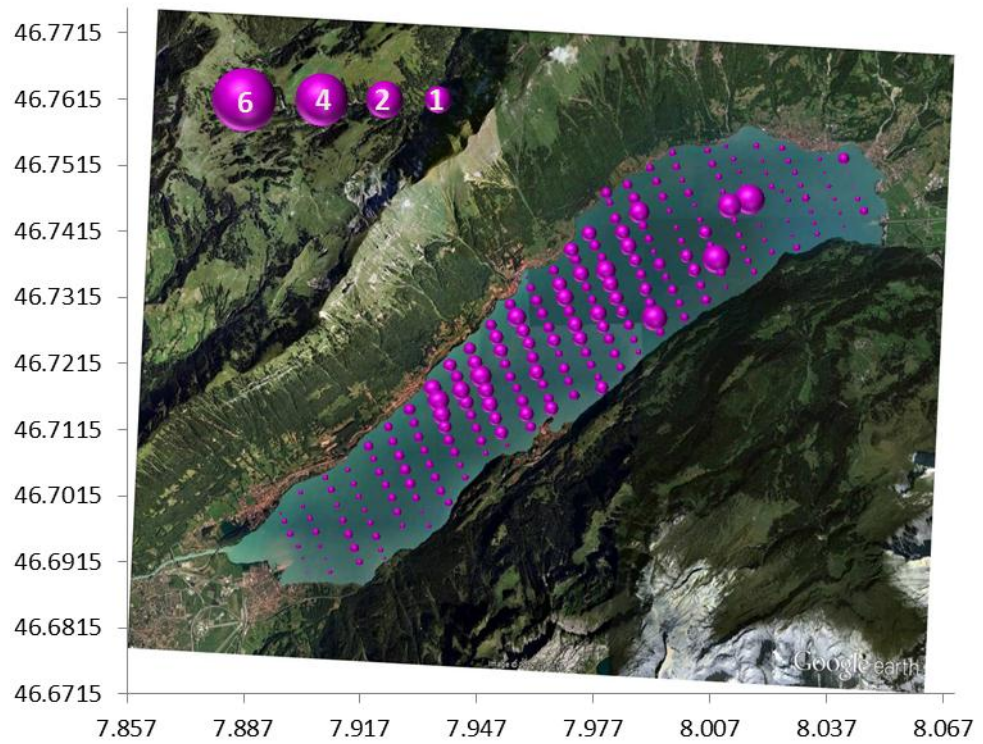


Abbildung 3-24. Echolotsequenz der unteren Schicht (20-250m) durchgefuehrt bei Tag (26 Transekte).

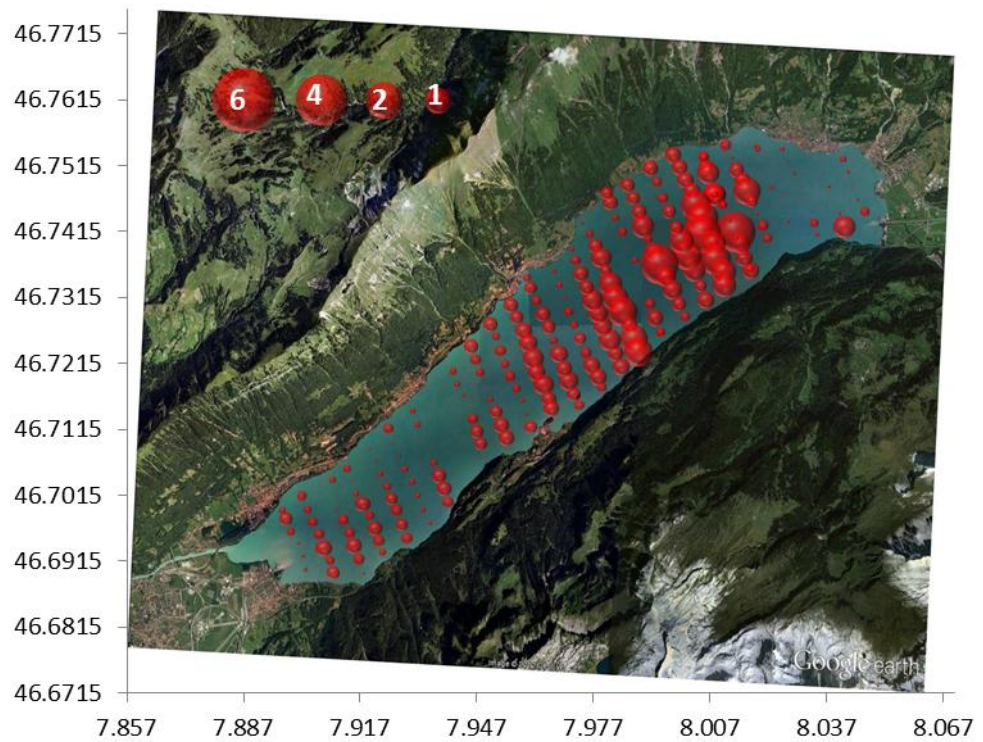


Abbildung 3-25. Echolotsequenz der oberen Schicht (2.5-20m) durchgefuehrt bei Nacht (26 Transekte).

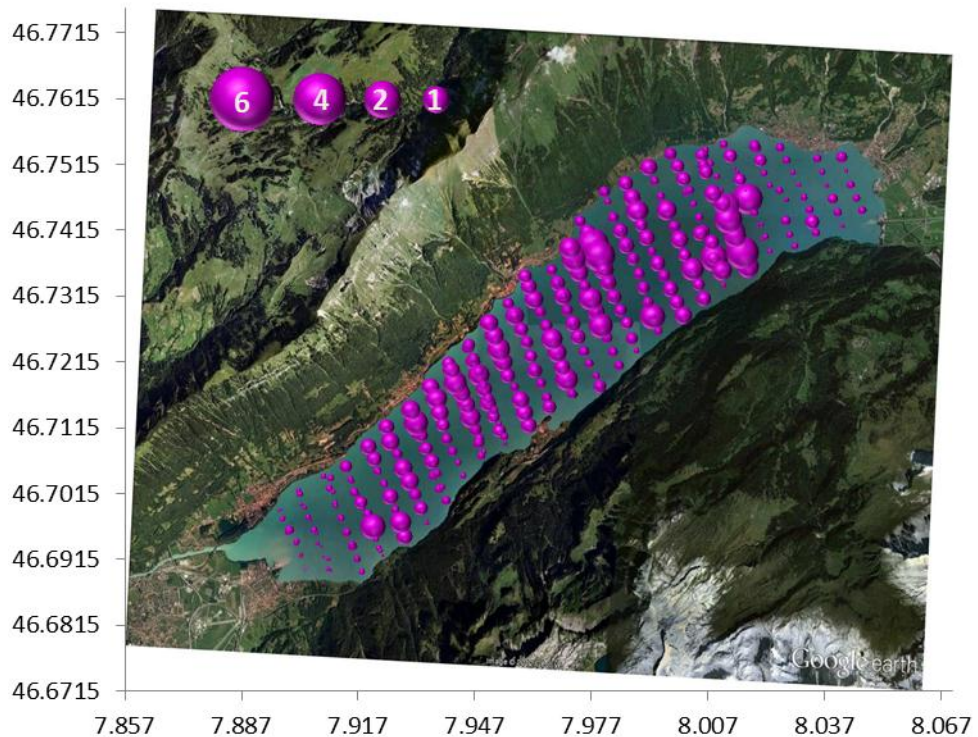


Abbildung 3-26. Echolotsequenz der unteren Schicht (20-250m) durchgeführt bei Nacht (26 Transekte).

