

FISCHEREIBIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN HALLWILERSEE

Felchenmonitoring bis 2021



Impressum

Auftraggeber

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau
Tel.: 062 835 28 50
Fax: 062 835 28 59
E-Mail: jagd_fischerei@ag.ch

Auftragnehmer

Aquabios GmbH
Les Fermes 57
CH-1792 Cordast
Tel: +41 (0)78 835 73 71
<http://www.aquabios.ch>



Autoren

Pascal Vonlanthen: p.vonlanthen@aquabios.ch
Timon Polli: pollitimon@gmx.ch

Zitiervorschlag: Aquabios 2022. Fischereibiologische Untersuchungen Hallwilersee – Felchenmonitoring bis 2021. Aquabios GmbH, Auftraggeber: Kanton Aargau, Abteilung Landschaft und Gewässer und Abteilung Gewässer und Wald, Sektion Jagd und Fischerei.

Foto Titelseite: Schuppe eines Hallwilerseefelchens

Verdankungen

Wir bedanken uns bei der Sektion Jagd und Fischerei vom Kanton Aargau für den Auftrag. Bei Dr. Rudolf Müller für die zur Verfügungsstellung der Vorarbeiten. Bei Peter Tschudi, Richard Stadelmann, Martin Fischer und Patrick Truttmann bedanken wir uns für die Sammlung der Schuppenproben und für die Vermessung der Fische. Bei Prof. Claus Wedekind für die interessanten Diskussionen rund um das Thema Besatz und Wachstum.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	4
2	MATERIAL UND METHODEN.....	4
2.1	SPEZIFISCHE BEFISCHUNGEN.....	4
2.2	ALTERSBESTIMMUNG.....	5
2.3	LÄNGENRÜCKBERECHNUNG.....	5
2.4	FANGEFFIZIENZ.....	5
2.5	MASCHENWEITEN UND NETZSELEKTIVITÄT.....	6
2.6	BERECHNUNG JAHRGANGSSTÄRKE.....	6
2.7	GESCHLECHTSREIFE.....	6
2.8	FISCHFANGSTATISTIK.....	6
3	ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG.....	7
3.1	ANZAHL GEFANGENE FISCHE.....	7
3.2	BIOMASSE DER GEFANGENEN FELCHEN.....	8
3.3	MITTLERE LÄNGE UND MITTLERES GEWICHT DER GEFANGENEN FELCHEN.....	9
3.4	ALTERSVERTEILUNG- UND LÄNGENWACHSTUM.....	11
3.5	LÄNGENSELEKTIVITÄT DER MASCHENWEITEN.....	17
3.6	KONDITIONSINDEX.....	17
3.7	FANGERTRAG DER BERUFS- UND ANGELFISCHEREI IM HALLWILERSEE.....	18
3.8	JAHRGANGSSTÄRKEN.....	20
3.9	BESATZZAHLEN.....	20
3.10	ZUSAMMENHANG BESATZ, JAHRGANGSSTÄRKE UND WACHSTUM.....	21
4	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	23
4.1	VERGLEICH CPUE-WERTE DER VERSUCHSFÄNGE.....	23
4.2	ALTERSVERTEILUNG IN DEN VERSUCHSFÄNGEN UND MASCHENWEITE.....	23
4.3	WACHSTUM DER FELCHEN.....	24
4.4	FELCHENBEWIRTSCHAFTUNG.....	25
4.5	FANGERTRAG UND ERTRAGSPOTENTIAL.....	26
4.6	MONITORING.....	27
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	28

1 Einleitung

Im Hallwilersee stellen Felchen den Hauptanteil der Fänge der Berufsfischer und des Netzfischereivereins dar. Ein gesunder Felchenbestand, der sich natürlich fortpflanzen kann, wurde als Ziel bei der Sanierung des Hallwilersees definiert [1]. Aus diesen Gründen wurde das Wachstum und die Bestandsentwicklung der Felchen seit 1980 jährlich verfolgt [2–4]. Ergänzend wurden 2014 alle besetzten Felchen mit Alizarinrot markiert [5–7]. Die Endergebnisse dieser Studie wurden 2018 publiziert und zeigen, dass die natürliche Fortpflanzung der Felchen im See nach wie vor nicht funktionierte und nur marginal zur Rekrutierung der Felchen beitrug [8].

