



Monitoring der Felchenfänge der Berufsfischer von Brienersee, Thunersee und Bielersee 1984-2018

Amt für Landschaft und Natur, Fischereinspektorat

Mai 2021



Auftragnehmer	WFN - Wasser Fisch Natur AG Brunnmattstrasse 15 3007 Bern
Bearbeitung	Arthur Kirchhofer Martina Breitenstein Pascal Vonlanthen, Aquabios
Projektkoordination	Andreas Hertig, Fischereiinspektorat
Auftraggeber	Fischereiinspektorat des Kantons Bern Schwand 17 3110 Münsingen
Titelbild	Thunersee © Fischereiinspektorat des Kantons Bern
V1.0	11.8.2020
V2.0	22.2.2021
V2.1	10.4.2021
V2.2 Final	15.5.2021

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	4
2 Kurzporträt der drei grossen Berner Seen	5
3 Die Felchenvielfalt der drei Seen	9
3.1 Einleitung	9
3.2 Artenvielfalt	9
3.2.1 Thuner und Brienersee	9
3.2.2 Bielersee	10
3.3 Bestimmungsschlüssel	11
3.4 Empfehlungen zu methodischen Anpassungen für das Routinemonitoring der Felchenfänge	12
4 Die Felchenfischerei in den drei Seen	13
5 Monitoringprogramm Felchenfänge Berufsfischer	16
5.1 Zielsetzung	16
5.2 Datenerfassung	16
5.3 Statistische Analysen	17
5.4 Virtual Population Analysis	18
6 Resultate Monitoringprogramm	19
6.1 Brienersee	19
6.1.1 Statistische Basisdaten	19
6.1.2 Länge, Gewicht und Kondition	20
6.1.3 Alter und Arten	21
6.1.4 Geschlechtsunterschiede	22
6.1.5 Artunterschiede	23
6.1.6 Jahrgangsstärken	24
6.1.7 Gesamtbetrachtung Brienersee	26

6.2 Thunersee	28
6.2.1 Statistische Basisdaten	28
6.2.2 Länge, Gewicht und Kondition	29
6.2.3 Alter und Arten	30
6.2.4 Geschlechtsunterschiede	31
6.2.5 Artunterschiede	32
6.2.6 Jahrgangsstärken	33
6.2.7 Gesamtbetrachtung Thunersee	34
6.3 Bielersee	36
6.3.1 Statistische Basisdaten	36
6.3.2 Länge, Gewicht und Kondition	37
6.3.3 Alter und Arten	38
6.3.4 Geschlechtsunterschiede	39
6.3.5 Artunterschiede	40
6.3.6 Jahrgangsstärken	41
6.3.7 Gesamtbetrachtung Bielersee	42
6.4 Gesamtbetrachtung aller drei Seen	44
7 Schlussfolgerungen	49
8 Literatur	50

Zusammenfassung

In den drei grossen Berner Seen – Briener-, Thuner- und Bielersee – leben mehrere Felchenarten, die durch die Berufsfischerei intensiv genutzt werden. Die verschiedenen Arten unterscheiden sich in Aussehen, Fortpflanzungsbiologie und Wachstumscharakteristik. Um die gemäss Bundesgesetz über die Fischerei vorgeschriebene nachhaltige Nutzung der Fischbestände und die Erhaltung der Artenvielfalt zu gewährleisten, werden die Felchenfänge der Berufsfischer vom Fischereiinspektorat des Kantons Bern seit 1984 stichprobenweise monatlich untersucht.

Die drei Seen weisen unterschiedliche limnologische Verhältnisse auf. Briener- und Thunersee sind tiefe Voralpenseen mit wenig Nährstoffen und relativ geringer biologischer Produktion. Dank den ganzjährig guten Sauerstoffverhältnissen auch in den tiefen Wasserschichten können sie als typische Felchenseen bezeichnet werden. Der Bielersee dagegen weist – aufgrund des grossen Einzugsgebietes mit dichter Besiedlung und intensiver Landnutzung durch Landwirtschaft und Gewerbe – eine deutlich grössere Nährstoffbelastung auf und die Sauerstoffversorgung von mindestens 4 mg/l in der Tiefe ist nicht ganzjährig sichergestellt. Durch die tiefere Höhenlage ist der Bielersee auch deutlich stärker vom Klimawandel und den gehäuften Hitzesommern betroffen. Der Brienersee kann als ultra-oligotroph, der Thunersee als oligotroph und der Bielersee als mesotroph klassiert werden. Die Nährstoff- und Temperaturverhältnisse, sowie Menge und Zusammensetzung der Algen und des Zooplanktons werden durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern seit den 1990er Jahren monatlich untersucht.

Dank dem technischen Gewässerschutz (Abwasserreinigung) wiesen die Nährstoffe – insbesondere der Phosphatgehalt – seit den Höchstständen in den 1970er Jahren eine stark abnehmende Tendenz auf. Seit ca. 2000 haben sich die Nährstoffgehalte auf tiefem Niveau mehr oder weniger stabilisiert. Die

Zooplanktonbiomasse weist grosse saisonale Schwankungen auf und im Brienersee konnte 1999/2000 mit dem vollständigen Fehlen der Wasserflöhe (Daphnien) ein einmaliges Phänomen beobachtet werden. Da die Daphnien die wichtigste Nahrung für die Felchen darstellen, wirkte sich diese Absenz auf das Wachstum der Felchen katastrophal aus. Die Fänge der Berufsfischerei in diesem See brachen denn auch stark ein und heute ist am Brienersee nur noch ein einziger Berufsfischer teilzeitlich tätig, währenddem vor 35 Jahren fünf Familien vollamtlich von der Fischerei lebten. Seither hat sich sowohl der Daphnienbestand als auch der Felchenfang wieder erhöht. Im Bielersee wurden in den letzten Jahren mehrere früher nicht vorhandene Algenarten und eine neue Zooplanktonart entdeckt. Dies wird als Auswirkung des Klimawandels und der heissen Sommer mit starker Erwärmung der oberen Wasserschichten gedeutet. Allfällige Auswirkungen dieser Veränderungen im Artenspektrum der Futterorganismen auf die Felchenbestände, deren Wachstum und damit auch auf die Berufsfischerei sind noch nicht untersucht.

Neue Erkenntnisse aufgrund detaillierter Analysen des Erbgutes der Felchen der Schweizer Seen (EAWAG) zeigen, dass in Thuner- und Brienersee eine bis anhin nicht bekannte Vielfalt verschiedener Felchenarten lebt: Im Thunersee wurden sechs verschiedene Arten, im Brienersee deren vier und im Bielersee ebenfalls vier Arten identifiziert. Mehrere, vor allem schnellwüchsige Arten werden vom kantonalen Fischereiinspektorat durch Aufzucht- und Besatzmassnahmen gefördert. Von der Berufsfischerei werden sowohl schnell- als auch langsamwüchsige Arten genutzt. Der Ertrag lag in den 1960er bis 1980er Jahren zwischen 8 (Brienersee) und 70 (Thunersee) kg/ha Jahr. Seither hat der Jahresfang im Brienersee markant abgenommen und liegt aktuell unter 1 kg/ha Jahr. Im Thunersee hat er sich relativ stabil zwischen 6 und 10 kg/ha Jahr eingependelt, in den letzten Jahren allerdings

eher abnehmend. Im Bielersee wurde über ca. 20 Jahre ein Jahresfang zwischen 20 und 30 kg/ha Jahr angelandet, in den letzten Jahren ging aber auch hier der Ertrag zurück und lag 2018 nur noch knapp über 10 kg/ha pro Jahr.

Mit dem Routineprogramm der Felchenfänge der Berufsfischer werden monatlich aus jedem See 25 Felchen aus den regulär eingesetzten Netzen untersucht (Länge, Gewicht, Geschlecht, Kiemenreusendornen (KRD) und Altersbestimmung). Länge und Gewicht werden primär durch die eingesetzten Fanggeräte (Netztyp und Maschenweiten) bestimmt. Das Verhältnis von Länge und Gewicht – der Konditionsindex (KI) – erlaubt Rückschlüsse auf den Ernährungszustand und die Gesundheit der Fische. Das Alter der gefangenen Fische wird aus der Analyse der Schuppen ersichtlich und sollte aus biologischen Gründen nicht unter 3 Jahren liegen, damit die Fortpflanzung und damit die natürliche Bestandeserhaltung nicht gefährdet sind. Aus ökonomischen Gründen sollten die Fische aber auch nicht viel länger als 5 Jahre im See verbleiben, damit der Biomassezuwachs der Gesamtpopulation das Optimum nicht überschreitet. Die Altersstruktur der Fänge in Kombination mit der Fangstatistik erlaubt auch eine Schätzung der minimalen Jahrgangsstärken. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieses 35-jährigen Monitoringprogramms zusammen und liefert detaillierte statistische Analysen dieses umfangreichen Datensatzes.

Im **Brienzersee** sind die Felchenfänge in den 35 Jahren des Monitorings um über 90 % auf weniger als 2 Tonnen eingebrochen. In dieser Zeit wurde die Netzmaschenweite mehrmals auf zuletzt 24 – 30 mm für Schweb- und 30 mm bzw. 20 mm für Grundnetze reduziert, um auf das aufgrund der Reoligotrophierung stark abnehmende Wachstum zu reagieren. Insbesondere der Brienzzlig, der noch in den 1980er Jahren bis über 80 % des Fangs ausmachte, ist kaum mehr zu fangen. Wenn er gefangen wird, ist zudem der Arbeitsaufwand zur Verarbeitung

dieser kleinen Fischchen zu gross, um noch eine kostendeckende Fischerei zu ermöglichen. Die Durchschnittswerte von Länge und Gewicht haben bis ca. 2011 markant abgenommen, seither steigen sie wieder an, da fast nur noch die schnellwüchsigen Felchen gefangen werden. Dies ist eine Folge der veränderten Befischungsintensität. Auch der Konditionsindex ist vom Tiefpunkt von ca. 0.6 im Jahr 2000 wieder auf annähernd «normale» 0.75 angestiegen. Das Durchschnittsalter lag zu Beginn des Monitorings unter dem angestrebten Zielband von 3 – 5 Jahren, hat die Untergrenze jedoch 1986 überschritten und seither liegt das Durchschnittsalter in den allermeisten Jahren innerhalb des Zielbandes. Währenddem das Alter der schnellwüchsigen Felchen beim Fang zunimmt, nimmt das Alter der langsamwüchsigen Brienzzlig dagegen ab. In Ausnahmejahren erreichten die Jahrgangsstärken Werte von 200'000 (1993) oder sogar 330'000 (1982) Fischen. Seit der Jahrgang 1995 befishet wird, liegen die Werte jedoch zwischen 50'000 und 100'000 Fischen. Die Zahlen für die letzten 10 Jahre sind nur beschränkt aussagekräftig, da aufgrund der geringen Befischungsintensität die einzelnen Jahrgänge nicht mehr vollständig ausgefishet werden. Eine Anpassung der Fischereivorschriften scheint im Moment nicht notwendig.

Am **Thunersee** ist der Felchenfang über die 35 Jahre des Monitorings recht stabil geblieben und jährlich werden rund 20 bis 40 Tonnen Felchen gefangen, mit einzelnen Ausnahmejahren mit bis zu 60 Tonnen. Länge und Gewicht haben auch im Thunersee abgenommen, seit ca. 2000 sind die Durchschnittswerte jedoch recht stabil. Dasselbe Bild zeigt sich beim Konditionsindex der 1986 stark gegen oben ausschlug und 1996 und 2007 Tiefstwerte von 0.8 erreichte. In allen anderen Jahren lag der KI um 0.9, was einem «normalen» Wert für diese Fischarten entspricht. Das Durchschnittsalter und die Anzahl KRD zeigen deutliche zyklische Schwankungen innerhalb von 5 bis

7 Jahren. Dies dürfte mit dem unterschiedlichen Anteil schnell- und langsamwüchsiger Felchen im Fang zusammenhängen, da die schnellwüchsigen Albock und Balchen relativ wenig Kiemenreusendornen haben und in einem eher jungen Alter gefangen werden. Die langsamwüchsigen Brienzlig und Kropfer dagegen haben viele KRK und werden aufgrund der Wachstumscharakteristik etwas älter gefangen. Das Durchschnittsalter beim Fang lag – mit wenigen Ausnahmen – während der gesamten Monitoringperiode innerhalb des Zielbandes von 3 – 5 Jahren. Die Jahrgangsstärken lagen meistens zwischen 100'000 und 140'000 Fischen, mit einzelnen Ausschlägen bis über 250'000 (1982). Die seit 2013 abnehmende Tendenz ist darauf zurückzuführen, dass die letzten Jahrgänge noch nicht vollständig rekrutiert waren. Die Veränderungen in Länge und Durchschnittsalter wurden zur Ertragsstabilisierung mittels leichten, teilweise jahreszeitlich variablen Vorschriften zur Maschenweite aufgefangen.

Der **Bielensee** ist der produktivste der drei Seen und entsprechend sind hier die Felchenfänge mit 60 bis 100 Tonnen pro Jahr am grössten. Allerdings ist seit 2012 eine Abnahme auf rund 40 bis 50 Tonnen zu beobachten. Dies dürfte eine Folge der zunehmenden Reoligotrophierung (Reduktion der Nährstoffzufuhr) sein. Parallel dazu wird über die gesamte Monitoringperiode eine Abnahme der Durchschnittslängen und des mittleren Gewichtes beobachtet, obschon bis 2008 die Netzmaschenweiten nicht geändert wurden. Seither wurden sie in mehreren Schritten reduziert. Der Konditionsindex war über lange Zeit recht stabil zwischen 0.8 und 0.85, in den letzten zehn Jahren ist dieser Wert allerdings auf 0.75 bis 0.8 abgesunken. Auch dies ist ein Indiz dafür, dass die Felchen aufgrund des geringeren Nahrungsangebotes schlanker gefangen werden. Das Durchschnittsalter beim Fang ist in den 35 Jahren des Monitorings von 2.5 auf 4 Jahre angestiegen und liegt nun stabil innerhalb der

gewünschten Bandbreite. Mehrheitlich besteht der Fang aus den langsamwüchsigen Bondelles und die schnellwüchsigen Palées sind nur zu einem geringen Prozentsatz im Fang vertreten. Die Jahrgangsstärken liegen in der Regel bei 200'000 bis 400'000 Fischen, in einzelnen Jahren treten jedoch «starke» Jahrgänge mit bis zu 600'000 Tieren auf. Angesichts der abnehmenden Indikatoren Länge, Gewicht und Konditionsindex scheint eine Reduktion der Netzmaschenweiten angezeigt zu sein.

Das Monitoring der Felchenfänge der Berufsfischerei bedeutet für das Fischereinspektorat des Kantons Bern einen beträchtlichen Arbeitsaufwand. Dieser ist jedoch angesichts des gesetzlichen Auftrages zur Sicherstellung der nachhaltigen Nutzung der Fischbestände und der Artenvielfalt durchaus gerechtfertigt. Dank diesem Monitoring konnten verschiedene Spezialsituationen erkannt und mit zusätzlichen Untersuchungen abgeklärt werden, z.B. die Gonadenveränderungen der Thunerseefelchen. Zudem erlauben diese Daten eine zeitnahe Anpassung der Fischereivorschriften bei sich ändernden Umweltbedingungen. Gerade in den letzten Jahren werden Veränderungen im Fangertrag, bei der Länge und Korpulenz der Bielerseefelchen offensichtlich. Diese Beobachtungen lassen sich mit den langen Datenreihen des Monitorings sehr gut überprüfen.

Die genetischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die bisher verwendete Anzahl Kiemenreusendornen die Artunterscheidung der Felchen zu wenig genügend determiniert und zudem möglicherweise relativ schnellen evolutiven Veränderungen unterliegt. Daher wird empfohlen, das Routinemonitoring mit stichprobeweisen Genanalysen und morphometrischen Messungen zu ergänzen, um die offenen Fragen zur Häufigkeit und fischereilichen Bedeutung der einzelnen Arten etwas genauer zu beleuchten.

1 Einleitung

Um die gemäss Bundesgesetz über die Fischerei (BGF Art. 1) vorgeschriebene nachhaltige Bewirtschaftung der Fischbestände sicherzustellen, werden verschiedene Monitoringmethoden angewandt. In den 1970er Jahren wurden von der Berufsfischerei im Thunersee schier unmöglich scheinende Fangerträge von rund 65 kg/ha erzielt. Eine darauffolgende Untersuchung ergab, dass die Fische deutlich schneller wuchsen als früher und daher viel zu jung gefangen wurden (KIRCHHOFER & TSCHUMI 1984). Daraufhin beschloss das Fischereiinspektorat des Kantons Bern, die Felchenfänge der Berufsfischerei auf den drei Berner Seen - Bielersee, Thunersee und Brienersee – mit einem regelmässigen Monitoring zu überwachen, so dass in Zukunft ungünstige Entwicklungen frühzeitig erkannt und Gegenmassnahmen getroffen werden können. Seit 1984 werden nun die Felchenfänge der Berufsfischerei aller drei Seen monatlich beprobt. Die Resultate dieses Überwachungsprogramms werden jährlich statistisch ausgewertet und nach Seen, Altersklassen und Formen tabellarisch zusammengefasst. Diese Analysen bilden die Grundlage zur Festlegung der Fischereivorschriften – insbesondere der Netzmaschenweiten - und als Basis für eine Erfolgskontrolle von Anpassungen der Vorschriften.

Nach 10 Jahren (KIRCHHOFER 1995) und nach 20 Jahren (KIRCHHOFER & BREITENSTEIN 2004) wurden die Daten dieses Monitorings auf langfristige Trends hin untersucht. Nachdem dieses Monitoring nun seit 35 Jahren durchgeführt wurde, beauftragte das Fischereiinspektorat des Kantons Bern WFN – Wasser Fisch Natur AG, Bern, diese Langzeitanalyse erneut durchzuführen, um eventuelle Trends zu erkennen und gegebenenfalls entsprechende Anpassungen der Fischereivorschriften vorzuschlagen.

Die Felchen (*Coregonus sp*) sind wohl eine der Tiergattungen mit der grössten Plastizität und Variabilität in Morphologie, Ethologie und Reproduktionsbiologie. Von einem namhaften US-amerikanischen Biologen wurden sie denn auch schon als «Chamäleons» bezeichnet (LINDSEY 1981, 1988). Nicht zuletzt aufgrund ihrer kommerziellen Bedeutung als «Brotfisch» für die kommerzielle Süsswasser-Fischerei der gesamten Holarktis werden sie seit bald 150 Jahren intensiv erforscht. Dabei ergeben sich immer wieder neue Erkenntnisse über die sympatrischen (im gemeinsamen Lebensraum eigenständig nebeneinander lebenden) Populationen in vielen Seen und deren Entwicklung in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Ressourcen (HUDSON et al. 2007; SELZ et al. 2019). Heute können die Felchen als Paradebeispiel für die vor unseren Augen ablaufende Evolution und Aufspaltung in viele Arten betrachtet werden. Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche Arten, Unterarten, Ökotypen, Formen oder Populationen beschrieben und voneinander abgegrenzt. Seit den 1980er Jahren hat die fischereibiologische Forschung immense Fortschritte gemacht und inzwischen erlauben umfangreiche genetische Untersuchungen die Verwandtschaftsverhältnisse und Eigenständigkeiten der Felchen in den Schweizer Seen neu zu bewerten und einzuordnen. Auf diese Untersuchungen wird in einem zusammenfassenden Kapitel über die Felchen der drei Berner Seen kurz eingegangen. Dieses Kapitel wurde gemeinsam mit Pascal Vonlanthen, AQUABIOS, Cordast, verfasst.

2 Kurzporträt der drei grossen Berner Seen

Alle drei grossen Seen im Kanton Bern werden von der Aare durchflossen. Die beiden obersten, im voralpinen Raum liegenden Brienersee und Thunersee sind tiefe, kühle Trogseen mit kleinem Litoral und können aufgrund ihrer Morphologie, Nährstoff- und Sauerstoffverhältnisse als typische Felchenseen bezeichnet werden. Der rund 130 Höhenmeter tiefer im Mittelland liegende Bielersee weist dagegen eine geringere Tiefe und grosse Litoralzonen auf,

die rund 30% der Seefläche einnehmen, und wäre am ehesten als tiefer Brachmensee zu bezeichnen. Entsprechend der zunehmenden Besiedlungsdichte und Intensität der landwirtschaftlichen und industriell/gewerblichen Landnutzung vom alpinen Raum ins Mittelland ist eine Zunahme der Nährstoffe mit abnehmender Meereshöhe zu beobachten. Die wichtigsten Kennzahlen sind in Tabelle 1 zusammengefasst, die geografische Lage ist in Abbildung 1 dargestellt.

Tabelle 1: Morphologische, hydrologische und limnologische Kennzahlen der drei grossen Berner Seen.

	Brienersee	Thunersee	Bielersee
Mittlere Meereshöhe und Seespiegelschwankungen	564 ± 1.4	558 ± 0.95	429 ± 0.8
Oberfläche [ha]	2'966	4'830	3'930
Mittlere Tiefe [m]	174	135	28.5
Maximaltiefe [m]	259	217	74
Volumen [Mio m ³]	5'160	6'500	1'240
Theor. Wassererneuerungszeit [Tage]	973	684	59
Einzugsgebiet [km ²]	1'140	2'490	8'305
Mittlerer Abfluss bis 2016 (Min. - Max) [m ³ /s]	61.8 (52.9-72.1)	111 (80.7-141)	243 (150-311)
Mittlere Abflusstemperatur bis 2017	9.8	10.8	11.7
Minimaler Sauerstoffgehalt an der tiefsten Stelle [mg/l]	>8	>4	0-1
Produktionsverhältnisse	ultra-oligotroph	oligotroph	mesotroph

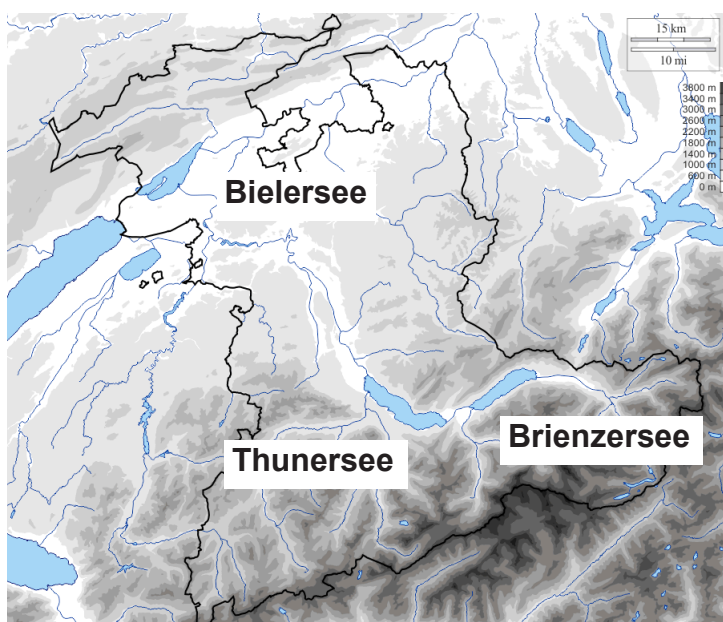


Abbildung 1: Geografische Lage der drei grossen Seen im Kanton Bern (© d-maps.com).

Dank des technischen Gewässerschutzes und der gesetzlichen Vorgaben konnte der Nährstoffgehalt in den letzten 35 Jahren in allen Seen deutlich gesenkt werden und entsprechend hat sich deren Trophiegrad verändert. Vor allem im Bielersee hat der produktionsbestimmende Gehalt an Gesamtphosphor in dieser Zeit von über 130 µg/l P-Tot um rund 90% auf ca. 15 µg/l P-Tot abgenommen (Abbildung 2). In Briener- und Thunersee war die Abnahme weniger stark, aber heute liegen die Werte für den pflanzenverfügbaren Nährstoff PO₄ nahe oder unter der Nachweisgrenze (1 µg/l PO₄-P) und der Gehalt an Gesamtphosphor liegt im Bereich von 2 – 5 µg/l P-Tot. Seit dem Beginn des neuen Jahrtausends hat sich der Rückgang der Nährstoffe in allen drei Seen ziemlich stabilisiert.

Wie ausführliche wissenschaftliche Untersuchungen verschiedenster Fachrichtungen im Rahmen des Projektes «Brienzersee» zeigten, hatte dieser starke Rückgang der Nährstoffe in diesem bereits vorher oligotrophen See dramatische Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem und dessen Nahrungsnetz (KIRCHHOFER et al. 2006; WÜEST et al. 2007). Dabei zeigte sich, dass das Wachstum der Felchen direkt durch die Dichte der Nährtiere (Zooplankton) bestimmt wird und diese wiederum durch die Biomasse der Algen (Phytoplankton), die direkt vom Nährstoffgehalt abhängig ist. Damit konnte gezeigt werden, dass der Felchenbestand «bottom up» (von unten nach oben) gesteuert wird.