3.4 Fischereiliche Aspekte

Fänge der Angler und Berufsfischer

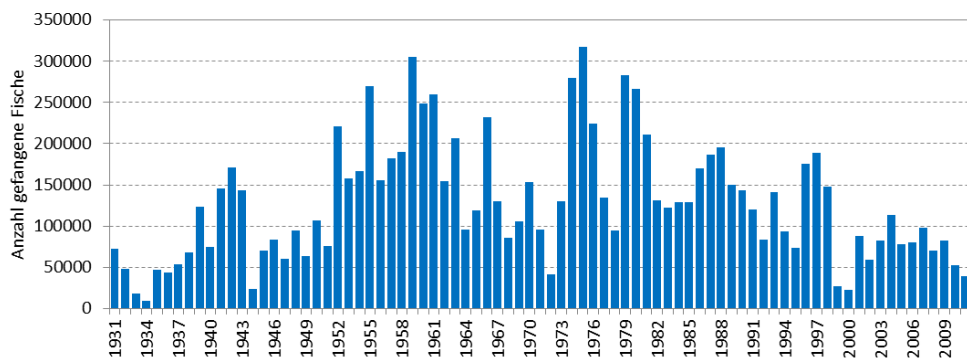


Abbildung 3-27. Fänge der Fischer (Angelfischer und Berufsfischer) von 1950-2011 (Daten Fischereiinspektorat Bern).

Die Fänge der Fischer (Abbildung 3-27) haben in den letzten Jahren markant abgenommen (Eawag 2012; Müller & Bernet 2011). Im Gegensatz dazu, schwanken die Fänge der Angelfischer stark, zeigten jedoch keine Abnahme (Eawag 2012; Müller & Bernet 2011) Die Abnahme bei den Berufsfischerfängen kann dabei zumindest zu einem Teil auf den geringeren Aufwand zurückgeführt werden, der heute betrieben wird (Eawag 2012). Es konnte aber auch gezeigt werden, dass während der durch Nährstoffe belasteten Zeit, gewisse Coregonenarten ein schnelleres Wachstum aufwiesen, insbesondere die Brienzlig und Felchen (Müller 2003).

Der Brienersee ist ein ertragsarmer See

Vergleich der Fänge

Im Vergleich mit den anderen Seen fällt auf, dass der Brienersee zusammen mit dem Walensee eine eher geringe Fischdichte und Biomasse aufweist (Abbildung 3-28). Die höchsten Dichten und Biomassen konnten in den kleinen Juraseen beobachtet werden. Insgesamt sind die Unterschiede jedoch kleiner als dies die Fischfangstatistiken vermuten lassen würden (Abbildung 3-29). Als Beispiel, im Genfersee waren die Fänge der Fischer pro Fläche ca. 6 mal höher als im Brienersee und im Neuenburgersee sogar ca. 9 mal höher. In unseren standardisierten Fängen betrug der Unterschied nur einen Faktor von 2.

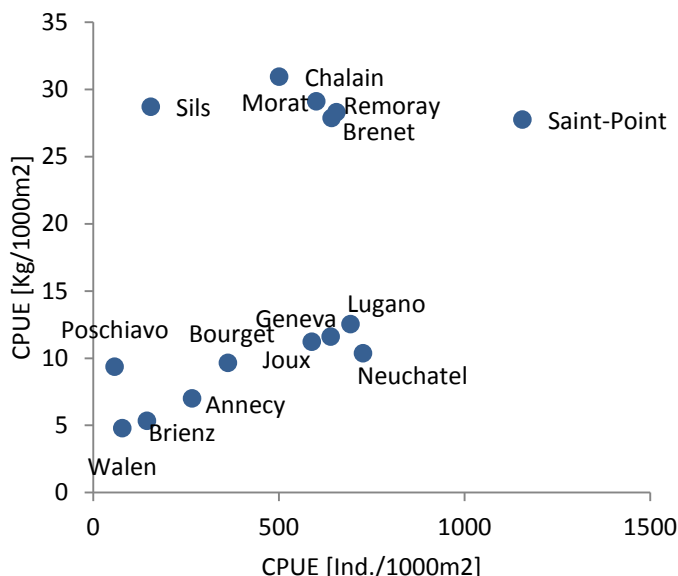


Abbildung 3-28. Vergleich der für den Aufwand korrigierten Fänge in den verschiedenen Seen. Repräsentiert sind die Fänge der CEN Netze.

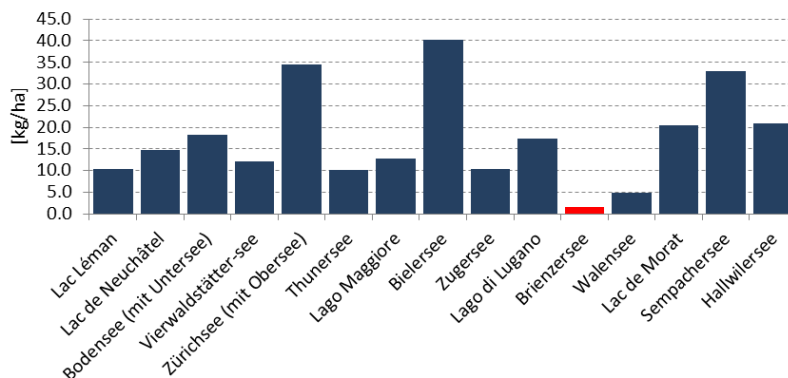


Abbildung 3-29. Erträge der Berufs- und Angelfischer für die grössten Schweizer Seen. Daten von 2008. Quelle: BAFU.

Relation Fänge und Phosphorgehalt

Zusammenhang Phosphor und Fänge

Der Vergleich der Phosphorkonzentrationen, die im Wasser gemessen wurden, mit den standardisierten Fängen zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen Phosphor und der Anzahl gefangener Fische sowie der Biomasse. Bei der Biomasse sind die Unterschiede zwischen den meisten Seen jedoch nicht sehr gross (Abbildung 3-30).

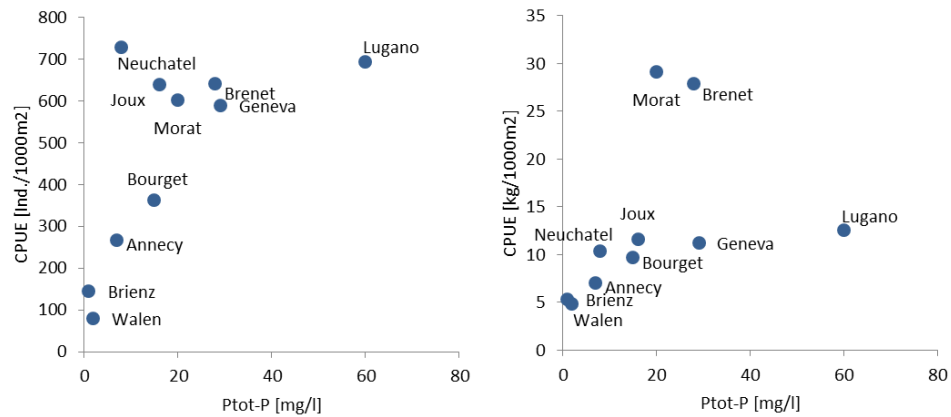


Abbildung 3-30. Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt der Seen und dem für den Aufwand korrigierten Fischfang des „Projet Lac“ als Anzahl Individuen (links) und als Biomasse (rechts).

Längenverteilung der häufigsten Arten in den standardisierten Fänge

Grosse Coregonen sind selten

Die Längenverteilungen (Abbildung 3-31) der häufigsten Arten lassen erkennen, dass grosse Coregonen im Brienersee selten sind. Der Grossteil der Coregonen des Sees sind Brienzlige zwischen 12-20cm und liegen somit unter dem im Bundesgesetz festgelegten Fangmindestmass von 25cm und können heute von den Berufsfischern nicht gefangen werden. Bei den Eglis und den Rotaugen sind die meisten Grössenklassen zwischen 5 und 28cm häufig vertreten.