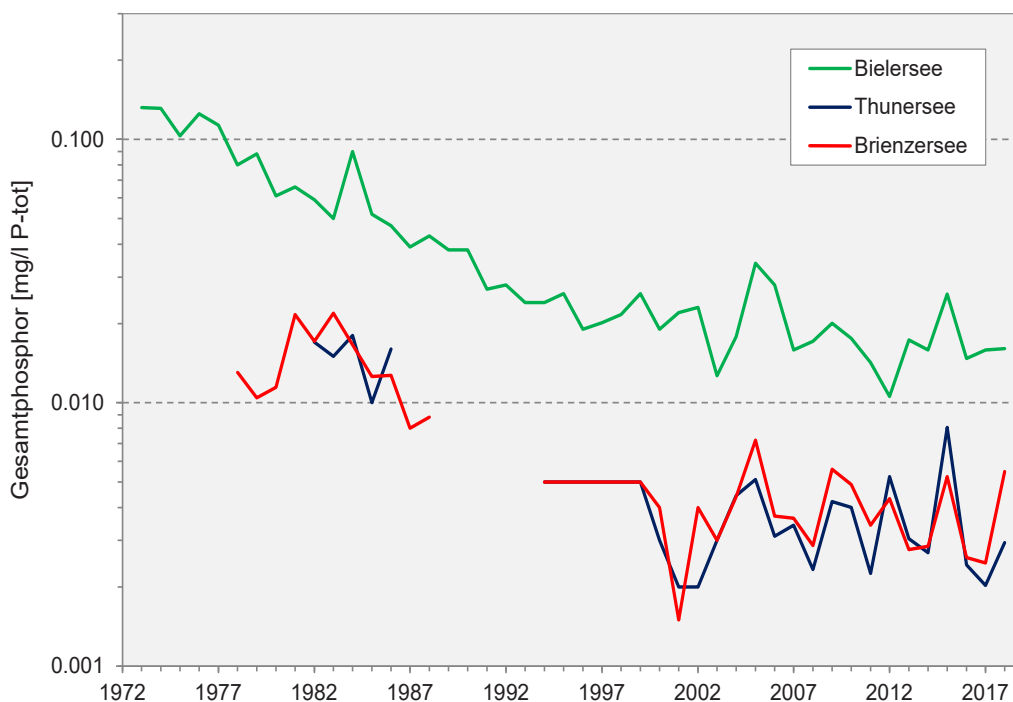


Abbildung 2: Gesamtphosphorkonzentration an der tiefsten Stelle während der Zirkulationsperiode in den drei grossen Berner Seen (Daten:-Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern).

Die Daten des seit 1994 in allen drei Seen monatlich erhobenen Monitorings der Wasserqualität durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor (Amt für Wasser und Abfall AWA) des Kantons Bern zeigen, dass die Biomasse des Zooplanktons – der wichtigsten Futterorganismen der Felchen – nicht so stark abgenommen hat wie die Nährstoffe und z.B. 2011/12 im Bielersee sogar höher war als 1996/97 (Abbildung 3).

Diese Monitoringdaten zeigen allerdings auch, dass sich in den letzten 20 Jahren neben der Menge auch die Zusammensetzung des Zooplanktons (und des Phytoplanktons) verändert hat. So wird z.B. das Verschwinden und «Wiederauftauchen» der für den Felchenbestand zentralen Wasserflöhe (*Daphnia* sp.) in einzelnen Jahren im Brienersee aufgezeigt. Ausführlich untersucht wurden die Auswirkungen der fehlenden Daphnien auf die Brienerseefelchen. In einem grossen interdisziplinären Forschungsprojekt konnte gezeigt werden, dass der Felchenbestand und das Wachstum

der Felchen «bottom up» reguliert werden, d.h. dass der Nährstoffgehalt die Menge und Zusammensetzung des Phytoplanktons, dieses die Biomasse des Zooplanktons und dies wiederum den Felchenbestand direkt beeinflussen und steuern (MÜLLER et al. 2007; WÜEST et al. 2007).

Im Bielersee wird seit 2006 eine neue Zooplanktonart (*Thermocyclops crassus*) nachgewiesen (GUTHRUF et al. 2019). Die Einwanderung dieser wärmeliebenden Art dürfte mit dem Klimawandel und der zunehmenden Häufigkeit von Hitzesommern in Verbindung stehen. Weiter haben viele Arten und Artengruppen, insbesondere solche, die eutrophe Gewässer bevorzugen, stark abgenommen. Kompensiert wurde dies durch eine starke Zunahme von *Eudiaptomus gracilis*. Wie sich diese Veränderungen des Artengefüges in der Zooplanktongemeinschaft und das Auftreten neuer Arten auf die Felchenbestände auswirken werden, ist bis anhin nicht klar. Hier besteht ein grosser Forschungsbedarf.

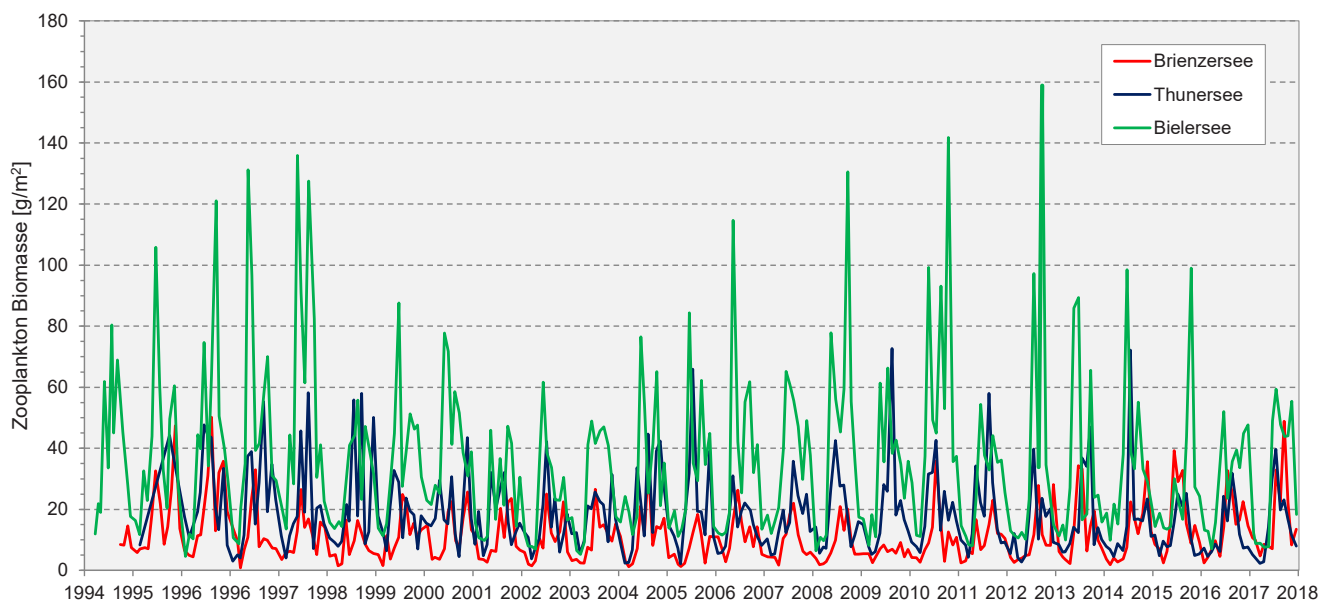


Abbildung 3: Zooplanktonbiomasse monatlicher Stichproben in den drei Seen. Im Bielersee in der Wassersäule von 0 - 70 m Tiefe, im Thuner- und Brienersee von 0 - 100 m Wassertiefe (Daten: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern).

Wird die Biomasse des Phytoplanktons zu derjenigen des Zooplanktons in Relation gesetzt, zeigt sich in allen drei Seen ein Zusammenhang, der jedoch recht schwach ausgeprägt ist (Abbildung 4).

Wird für diese zwei Parameter eine Korrelationsanalyse durchgeführt, zeigt sich auch dafür ein recht schwacher Zusammenhang, der jedoch vom Bielersee zum Brienersee deutlich zunimmt:

- Bielersee: $R^2 = 0.208$
- Thunersee: $R^2 = 0.319$
- Brienersee: $R^2 = 0.417$

Damit können 21 bis 42 % der Variabilität der Zooplanktonbiomassen mit der Variabilität der Phytoplanktonbiomassen erklärt werden. Bei der Biomasse von Phyto- und Zooplankton spielen jedoch nicht nur Nährstoffe eine Rolle, sondern auch Temperatur und andere Einflüsse. So konnten in den letzten 20 Jahren – vor allem im Bielersee – neue Algen- und Zooplanktonarten festgestellt werden, die sich wahrscheinlich als Folge des Klimawandels angesiedelt haben (GUTHRUF et al. 2019).

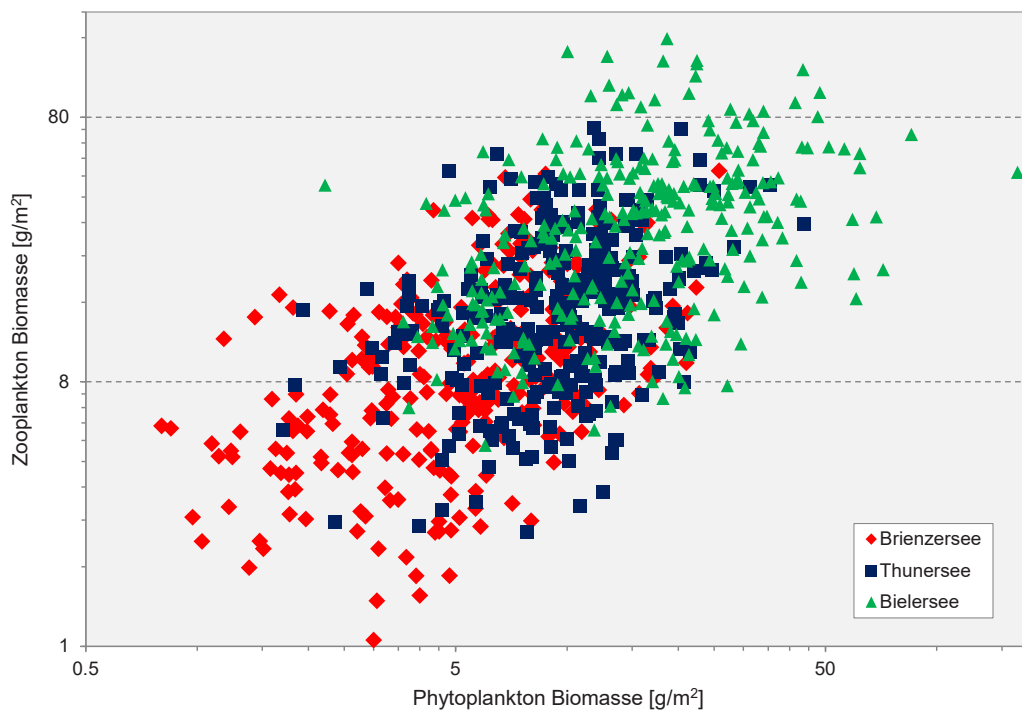


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Zooplankton- und Phytoplanktonbiomasse der drei Berner Seen (Daten: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern).

3 Die Felchenvielfalt der drei Seen

Autoren: Pascal Vonlanthen, Thomas Kreienbühl, Oliver Selz

3.1 Einleitung

Das System der beiden im Berner Oberland gelegenen Seen weist eine sehr hohe Felchenvielfalt auf. Kein Schweizer See oder Seensystem beherbergt mehr Felchenarten als das System Briener- und Thunersee. Insgesamt wurden bis heute sieben Felchenarten identifiziert. Das ist im weltweiten Vergleich zwar kein Rekord. In Russland kommen teilweise mehr als zehn Felchenarten im gleichen See vor. Dennoch zeugt die Vielfalt vom ursprünglichen und gut erhaltenen Charakter der Biodiversität in den beiden Seen. Gleichzeitig ist sie ein einzigartiges Zeugnis der sympatrischen Artenbildung bei Fischen. Der Bielersee seinerseits beherbergt vier Felchenarten, wovon zwei vermutlich nach dem Bau des Hagneckkanals aus dem Thunersee eingewandert sind.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Arten kann dem Fachbericht der EAWAG entnommen werden, der 2021 publiziert werden soll. Im vorliegenden Kapitel werden lediglich die wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Bericht, die für die Bewirtschaftung relevant sind, zusammengefasst. Darunter fällt insbesondere die Anzahl bekannter Felchenarten und die methodischen Möglichkeiten, diese zu bestimmen.

3.2 Artenvielfalt

3.2.1 Thuner und Brienersee

Fatio beschreibt für den Thuner- und Brienersee 1885 ursprünglich zwei Arten, *C. balleus schinzii alpinus* (Balchen) und *C. dispersus crassirostris nobilis* (FATIO 1885). Die zweitgenannte Art teilt er damals jedoch schon in zwei Varietäten auf, den Albock und das Kropflein resp. Brienzling. Fünf Jahre später ordnet er diesen Varietäten dann eine eigene Art zu, *C. wartmanni alpinus* und *C. exiguus albellus* (FATIO, 1890). STEINMANN (1950) baute auf der Taxonomie von Fatio auf, revidierte und verfeinerte diese. Er beschreibt zwar nur noch eine Felchenart (*C. laveratus* L. nat. *arurensis*). Diese teilt er jedoch in verschiedene Ökotypen ein. Am Thunersee beschreibt Steinmann fünf und am Brienersee zwei Ökotypen. Aufbauend auf dem biologischen Artkonzept überarbeitete (KOTTELAT 1997) die Felchentaxonomie erneut. Dabei beschrieb er für die beiden Seen je drei Arten. Am Thunersee differenziert Kottelat zwischen Albock, Kropfer und Brienzling. Den Balchen beschrieb Kottelat nicht als eigenständige Art. Für den Brienersee unterscheidet Kottelat zwischen Herbst- und Sommerbrienzling sowie Albock. Den Balchen beschrieb Kottelat auch hier nicht als eigenständige Art.

Anhand von genetischen Methoden und einer Vielzahl von beprobten Fischen wurde die Taxonomie der Felchen des Thuner- und Brienersee zwischen 2011 und 2020 weiter aufgeschlüsselt (HUDSON et al. 2011, VONLANTHEN et al. 2012, DOENZ et al. 2018, SELZ et al. 2020). Im Unterschied zu Kottelat und Steinmann wurde der von Fatio beschriebene Balchen gefunden. Der Balchen wurde in darauf aufbauenden Studien aufgrund von genetischen, morphologischen und ökologischen Unterschieden sogar in zwei Arten unterteilt (*C. alpinus* und *C. steinmanni*). Insgesamt liegt **die heute nachweisbare Felchenartenvielfalt am Thunersee bei sechs Arten.**

Am Brienersee werden heute vier Arten unterschieden. Auch hier kann der Balchen in zwei Arten aufgespalten werden. Jedoch ergaben neuste und noch nicht publizierte, hochauflösende genetische Untersuchungen, dass sich *C. steinmanni* und *C. sp. aff. steinmanni* von den beiden Seen genetisch unterscheiden. Die These von Kottelat, nach der es sich beim Winter- und Herbstbrienzig um zwei Arten handelt, konnte bisher nicht bestätigt werden. **Im System Thuner- und Brienersee können heute insgesamt sieben Arten unterschieden werden.** Die Bezeichnung *alpinus* wurde, den Regeln der Taxonomie folgend, wieder der ursprünglich mit den entsprechenden Eigenschaften beschriebenen Art zugewiesen (Balchen).

3.2.2 Bielersee

Fatio beschreibt 1890 am Bielersee zwei Felchenarten, die hybridisierten. *C. schinzii palea* (ugs. Palée, Palchen, 22-28 KRD) und *C. exiguus bondella* (ugs. Bondelle, Pfärrit, 34-39 KRD). Den Hybriden aus den beiden beschriebenen Arten bezeichnet Fatio als «confusus»-Form. Trotz Durchsicht der Originalsammlung von Fatio fällt es STEINMANN (1950) schwer, die Arteneinteilung von Fatio

nachzuvollziehen. Allerdings findet Steinmann die als «confusus» bezeichneten alten Stücke aus der Sammlung von Fatio und erkennt in ihnen ebenfalls die Übergangsformen, die Fatio beschrieb. Eine weitere bemerkenswerte Äusserung Steinmanns ist der Fang von zwei Felchen aus dem Jahr 1942, die er - würden sie aus dem Thunersee stammen - ohne mit der Wimper zu zucken dem «Brienzig» zugeordnet hätte (je 39 und 40 KRD). Die Bielerseefelchen teilt Steinmann in zwei seiner Ökotypen ein. Einerseits erkannte Steinmann ein Grossfelchen, das Neuenburger Palée (*C. lavaretus L. nat. jurassica, oekot. primigenius*), mit Laichzeit zwischen Mitte und Ende Dezember (19-32 KRD). Andererseits das Bondelle (*C. lavaretus L. nat. jurassica, oekot. nasus*), etwas früher laichend und mit Tendenz zu Zwergwüchsigkeit (26-35 KRD). Unter Einbezug neuer genetischer Daten (DOUGLAS et al. 1999) revidieren KOTTELAT UND FREYHOF (2007) die Felchentaxonomie vom Bielersee und bezeichnen nun das Bieler Bondelle als *C. confusus* (KRD 33-38). Als zweite Felchenart beschreibt Kottelat (1997) das Palée (*C. palaea*) für den Bielersee (KRD 22-32).

Tabelle 2: Artenvielfalt der Felchen der drei grossen Berner Seen (Anzahl KRD nach Selz et al. 2020, * nach vorl. Bericht).

Lateinisch	Umgangssprachlich	Vorkommen	KRD (Min-Max)
<i>Coregonus alpinus</i>	Balchen	Thunersee, Brienersee	25-34
<i>Coregonus steinmanni</i>	Steinmannsbalchen	Thunersee	30-35
<i>Coregonus acrinus</i>	Albock	Thunersee	30-40
<i>Coregonus fatioi</i>	Felchen/Wanderalbock	Thunersee, Brienersee	32-34
<i>Coregonus profundus</i>	Kropfer	Thunersee, Bielersee	15-27
<i>Coregonus albellus</i>	Brienzig	Thunersee, Brienersee, Bielersee	32-44
<i>Coregonus brienzi</i>	Briener Kleinbalchen	Brienersee	32-39
<i>Coregonus confusus</i>	Pfärrit/Bondelle	Bielersee	21-30 *
<i>Coregonus palaea</i>	Palée	Bielersee	30-43 *

Auch im Bielersee werden heute vier Felchenarten gezählt. Grundsätzlich ist es zwar bei den Artbeschreibungen von KOTTELAT UND FREYHOF (2007) geblieben. Jedoch haben inzwischen genetische Analysen den Brienzlig (*C. albellus*) und den Kropfer (*C. fatioides*) im Bielersee nachgewiesen (Bittner, 2009, Doenz et al., 2018, Selz et al., 2020). Vor allem beim Brienzlig ist davon auszugehen, dass es sich

um eine stabile Population handelt. Die Fische wanderten offenbar über die Aare, die im Jahr 1887 über den Hagneckkanal in den Bielersee geleitet wurde, ein. Interessant ist, dass bereits Steinmann den Brienzlig erwähnt, sich aber offenbar noch nicht vorstellen konnte, dass der Brienzlig natürlicherweise einwanderte. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass der Brienzlig schon 1942 im Bielersee präsent war.

3.3 Bestimmungsschlüssel

Die Bestimmung der einzelnen Felchenarten der drei Seen ist mit dem Beschrieb bzw. dem Nachweis von neuen Arten nicht einfacher geworden, im Gegenteil. Für die Bewirtschaftung und insbesondere für das Monitoring ist jedoch entscheidend, dass die einzelnen Arten erkannt werden können. Die Bestimmungsschlüssel für die einzelnen Arten sind im Rahmen einer Publikation des BAFU zu den Felchen in der Schweiz in Erarbeitung. Sie werden ab dem Zeitpunkt des Erscheinens dieser Publikation zur Verfügung stehen.

3.4 Empfehlungen zu methodischen Anpassungen für das Routinemonitoring der Felchenfänge

Gemäss den aktuellen Kenntnissen der Taxonomie und den Methoden der Artbestimmung, wird im Rahmen des Routinemonitorings eine Zuordnung eines Fisches zu einer Art oft nicht möglich sein. Der Wissensstand zur morphometrischen Differenzierung zeigt, dass ein Erkennen der Arten anhand der Kiemenreusendornen und des Wachstums nicht ausreicht, um Fische eindeutig einer Art zuzuordnen. Im Thunersee kann heute nur noch der Kropfer sicher anhand der KR-D separiert und identifiziert werden. Im Brienersee geht das nur noch mit dem Balchen. Es hat in den letzten Jahrzehnten offensichtlich eine Annäherung der KR-D-Zahlen gegeben. Palée und Bondelle sollten auch im Bielersee anhand Ihrer Morphologie bestimmt werden können. Die anderen Felchenarten können mit morphometrischen Merkmalen nicht in jedem Fall bestimmt werden. Bei Individuen mit eindeutigen Merkmalen, wie für den Thunersee im Schlüssel von SELZ et al. (2020) dargelegt, kann eine Zuordnung möglich sein. Der neue Bestimmungsschlüssel ist in der Praxis jedoch noch nicht erprobt worden.

Es ist absehbar, dass mit einfachen Aufnahmen im Feld, ergänzt durch morphometrische Messungen nach heutigem Wissensstand und auch in Zukunft eine eindeutige Artzuweisung einzelner Individuen oft nicht möglich sein wird. Damit wird es schwierig, alle Ziele des Routinemonitorings zu erfüllen. Dies betrifft vor allem Punkt 3 «Veränderung der Populationsstruktur; Hinweise auf eine starke Populationsabnahme einer bestimmten Art».

Wir empfehlen daher für die Arterkennung im Rahmen des Routinemonitorings folgendes Vorgehen:

Schritt 1: Bei zukünftigen Probenahmen im Rahmen des Routinemonitorings soll ein Teil der während eines Jahres untersuchten Felchen zusätzlich anhand der neuen Bestimmungskriterien untersucht werden (alle jeweils «im Feld», morphometrisch und genetisch). Dazu müssten ganze Fische entnommen und tiefgefroren werden. So stehen die Fische für die morphometrischen und genetischen Untersuchungen zur Verfügung. Standardisierte Fotos sind dann am sinnvollsten, wenn sie sofort nach dem Fang gemacht werden (Farbgebung). Die anschliessend daraus erlangte Artzuweisung soll mit dem bisherigen Vorgehen verglichen werden.

Schritt 2: Anhand der Ergebnisse aus Schritt 1 kann die Eignung der verschiedenen Ebenen der Bestimmung («im Feld», morphometrisch, genetisch) geklärt und ihre Grenzen aufgezeigt werden. Weiter ist es möglich, das bisherige Vorgehen beim Routinemonitoring zu überprüfen und zu optimieren. Damit kann ein sinnvolles, realistisches und zukunftsweisendes Vorgehen erarbeitet werden.

Da der Thuner- und der Brienersee zusammen eine schweizweit einmalige Felchenartenvielfalt aufweisen, wäre ein solches Vorgehen sinnvoll und auch gerechtfertigt. Ohne diesen Versuch ist es anhand des bisher vorliegenden Wissens nicht möglich, ein optimales Vorgehen für die zukünftige Artbestimmung im Rahmen des Routinemonitorings zu empfehlen.

4 Die Felchenfischerei in den drei Seen

In den meisten grösseren Seen der Schweiz sind die Felchen die wichtigsten Arten für die Berufsfischerei, so auch in den drei Berner Seen. Im Kanton Bern wurde 1931 für die Berufsfischerei die Pflicht eingeführt, die Fänge nach Arten, Anzahl und Gewicht in der Fangstatistik zu erfassen. Mit dieser langen Zeitreihe kann die kontinuierliche Weiterentwicklung der Berufsfischerei nachvollzogen werden (Abbildung 5).

Daraus ersichtlich wird die kriegsbedingte Ertragszunahme in den vierziger Jahren (intensivere Fischerei), der technische Fortschritt in den fünfziger Jahren (Motor- an Stelle der Ruderboote, Kunststoff- anstelle der Baumwollnetze) und die eutrophierungsbedingten Ertragssteigerungen in den 1960er und 1970er Jahren. Für den Bielersee lagen zwischen den 1980er Jahren und ca. 2015 die Felchenfänge recht stabil über 10 kg/ha, für den Thunersee zwischen 5 und 10 kg/ha. Im Thunersee wurde in den 1970er Jahren eine massive Ertragssteigerung realisiert mit Fängen um 50 kg/ha, die – zumindest für die Schweiz – als einmalig bezeichnet werden können. Der aus dieser Überfischung resultierende Zusam-

menbruch war umso heftiger. Im Brienersee wurden seit 1960 nur selten Fänge über 10 kg/ha realisiert, seit ca. 1990 ist aber ein massiver Fangrückgang auf zuletzt unter 1 kg/ha festzustellen. Inzwischen wird der Felchenbestand im Brienersee wohl «unterfischt», da nur noch ein einziger Berufsfischer in Teilzeit tätig ist. Bei einer Vollzeitfischerei wären im Moment wohl deutlich höhere Erträge möglich. Im Thunersee liegt der Ertrag heute ungefähr auf dem Niveau der 50er Jahre, im Brienersee dagegen auf demjenigen der 1930er Jahre. Diese Entwicklung wurde im Rahmen der Untersuchungen zum «Projekt Brienersee» klar als Folge der «Reoligotrophierung», des Rückgangs der Nährstoffeinträge erkannt und kann heute auch in anderen natürlicherweise wenig produktiven Seen der Voralpen wie Walensee, Vierwaldstättersee und Bodensee beobachtet werden (MÜLLER et al. 2007).

Für die Angelfischerei im Kanton Bern wurde die Fangstatistik 1989 eingeführt. Die Aufteilung zwischen Berufs- und Angelfischerei am Gesamtfang der Felchen in einem See ist deshalb erst seit diesem Jahr dokumentiert. Die entsprechende Zusammenstellung zeigt, dass der Anteil der Angelfischerei am Gesamtfang im

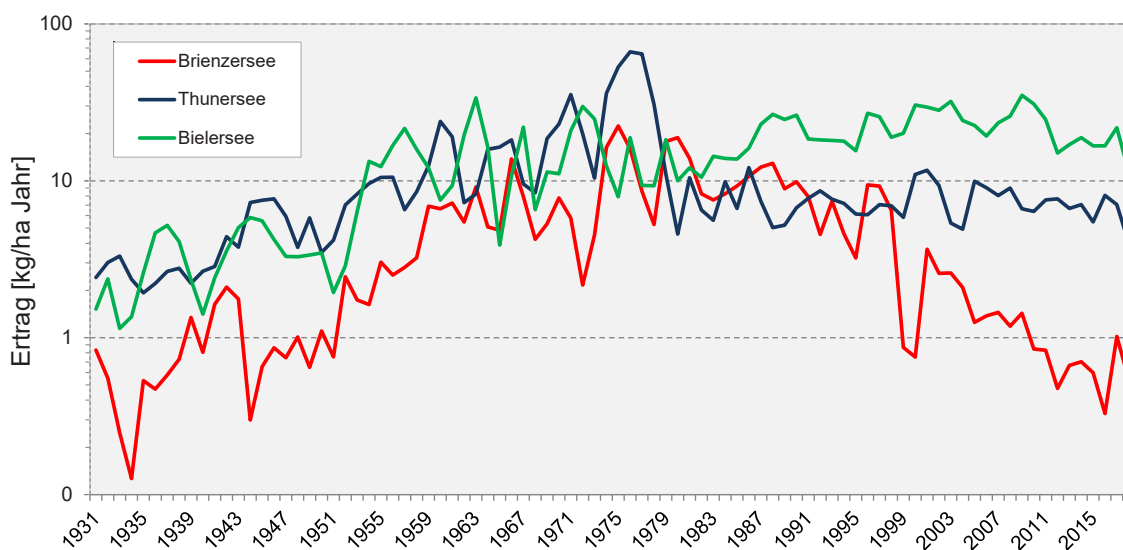


Abbildung 5: Zeitliche Entwicklung der Felchenfänge der Berufsfischerei in den drei Seen von 1931 bis 2018.

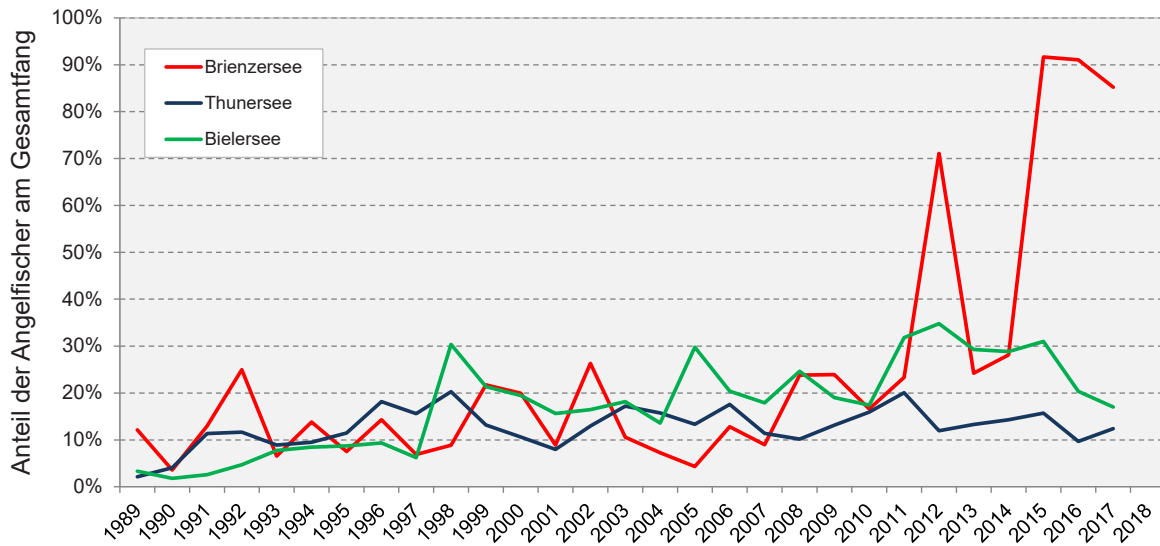


Abbildung 6: Entwicklung des Anteils der Angelfischerei am Gesamtfang der Felchen in den drei Seen von 1989-2018.

Bielersee in der Regel zwischen 10 und 30 %, im Thunersee zwischen 10 und 20 % lag (Abbildung 6). Im Brienzersee ist der Anteil der Angelfischerei am Gesamtfang nach 2010 auf zeitweise über 90 % angestiegen, dies als Folge der stark reduzierten kommerziellen Fischerei (vgl. Kapitel 6.1). Für den Berufsfischer ist nicht nur der Fang in kg relevant, sondern auch die Anzahl

Fische, die er zu verarbeiten hat. Waren dies über die ganze Zeit seit 1931 in Bieler- und Thunersee jeweils ungefähr drei bis fünf Fische pro kg, lag diese Zahl im Brienzersee bis Ende der 1950er Jahre bei 25 bis 30 und sank dann ebenfalls auf rund fünf Fische (Abbildung 7). Seit anfangs 1990er Jahre stieg die Zahl im Brienzersee jedoch wieder rasant bis auf 20 bis

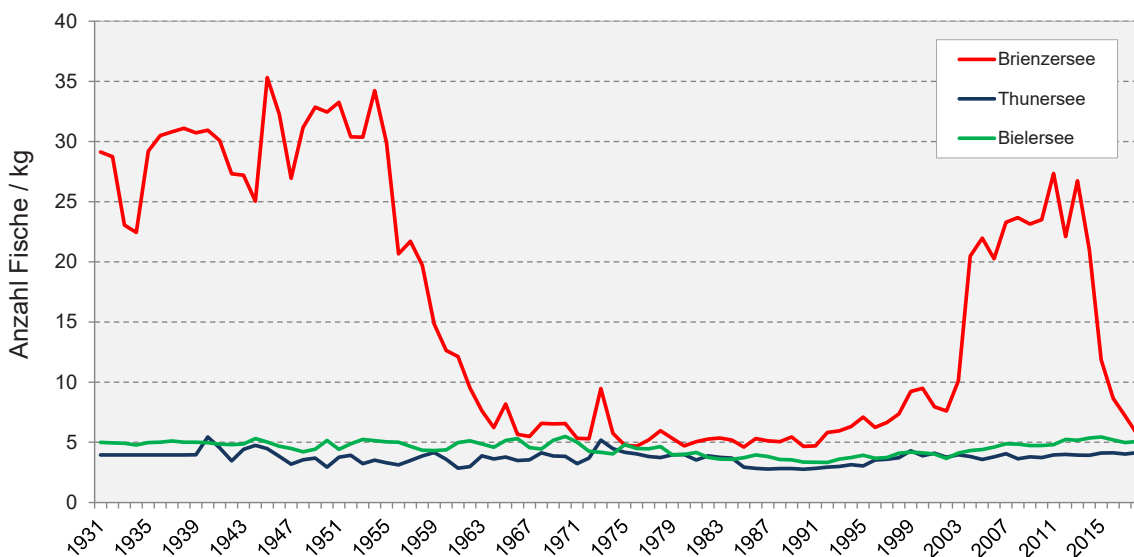


Abbildung 7: Anzahl Fische pro kg Fang gemäss Fangstatistik der Berufsfischerei 1931 - 2019.

25 Fische pro kg, und seit 2013 ist sie wieder auf rund 5 Fische pro kg abgesunken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Brienersee zwischen 2010 und 2015 die geringsten Fänge der neueren Zeit getätigt wurden und ein grosser Anteil aus sehr kleinen Brienzlig bestand.

Wird angenommen, dass drei bis fünf Fische pro kg einen akzeptablen Arbeitsaufwand darstellen, um mit den zu Filets verarbeiteten Fischen ein realistisches Einkommen zu erreichen, zeigt sich, dass dies im Brienersee nur in Ausnahmejahren der Fall gewesen sein dürfte (Abbildung 8). Nur wenige Kilogramm

Fische zu fangen und mit diesen noch einen immensen Arbeitsaufwand zu haben, ist wohl kaum eine Motivation für junge Leute, den Beruf des Fischers zu erlernen. Seit 2016 ist auf dem Brienersee kein Berufsfischer mehr vollamtlich tätig. Die Berufsfischerei dürfte hier wohl nur eine reelle Überlebenschance haben, wenn wieder mehr Felchen als Brienzlig gefangen werden und der Arbeitsaufwand für die Verarbeitung dadurch auf ein akzeptables Niveau (5 Fische/kg) gesenkt werden kann. Die aktuellste Entwicklung lässt hoffen, dass dies wieder der Fall sein wird.

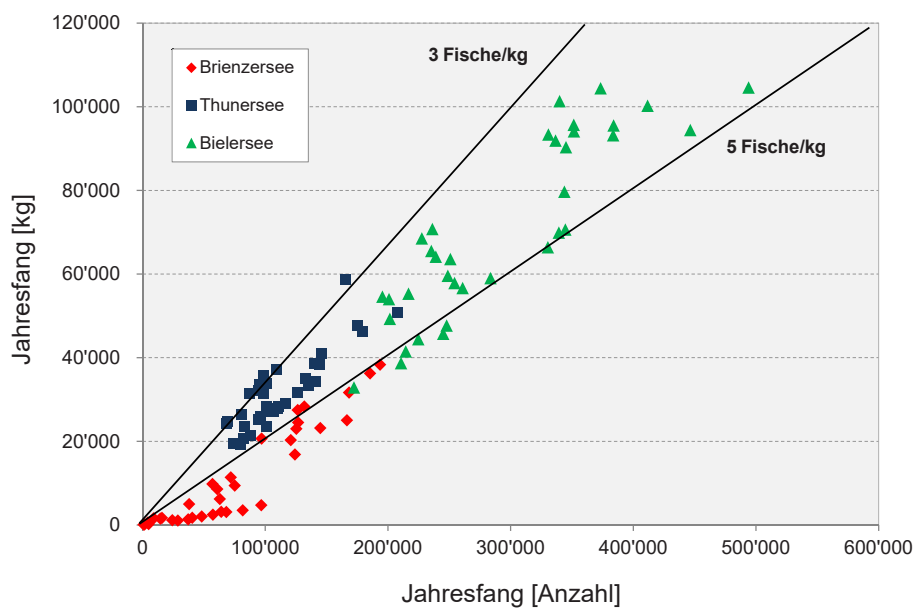


Abbildung 8: Gegenüberstellung der beiden Variablen Gewicht (kg) und Anzahl des Jahresfangs. Die Linien markieren 3 und 5 Fische pro kg.

5 Monitoringprogramm Felchenfänge Berufsfischer

5.1 Zielsetzung

Das Monitoringprogramm der Felchenfänge der Berufsfischerei in den drei Berner Seen wurde aufgrund des massiven Fangeinbruchs auf dem Thunersee ausgearbeitet und 1984 implementiert. Mit diesem Monitoring werden mehrere Ziele verfolgt:

1. Eventuelle Veränderungen der Zusammensetzung des Fanges der Berufsfischer sollen rasch erkannt werden, um innerhalb nützlicher Frist, gemeinsam mit den involvierten Fischern entsprechende Korrekturmassnahmen auszuarbeiten (→ Sicherstellung der nachhaltigen Nutzung).
2. Die Auswirkungen getroffener Massnahmen sollen überwacht werden (→ Erfolgskontrolle).
3. Veränderungen der Populationsstruktur, die auf eine starke Abnahme einer der in den Berner Seen vorkommenden Felchenarten hindeuten, sollen rechtzeitig wahrgenommen werden, so dass entsprechende Schutzmassnahmen in die Wege geleitet werden können (→ Erhaltung aller Arten und Rassen).
4. Reaktionen auf sich langfristig ändernde Umweltbedingungen sollen frühzeitig erkannt werden, so dass wenn nötig entsprechende Massnahmenszenarien ausgearbeitet werden können (→ Früherkennung).

5.2 Datenerfassung

Pro See wurden vom zuständigen Fischereiaufseher monatlich bei einem Berufsfischer je 25 Felchen aus dem normalen Fang vermessen. Erfasst wurden Netztyp, Maschenweite, Fangtiefe und von jedem Fische Länge, Gewicht und Geschlecht, zudem wurden die Kiemenreusen entnommen und die Dornen auf dem ersten Kiemenbogen ausgezählt. Weiter wurden pro Fisch Schuppen aus der ersten Reihe unterhalb der Seitenlinie entnommen und in

Das Fischereigesetz des Kantons Bern vom 21. Juni 1995 gibt der Vollzugsbehörde auch das rechtliche Instrumentarium, um schnell und pragmatisch auf festgestellte Veränderungen reagieren zu können. Seit 1996 liegt die Kompetenz für Anpassungen der Fischereivorschriften für die Berufsfischerei bei der zuständigen Fachstelle der Kantonsverwaltung (Fischereiinspektorat des Kantons Bern), ohne dass Anpassungen der Fischereiverordnung durch die Regierung oder der Direktionsverordnung durch die Volkswirtschaftsdirektion notwendig sind. Diese effiziente Regelung hat zur Folge, dass die Rahmenbedingungen (Maschenweiten, Setztiefen, Art und Anzahl der Netze etc.) in Absprache mit den betroffenen Berufsfischern laufend – auch während der Saison – seespezifisch angepasst werden können. In den vergangenen 35 Jahren wurde denn auch mehrmals von dieser Möglichkeit, die Vorschriften flexibel anzupassen, Gebrauch gemacht.

einem Minigrip-Säckchen gekühlt aufbewahrt. Im Labor wurden für jeden Fisch mindestens sechs Schuppen zwischen zwei Objektträgern präpariert und auf einem Projektionsmikroskop (Reichert, Austria) bzw. ab ca. 2000 unter einem Binokular mit Videoaufsatz (Olympus) bei Vergrösserungen von 20 – 40x analysiert und das Alter bestimmt. Da im November nicht gefischt werden darf (Schonzeit) wurden in diesen Monaten keine Proben erhoben.

5.3 Statistische Analysen

Zum Erkennen langfristiger Änderungen wurden die Datenreihen mit Hilfe von Zeitreihenanalysen untersucht. Das Ziel einer Zeitreihenanalyse ist das Erkennen und Herausschälen einer Entwicklung über einen längeren Zeitraum. Werden die Rohdaten betrachtet, stellt man eine sehr grosse Variabilität über die Zeit fest. Um dieses «Rauschen» der Rohdaten zu reduzieren werden für jeden Parameter die Monatsmittelwerte berechnet. Nun wird eine Entwicklung des Parameterwertes über die Zeit sichtbar. Allerdings wird diese noch durch grössere zeitliche (saisonale) Schwankungen überdeckt. Um auch diese «Oszillationen» herauszufiltern und die Daten zu glätten, wird das gleitende Mittel der Monatsmittelwerte über mehrere Monate berechnet. Eine Autokorrelationsanalyse zeigt, dass eine Verschiebung der Mittelwerte über 11 Monate die besten Werte ergibt. Damit werden einerseits längerfristige mehr oder weniger regelmässige Schwankungen erkannt («Zyklen»), andererseits kann eventuell eine gerichtete Entwicklung über die Zeit – ein Trend – sichtbar werden. Je nach Parameter ist dieser Trend mehr oder weniger ausgeprägt. Um auch solche Abweichungen vom langfristigen Mittelwert zu untersuchen, wird eine Differenzanalyse 1. Ordnung durchgeführt, bei der jeweils der Wert zum Zeitpunkt t aufgrund des Wertes zum Zeitpunkt $t-1$ vorhergesagt werden soll. Diese Vorhersage wird mit Hilfe einer Regressions- und Residuenanalyse durchgeführt und auf Signifikanz überprüft.

Die Zeitreihenanalysen werden für jeden See separat durchgeführt. Um die Seen oder Parameter mit verschiedenen Masseinheiten untereinander vergleichen zu können, werden die gleitenden Mittel über 11 Monate «normalisiert». Dazu wird vom jeweiligen Wert der langjährige Mittelwert subtrahiert und die Resultierende durch die Standardabweichung geteilt. Nun bilden die gleitenden Mittel eine Normalverteilung mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 1 und sind unabhängig von der Masseinheit. Dies erlaubt einerseits, verschiedene Parameter eines Sees zu vergleichen, oder andererseits die Parameter für alle drei Seen zu vergleichen und gleichlaufende oder zeitlich verschobene oder abweichende Entwicklungen in den Seen zu visualisieren.

Um auch den Einfluss von Geschlecht oder Art auf die verschiedenen Messgrössen zu untersuchen, wurden die Monatsmittelwerte getrennt nach Geschlecht und Arten (jeweils langsam und schnellwüchsige) pro See dargestellt und eine Trendlinie hinzugefügt. Damit werden unterschiedliche Entwicklungen zwischen den Geschlechtern und den Arten sichtbar und können diskutiert werden.

5.4 Virtual Population Analysis

Grundlage der Analyse einer virtuellen Population sind die Häufigkeitsverteilungen ausgewählter Parameter und die Fangstatistik. Aus der Häufigkeitsverteilung des Alters des Probematerials kann der Anteil der einzelnen Altersklassen (in %) am Monats- oder Jahresfang gemäss Fangstatistik berechnet werden. Daraus lässt sich die Zahl der gefangenen Fische eines Jahrgangs berechnen und über eine Aufsummierung rückwärts über die Fangjahre ergeben sich schlussendlich die Mindeststärken der einzelnen Jahrgänge im See, die scheinbare («virtuelle») Populationsstärke. Korrekterweise muss diese Analyse für die gefangenen Arten separat durchgeführt werden, da diese unterschiedlich wachsen und dementsprechend in unterschiedlichem Alter gefangen werden. Um die Fische des Probematerials den verschiedenen Arten zuordnen zu können, wurde die Anzahl Kiemenreusendornen benutzt. Da diese für die Arten jeweils einen Überlappungsbereich aufweisen, wurde das arithmetische Mittel zwischen der Dornenzahl für schnell- und langsamwüchsige Arten als Differenzierungsgrenze festgelegt:

Brienzersee:

- Felchen (schnellwüchsig) KRD ≤ 36
- Brienzlig (langsamwüchsig) KRD > 36

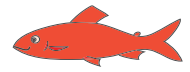
Thunersee:

- Kropfer (langsamwüchsig) KRD ≤ 24 ,
- Albock/Balchen (schnellwüchsig) > 24 KRD ≤ 35
- Brienzlig (langsamwüchsig) KRD > 35

Bielersee:

- Palée (schnellwüchsig) KRD ≤ 30
- Bondelle (langsamwüchsig) KRD > 30

Daraus lassen sich nun für die schnell- und langsamwüchsigen Populationen jeden Sees die minimalen Jahrgangsstärken für die vollständig rekrutierten Jahrgänge abschätzen. Zudem zeigt der Anteil schnell- bzw. langsamwüchsiger Felchen im Probematerial eine eventuelle Verschiebung der Artenzusammensetzung des Fanges. Die Eigenschaften der einzelnen Parameter wurden in der 20-Jahres-Analyse ausführlich beschrieben und anhand von Detailresultaten diskutiert (KIRCHHOFER & BREITENSTEIN 2004), weshalb an dieser Stelle darauf verzichtet wird. Für alle nachfolgend vorgestellten Resultate muss festgehalten werden, dass sich diese ausschliesslich auf den Fang beziehen und nicht auf die Populationen, da nur der Fang repräsentativ beprobt wurde. In den folgenden Kapiteln werden die Resultate aller Parameter für die einzelnen Seen diskutiert und am Schluss werden alle drei Seen gemeinsam zusammenfassend betrachtet. Die taxonomische Zuordnung basiert auf der Anzahl KRD. Da diese Messgrösse aufgrund von Veränderungen heute weniger Aussagekraft hat, muss sie für die Zukunft angepasst oder zumindest mit genetischen Stichproben ergänzt werden.



Brienzersee

6 Resultate Monitoringprogramm

6.1 Brienzersee

6.1.1 Statistische Basisdaten

In den 35 Untersuchungsjahren wurden insgesamt 9'262 Felchen des Brienzersees analysiert (Tabelle 3). Die mittlere Länge lag bei knapp 26 cm. Das langjährige Durchschnittsgewicht von 143 g pro Fisch zeigt, dass grösstenteils schlanke Fische gefangen wurden. Dies kommt auch beim mittleren Konditions-

index zum Ausdruck, der über die gesamten 35 Jahre bloss 0.75 erreicht. Das mittlere Alter beim Fang von 3.4 Jahren entspricht den Zielsetzungen einer nachhaltigen Fischerei, wonach die Felchen in einem Alter von 3 – 5 Jahren gefangen werden sollten.

Tabelle 3: Zusammenstellung der wichtigsten statistischen Eckdaten des Monitorings der Felchenfänge der Berufsfischerei am Brienzersee.

Brienzersee	Länge [mm]	Gewicht [g]	KI	KRD	Alter [Jahre]
Anzahl	9296	9296	9296	9185	9292
Mittelwert	256.990	143.292	0.753	37.644	3.396
Standardfehler	0.474	0.800	0.001	0.044	0.012
Median	265	138	0.744	38	3
Modus	270	200	0.741	40	3
Standardabweichung	45.692	77.166	0.117	4.177	1.133
Stichprobenvarianz	2087.742	5954.593	0.014	17.447	1.285
Kurtosis	-0.262	1.152	2.802	0.487	-0.084
Schiefte	-0.510	0.677	0.747	-0.679	0.578
Wertebereich	315	715	1.265	38	9
Minimum	90	5	0.405	15	0
Maximum	405	720	1.671	53	9
Summe	2388979	1332040	6999.738	345759	31552



6.1.2 Länge, Gewicht und Kondition

Durchschnittliche Länge und Gewicht der Brienzerseefelchen sind von 1984 bis 2012 kontinuierlich gesunken und haben sich von rund 30 auf unter 20 cm (Abbildung 9 oben) bzw. von 250 auf knapp über 50 g pro Fisch (Abbildung 9 Mitte) verringert.

Beim Konditionsindex kann vom Höchststand 1987 - mit rund 0.95 waren die Fische damals recht korpulent - eine ungebremste Abnahme auf 0.68 und nach einer kurzen Erholung 1997/98 ein Tiefststand von 0.6 im Jahr 2000

beobachtet werden (Abbildung 9 unten). Dies war denn auch der Auslöser für die intensive Suche nach den Ursachen im «Projekt Brienzersee», auf das bereits hingewiesen wurde. Nach einer kurzen Erholung auf 0.85 hat sich der Konditionsindex der Brienzerseefelchen um 0.7 eingependelt und ist in den letzten 5 Jahren des Monitorings wieder auf leicht über 0.75 angestiegen. Parallel zu dieser Entwicklung hat auch die Befischungintensität stark abgenommen, da von den ursprünglich fünf Berufsfischerfamilien deren vier aufgegeben haben und der verbliebene Fischer seinen Beruf nur noch in Teilzeitarbeit ausübt.