Fische sind im Brienersee nicht grundsätzlich klein

Im Vergleich mit anderen Seen wird ersichtlich, dass die Fische im Brienersee nicht grundsätzlich kleiner sind als in anderen Seen. Dabei sind die für die Berufsfischer ökonomisch wichtigen Coregonen jedoch klar kleiner als in vielen anderen alpinen Seen (Abbildung 3-32). Die Eglis und die Rotaugen sind aber andererseits im Vergleich zu den anderen Seen überdurchschnittlich gross. Es kann deshalb nicht allgemein von Kleinwüchsigkeit der Fische im Brienersee gesprochen werden.

Längenselektivität der Maschenweiten

Viele Brienzlige in kleinen Maschen

Heute dürfen die Berufsfischer Netze mit einer Maschenweite von 28-30mm als Standardnetze nutzen. Für die Brienzligfischerei können vom 27. März bis zum 9. August jeden Jahres, also während ca. 5 Monaten, auch 20mm Grundnetze benutzt werden. Aus unseren Fängen geht hervor, dass bei der Nutzung von einer Maschenweite von 20mm in der Tat Brienzlige gefangen werden, es können dabei allerdings nur ca. 2% der im See vorhandenen Coregonen gefangen werden (Abbildung 3-33). Insgesamt konnten 26 Coregonen in den 20mm Maschen gefangen werden, wovon 82% Brienzlig, 13% Felchen und 5% Balchen waren. In der Maschenweite 24mm wurden keine Brienzlige gefangen, da sie zu klein sind und somit durch die Maschen schlüpfen. In der 15.5mm maschenweite wurden beispielsweise schon 333 Coregonen gefangen, wobei 90% Brienzlig, 9% Felchen und 1% Balchen waren. Daraus wird ersichtlich, dass in den grösseren Maschenweiten eher die raschwüchsigen Coregonenarten gefangen werden.

Für den Fang von Eglis werden Maschen mit 28-30mm Durchmesser benutzt. Die Eglis, die dabei gefangen wurden, sind somit um die 22-25cm gross. Ca. 6-7% der Eglifänge waren in Maschen, die grösser oder gleich 30mm waren, was zeigt, dass diese Maschengrössen im Brienersee schon recht effizient waren.

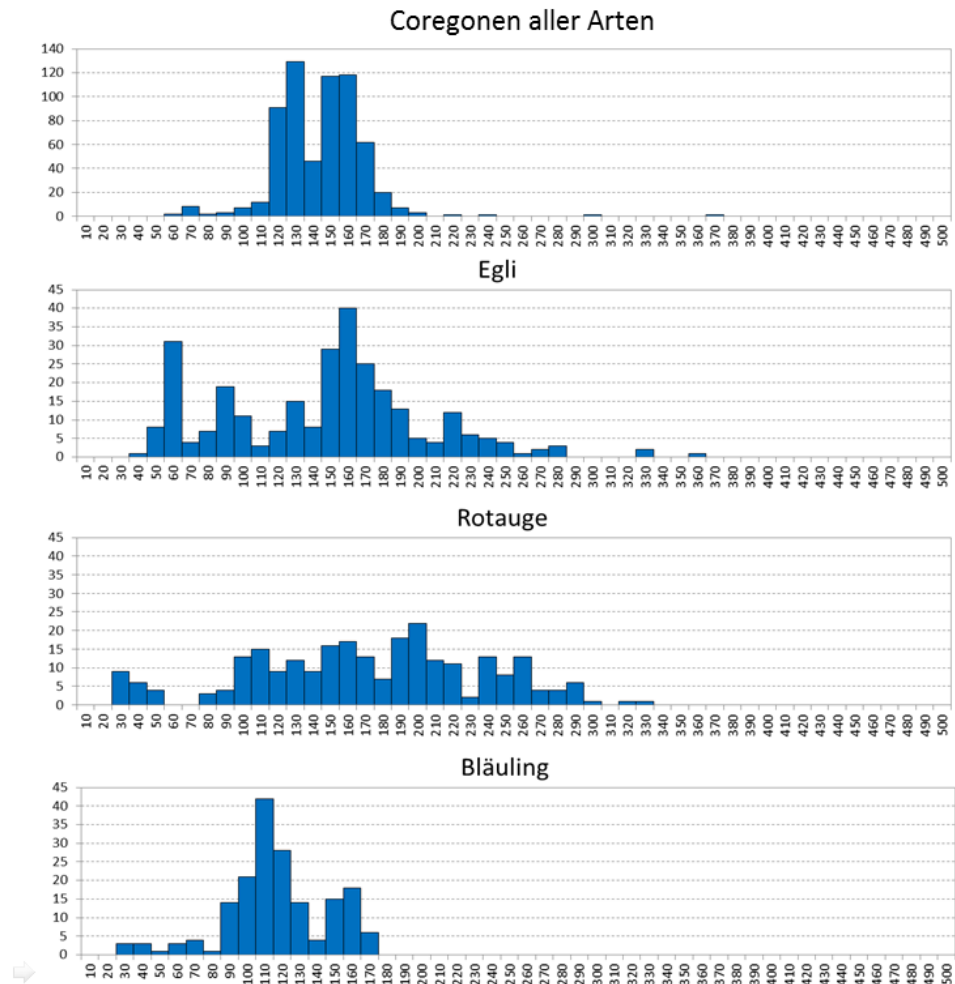


Abbildung 3-31. Längenverteilung der vier häufigsten Fischarten des Brienersees.