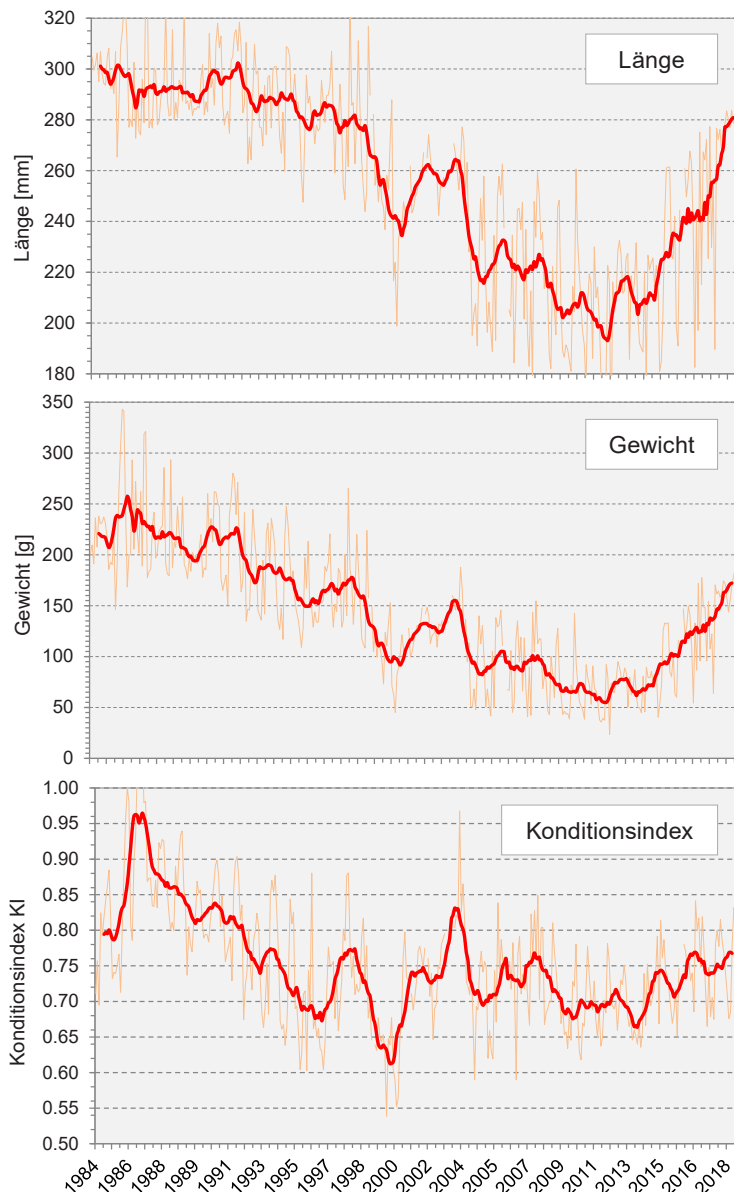
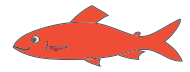


Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Längen (oben), Gewichte (Mitte) und Konditionsindices der gefangenen Felchen im Brienzersee von 1984 - 2018. Hell sind die Monatsmittelwerte dargestellt, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate.



Brienzersee

6.1.3 Alter und Arten

Beim Durchschnittsalter der gefangenen Felchen zeigt sich ein relativ stabiles Bild. Nach einem kurzen Anstieg von 2.5 auf 4.5 Jahre in den 1980er Jahren, hat sich das Alter auf 3 bis 4 Jahre eingependelt und ist nur 2000 und 2012 – 2015 leicht unter den angepeilten Mindestwert von 3 Jahren gesunken (Abbildung 10).

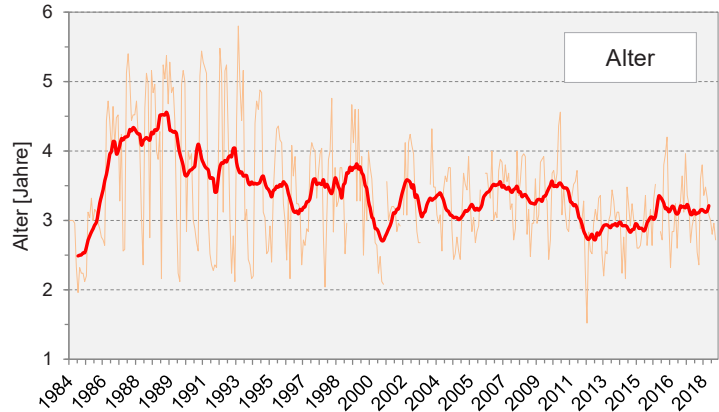


Abbildung 10: Entwicklung des Durchschnittsalters im Brienzersee. Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt.

Bei den Kiemenreusendornen – dem leicht zu erfassenden Merkmal für die Unterscheidung der langsamwüchsigen Brienzlig (33 – 49 KR) von den schnellwüchsigen Felchen und Balchen (26 – 44 KR) – zeigt sich, dass bis ins Jahr 2000 ein grosser Teil des Fanges aus Brienzligen bestand (Abbildung 11 oben). Nachdem diese jedoch aufgrund des Futtermangels kaum mehr gefangen werden konnten, verlagerte sich der Fang zu Beginn des neuen Jahrtausends vermehrt auf die Felchen, die auch in den letzten 10 Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen haben.

Wird der jeweilige Anteil von Felchen und Brienzlig pro Monat aufgezeichnet, wird dieser Befund bestätigt. Währenddem die Langsamwüchsigen in den 1980er Jahren teilweise über drei Viertel des Fanges ausmachten (Abbildung 11 unten), ist deren Anteil – mit kurzen Unterbrüchen – konstant gesunken und 2000-2005, sowie in den letzten fünf Jahren wurde der Fang bis zu 80 % von schnellwüchsigen Felchen dominiert.

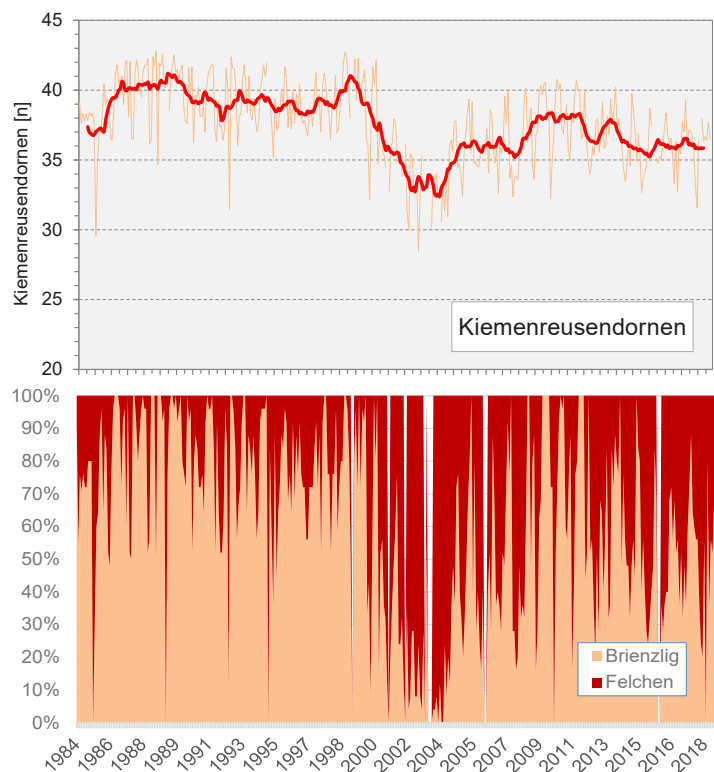
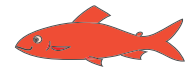


Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der mittleren Anzahl Kiemenreusendornen (KR) im Brienzersee (oben). Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt. Unten: Monatlicher Anteil schnellwüchsiger Felchen und langsamwüchsiger Brienzlig.



Brienzersee

6.1.4 Geschlechtsunterschiede

In den Stichproben des Brienzersees sind bei den Monatsmittelwerten für alle Parameter höchstens geringe Unterschiede zwischen den Geschlechtern festzustellen. Bei Länge, Gewicht, Konditionsindex und Alter liegen die Werte für die Milchner tendenziell leicht unter denjenigen der Rogner und bei der Anzahl KRD ist kein Unterschied auszumachen. Die

Trends verlaufen für beide Geschlechter in der Regel parallel, beim Mittelwert der Länge scheint sich der Abstand zwischen Milchnern und Rognern jedoch leicht zu vergrößern (Abbildung 12 oben), währenddem dieser beim Alter eher leicht abnimmt (Abbildung 12 unten).

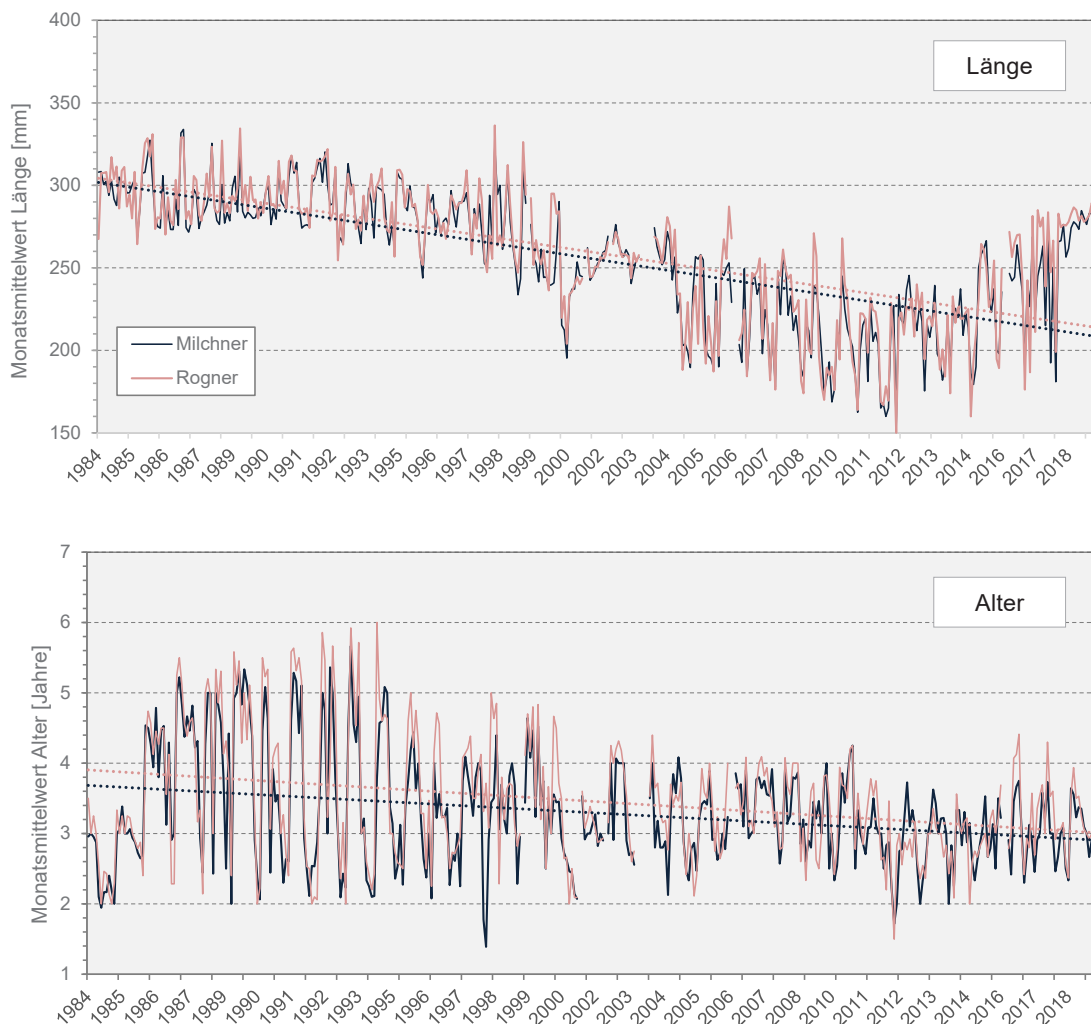


Abbildung 12: Monatsmittelwerte der Länge (oben) und des Alters (unten) getrennt nach Geschlechtern und entsprechende Trendlinien (gestrichelt) für die Brienzerseefelchen.



6.1.5 Artunterschiede

Werden die Monatsmittelwerte über die gesamte Periode nach Arten getrennt analysiert, so zeigt sich erwartungsgemäss, dass Länge und Gewicht der Brienzlige kleiner sind als diejenigen der Felchen. Beim Konditionsindex ist dagegen eine grössere Differenz festzustellen, indem der KI für die Brienzlige tendenziell stärker

abnimmt als derjenige der Felchen und der Unterschied zwischen den Arten zunehmend grösser wird (Abbildung 13 oben). Beim Alter entwickeln sich die Werte für die beiden Arten gegenläufig, da die Felchen heute tendenziell älter gefangen werden als früher, die Brienzlige dagegen jünger (Abbildung 13 unten).

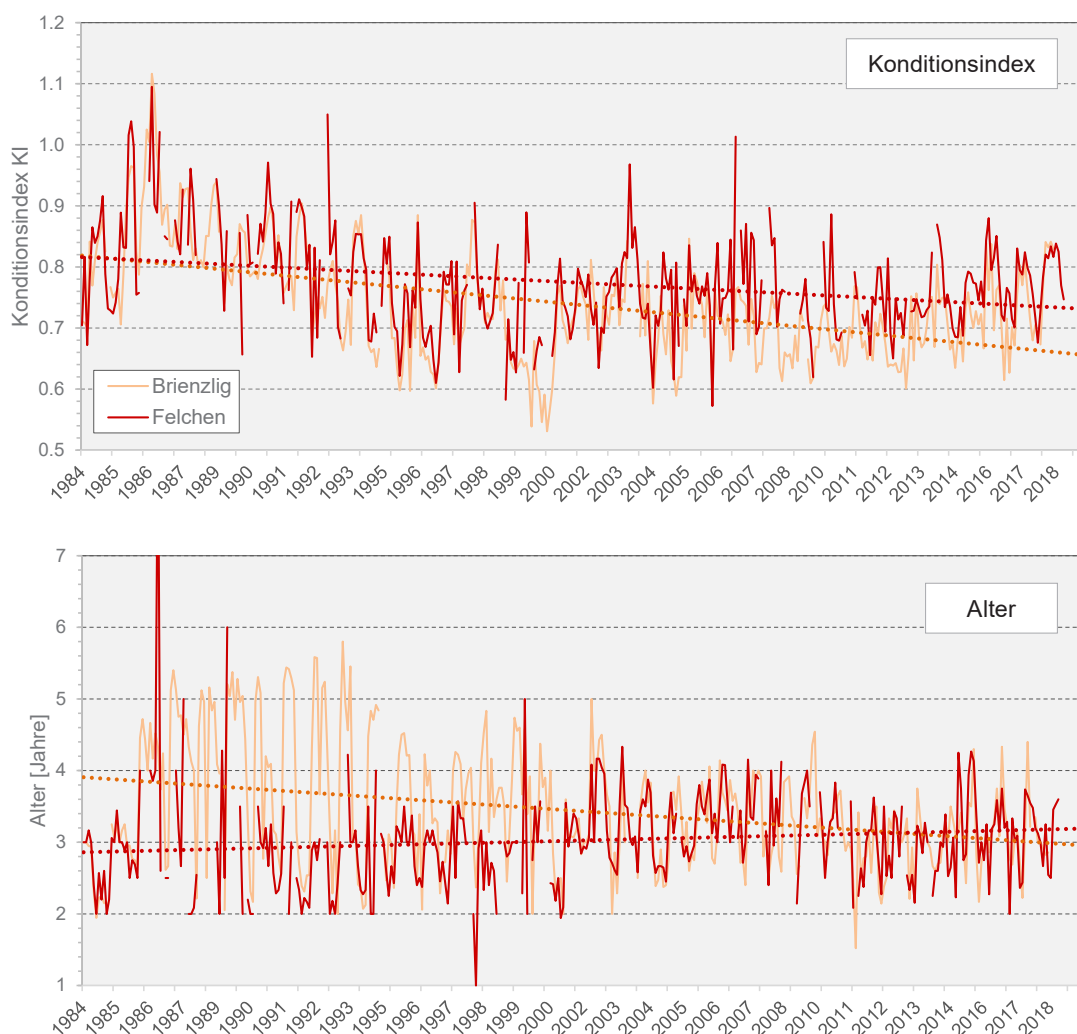


Abbildung 13: Monatsmittelwerte des Konditionsindex (oben) und des Alters (unten) getrennt nach Arten und entsprechende Trendlinien (gestrichelt) für die Brienzerseefelchen.



Brienzersee

6.1.6 Jahrgangsstärken

Währendem in den 1980er Jahren die einzelnen Jahrgänge über vier bis fünf Jahre einen wesentlichen Anteil am Fang ausmachten, hat sich dies in den letzten zwanzig Jahren stark verändert (Abbildung 14). Seit 1999 treten die einzelnen Jahrgänge bloss noch zwei bis drei Jahre in grösserer Zahl im Fang auf. So war z.B. der Jahrgang 1987 von 1989 bis 1993, der Jahrgang 2008 jedoch nur 2011 und 2012 mit einem Anteil von über 10% am Fang beteiligt. Dies kann damit erklärt werden, dass

in den 1980er und 1990er Jahren beide Arten – Schnell- und Langsamwüchsige – gefangen wurden, erstere im Alter von 3 bis 4 Jahren, letztere im Alter von 4 bis 5 Jahren. Damit verteilten sich die einzelnen Jahrgänge über mehrere Fangjahre. In den letzten beiden Dekaden ist der Anteil der schnellwüchsigen Felchen im Fang gegenüber den langsamwüchsigen Brienzig deutlich grösser geworden, und damit ist dieser (erwünschte) Effekt letztendlich verloren gegangen.

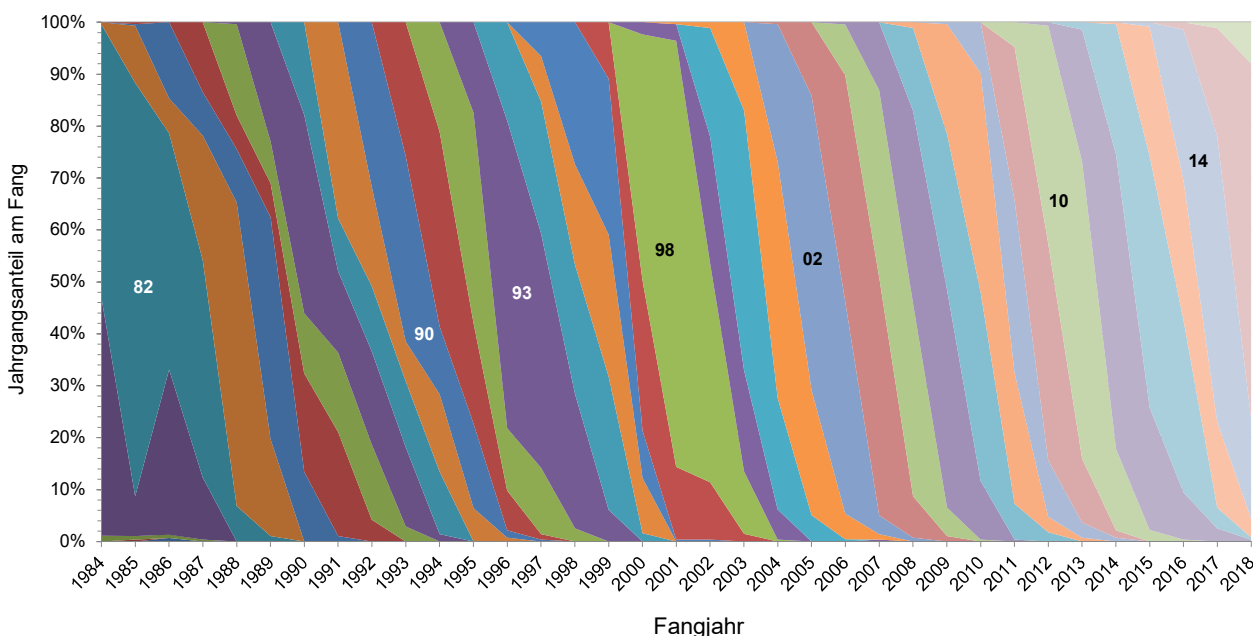


Abbildung 14: Relativer Anteil der einzelnen Jahrgänge im Probematerial des Brienzersees 1984 - 2018, zusammengefasst für die ganzen Jahre.

Die stärksten Jahrgänge im Brienzersee erreichten aufsummiert über die gesamte Fangperiode rund 330'000 (1982) bzw. 200'000 (1993) Fische. Diese Zahlen waren jedoch klare Ausnahmen, da die «normalen» Jahrgangsstärken für die Brienzerseefelchen bei 50'000 bis 100'000 Fischen lagen (Abbildung 15). Seit

2008 wurden – parallel zum Rückgang der Befischungintensität - pro Jahrgang wesentlich weniger Fische gefangen. Für den Brienzersee ist die VPA allerdings nur bedingt aussagekräftig, da bei der sehr geringen Befischungintensität der letzten 10 bis 15 Jahre die einzelnen Jahrgänge wohl kaum vollständig ausgefischt wurden.

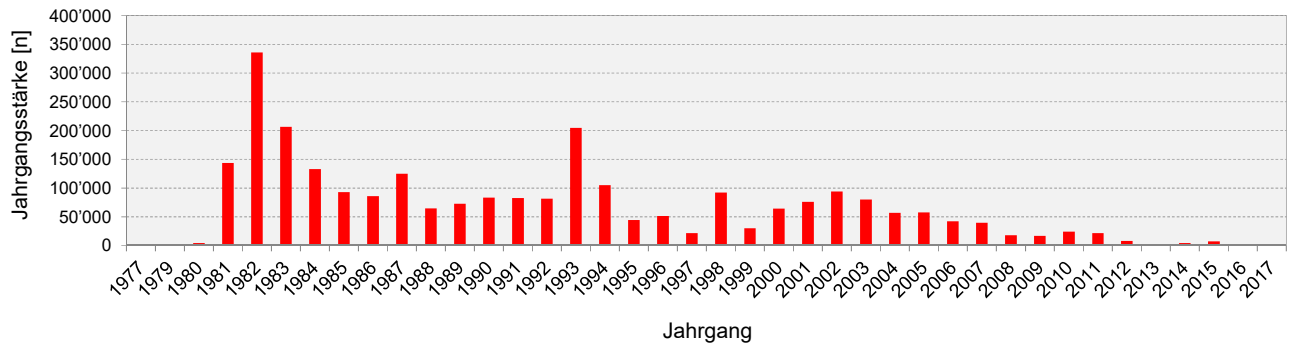


Abbildung 15: Übersicht zu den Jahrgangsstärken im Brienzersee, aufsummiert über die gesamte Fangperiode.



Brienzersee

6.1.7 Gesamtbetrachtung Brienzersee

Die Felchenfänge der Berufsfischer im Brienzersee sind im Zeitraum des Monitorings von 30 - 35 Tonnen um über 90 % auf weniger als 2 Tonnen eingebrochen (Abbildung 16). Aufgrund des geringen Wachstums wurden in den 1990er Jahren die minimalen Maschenweite mehrmals reduziert. Seit 1996 gelten für Schwebnetze Maschenweiten von 28 - 30 mm und für Grundnetze seit 2006 30 mm bzw. 20 mm für den Brienzligfang. Seither wurden die Vorschriften nicht mehr geändert.

Wie die gemeinsame Darstellung der normalisierten (oder standardisierten) Werte aller Parameter zeigt, verlaufen Länge und Gewicht weitgehend parallel, der KI dagegen weist grössere Ausschläge – zum Teil in entgegengesetzter Richtung – auf. Vor allem in den 1980er Jahren, aber auch noch in den frühen 2000er Jahren wich der KI sehr stark vom langjährigen Mittelwert nach oben (1986) und nach unten (2000, 2004) ab. Beim Tiefpunkt von

Länge und Gewicht 2011 lag der KI nur leicht unter dem langjährigen Mittelwert. Seither geht es mit allen drei Parametern wieder aufwärts und 2018 lagen die Werte aller drei Parameter über dem langjährigen Durchschnittswert.

Bei Alter und KR D zeigt sich, dass diese weitgehend parallel verlaufen, mit Ausnahme der Jahre 2000 bis 2008. In diesen Jahren wurden vor allem schnellwüchsige Felchen mit wenigen KR D gefangen, da die langsamwüchsigen Brienzlig zu klein und zu schlank waren um in den Maschen hängen zu bleiben. Auch in den letzten 15 Jahren ist der Anteil schnellwüchsiger Felchen bedeutend grösser als in den ersten 20 Jahren dieses Monitorings. Es ist ebenfalls zu beachten, dass seit dem massiven Ertrageinbruch 1999/2000 und der damit einhergehenden Abnahme der Befischungintensität das Probematerial des Monitorings keinesfalls mehr als repräsentativ für den Gesamtbestand im Brienzersee interpretiert werden darf.

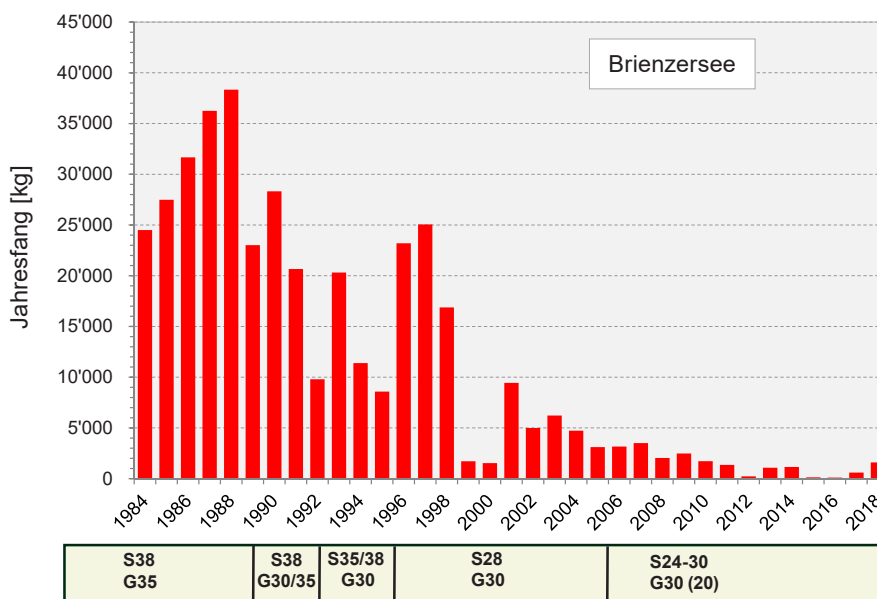


Abbildung 16: Jahresfang der Berufsfischerei im Brienzersee und erlaubte Netzmaschenweiten (S=Schwebnetze, G=Grundnetze).





Brienzersee

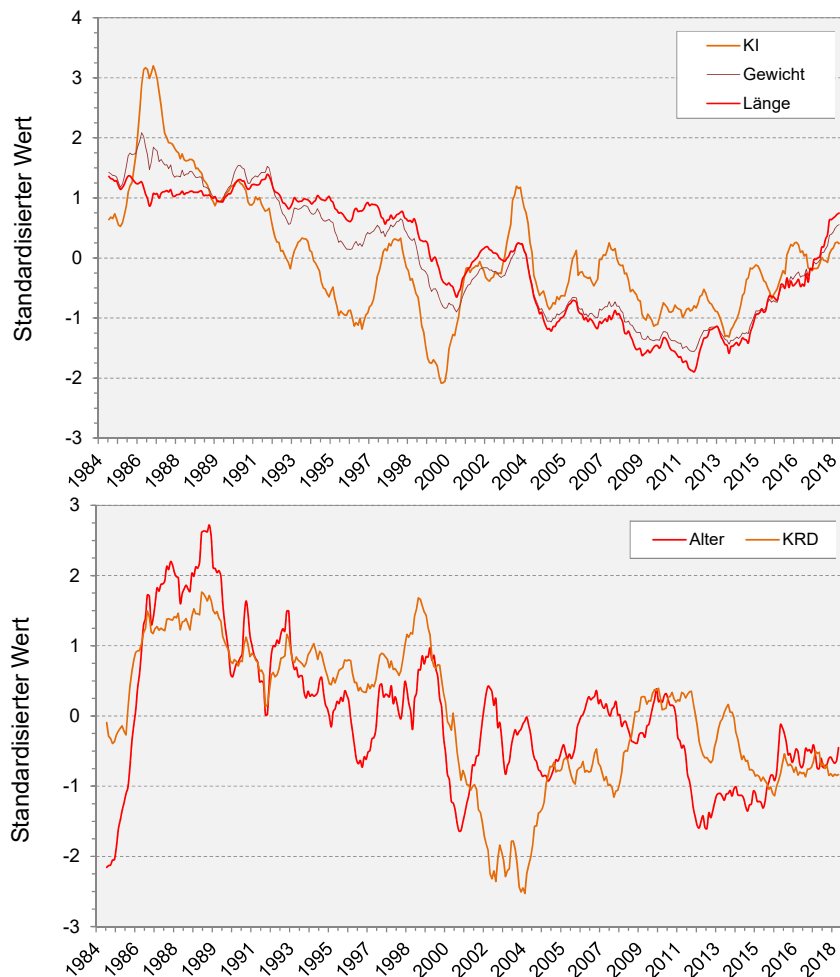
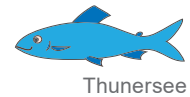


Abbildung 17: Länge, Gewicht und Konditionsindex, sowie Alter und KRD des Probematerials aus dem Brienzersee in standardisierter Form.

Fazit Brienzersee

Aufgrund der geringen Befischungsintensität durch den verbliebenen Berufsfischer ist kaum eine deutliche Steigerung der Erträge zu erwarten. Eine weitere Anpassung der Fischereivorschriften scheint im Moment nicht notwendig zu sein.





6.2 Thunersee

6.2.1 Statistische Basisdaten

Am Thunersee wurden in den 35 Untersuchungsjahren gesamthaft 9'164 Fische analysiert (Tabelle 4). Die mittlere Länge der Thunerseefelchen lag mit rund 31 cm deutlich über dem Fangmindestmass von 28 cm. Mit einem langjährigen Durchschnittsgewicht von 277 g pro Fisch wurden grösstenteils gut genährte, recht korpulente Fische gefangen mit

einem mittleren Konditionsindex von knapp 0.9. Das mittlere Alter beim Fang von 3.45 Jahren liegt nur geringfügig über demjenigen der Brienerseefelchen und entspricht ebenfalls den Zielsetzungen, wonach die Felchen in einem Alter von 3 – 5 Jahren gefangen werden sollten.

Tabelle 4: Zusammenstellung der wichtigsten statistischen Eckdaten des Monitorings der Felchenfänge der Berufsfischerei am Thunersee.

Thunersee	Länge [mm]	Gewicht [g]	KI	KRD	Alter [Jahre]
Anzahl	9164	9164	9164	9109	9161
Mittelwert	310.673	276.741	0.894	36.173	3.448
Standardfehler	0.310	1.024	0.001	0.054	0.014
Median	310	256		37	3
Modus	320	200	0.916	38	2
Standardabweichung	29.639	98.067	0.109	5.134	1.310
Stichprobenvarianz	878.491	9617.060	0.012	26.362	1.717
Kurtosis	1.508	10.746	2.359	1.234	-0.640
Schiefe	0.620	2.062	0.647	-1.023	0.340
Wertebereich	336	1386	1.405	36	8
Minimum	168	34	0.484	15	1
Maximum	504	1420	1.889	51	9
Summe	2847004	2536050	8189.785	329498	31584



6.2.2 Länge, Gewicht und Kondition

Durchschnittliche Länge und Gewicht der Thunerseefelchen sind von 1984 bis 1999 schrittweise gesunken und haben sich von rund 33 auf unter 29 cm (Abbildung 18 oben) bzw. von 380 auf rund 230 g pro Fisch (Abbildung 18 Mitte) verringert. Seither sind sowohl Länge als auch Gewicht mehr oder weniger stabil geblie-

ben. Der Konditionsindex hat vom Höchststand 1986/87 von über 1.0 leicht abgenommen und liegt seither recht konstant um 0.9 mit zwei kleinen «Ausreißern» gegen 0.8 (Abbildung 18 unten). Damit zeigen sich im Thunersee relativ stabile Verhältnisse.

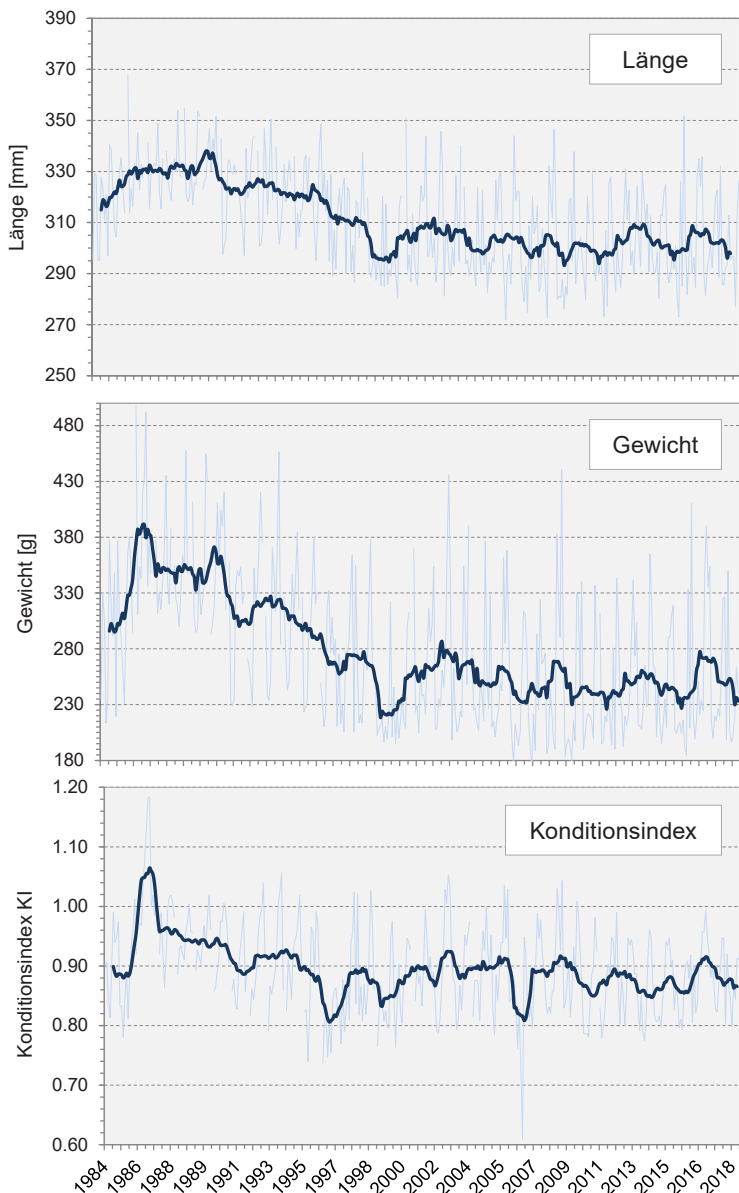
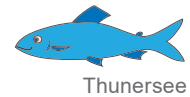


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Längen (oben), Gewichte (Mitte) und Konditionsindices der gefangenen Felchen im Thunersee von 1984 - 2018. Hell sind die Monatsmittelwerte dargestellt, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate.



6.2.3 Alter und Arten

Das Durchschnittsalter der gefangenen Felchen weist zyklische Oszillationen zwischen knapp drei und etwas über 4 Jahren auf (Abbildung 19). Zwischen zwei Hochs liegen dabei ca. 7 Jahre. Nachdem das Durchschnittsalter der gefangenen Felchen noch 1984 deutlich unter dem angepeilten Mindestwert von 3 Jahren lag, hat es diesen Wert seither nur noch dreimal leicht unterschritten.

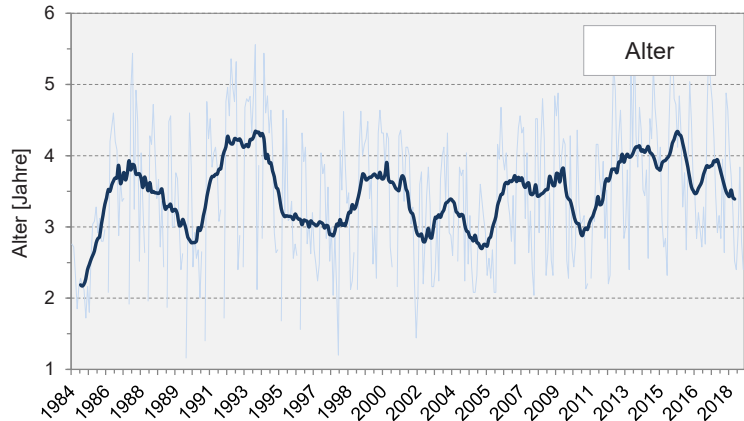


Abbildung 19: Entwicklung des Durchschnittsalters im Thunersee. Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt.

Die mittlere Anzahl Kiemenreusendornen schwankt bei den Thunerseefelchen zwischen 35 und 39, mit Ausnahme der Jahre 2003 – 2005, als sie deutlich tiefer lag (Abbildung 20 oben). Hier zeigen sich ebenfalls zyklische Oszillationen, die in ihrer Periodenlänge praktisch mit denjenigen des Durchschnittsalters übereinstimmen. Da die hohen KRZ-Zahlen die langsamwüchsigen Brienzlig repräsentieren und tiefe KRZ die schnellwüchsigen Albock und Balchen, darf angenommen werden, dass in den Jahren mit hohen durchschnittlichen KRZ mehr Brienzlig gefangen werden und umgekehrt bei tiefen KRZ die schnellwüchsigen in der Mehrzahl sind (Abbildung 20 unten). Die Kropfer haben sehr tiefe KRZ Zahlen und sind ebenfalls langsamwüchsig, werden aber nur in geringer Zahl gefangen. Seit 2002 hat der Anteil der Schnellwüchsigen zeitweise stark zugenommen.

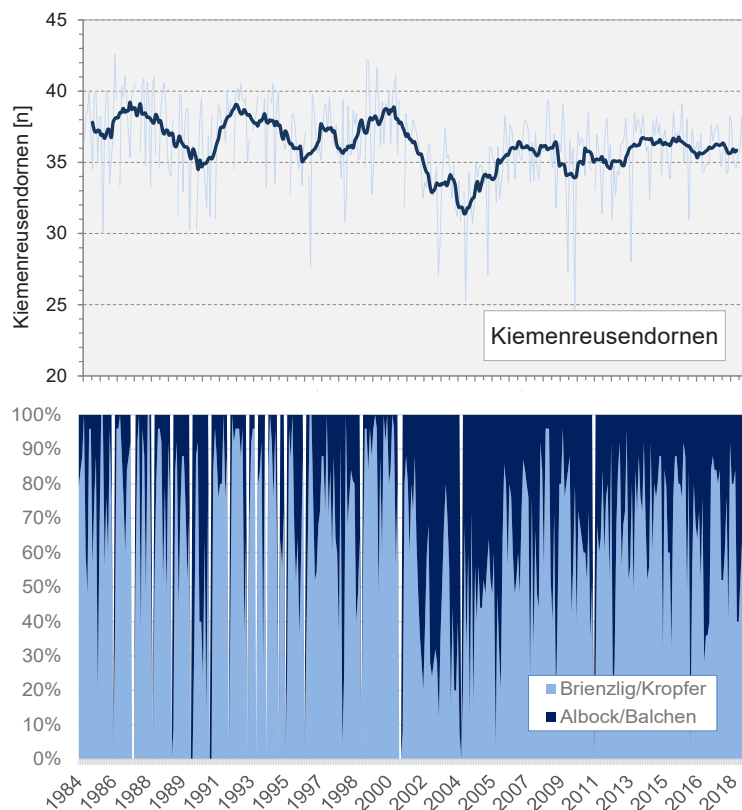


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der mittleren Anzahl Kiemenreusendornen (KRZ) im Thunersee (oben). Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt. Unten: Monatlicher Anteil schnellwüchsiger Albock/Balchen und langsamwüchsiger Kropfer.



6.2.4 Geschlechtsunterschiede

Bei den Monatsmittelwerten der meisten Messgrößen des Thunersees sind nur geringe Unterschiede zwischen den Geschlechtern festzustellen. Bei Länge, Gewicht und Konditionsindex zeigen die Werte deutlich abnehmende Tendenz und die Trendlinien beider Geschlechter verlaufen parallel, diejenige der Milchner leicht unter derjenigen der Rogner. Beispielhaft

ist hier die mittlere Länge dargestellt (Abbildung 21 oben). Beim Alter zeigt der Trend für beide Geschlechter aufwärts, d.h. die Fische sind beim Fang heute älter als vor 35 Jahren. Die Trends laufen jedoch auseinander und die Milchner werden tendenziell jünger gefangen als die Rogner (Abbildung 21 unten).

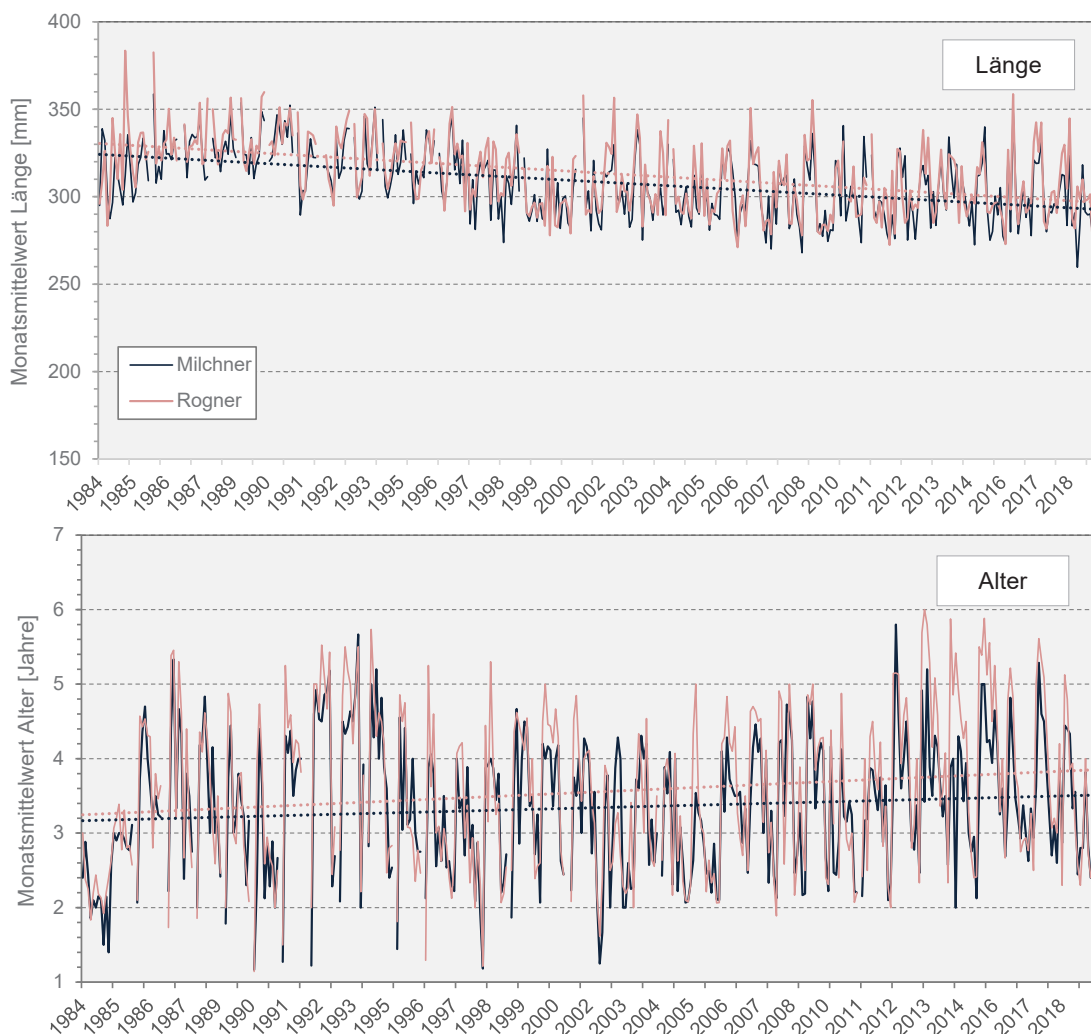


Abbildung 21: Monatsmittelwerte der Länge (oben) und des Alters (unten) getrennt nach Geschlechtern und entsprechende Trendlinien (gestrichelt) für die Thunerseefelchen.



6.2.5 Artunterschiede

Werden die Monatsmittelwerte über die gesamte Periode nach Arten getrennt analysiert, so zeigt sich erwartungsgemäss, dass Länge und Gewicht der Brienzlige kleiner sind als diejenigen des Albocks. Beim Konditionsindex ist kein Unterschied zwischen den Arten festzustellen. Bei der Anzahl Kiemenreusendornen zeigen sich unterschiedliche Entwicklungen der drei Arten (Abbildung 22 oben). Die mittlere Anzahl der KRD von Brienzlig und Albock/Balchen näherte sich im Verlauf der Zeitreihe deutlich

an. Dies wird von den Untersuchungen von Selz et al. (2020) bestätigt (vgl. Tabelle 2). Beim Kropfer ist der Trend stabil, beim Albock nimmt er zu und beim Brienzlig zeigt sich eine abnehmende Tendenz. Beim Alter entwickeln sich die Werte für die drei Arten ebenfalls unterschiedlich (Abbildung 22 unten). Bei Kropfer und Albock steigt das durchschnittliche Alter, beim Brienzlig dagegen blieb es über die letzten 35 Jahre stabil.

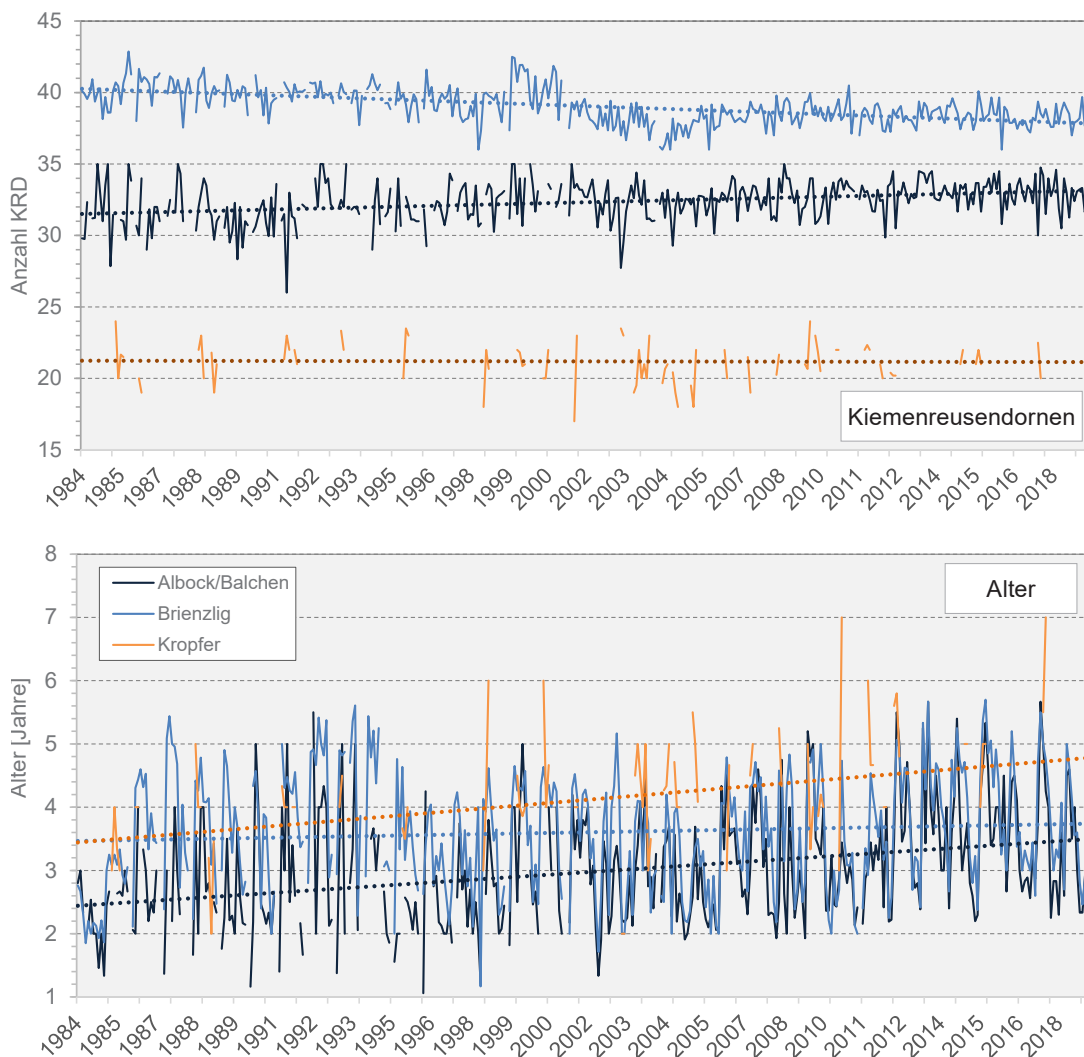


Abbildung 22: Monatsmittelwerte der Anzahl Kiemenreusendornen (oben) und Alter (unten) getrennt nach Arten und entsprechende Trendlinien (gestrichelt) für die Thunerseesefelchen.