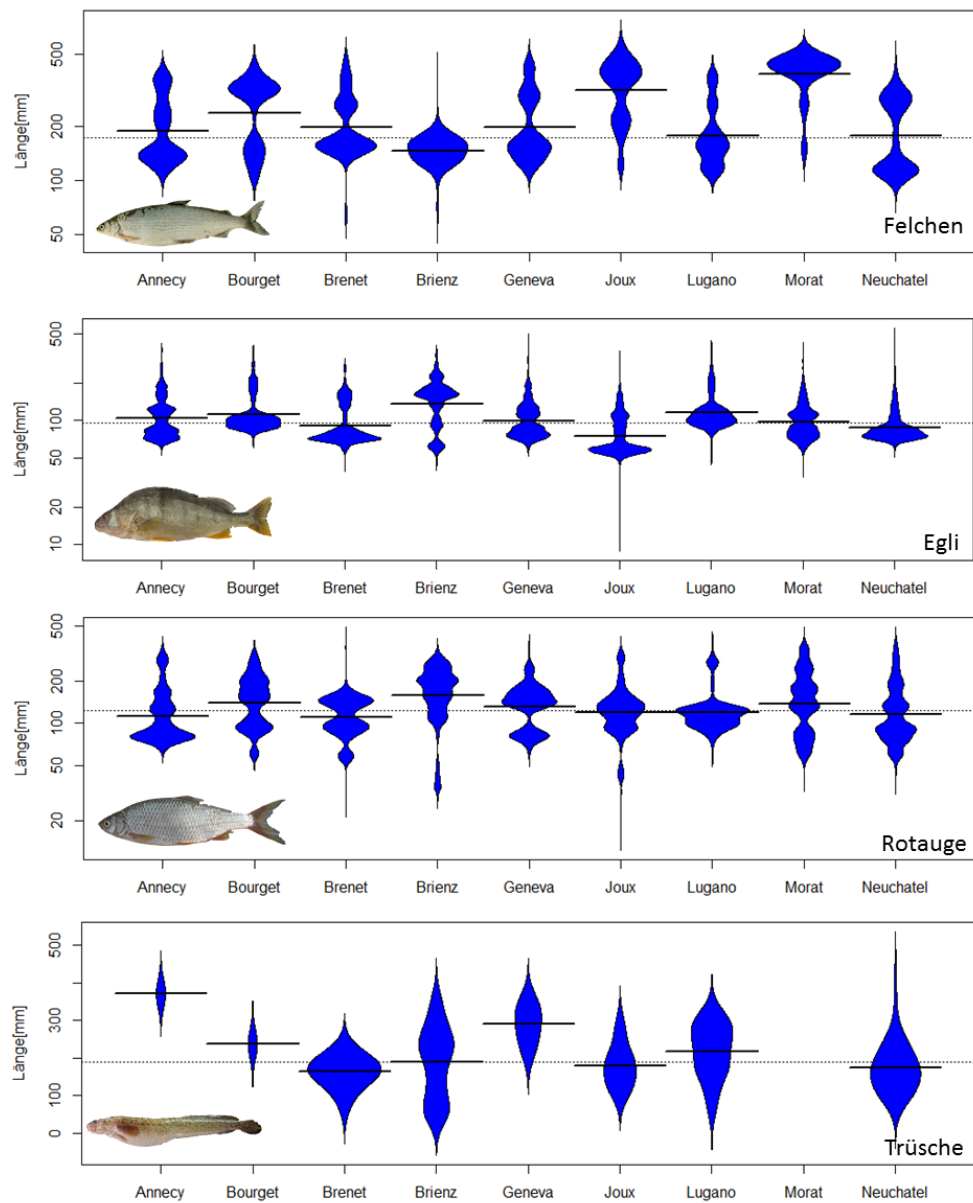


Abbildung 3-32. Längenverteilung von vier für die Fischerei relevanten Arten des Brienersees im Vergleich mit anderen alpinen Seen. Diese Beanplots zeigen in blau die Verteilung der Grössen für jede Art als dicke schwarze horizontale Linie den Mittelwert einer Art pro See und als gestrichelte schwarze horizontale Linie den Mittelwert zwischen allen Seen.

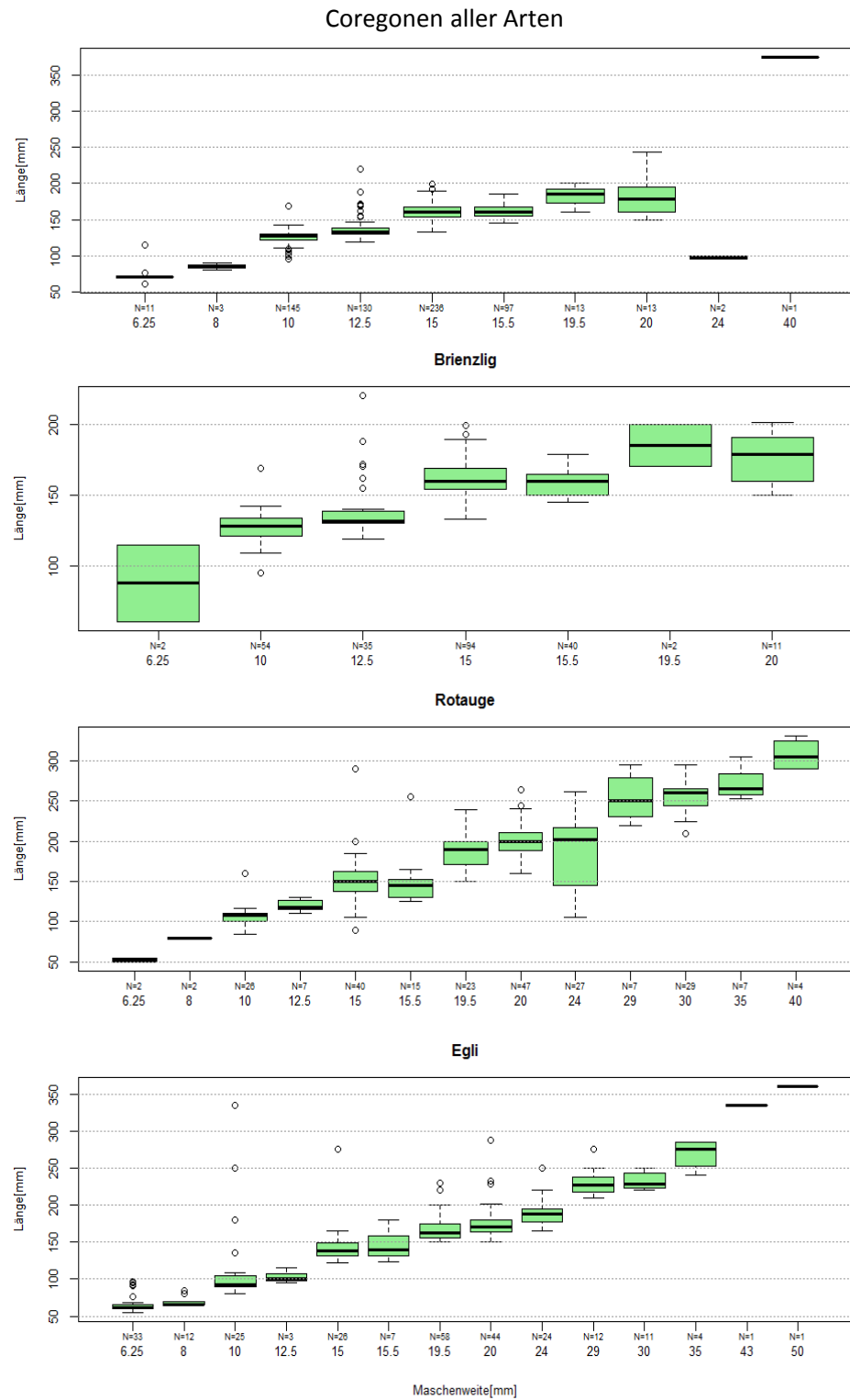


Abbildung 3-33. Längenselektivität der verschiedenen Maschenweiten für die am häufigsten gefangenen Fischarten.

4 Synthese

4.1 Ökologische Bewertung des Brienersees

4.1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers

*Geringe
Produktivität*

Der Brienersee ist insgesamt ein nährstoffarmer und trüber See. Die Kombination von wenig Nährstoffen und der erhöhten Lichtundurchlässigkeit durch den Gletscherschliff führt dazu, dass die Produktivität des Brienersees im Vergleich mit anderen Schweizer Seen natürlicherweise gering ist (Finger *et al.* 2007). Trotzdem war auch der Brienersee in den letzten Jahren der erhöhten Nährstoffbelastung ausgesetzt, die in den tiefen Zonen des Sees zu Sauerstoffzehrung geführt hat. Die organische Belastung und dabei insbesondere die Phosphorkonzentration des Sees hat danach wieder abgenommen und liegt heute im tiefen natürlichen Bereich (Müller *et al.* 2007).

*Veränderte
Trübung*

Die Trübung des Sees hat sich seit dem Bau der Grimselseekraftwerke verändert. Sie hat insgesamt über das ganze Jahr gesehen zwar abgenommen (Erhöhung der Produktivität), im Winter und Frühjahr ist sie jedoch höher als vor dem Bau des Kraftwerkes, was zu einer deutlichen Verringerung der Produktivität geführt hat (Finger *et al.* 2007). Die Auswirkungen dieser erhöhten Trübung im Frühjahr auf die Fische sind noch ungenügend bekannt.

4.1.2 Habitatdefizite

*Uferhabitate
zeigen Defizite*

Insgesamt bestätigen unsere Resultate, dass natürliche und gut strukturierte litorale Habitate nicht nur in Fließgewässern für die Fischfauna wichtig sind, sondern auch in Seen (Vadeboncoeur *et al.* 2011). Genau diese attraktiven Habitate (Kies, Kiesel, Zuflüsse) werden aber oft und insbesondere auch im Brienersee zur Kiesgewinnung genutzt oder hart verbaut (Strassen, Siedlungen). Im Brienersee sind fast alle Zuflüsse stark verbaut, dasselbe gilt für die meisten Flachuferbereiche, die ohnehin schon eher selten vertreten sind.