6.2.6 Jahrgangsstärken

Im Thunersee tragen normalerweise vier bis sieben Jahrgänge zum Fang bei. Dabei sind die einzelnen Jahrgänge in den allermeisten Fällen während drei bis vier Jahren mit einem wesentlichen Anteil (>10%) im Fang vertreten (Abbildung 23). Einzig die Jahrgänge 1986-88 und 2007-11 traten während fünf Jahren mit An-

teilen über 10% im Fang auf. Die Verteilung der einzelnen Jahrgänge über mehrere Fangjahre ist im Hinblick auf eine nachhaltige Fischerei optimal und reduziert für die Fischerei die Abhängigkeit vom Fortpflanzungserfolg einzelner Jahre.

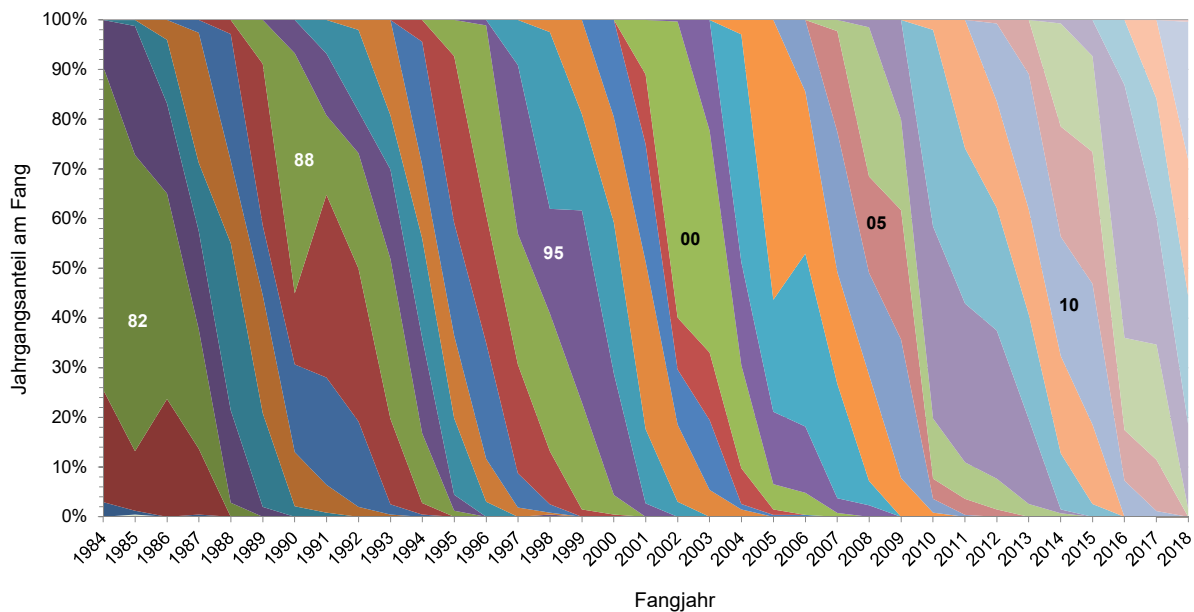


Abbildung 23: Relativer Anteil der einzelnen Jahrgänge im Probenmaterial des Thunersees 1984 - 2018, zusammengefasst für die ganzen Jahre.

Die rückwärts aufsummierten Jahrgangsstärken betragen für den Thunersee normalerweise ungefähr 100'000 Fische, in einzelnen Jahren bis 250'000 oder auch bloss 50'000 Exemplare (Abbildung 24). Ab Jahrgang 2013 sind noch nicht alle Altersklassen rekrutiert und

die entsprechenden Jahrgangsstärken werden deshalb als zu gering abgebildet. Gesamthaft zeigt sich mit einzelnen Ausschlägen zumindest bis Jahrgang 2013 eine recht stabile Situation.

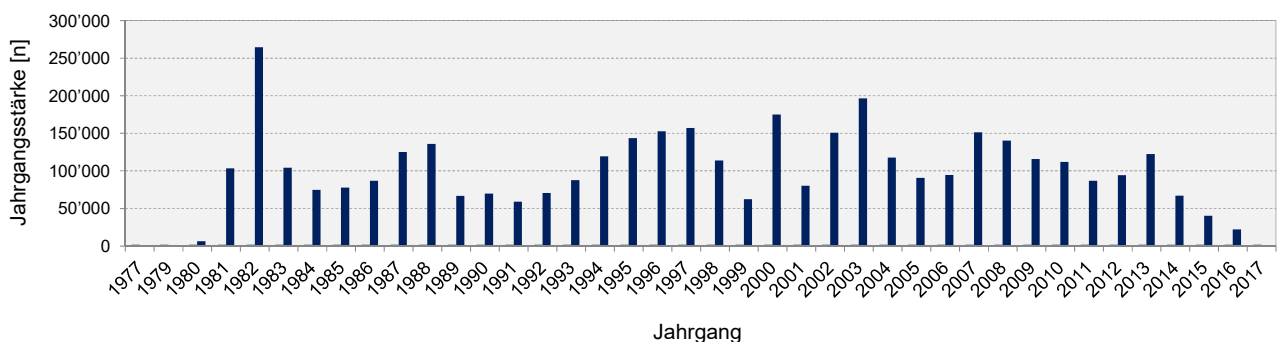
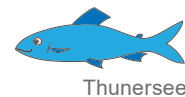


Abbildung 24: Übersicht zu den Jahrgangsstärken im Thunersee, aufsummiert über die gesamte Fangperiode.



6.2.7 Gesamtbetrachtung Thunersee

Die Felchenfänge der Berufsfischer am Thunersee belaufen sich mehrheitlich zwischen 20 und 40 Tonnen, mit einzelnen Ausreissern gegen 50 Tonnen wie 1984, 1986, 2000 und 2001 (Abbildung 25). Nachdem in den 1980er Jahren die minimalen Netzmaschenweiten heraufgesetzt worden waren, wurden die Maschenweiten bis 2020 für Schwebnetze auf generell 40 mm festgelegt, mit jahreszeitlich limitiertem Einsatz von wenigen 38 und 35 mm Schwebnetzen. Die Mindestmaschenweite für Grundnetze lag in dieser Zeit bei 35 mm. Die kombinierte Darstellung der normalisierten Werte aller Parameter zeigt, dass Länge und Gewicht weitgehend parallel verlaufen, der KI dagegen grössere Ausschläge – zum Teil in entgegengesetzte Richtung – aufweist, vor allem 1986 gegen oben und 1997 gegen unten. Seit dem Jahr 2000 bewegen sich alle drei Parameter mit Schwankungen in engen Bahnen zwischen dem langjährigen Mittelwert (0) und einer leichten Abweichung darunter (-1.5).

Die standardisierten Werte von Alter und KR D verlaufen weitgehend parallel, aber mit einzelnen Ausnahmep erioden. Normalerweise lag das standardisierte Alter höher, wenn gleichzeitig eine höhere Anzahl KR D anzeigte, dass vermehrt langsamwüchsige Brienzlig gefangen wurden und umgekehrt. In zwei Perioden wichen Alter und KR D jedoch in grösserem Umfang vom langjährigen Mittelwert ab, aber in entgegengesetzter Richtung: 1997/98 lag das Durchschnittsalter beim Fang relativ tief, obschon die KR D vermehrte Brienzligfänge indizierten; 2004/05 dagegen lag das Alter nahe beim langjährigen Mittelwert, währendem die KR D mehrheitlich Albockfänge auswiesen. Die Entwicklung der KR D und des Alters beim Fang der verschiedenen Arten sollte jedoch im Auge behalten werden.

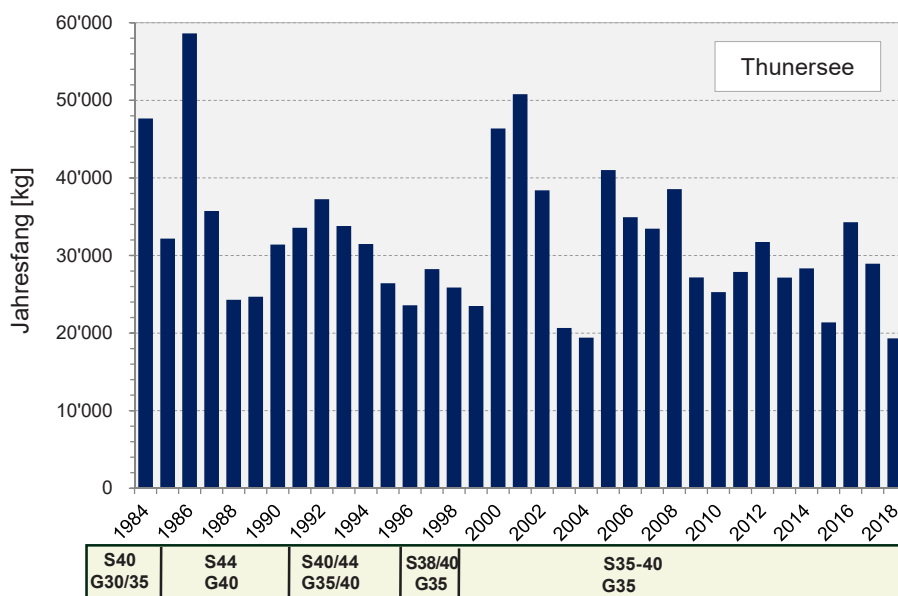


Abbildung 25: Jahresfang der Berufsfischerei im Thunersee und erlaubte Netzmaschenweiten.

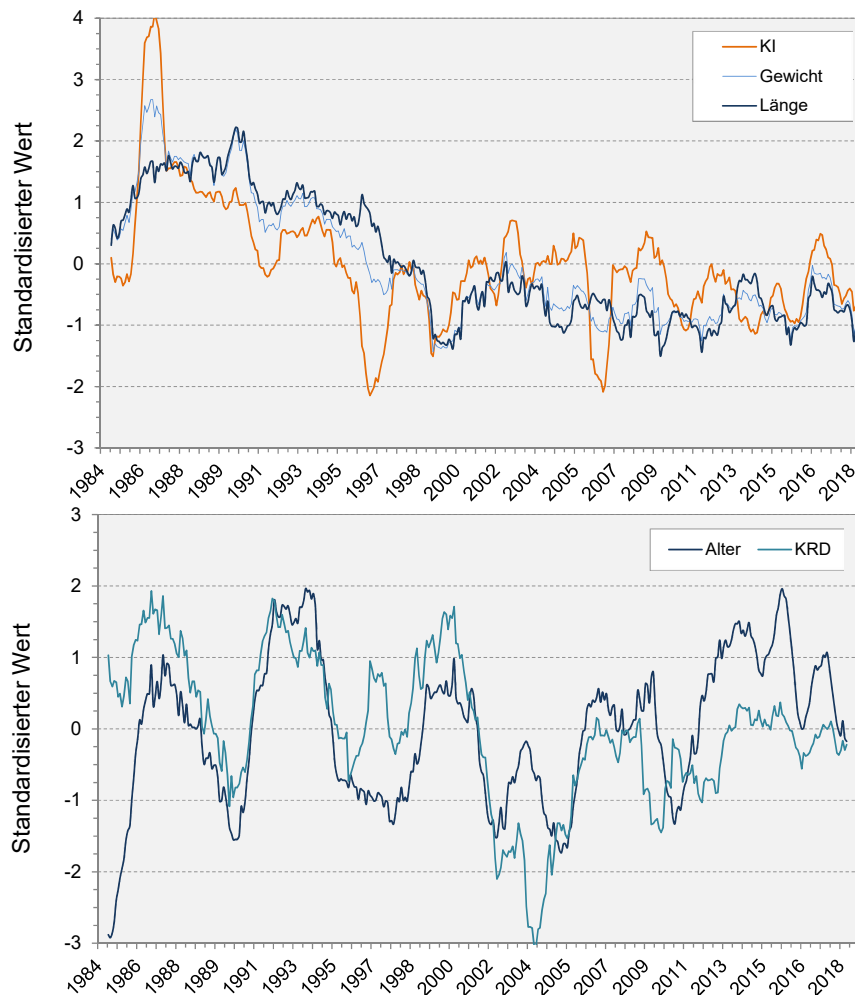


Abbildung 26: Standardisierte Werte von Länge, Gewicht und Konditionsindex (oben) und von Alter und Anzahl KRD (unten) im Probematerial des Thunersees.

Fazit Thunersee

Das mittlere Fangalter hat im Verlaufe der Zeitreihe zugenommen, während die mittlere Länge abnahm. Deshalb können Anpassungen bei den Maschenweiten und/oder optimierte Netz-Setzvorschriften für eine Ertragsoptimierung in Betracht gezogen werden.





6.3 Bielersee

6.3.1 Statistische Basisdaten

Aus dem Bielersee wurden in den 35 Untersuchungsjahren mit total 9'556 am meisten Fische der drei Seen analysiert (Tabelle 5). Mit einer mittleren Länge von knapp 31 cm und einem Durchschnittsgewicht von 239 g pro Fisch liegen die Bielerseefelchen zwischen denjenigen von Thuner- und Brienersee.

Dies zeigt sich auch beim Konditionsindex von 0.81, der eine relativ geringe Korpulenz anzeigt. Mit durchschnittlich 3.6 Jahren beim Fang werden auch die Bielerseefelchen innerhalb des Zielbandes von 3 – 5 Jahren gefangen.

Tabelle 5: Zusammenstellung der wichtigsten statistischen Eckdaten des Monitorings der Felchenfänge der Berufsfischerei am Bielersee.

Bielersee	Länge [mm]	Gewicht [g]	KI	KRD	Alter [Jahre]
Anzahl	9556	9556	9556	9391	9554
Mittelwert	306.898	238.650	0.810	32.780	3.632
Standardfehler	0.247	0.680	0.001	0.027	0.012
Median	305	228	0.800	33	4
Modus	295	212	0.787	32	3
Standardabweichung	24.145	66.490	0.093	2.582	1.139
Stichprobenvarianz	582.965	4420.892	0.009	6.668	1.298
Kurtosis	2.618	6.616	10.621	0.458	0.321
Schiefe	0.697	1.576	1.431	-0.330	0.487
Wertebereich	344	900	1.505	22	9
Minimum	176	35	0.485	21	0
Maximum	520	935	1.990	43	9
Summe	2932718	2280538	7736.240	307837	34696



6.3.2 Länge, Gewicht und Kondition

Bei den Bielerseefelchen hat die durchschnittliche Länge in den 35 Jahren des Monitorings schrittweise von 32 – 33 cm auf 29 – 30 cm abgenommen (Abbildung 27 oben). Parallel dazu hat sich das Durchschnittsgewicht von 250 – 300 g auf unter 200 g reduziert (Abbildung 27 Mitte). In den letzten Jahren ist bei beiden Parametern eine geringe Zunahme festzustellen.

Der Konditionsindex hat sich relativ stabil entwickelt, obschon von 1989 bis 2005 eine geringe Abnahme von 0.85 – 0.90 auf 0.8 beobachtet werden konnte (Abbildung 27 unten). Seither pendelt der KI zwischen 0.75 und 0.80 hin und her.

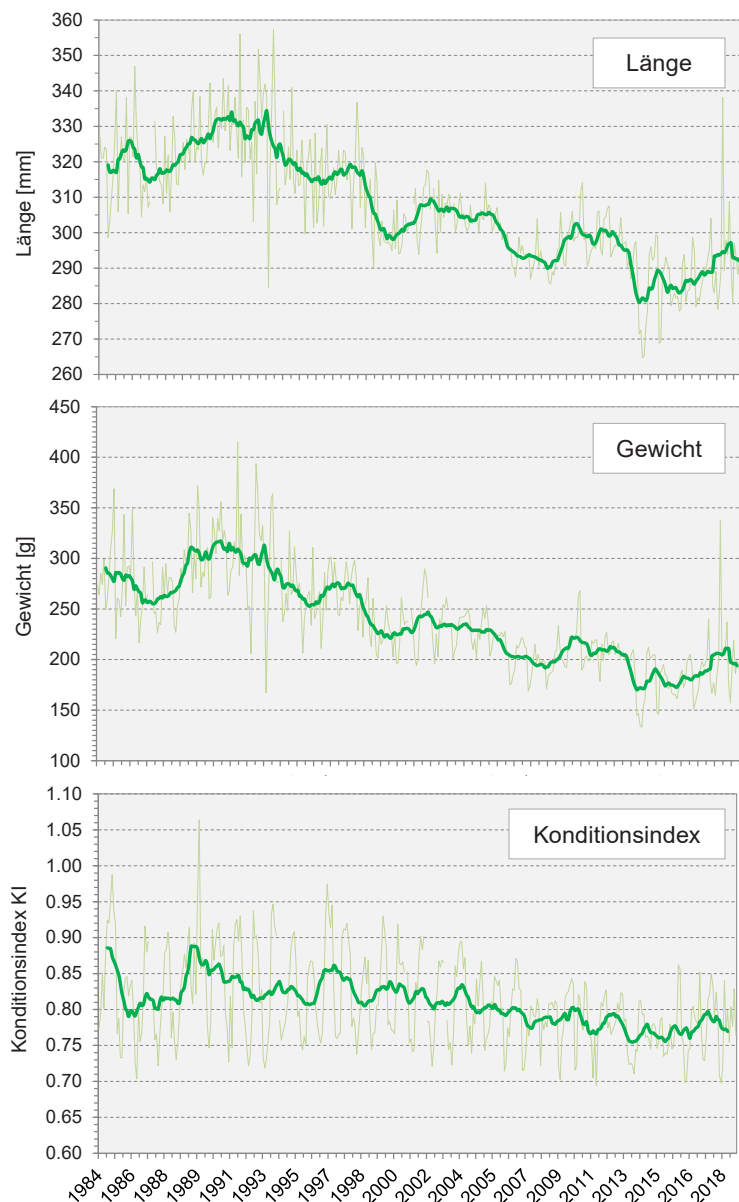


Abbildung 27: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Längen (oben), Gewichte (Mitte) und Konditionsindizes der gefangenen Felchen im Bielersee von 1984 - 2018. Hell sind die Monatsmittelwerte dargestellt, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate.



Bielersee

6.3.3 Alter und Arten

Das Durchschnittsalter der gefangenen Felchen im Bielersee weist einen deutlichen Aufwärtstrend auf und ist in den vergangenen 35 Jahren von 2.5 Jahren auf 4 – 4.5 Jahre angestiegen (Abbildung 28). Anders als im Thunersee ist aber keine klare Periodizität der Schwankungen auszumachen.

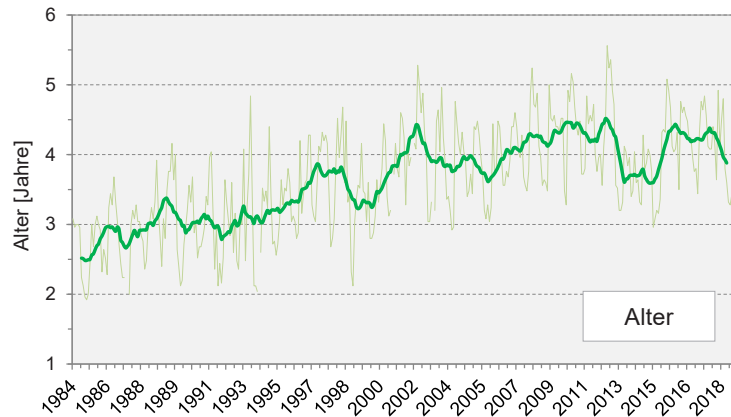
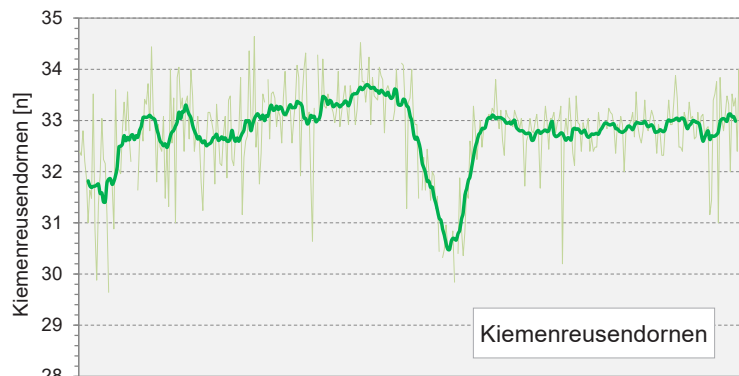


Abbildung 28: Entwicklung des Durchschnittsalters im Bielersee. Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt.

Die mittlere Anzahl Kiemenreusendornen weist auf relativ stabile Verhältnisse bei der Verteilung des Fangs auf die langsamwüchsigen Bondelle und die schnellwüchsigen Palée hin und schwankt leicht um den Mittelwert von 33 (Abbildung 29 oben). Ausnahme bilden dabei die Jahre 2002-04, als die mittlere Anzahl KRД auf unter 31 sank. Für diesen Ausreisser gibt es keine Erklärung.



Dasselbe Bild zeigt sich auch im Verhältnis Langsamwüchsige zu Schnellwüchsige im Fang, das in den Jahren 2002 – 2004 einen recht grossen Anteil schnellwüchsiger Palée im Fang darstellte (Abbildung 29 unten). In den Folgejahren wurden wiederum mehrheitlich Bondelles gefangen mit einzelnen Ausnahmejahren.

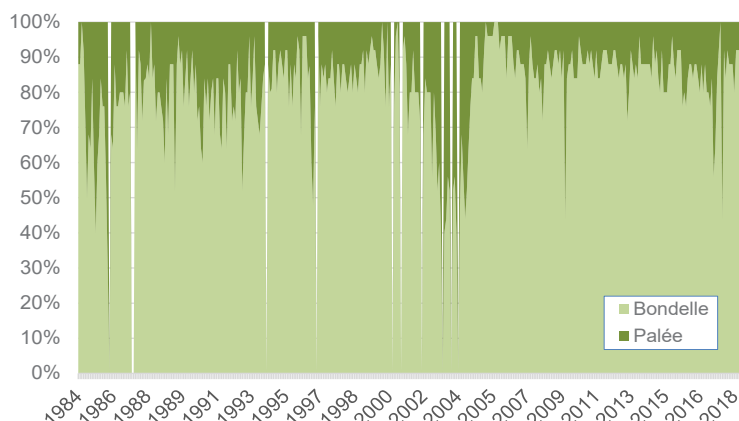


Abbildung 29: Zeitliche Entwicklung der mittleren Anzahl Kiemenreusendornen (KRД) im Bielersee (oben). Hell sind die Monatsmittelwerte, dunkel das gleitende Mittel über 11 Monate dargestellt. Unten: Monatlicher Anteil schnellwüchsiger Palées und langsamwüchsiger Bondelles.



6.3.4 Geschlechtsunterschiede

Bei den Monatsmittelwerten der meisten Messgrößen im Bielersee können zwischen den Geschlechtern nur kleine Unterschiede festgestellt werden. Länge und Gewicht nehmen über die gesamte 35-Jahresperiode ab, wobei der Trend bei beiden Geschlechtern parallel verläuft, aber bei den Milchnern immer unterhalb desjenigen der Rogner liegt. Der Konditionsindex der Milchner nimmt dagegen stärker ab als derjenige der Rogner, d.h. die Männchen wer-

den schlanker als die Weibchen (Abbildung 30 oben). Bei den Kiemenreusendornen zeigt sich ein interessantes Phänomen: währenddem die KRД der Rogner tendenziell ganz leicht abnehmen, nahm die Anzahl KRД der Milchner über die gesamte Periode leicht zu (Abbildung 30 unten). Ob dies eine Veränderung im Artengefüge darstellt, oder ob sich die gemäss Literatur stabile Anzahl KRД der Arten über die Zeit verändert muss hier offen bleiben.