*Forellen und
Saiblinge eher zu
selten*

Pelagiale Prädatoren wie Forellen, die theoretisch von der hohen Brienzligdichte profitieren könnten, sind im Vergleich zu anderen Seen eher selten. Ob dies auf die geringe Sichtweite im Wasser (Jagderfolg), auf fehlenden Erfolg bei der Reproduktion (Qualität der Zuflüsse) oder auf andere Gründe zurückzuführen ist, kann nicht abschliessend bestimmt werden. Die gefangenen Forellen wiesen jedoch gute Konditionsfaktoren auf (mittlerer Konditionsindex: 1.32), was gegen eine Unterernährung als Ursache für die geringe Anzahl an Forellen im See spricht (Abbildung 4-1) und die Vermutung stärkt, dass dies mit ungenügender morphologischer Qualität der Zuflüsse in Verbindung stehen könnte.



Abbildung 4-1. Seeforelle aus dem Brienersee (Länge 388mm, Gewicht: 600gr).

Auch die Seesaiblinge sind nur ungenügend in unseren Fängen vertreten. Inwiefern die Kiesgewinnung bei den grösseren Zuflüssen eine Rolle spielt, die direkt die Laichplätze der Seesaiblinge beeinträchtigt (Rubin & Buttiker 1992), müsste genauer untersucht werden.

4.1.3 Artenvielfalt

Brienersee ist ein Felchensee

14 Fischarten wurden im Rahmen dieses Projektes im Brienersee gefangen, wobei keine invasiven Arten festgestellt werden konnten. Die Fänge werden im Pelagial durch die Coregonen und im Litoral durch Egli und Rotaugen dominiert. Bei den Coregonen bestehen die Fänge aus ca. 88% Brienzlig, 10% Felchen und nur 2% Balchen. Die drei Coregonenarten kommen nur im Briener- und im Thunersee vor, und können als endemische Arten betrachtet werden. Acht weitere Arten, die im Brienersee beschrieben wurden (Äsche, Gründling, Barbe, Karpfen, Brachsen, Kanadische Seeforelle, Regenbogenforelle und Bachsaibling), konnten nicht nachgewiesen werden, diese sind allerdings auch in den Fängen selten oder nicht mehr vertreten.

Mehr Vielfalt als bisher bekannt?

Die Fänge zeigen, dass der hohe Sauerstoffgehalt des Wassers bis in die tiefsten Regionen des Sees es den Coregonen erlauben, diese tiefen Habitate auch zu nutzen. Es scheint, dass die Coregonen die gesamte Tiefenzone des Sees zur Fortpflanzung nutzen. Die in 250m Tiefe gefangenen Coregonen konnten anhand der verwendeten Methoden und aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht vom Brienzlig unterschieden werden, obwohl uns gewisse morphologische Eigenheiten aufgefallen sind, die auf eine Differenzierung hinweisen. Die Einteilung in die drei bekannten Coregonenarten in diesem Bericht ist demzufolge konservativ. Wir vermuten, dass die Felchenvielfalt im Brienersee grösser sein könnte als dies bisher bekannt ist. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um dies zu überprüfen.

Insgesamt zeigen diese Resultate ein von einem nährstoffarmen, kühlen, mineralisch bedingt trüben, grossen und tiefen Voralpensee in etwa zu

Ein zu erwartendes Artenspektrum im Brienersee erwartendes Artenspektrum. Es entspricht auch der Artenzusammensetzung, die im letzten Jahrhundert beobachtet wurde (Heuscher 1901). Der Brienersee ist im Vergleich mit anderen Schweizer Seen ein wenig produktiver See, was sich auch in unseren standardisierten Abfischungen gezeigt hat. Dieser nährstoffarme Zustand war bereits vor der Eutrophierungsphase vorhanden (Müller *et al.* 2007; Rellstab *et al.* 2011) und muss als natürlicher Zustand angesehen werden. Veränderungen sind insbesondere bei der Trübung aufgetreten.

4.2 Fischereiliche Nutzung

Die Fische sind grundsätzlich klein Unsere Abfischungen zeigen, dass die Fische im Brienersee nicht grundsätzlich kleiner sind als dies in anderen Seen der Fall ist. Die Coregonen – dabei ist die hohe Anzahl an kleinwüchsigen Brienzlige ausschlaggebend – sind jedoch im Schnitt kleiner als in andere Seen. Für andere Arten wie Eglis, Rotaugen oder Laube gilt dies nicht. Die häufigeren Arten weisen auch durchgehend normale Grössenstrukturen auf. Es sind relativ viele adulte Eglis und Rotaugen vorhanden, was auf einen eher geringen Befischungsdruck hinweist. Insgesamt zeigt die Grössenzusammensetzung der Eglis und der Rotaugen, dass diese Fischarten im Vergleich zu anderen Seen im Brienersee eher wenig genutzt werden.

Die Berufsfischer zielen durch die Bestimmungen der Maschenweiten jedoch ziemlich stark auf die Nutzung der Felchen und der Balchen. Der weitaus häufigere Brienzlig (ca. 90% des Felchenbestandes im See) wird wenig genutzt.

Ein ertragsarmer See Unsere Resultate bestätigen somit, dass der Brienersee in der Tat ein ertragsarmer See ist. Im Vergleich mit anderen Seen werden für den gleichen Aufwand weniger Fische gefangen. Die Unterschiede sind jedoch nicht so gross wie dies die Fischfangstatistiken vermuten lassen würden. Die für die Berufsfischerei so wichtigen Brienzlige sind jedoch sehr klein.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ein einzigartiges Ökosystem Wenig produktive Seen wie dies der Brienersee zweifelsohne ist, die durch die Verschmutzungen des letzten Jahrhunderts nicht grundlegend verändert wurden, sind einzigartige und seltene Ökosysteme im Alpenraum. Im Brienersee kommen heute die Fischarten vor, die sich in diesem Ökosystem über Jahrtausende anpassen und behaupten konnten. Die Umweltbelastungen des letzten Jahrhunderts haben dieses Ökosystem ins Wanken gebracht, doch anders als in andere Seen waren die Veränderungen weniger umfangreich, sodass der Brienersee heute einer der am wenigsten beeinträchtigten grossen Alpenrandseen ist. Dies zeigt sich auch in der Fischartenzusammensetzung.

Bei den Felchen konnte dies im Rahmen von genetischen und morphologischen Untersuchungen eindrücklich gezeigt werden. Während in moderat bis stark verschmutzten Seen die früher einheimischen Coregonenarten entweder ausgestorben sind oder sich untereinander gekreuzt haben (Verlust von genetischen Unterschieden und somit der verschiedenen Arten und deren Anpassungen an die Umwelt), konnte im Brienersee eine hohe genetische Differenzierung zwischen den Coregonenarten erhalten werden (Vonlanthen *et al.* 2012).

*Abweichungen
vom Referenz-
zustand*

Trotzdem treten gewisse Abweichungen von einem Referenzzustand auf. Die gefangenen Coregonen konnten nicht alle eindeutig einer Art zugewiesen werden. Insbesondere zwischen den Felchen und den Brienzlig gibt es gewisse Unsicherheiten, die vermuten lassen, dass die Nährstoffbelastung der letzten Jahre den Genfluss zwischen diesen beiden Arten leicht erhöht haben könnte. Weiter sind einige Arten im Brienersee seltener als dies zu erwarten wäre, wie z.B. die Seeforellen oder die Seesaiblinge. Insbesondere die Uferhabitate und Zuflüsse wurden im Brienersee verbaut. Ca. 50% der Ufer sind entweder durch Blockwürfe gesichert oder hart verbaut. Unsere Resultate zeigen dabei, dass natürliche Flachwasserbereiche mit Kies und Kiesel ebenso wie Zuflüsse für die Fische attraktive Habitate darstellen. Die Renaturierung solcher Habitate sollte demzufolge thematisiert werden. Schliesslich sollten auch die Auswirkungen der im Winter verringerten Produktivität des Sees durch die Erhöhung der Trübung genauer untersucht werden.

*Fischereiliche
Nutzung*

Schliesslich zeigen die Resultate des „Projet Lac“, dass der Brienersee im Vergleich mit anderen alpinen Seen ein wenig produktiver See ist. Die kleinen Brienzlige sind dabei aber sehr häufig, für die fischereiliche Nutzung heute jedoch wenig lukrativ. Somit werden die Brienzlige des Brienersees, anno dazumal eine Delikatesse, kaum mehr befischt.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1. Illustration der verschiedenen Protokolle der Fischprobenahme (Zeichnung © M. Goguilly).....	4
Abbildung 3-1. Temperaturprofile des Brienersees von 1994 bis 2012. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.....	6
Abbildung 3-2. Oberflächentemperatur des Brienersees (1996-2012). Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.....	7
Abbildung 3-3. Sauerstoffprofile Brienersee (1994-2010). Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.	7
Abbildung 3-4. Trübung gemessen als Secchi-Tiefe des Brienersees. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.....	8
Abbildung 3-5. Entwicklung der Gesamtphosphorwerte im Brienersee. Daten: AWA Amt für Wasser und Abfall.....	8
Abbildung 3-6. Ausschnitt der Kartierung der litoralen Habitate des Brienersees. Eingezeichnet ist ebenfalls die Trennung zwischen der zentralen und sublitoralen Zone.....	9
Abbildung 3-7. a) Häufigkeit der verschiedenen litoralen Habitate im Brienersee (Fläche); b) Prozentanteil der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen litoralen Zone (linear)....	9
Abbildung 3-8. Kartierung der anthropogen beeinflussten und weitgehend naturnahen Uferzonen im Brienersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).	10
Abbildung 3-9. Karte der Befischungsstandorte im Brienersee (Luftaufnahmen © Swisstopo).....	11
Abbildung 3-10. Vergleich Fänge des „Projet Lac“ mit den Fängen der Angler und Berufsfischer von 2011.	13
Abbildung 3-11. Genetische Zuweisung der Coregonen des Brienersees. Die blauen Balken entsprechen dem Balchen, die roten dem Felchen und die grünen dem Brienzlig.	14
Abbildung 3-12. Oben: ein pelagischer Seesaibling; Unten: ein piscivorer Seesaibling aus dem Brienersee.	15
Abbildung 3-13. Beispiel eines Rotauges und eines Hasels des Brienersees. Die Unterscheidung zwischen den beiden Arten kann auch bei grösseren Fischen unter Umständen schwierig sein.	15
Abbildung 3-14. Histogramm der Anzahl lateraler Schuppen der Rotaugen und Hasel, die im Brienersee gefangen wurden. Eine knappe Überlappung ist zu beobachten, doch insgesamt können die beiden Arten gut unterschieden werden.	16
Abbildung 3-15. Resultate der kanonischen Varianzanalyse der geometrischen Morphometriediten der Rotaugen und Hasel aus vier verschiedenen Schweizer Seen.	16
Abbildung 3-16. Anzahl Fische, die pro Art in den CEN Netzen gefangen wurden. Angegeben sind ebenfalls die 5% und 95%-Konfidenzintervalle, die anhand einer Permutation mit 10'000 Stichproben geschätzt wurden.	17
Abbildung 3-17. Vergleich der Biomasse der Fänge von „Projet Lac“ mit den Fängen der Angler und Berufsfischer von 2011.	18
Abbildung 3-18. a) Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE). Die rote Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 10m Tiefe. b) Befischungsaufwand.	19
Abbildung 3-19. Tiefenverteilung der Coregonen in den Vertikalnetzen.	20
Abbildung 3-20. Anzahl für den Aufwand korrigierte Fische, die bei den verschiedenen Habitaten gefangen wurden. Mit * sind die Habitate markiert, in denen die Fischabundanz signifikant höher oder geringer ist als dies durch Zufall zu erwarten wäre (Permutationstest).	20
Abbildung 3-21. Fänge (Anzahl Fische) für die benthischen Netze der CEN Methode. Die verschiedenen Farben markieren die verschiedenen Tiefen.	21
Abbildung 3-22. Beispiel einer Echolotaufnahme. Ersichtlich ist die hohe Fischdichte an der Halde unterhalb von 20m. Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei um laichende Brienzlige. Interessanterweise wurde diese Ansammlung sowohl bei Tag als auch bei Nacht beobachtet.....	22
Abbildung 3-23. Echolotsequenz der oberen Schicht (2.5-20m) durchgeführt bei Tag (26 Transekte).	22
Abbildung 3-24. Echolotsequenz der unteren Schicht (20-250m) durchgeführt bei Tag (26 Transekte).	23

Abbildung 3-25. Echolotsequenz der oberen Schicht (2.5-20m) durchgeführt bei Nacht (26 Transekte).....	23
Abbildung 3-26. Echolotsequenz der unteren Schicht (20-250m) durchgeführt bei Nacht (26 Transekte).....	24
Abbildung 3-27. Fänge der Fischer (Angelfischer und Berufsfischer) von 1950-2011 (Daten Fischereiinspektorat Bern).....	24
Abbildung 3-28. Vergleich der für den Aufwand korrigierten Fänge in den verschiedenen Seen. Repräsentiert sind die Fänge der CEN Netze.	25
Abbildung 3-29. Erträge der Berufs- und Angelfischer für die grössten Schweizer Seen. Daten von 2008. Quelle: BAFU.	25
Abbildung 3-30. Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt der Seen und dem für den Aufwand korrigierten Fischfang des „Projet Lac“ als Anzahl Individuen (links) und als Biomasse (rechts).....	26
Abbildung 3-31. Längenverteilung der vier häufigsten Fischarten des Brienersees.	27
Abbildung 3-32. Längenverteilung von vier für die Fischerei relevanten Arten des Brienersees im Vergleich mit anderen alpinen Seen. Diese Beanplots zeigen in blau die Verteilung der Grössen für jede Art als dicke schwarze horizontale Linie den Mittelwert einer Art pro See und als gestrichelte schwarze horizontale Linie den Mittelwert zwischen allen Seen.....	28
Abbildung 3-33. Längenselektivität der verschiedenen Maschenweiten für die am häufigsten gefangenen Fischarten.....	29
Abbildung 4-1. Seeforelle aus dem Brienersee (Länge 388mm, Gewicht: 600gr).....	31
Abbildung 8-1. Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE). Die rote Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 10m Tiefe. b) der Befischungsaufwand.	39
Abbildung 8-2. Fänge (Anzahl Individuen der einzelnen Arten) für die benthischen Netze der CEN Methode (Luftaufnahmen © Swisstopo).	40