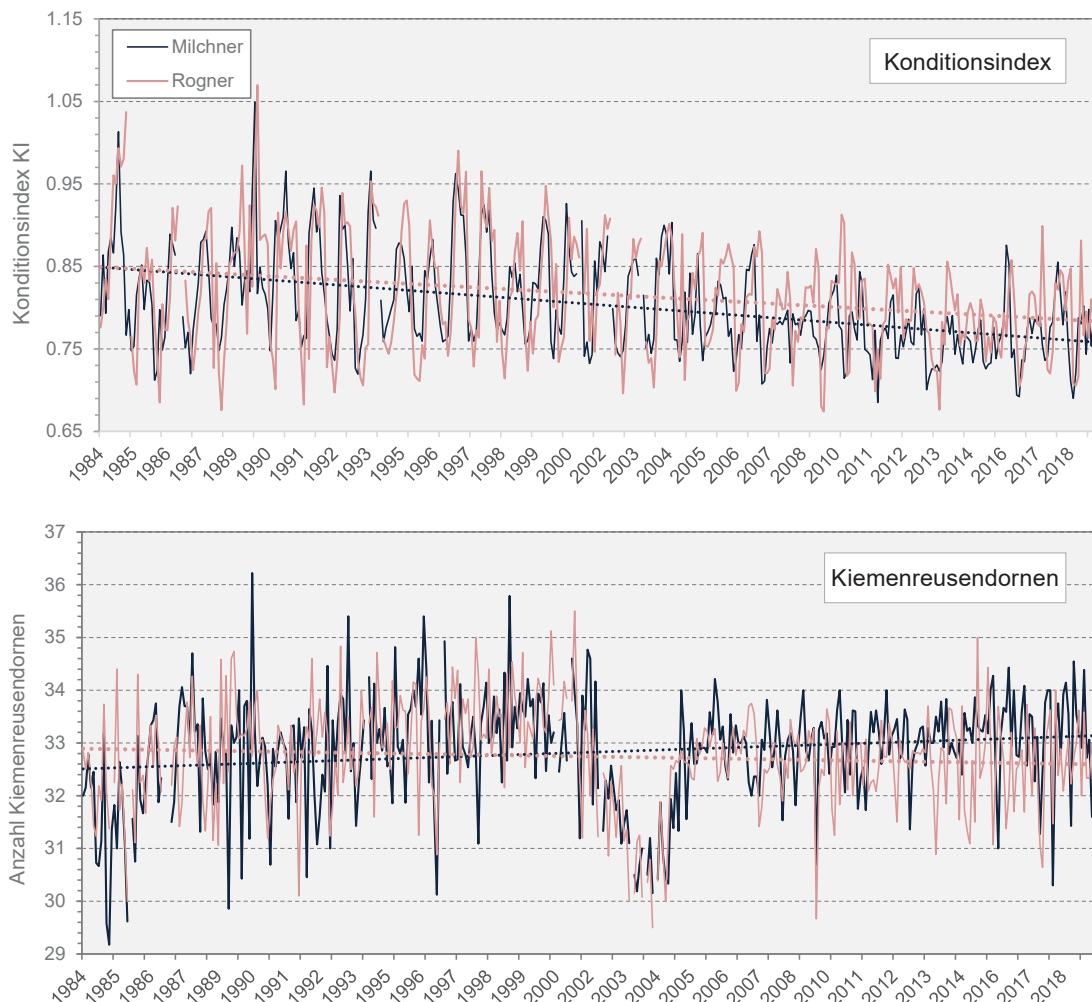


Abbildung 30: Monatsmittelwerte des Konditionsindex (oben) und der Anzahl Kiemenreusendornen (unten) getrennt nach Geschlechtern und entsprechende Trendlinien (gestrichelt) für die Bielerseefelchen.



6.3.5 Artunterschiede

Werden die Monatsmittelwerte über die gesamte Periode nach Arten getrennt analysiert, so zeigt sich erwartungsgemäss, dass Länge und Gewicht der Bondelle kleiner sind als diejenigen der Palée. Der Trend der durchschnittlichen Länge zeigt aber, dass die Längenabnahme der Bondelles tendenziell stärker ausfällt

als bei den Palées (Abbildung 31 oben). Beim Alter steigen die Werte für die beiden Arten tendenziell an, aber unterschiedlich stark (Abbildung 31 unten). Das Alter beim Fang hat in den 35 Jahren bei den Palées deutlich stärker zugenommen als bei den Bondelles.

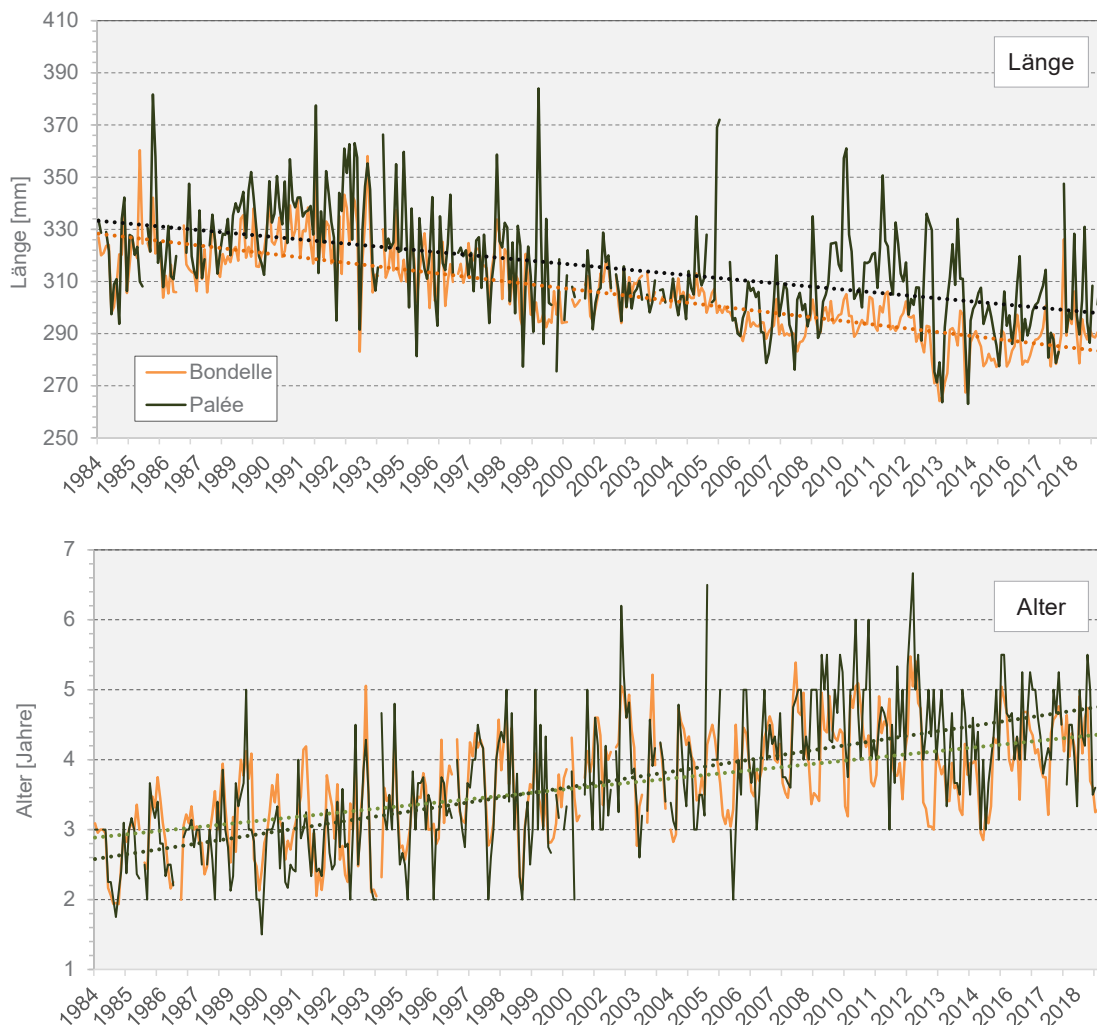


Abbildung 31: Durchschnittliche Länge (Monatsmittel, oben) und Durchschnittsalter (unten) der gefangenen Bielerseefelchen getrennt nach Arten und entsprechende Trendlinien (gestrichelt).



6.3.6 Jahrgangsstärken

Die einzelnen Jahrgänge sind im Bielersee in der Regel während drei Fangjahren mit grösseren Anteilen im Fang vertreten (Abbildung 32). In Ausnahmejahren tragen sie jedoch nur während eines Jahres (Jahrgang 1994) oder bis zu

fünf Jahren (1996) wesentlich zum Fang bei. In jedem Fangjahr waren mindestens zwei, in der Regel drei bis vier Jahrgänge vertreten. Dies trägt wesentlich zu einer Risikominimierung für die Berufsfischerei bei.

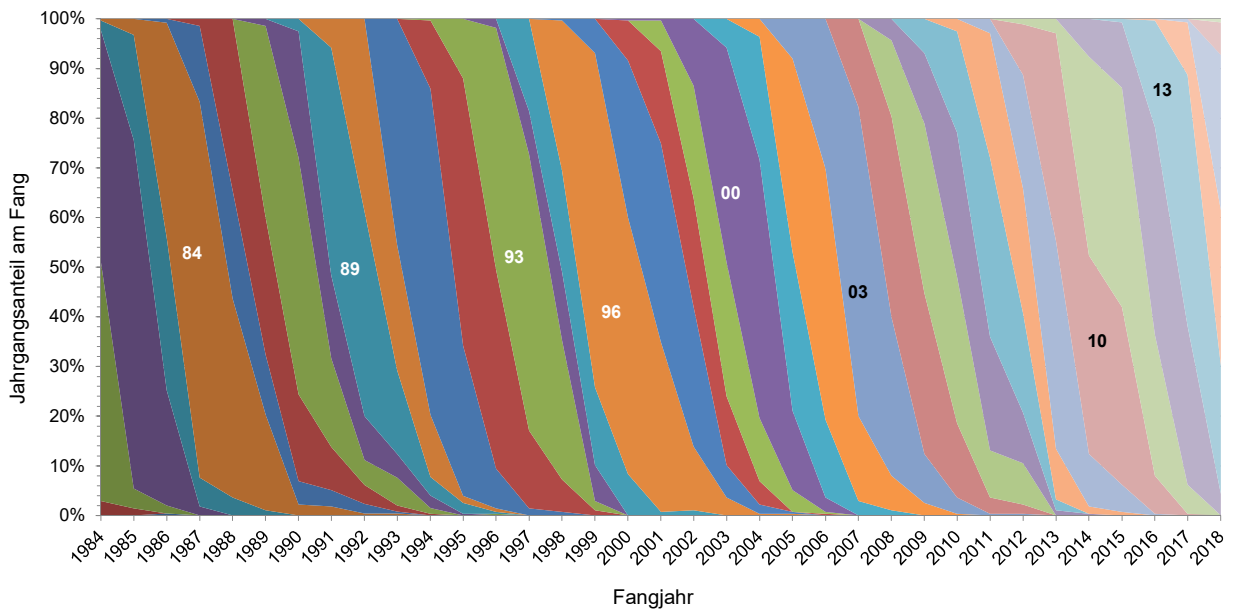


Abbildung 32: Relativer Anteil der einzelnen Jahrgänge im Probematerial des Bielersees 1984 - 2018, zusammengefasst für die ganzen Jahre.

Im Bielersee liegen die Jahrgangsstärken normalerweise zwischen 200'000 und 500'000 Fische (Abbildung 33). In Ausnahmejahren können sie aber auch bei über 600'000 Fische liegen (1984, 1996), oder unter 100'000 (1994). Seit 2005 ist eine Abnahme der berechneten Jahrgangsstärken auf unter 300'000 Exemplare festzustellen. Inwiefern dies mit der Reoligo-

trophierung oder mit dem fortschreitenden Klimawandel – der sich in den Mittellandseen weit stärker auswirkt als im Oberland – zu tun hat, ist vorläufig nicht abschliessend zu beantworten. Kohorte 2016 und folgende sind noch nicht vollständig rekrutiert und die entsprechenden Jahrgangsstärken werden zu gering ausgewiesen.

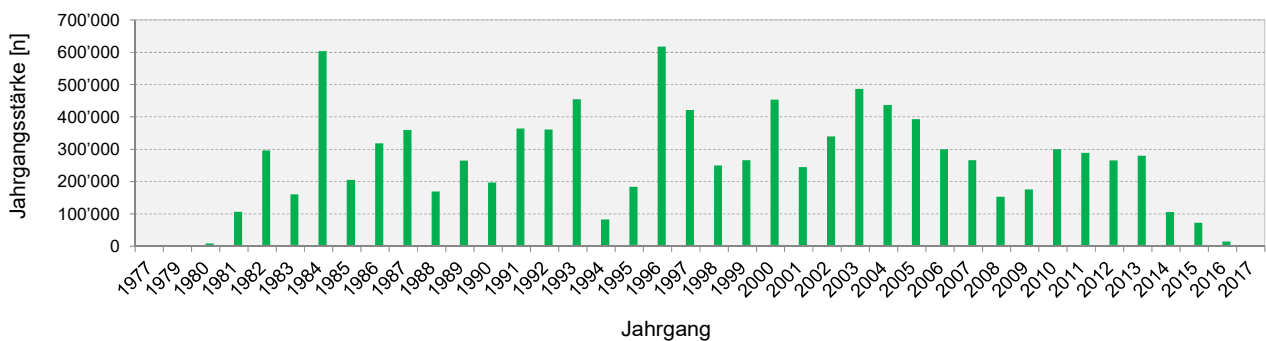


Abbildung 33: Übersicht der Jahrgangsstärken im Bielersee, aufsummiert über die gesamte Fangperiode.



6.3.7 Gesamtbetrachtung Bielersee

Der Jahresfang der Berufsfischerei im Bielersee lag 1988 bis 2011 meistens im Bereich von 60 bis 100 Tonnen. 2012 wurde mit weniger als 40 Tonnen das bisher schlechteste Ergebnis erzielt und seither liegt der der Jahresfang meist um die 40 Tonnen (Abbildung 34). Dieser Rückgang des Ertrages dürfte auf die zunehmende Reoligotrophierung dieses einst hocheutrophen Sees zurückzuführen sein. Die minimale Netzmaschenweite wurde seit 2008 in mehreren Schritten reduziert, von 36 und 38 mm auf aktuell 32 und 34 mm für Grund- und Schwebnetze. Damit soll dem geringeren Wachstum der Bielerseefelchen Rechnung getragen werden.

Die gemeinsame Darstellung der normalisierten Werte aller Parameter für den Bielersee zeigt, dass Länge, Gewicht und der Konditionsindex (KI) weitgehend parallel verlaufen. Nur

2000/2001 zeigte der KI relativ wohlgenährte Fische, währendem Länge und Gewicht leicht unter dem langjährigen Durchschnitt lagen. Bei allen drei Parametern zeigt der Langfristtrend aber eine deutliche Abnahme.

Die standardisierten Werte von Alter und KRD verlaufen bis 2001 parallel, anschliessend sind sie weitgehend stabil innerhalb eines engen Schwankungsbereichs. In der Periode 2002 bis 04 weist die Anzahl KRD eine ziemlich massive Abweichung vom langjährigen Mittel auf, die anhand der vorliegenden Daten nicht erklärt werden kann.

Angesichts der Entwicklung der Nährstoffsituation und des Felchenwachstums im Bielersee kann eine Anpassung der Netzmaschenweite eine sinnvolle Option sein, um den Bestand optimaler zu nutzen (entsprechende Sonderfänge laufen bereits).

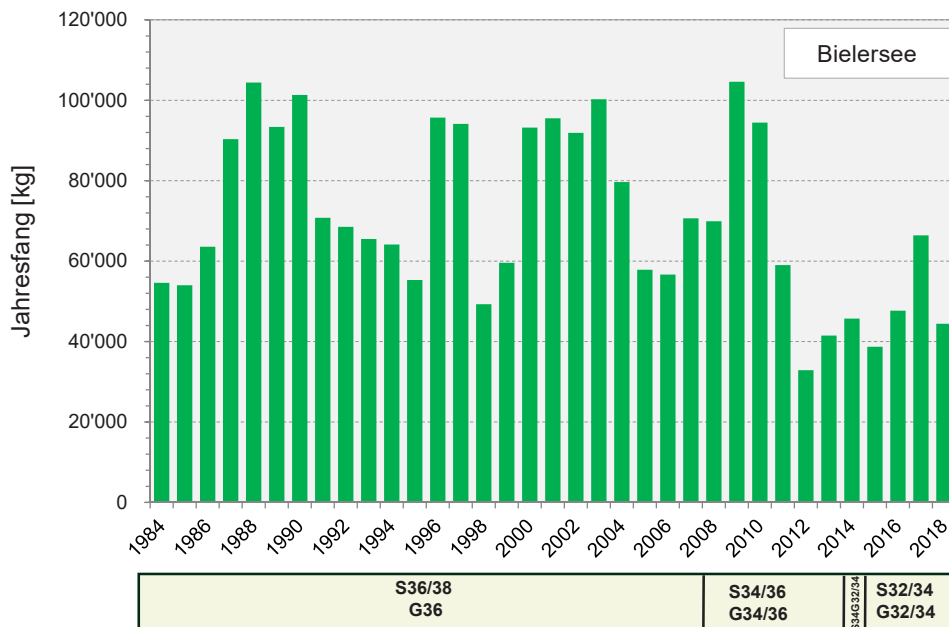


Abbildung 34: Jahresfang der Berufsfischerei im Bielersee und erlaubte Netzmaschenweiten.



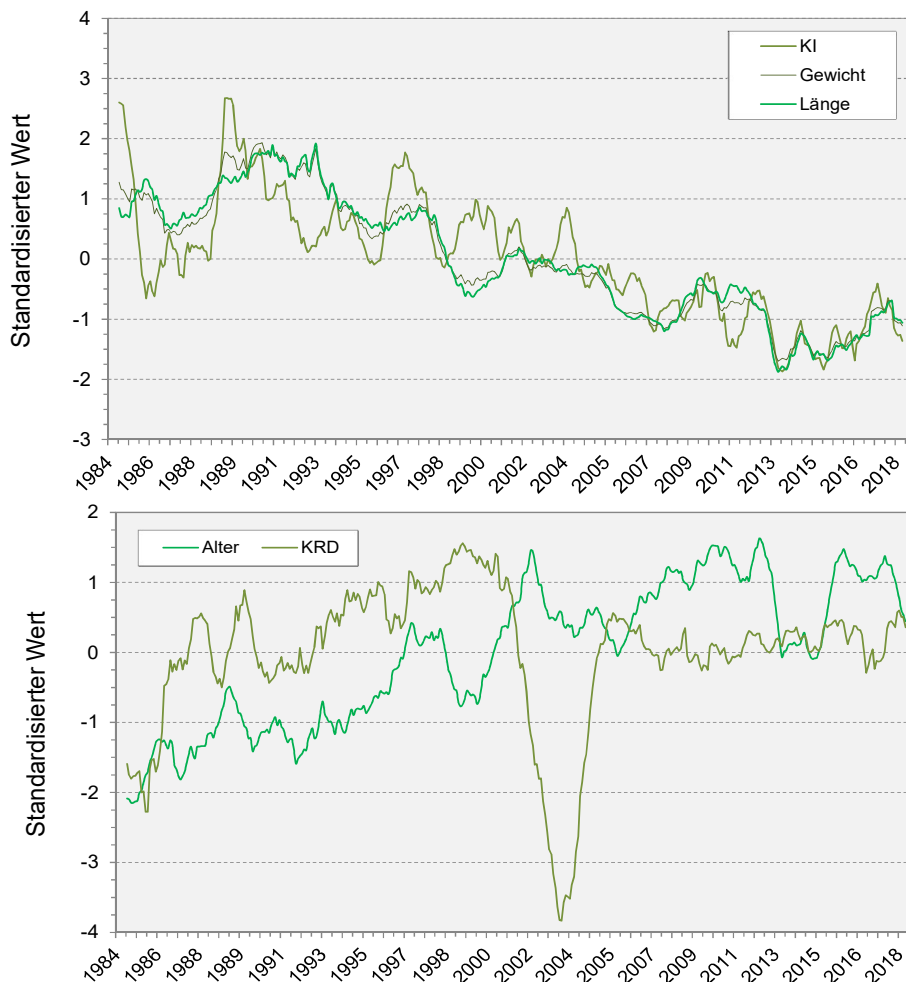


Abbildung 35: Länge, Gewicht und Konditionsindex, sowie Alter und KR D des Probenmaterials aus dem Bielersee in standardisierter Form.

Fazit Bielersee

Die Reoligotrophierung und eventuell auch der Klimawandel haben zur Folge, dass sich die Nahrungsgrundlage und damit auch die Wachstumsverhältnisse der Bielerseefelchen stark verändert haben. Eine Reduktion der Netzmaschenweiten für die Felchenfischerei scheint deshalb angebracht zu sein.



6.4 Gesamtbetrachtung aller drei Seen

Wird für alle 3 Seen über die gesamte Monitoringperiode die Häufigkeit der Längenklassen des Untersuchungsmaterials verglichen, zeigt sich dass im Brienersee - erwartungsgemäss - die kleinsten Fische gefangen werden (Abbildung 36). Die Länge der Fische in Thuner- und Bielersee scheint sich dagegen kaum zu un-

terscheiden, obschon in den beiden Seen mit deutlich unterschiedlichen Maschenweiten gefischt wird. Auch liegt das Fangmindestmass für die Angelfischerei im Thunersee bei 28 cm, im Bielersee jedoch bei 25 cm. Eine Harmonisierung ist im Hinblick auf die weitere Entwicklung sicher zu überlegen.

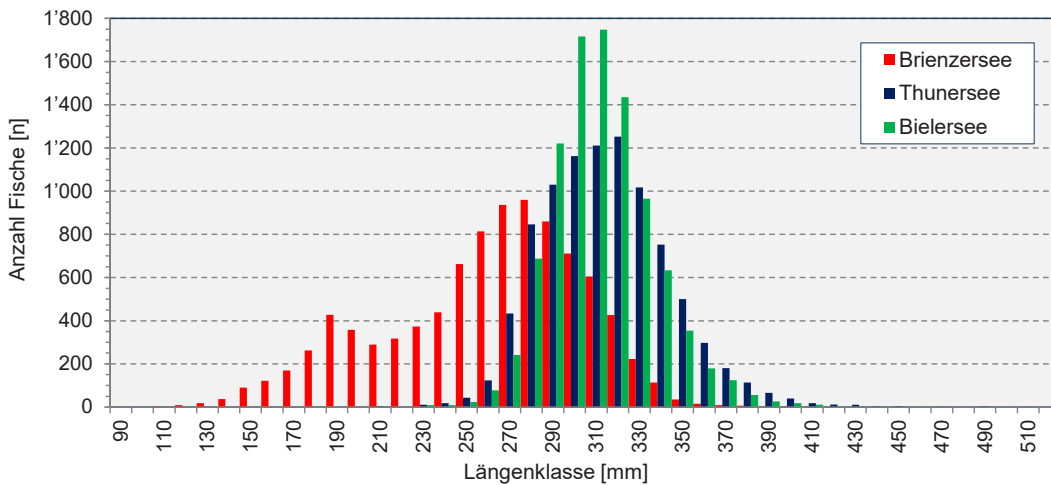


Abbildung 36: Häufigkeitsverteilung der Längenklassen in den drei Seen, gepoolt für das gesamte Untersuchungsmaterial des Monitorings.