7 Literaturverzeichnis

- Adams CE, Wilson AJ, Ferguson MM (2008) Parallel divergence of sympatric genetic and body size forms of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, from two Scottish lakes. *Biological Journal of the Linnean Society* **95**, 748-757.
- Anselmetti FS, Buhler R, Finger D, et al. (2007) Effects of Alpine hydropower dams on particle transport and lacustrine sedimentation. *Aquatic Sciences* **69**, 179-198.
- Balk H, Lindem T (2006) Sonar 4, Sonar 5, Sonar 6 – Post-processing Systems. Operator Manual. Lindem Data Acquisition, Oslo.
- Bittner D (2009) *Gonad deformations in whitefish (Coregonus spp.) from Lake Thun, Switzerland - A population genetic and transcriptomic approach*, University of Bern.
- Colon M, Guillard J (2012) Etude hydroacoustique de l'ichtyofaune du lac de Brienz (Suisse) - (Campagne Septembre 2011). INRA, Thonon-Les-Bains.
- Degiorgi F, Grandmottet J-P (1993) relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre, définition de modalités spatiales d'une stratégie de prélèvement reproductible. *Bull. Fr. de pisc.* **329**, 199-220.
- Degiorgi F, Guillard J, Grandmottet JP, Gerdaux D (1994) Deux techniques d'échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre utilisées en France, bilan et perspectives. *Hydroécol. appl.* **5**, 27-42.
- Degiorgi F, Morillas N, Grandmottet JP (2002) Méthode standard d'analyse de la qualité de l'habitat aquatique à l'échelle de la station : l'IAM. CSP, Teleso, Besançon.
- Degiorgi F, Raymond J-C (2000) Guide technique. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante. (ed. Agence de l'eau Csdlp), Lyon.
- Doenz CJ (2012) *Genetic structure in an adaptive radiation of whitefish in a sub-alpine lake*, University of Berne.
- Eawag (2012) Fakten zum Phosphor im Brienersee. Eawag, Dübendorf.
- Finger D, Bossard P, Schmid M, et al. (2007) Effects of alpine hydropower operations on primary production in a downstream lake. *Aquatic Sciences* **69**, 240-256.
- Heuscher J (1901) *Thuner- und Brienersee ihre biologischen und Fischerei-Verhältnisse* E. Zwingli, Pfäffikon.
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* **6**, 21-27.
- Kottelat M, Freyhof J (2007) *Handbook of European freshwater fishes* Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.
- Lundsgaard-Hansen B, Vonlanthen P, Hundson AG, Lucek K, Seehausen O (Submitted to Evolution) Speciation along an environmental gradient in Alpine whitefish. *Evolution*.
- MacLennan D, Fernandes PG, Dalen J (2002) A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Marine Sci.*, 365-369.
- Müller B, Finger D, Sturm M, et al. (2007) Present and past bio-available phosphorus budget in the ultra-oligotrophic Lake Brienz. *Aquatic Sciences* **69**, 227-239.
- Müller R (2003) Populationsdynamische Untersuchungen an den Felchen des Brienersees - Auswertung und Interpretation des vorhandenen Datenmaterials. Eawag, Kastanienbaum.

- Müller R, Bernet D (2011) Die Entwicklung des Brienersees seit 1999: Zustandsanalyse 2010. Limnos, Kastanienbaum.
- Rellstab C, Keller B, Girardclos S, Anselmetti FS, Spaak P (2011) Anthropogenic eutrophication shapes the past and present taxonomic composition of hybridizing *Daphnia* in unproductive lakes. *Limnology and Oceanography* **56**, 292-302.
- Rubin JF, Buttiker B (1992) The spawning grounds of the Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.), in Lake Geneva. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture* **0**, 69-82.
- Schindler O (1939) Die Saiblinge des Königsees. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* **39**, 600-627.
- Skulason S, Snorrason SS, Ota D, Noakes DLG (1993) Genetically Based Differences in Foraging Behavior among Sympatric Morphs of Arctic Charr (Pisces, Salmonidae). *Animal Behaviour* **45**, 1179-1192.
- Vadeboncoeur Y, McIntyre PB, Vander Zanden MJ (2011) Borders of Biodiversity: Life at the Edge of the World's Large Lakes. *Bioscience* **61**, 526-537.
- Vlach P, Dusek J, Svatora M, Moravec P (2005) Fish assemblage structure, habitat and microhabitat preference of five fish species in a small stream. *Folia Zoologica* **54**, 421-431.
- Vonlanthen P, Bittner D, Hudson AG, et al. (2012) Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. *Nature* **482**, 357-362.
- Vonlanthen P, Roy D, Hudson AG, et al. (2009) Divergence along a steep ecological gradient in lake whitefish (*Coregonus* sp.). *Journal of Evolutionary Biology* **22**, 498-514.
- Westgaard JI, Klemetsen A, Knudsen R (2004) Genetic differences between two sympatric morphs of Arctic charr confirmed by microsatellite DNA. *Journal of Fish Biology* **65**, 1185-1191.

8 Anhang

8.1 Übersicht Fänge: CPUE der gefangenen Fische

Tabelle 8-1. Zusammenstellung der Biomasse der gefangenen Individuen für die verschiedenen Fangarten.

Art Latein	Art Umg.	CPUE [Individuals /1000m ²]					CPUE [g/1000m ²]				
		CEN Benthisch	CEN Pelagisch	Elektro	VERT Benthisch	VERT Pelagisch	CEN Benthisch	CEN Pelagisch	Elektro	VERT Benthisch	VERT Pelagisch
<i>Alburnus_alburnus</i>	Laube	18.3	9.0	5.4	66.6	2.1	226	68	2	1094	36
<i>Coregonus_albellus</i>	Brienzig	22.9	17.0	0	0	11.0	527	329	0	0	251
<i>Coregonus_sp</i>	Coregonus s	36.2	67.7	0	0	19.0	807	1035	0	0	428
<i>Coregonus_sp_Balchen</i>	Balchen	1.1	0.0	0	0	0.2	20	0	0	0	46
<i>Coregonus_sp_Felchen</i>	Felchen	1.4	2.5	0	0.9	1.2	30	64	0	11	31
<i>Cottus_gobio</i>	Groppe	1.8	0	6.3	0	0	8	0	7	0	0
<i>Esox_lucius</i>	Hecht	0.4	0	0	0.9	0	295	0	0	277	0
<i>Leuciscus_leuciscus</i>	Hasel	2.9	0	0	12.3	0.2	297	0	0	848	15
<i>Lota_lota</i>	Trüsche	1.4	0	7.2	0.0	0	230	0	339	0	0
<i>Perca_fluviatilis</i>	Egli	58.4	1.0	20.7	78.9	0.5	3066	4	309	5273	57
<i>Phoxinus_phoxinus</i>	Elritze	0.7	0	0.9	0	0	1	0	1	0	0
<i>Rutilus_rutilus</i>	Rotaugen	33.7	0.5	15.3	110.4	1.2	2549	25	6	8853	147
<i>Salmo_trutta</i>	Forelle	0	0	0.9	0.9	0.2	0	0	9	82	95
<i>Salvelinus_umbra</i>	Seesaibling	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	83
<i>Squalius_cephalus</i>	Alet	0	0	0	0.9	0	0	0	0	1127	0
Total		179.2	97.7	56.8	271.7	35.8	8056	1525	673	17564	1189

* Die Aufteilung in die verschiedenen Coregonenarten wurde für einen Teil der gefangenen Individuen genetisch vorgenommen.

8.2 Resultate der Permutationen

Tabelle 8-2. Zusammenstellung der Konfidenzintervallschätzung. Angegeben sind die minimale Anzahl (Min), die mittlere Anzahl (Mittel) die Maximale Anzahl (Max) der geschätzten Fischfänge, die pro Art für den gegebenen Aufwand erwartet werden können, die untere Konfidenzgrenze (5%), der beobachtete Wert (Beobachtet) und die obere Konfidenzgrenze (95%). Der Aufwand für diese Fänge sind die 63 benthischen CEN- und die 12 pelagische CEN Netze.

Art Latein	Art Umg.	Min	Mittel	Max	0.05	Observed	0.95
<i>Coregonus sp.</i>	Coregonus_sp	80	236	488	145	236	340
<i>Perca fluviatilis</i>	Egli	83	165	270	122	165	211
<i>Coregonus albellus</i>	Brienzig	33	98	177	69	98	129
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaugen	39	95	186	64	95	129
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	16	69	232	27	69	123
<i>Coregonus sp. Felchen</i>	Felchen	0	9	21	3	9	15
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Hasel	0	8	33	1	8	17
<i>Cottus gobio</i>	Groppe	0	5	13	2	5	8
<i>Lota lota</i>	Trüsche	0	4	13	1	4	7
<i>Coregonus sp. Balchen</i>	Balchen	0	3	11	1	3	6
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	0	2	12	0	2	6
<i>Esox lucius</i>	Hecht	0	1	6	0	1	3

8.3 Tiefenverteilung der häufigsten Fischarten

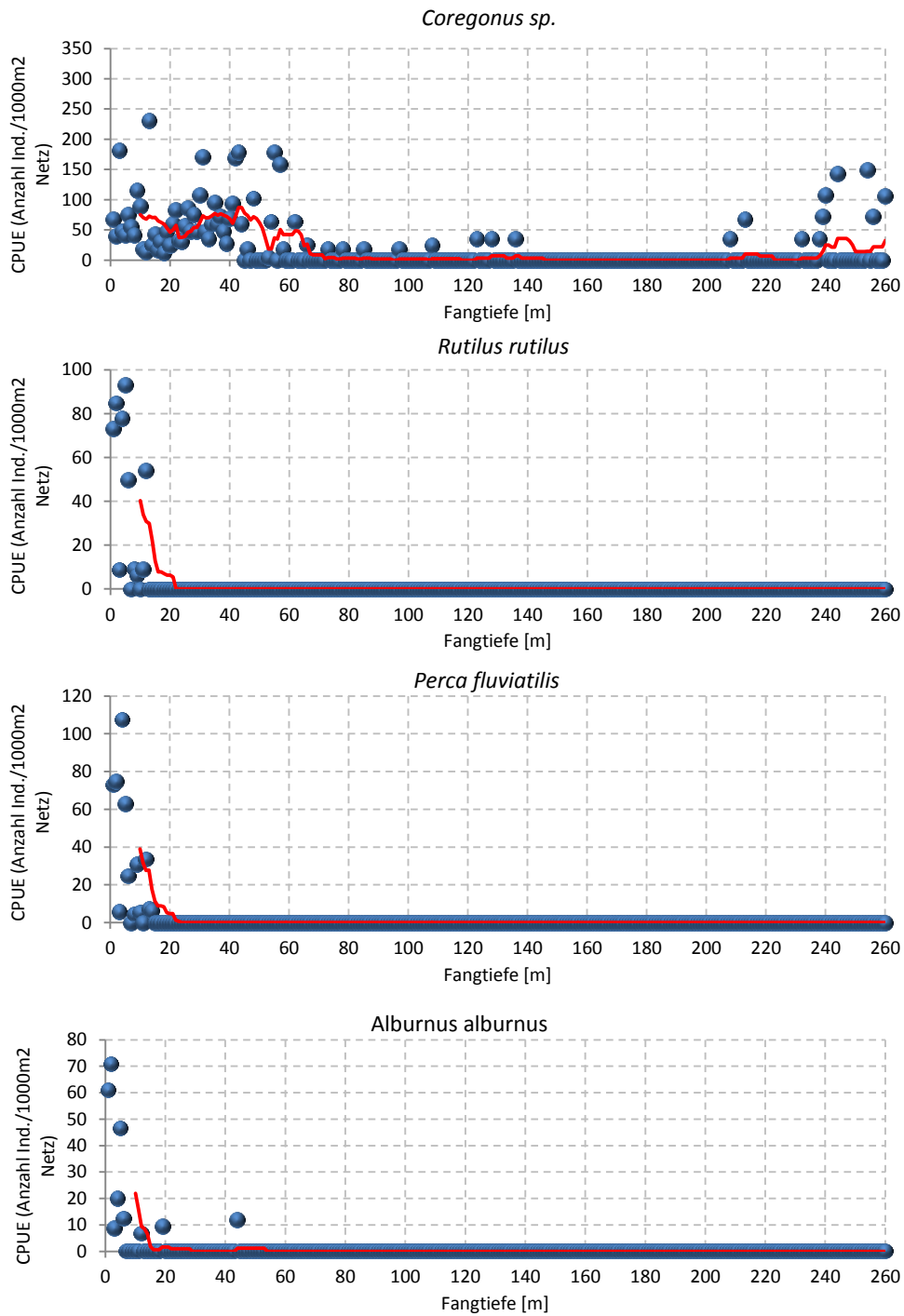


Abbildung 8-1. Die Anzahl der gefangenen Fische korrigiert für die Netzfläche (CPUE). Die rote Linie entspricht einem wandernden Mittelwert von jeweils 10m Tiefe. b) der Befischungsaufwand.

8.4 Geografische Verteilung der häufigsten Fischarten

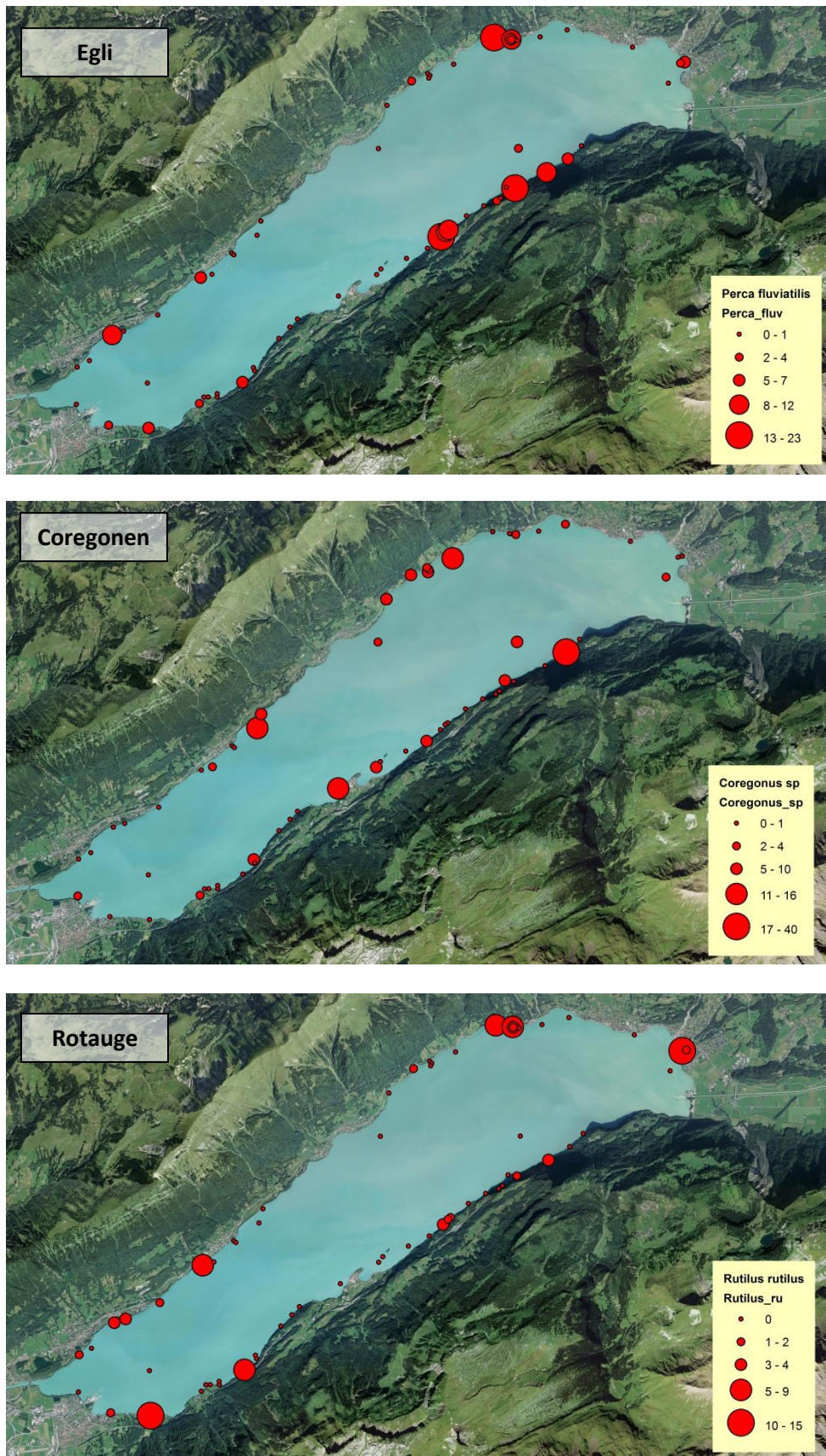


Abbildung 8-2. Fänge (Anzahl Individuen der einzelnen Arten) für die benthischen Netze der CEN Methode (Luftaufnahmen © Swisstopo).