Wird diese Gesamtbetrachtung anhand der standardisierten gleitenden Mittel über die Zeit aufgezeichnet, erkennen wir zum Teil parallele, teilweise entgegengesetzte Entwicklungen in allen drei Seen (Abbildung 37). In den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts lässt

sich überall eine klare Abnahme der mittleren Länge beobachten. Diese kann mit der einsetzenden Reoligotrophierung erklärt werden. Anschliessend stabilisierten sich die Längen auf etwas tieferem Niveau, mit Ausnahme des Brienersees, wo seit 2013 eine klare Zunahme

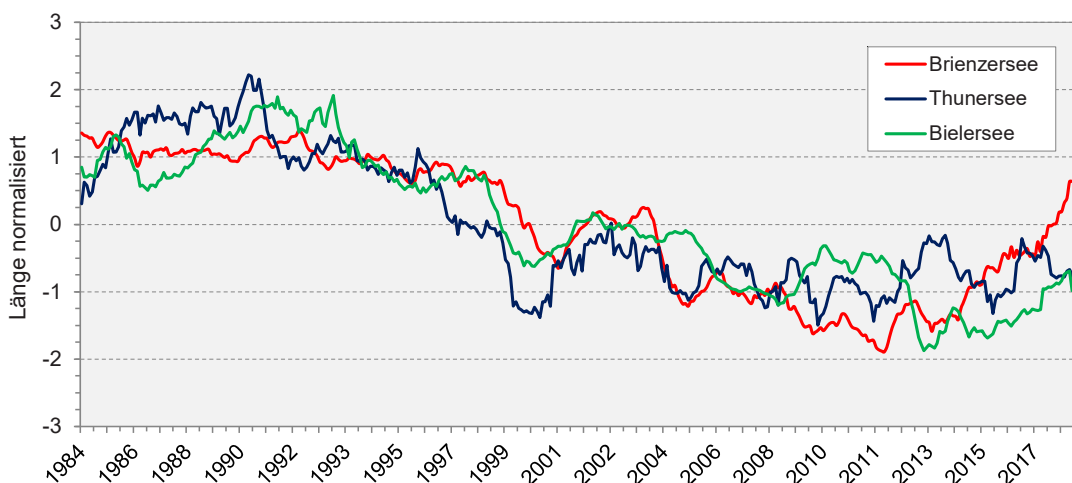


Abbildung 37: Gleitendes Mittel über 11 Monate der Durchschnittslängen in den drei Seen über die gesamte Monitoringperiode.

der Fischlängen zu beobachten ist. Letzteres ist allerdings der Tatsache geschuldet, dass inzwischen fast nur noch auf die grösseren Felchen gefischt wird. 2013 wurde im Bielersee der bisher tiefste Wert dieses Parameters beobachtet. Warum die Durchschnittslängen der gefangenen Felchen im Bielersee in diesem Jahr so tief waren, ist ungeklärt.

Die Veränderungen der mittleren Längen im Fang lassen sich jedoch auch mit dem Verhältnis von Langsam- zu Schnellwüchsigen im Fang erklären. Wie in Abbildung 38 dargestellt, variiert dieser Parameter (ausschliesslich anhand der Anzahl Kiemenreusendornen KRD berechnet) relativ stark, aber teils unterschiedlich in den drei Seen.

Bis ca. 1990 entwickelte sich das Verhältnis Schnell- zu Langsamwüchsigen im Fang in Thuner- und Brienersee gegenläufig. Seither ist eine ziemlich parallele Zyklizität ersichtlich, aber mit tendenziell zunehmendem Anteil Schnellwüchsiger. Die markante Abnahme des Anteils Langsamwüchsiger zwischen 1999 und 2004 ist für den Brienersee erklärbar mit der Reoligotrophierung, dem Verschwinden der Daphnien und der veränderten und stark reduzierten Fischerei. Für Thuner- und Bielersee dagegen gibt es bisher keine Erklärung für diese Veränderung des Artengefüges im Fang zwischen 2000 und 2005. Im Bielersee liegt der Anteil schnellwüchsiger Palées im Fang seit ca. 2007 fast stabil bei 10 - 20 %.

Interaktionen und gegenseitige Beeinflussung mehrerer Felchenarten in einem See sind bisher weitgehend unerforscht.

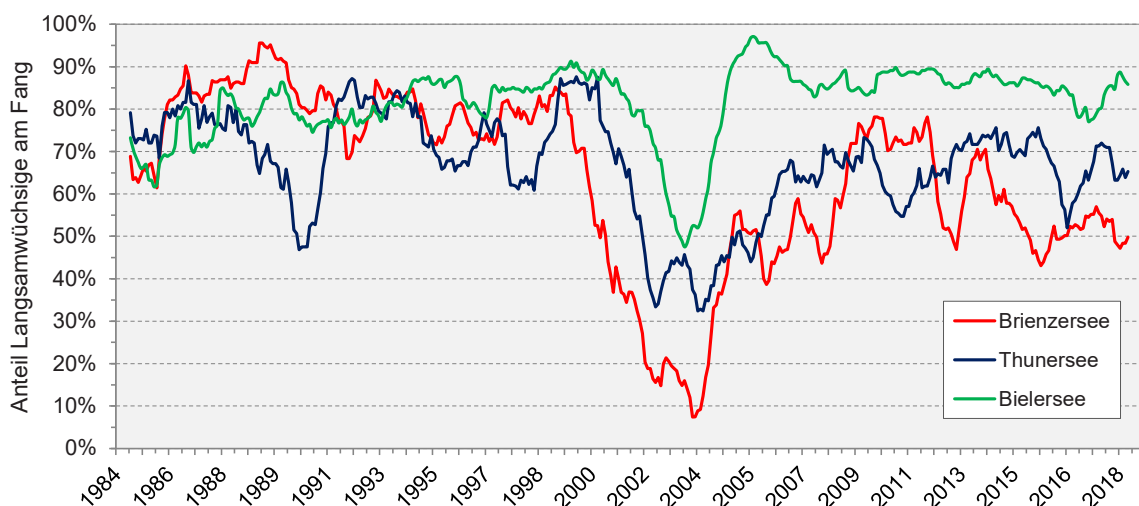


Abbildung 38: Gleitendes Mittel über 11 Monate des Anteils Schnell- und Langsamwüchsiger in den drei Seen über die gesamte Monitoringperiode.

Der für die nachhaltige Bewirtschaftung wichtigste Parameter ist das Alter der Fische beim Fang. Ist dieses zu tief, droht eine Überfischung junger Altersklassen mit schwerwiegenden Auswirkungen auf die Reproduktion und die natürliche Bestandserhaltung. Ist das Alter jedoch sehr hoch, wird die Biomasseproduktion des Sees nur ungenügend ausgenutzt. Letzteres ist jedoch ein rein ökonomisches Problem und hat biologisch keine negativen Auswirkungen auf den Fischbestand und dessen Erhaltung. Auf Grund der Wachstumsverhältnisse in den drei Seen wurde deshalb ein «optimales» Fangalter von drei bis fünf Jahren definiert, das mit Hilfe der Fischereivorschriften eingehalten werden sollte. Diese Vorgabe konnte mehrheitlich eingehalten werden (Abbildung 39). Zu Beginn der Monitoringperiode lag das Durchschnittsalter der gefangenen Felchen in allen drei Seen unter den erwünschten drei Jahren, nahm anschliessend jedoch deutlich zu und seither wurde dieser Wert nur noch in einzelnen Jahren unterschritten. Die zyklischen Schwankungen im Thunersee sind mit dem unterschiedlichen Anteil Brienzlig und Albock zu erklären. Im Brienersee kann seit dem Höchst-

stand in den 1980er Jahren eine klare Abnahme des Durchschnittsalters beobachtet werden, die ebenfalls auf den zunehmenden Anteil der Schnellwüchsigen Felchen zurückzuführen ist. Aufgrund der ausgeprägten Reoligotrophierung in diesem See erreichen die langsamwüchsigen Brienzlig seit ca. 10 Jahren gar nicht mehr die notwendige Länge um mit den eingesetzten Netzen gefangen werden zu können. Im Bielersee dagegen konnte während rund 20 Jahren eine Zunahme des durchschnittlichen Alters beobachtet werden. Seither hat sich der Wert dieses Parameters um vier stabilisiert. Mit Hilfe der virtuellen Populationsanalyse VPA konnte aus den Monitoringdaten und der Fangstatistik die theoretische minimale Stärke der vollständig rekrutierten Jahrgänge der Felchen und der Verlauf von deren Ausfischung (pro Fangjahr) geschätzt werden. Diese zeigen unterschiedliche Entwicklungen in den drei Seen auf (Abbildung 40). Im Brienersee sind grosse Schwankungen zu beobachten und seit einem massiven Einbruch ums Jahr 2000 eine Stabilisierung auf deutlich tieferem Niveau. Für die letzten 10 Jahren wurden sehr kleine Jahrgangsstärken um 20'000 Fische geschätzt. Die

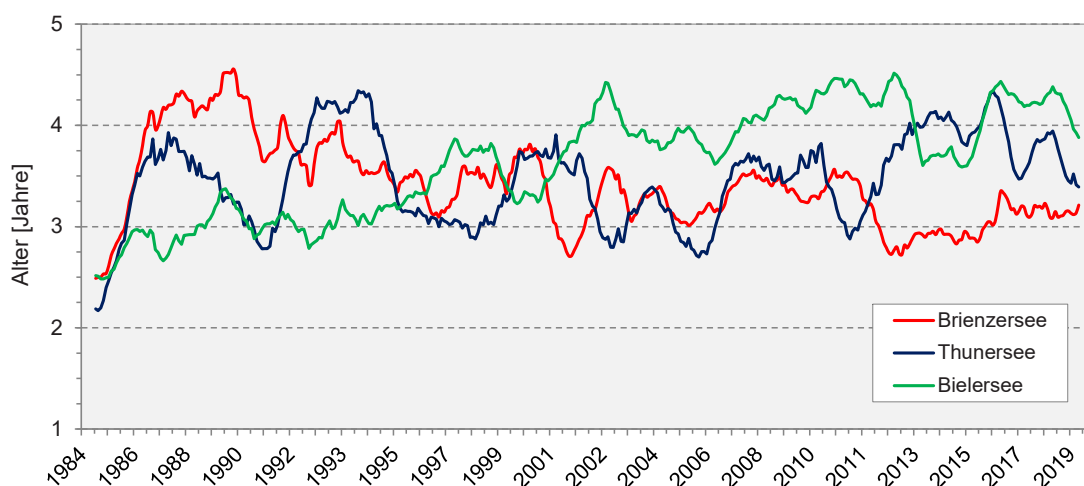


Abbildung 39: Gleitendes Mittel über 11 Monate des durchschnittlichen Alters im Fang in den drei Seen über die gesamte Monitoringperiode.

Aussagekraft der Daten der letzten 10 Jahre ist allerdings gering, da auf Grund der reduzierten Befischung die Jahrgänge kaum mehr vollständig rekrutiert - ausgefischt - werden. Im Thunersee ergibt sich über die gesamte Beobachtungsperiode eine weitgehend stabile

Situation mit Jahrgangsstärken von 100'000 - 140'000 Fischen, mit einzelnen «Ausreisserjahren» nach oben und unten. Gesamthaft widerspiegeln jedoch die Jahrgangsstärken die auch in der Fangstatistik ersichtlichen, relativ stabilen Verhältnisse im Thunersee.

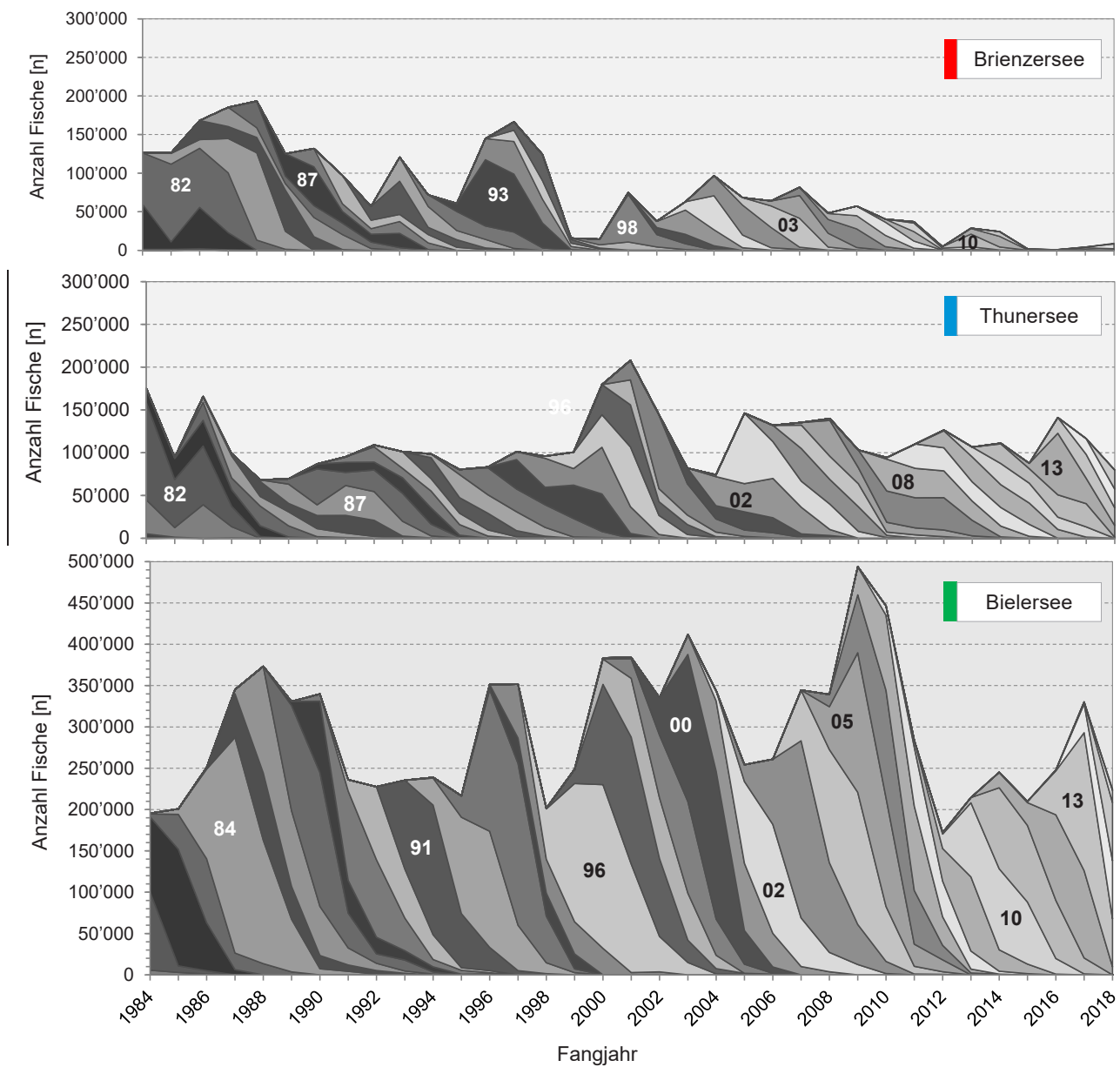


Abbildung 40: Auf Grund der Monitoringdaten und der Fangstatistik geschätzte minimale Jahrgangsstärken der Felchen in den drei Seen über die gesamte Monitoringperiode (Achtung: unterschiedlicher Massstab der Y-Achsen); Die Zahlen in den Flächen entsprechen dem jeweiligen Jahrgang.

Ein vergleichbares Bild ergibt sich für den Bielersee, in dem die Jahrgangsstärken ebenfalls recht stabile Verhältnisse signalisieren. In den letzten ca. 10 Jahren scheint sich die Jahrgangsstärke jedoch auf einem etwas tieferen Niveau einzupendeln. Dies wird besser sichtbar, wenn die Stärke der einzelnen Jahrgänge aufgezeichnet wird (Abbildung 41). Hier zeigt sich in allen drei Seen ein Rückgang der minimalen Jahrgangsstärke der Felchen. Wie im Brienzersee aufgezeigt werden konnte ist

dieser Rückgang grösstenteils auf die Reoligotrophierung zurückzuführen. In Thunersee und Bielersee dürfte diese Entwicklung ebenfalls weitestgehend auf diese Ursache zurückzuführen sein. Ob hier die Felchenbestände bereits ein stabiles - wenn auch deutlich tieferes - Niveau erreicht haben, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Zumindest für den Bielersee ist aber zu erwarten, dass bei weiterer Abnahme der Nährstoffzufuhr auch die Felchenbestände weiter abnehmen werden.

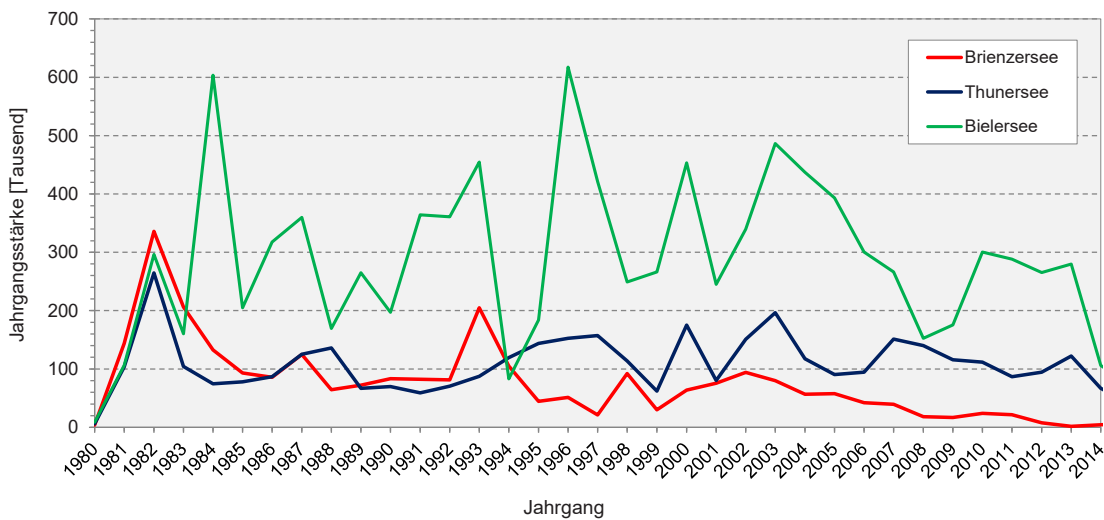


Abbildung 41: Zusammenfassung der Jahrgangsstärken in den drei Seen (nur vollständig rekrutierte Jahrgänge).

7 Schlussfolgerungen

Das Monitoring der Felchenfänge der Berufsfischerei in den drei Berner Seen bedeutet für die Vollzugsbehörde einen beträchtlichen Arbeitsaufwand. Grob geschätzt müssen dafür pro Jahr rund 30 Arbeitstage der Fischereiaufseher für Felderhebungen und Laboranalysen investiert werden. Dieser Aufwand lässt sich mit dem gesetzlichen Auftrag des BGF - die Kantone stellen die nachhaltige Nutzung der Fischbestände sicher und sorgen dafür dass die natürliche Artenvielfalt erhalten bleibt - aber durchaus rechtfertigen.

Wie die bisherigen Erfahrungen mit dem Monitoring gezeigt haben, konnten nur dank dieser routinemässigen Untersuchungen einige Probleme der Felchenbestände frühzeitig erkannt werden (Trübung und Reoligotrophierung im Brienersee, gehäufte Gonadenveränderungen im Thunersee, Wachstumsrückgang im Bielersee). Auf Grund dieser Früherkennung konnten denn auch verschiedene Detailuntersuchungen ausgelöst werden, um die Probleme vertieft zu studieren und mögliche Lösungen aufzuzeigen.

Des weiteren konnten nur dank dieses Monitorings und den darauf basierenden fundierten Resultaten die Fischereivorschriften zeitnah angepasst und die weitere Entwicklung verfolgt werden. Dank dieser Erfolgskontrolle kann zwischen den Bedürfnissen der Berufs- und Angelfischerei und denjenigen der Fischpopulationen der richtige Kompromiss gefunden werden, der erst die nachhaltige Nutzung der Fischbestände möglich macht.

Der technische Gewässerschutz in der Schweiz ist eine absolute Erfolgsgeschichte und in einigen Seen ist das gesetzlich festgelegte Ziel - natürliche oder zumindest naturnahe Nährstoffverhältnisse - bereits erreicht. Dies bedeutet aber auch, dass die Berufsfischerei nicht mehr überall kostendeckend betrieben werden kann, so dass die Fischerfamilien vom resultierenden

Einkommen leben können. Der Brienersee gibt dazu ein anschauliches Beispiel.

Wir müssen davon ausgehen, dass auch weiterhin seeexterne Faktoren wie reduzierte Nährstoffeinträge und Klimawandel einer Stabilisierung der Produktionsverhältnisse - vor allem im Bielersee - entgegenwirken werden. Diese Einflüsse müssen weiter überwacht und deren Auswirkungen auf die Felchenbestände so gut wie möglich quantifiziert werden.

Weiter werden die - noch nicht ganz verstandenen - Wechselwirkungen zwischen schnell- und langsamwüchsigen Arten den Gesamtbestand der Felchen in den Seen und damit auch die Fänge der Berufsfischerei in wesentlichem Masse beeinflussen. Damit sind für die Berufsfischerei wohl auch in Zukunft grössere Ertragsschwankungen vorprogrammiert. Die Veränderungen der Kiemenreusendornen im Verlauf der letzten Jahre erschweren die taxonomische Differenzierung einzelner Arten zunehmend. Das Monitoring soll deshalb neu zusätzlich genetische Stichproben und Analysen zur besseren Artzuordnung beinhalten. Die vertiefte genetische Untersuchung der Zusammensetzung der Felchenfänge der Berufsfischerei kann mithelfen, diesen Fragenkomplex - die Dynamik des Zusammenlebens verschiedener Felchenarten in einem See - etwas zu erhellen.

Auf die Veränderungen der Umwelt muss die Vollzugsbehörde auf jeden Fall rasch und flexibel reagieren können. Das Monitoringprogramm bildet dazu - nebst dem intensiven Kontakt mit den Fischern - die wohl wichtigste Grundlage. Die vorliegenden Resultate und Überlegungen zeigen, dass ein minimales Monitoring in der vorliegenden, eventuell leicht abgeänderten Form eine absolute Notwendigkeit ist, um den gesetzlichen Auftrag zur Sicherstellung der nachhaltigen Fischerei und des Artenschutzes erfüllen zu können.

8 Literatur

- GUTHRUF, K., V. MAURER & M. ZEH 2019: Entwicklung des Phyto- und Crustaceenplanktons in Brienersee, Thunersee, Bielersee, Lac de Morat et Lac de Neuchâtel. Bericht des Amtes für Wasser und Abfall (AWA) des Kantons Bern, des Service de l'environnement du canton de Fribourg und des Service de l'énergie et de l'environnement du canton de Neuchâtel : 87 S.
- HUDSON, A.G., P. VONLANTHEN, R. MÜLLER & O. SEEHAUSEN 2007: Review: The geography of speciation and adaptive radiation in coregonines. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 60: 111-146.
- KIRCHHOFER, A. & P.A. TSCHUMI 1986: Age structure and growth of coregonid fish populations in Lake Thun. *Arch. Hydrobiol. Beih. (Ergebn. Limnol.)* 22: 303-318.
- KIRCHHOFER, A. 1990 : Limnologische und Ichthyologische Untersuchungen im Brienersee unter besonderer Berücksichtigung der Differenzierung der sympatrischen Felchenpopulationen. Dissertation Universität Bern: 107 S.
- KIRCHHOFER, A. 1994 : Die Felchenfänge der Berufsfischerei in Bieler-, Thuner- und Brienersee 1984-93. Bericht i.A. Fischereinspektorat des Kantons Bern: 33 S.
- KIRCHHOFER, A. 1995 : Growth characteristics of coregonid populations in three lakes with different trophic states and decreasing nutrient concentrations. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 46: 61-70.
- KIRCHHOFER, A. & M. BREITENSTEIN 2004: Monitoring der Felchenfänge der Berufsfischer von Brienersee, Thunersee und Bielersee 1984 – 2003. Bericht i.A. Fischereinspektorat des Kantons Bern: 47 S.
- KIRCHHOFER, A., M. BREITENSTEIN, M. FLÜCK & C. KÜNG 2005: Die Felchenfänge der Berufsfischer von Brienersee, Thunersee und Bielersee 1984 – 2003. *Mitt. zur Fischerei* 80: 15-37.
- KIRCHHOFER A., R. MÜLLER & M. BREITENSTEIN 2006: Veränderungen im Ökosystem Brienersee: Beziehungsnetz Fische – Zooplankton. Schlussbericht Teilprojekt E. i.A. Amt für Gewässerschutz & Abfallwirtschaft (GSA) des Kantons Bern: 47 S.
- LINDSEY, C.C. 1981: Stocks are Chameleons: Plasticity in Gill Rakers of Coregonid Fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1497-1506.
- LINDSEY, C.C. 1988: The relevance of systematics and nomenclature to coregonid management. *Finn. Fish. Res.* 9: 1-10.
- MÜLLER, R., M. BREITENSTEIN, M.M. BIA, C. RELLSTAB & A. KIRCHHOFER 2007: Bottom-up control of whitefish populations in ultra-oligotrophic Lake Brienz. *Aquat. Sci.* 69: 271-288.
- SELZ O.M., O. SEEHAUSEN, C.J. DÖNZ & P. VONLANTHEN P. 2020: A taxonomic revision of the whitefish of Lakes Brienz and Thun, Switzerland, with description of three new species. *ZooKeys* 989: 79-162.
- WÜEST, A., M. ZEH & J.D. ACKERMANN 2007: Lake Brienz Project: An interdisciplinary catchment-to-lake study. *Aquat. Sci.* 69: 173-178.