Der vorliegende Bericht fasst die Resultate der im Jahr 2020 bis 2021 durchgeführten Untersuchungen zusammen. Inhaltlich handelt es sich um eine Aktualisierung der bis anhin durch das Büro «LIMNOS Fischuntersuchungen» verfassten Berichte. Die analysierten Felchen stammen jedoch nicht wie früher aus den regulären Fängen der Berufsfischer, sondern

aus speziell für das Monitoring angefertigten Multi-maschen-Versuchsnetzen.

Im Rahmen des vorliegenden Auftrags wurden folgende Themen und Fragestellungen behandelt:

- Berechnung der CPUE-Werte für die verschiedenen Maschenweiten des Versuchsnetzes.
- Alters- und Längenzusammensetzung der Hallwilerseefelchen in den untersuchten Fängen, nach Maschenweite gegliedert.
- Berechnung des Wachstums der Felchen, nach Jahrgang und Altersklasse.
- Miteinbezug des Gewichts der untersuchten Felchen in den Auswertungen.
- Berechnung der Jahrgangsstärke der Felchen.
- Analyse des Fangverlaufs der Felchen im Hallwilersee, gemäss Fangstatistik.
- Vergleich von Besatzmassnahmen mit Jahrgangsstärken und Wachstum.

2 Material und Methoden

2.1 Spezifische Befischungen

Seit 2018 werden für das Felchenmonitoring im Hallwilersee wieder standardisierte Versuchsnetze mit mehreren Maschenweiten eingesetzt. Diese beinhalten die folgenden Maschenweiten: 24-25 mm, 27 mm, 30 mm, 34-35 mm, 36 mm, 38 mm. Diese Netze wurden vom 24.05.2019 bis zum 12.12.2021

insgesamt an 13 Tagen eingesetzt. Alle gefangenen Felchen wurden von den Netzfischern in Zusammenarbeit mit dem Kanton Aargau vermessen und gewogen. Insgesamt wurden 2288 Felchen gefangen und untersucht.

2.2 Altersbestimmung

Für die Altersbestimmung wurden von allen Felchen, die im Rahmen des Felchenmonitorings mit Multi-maschennetzen gefangen wurden, oberhalb der Seitenlinie auf der Höhe der Rückenflosse oder in der Nähe des Kopfes einige Schuppen entnommen. Anhand der Jahresringe (Annuli) auf den Schuppen von

233 Individuen wurde das Alter der Felchen bestimmt. Für die Berechnung des mittleren Alters der Fische wurde das angebrochene Jahr jeweils dazugezählt (also 1+/2J; 2+/3J; 3+/4J usw.)

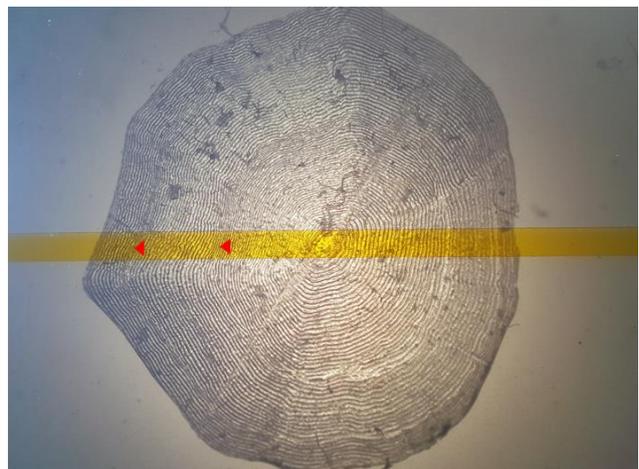


Abbildung 2-1. Position der Jahresringe: links ein vierjähriger Fisch (3+); rechts ein dreijähriger Fisch (2+).

2.3 Längerrückberechnung

Anhand der Distanzen zwischen den einzelnen Jahresringen kann das Wachstum der Felchen rückberechnet werden. Diese Wachstumsberechnungen an den Hallwilerseefelchen erfolgten mittels einer Binomialfunktion zweiten Grades. Folgende Beziehung lag der aktuellen Berechnung zugrunde:

$$L = 24.89 + 2.975 * S - 0.00572 * S^2$$

L= Totallänge in mm; S=Schuppenradius in mm in 42-facher Vergrößerung.

Diese Wachstumsfunktion wurde schon vor Jahren von R. Müller bestimmt und sollte in Zukunft verifiziert werden. Dazu müssten auch 0+-und 1+-Felchen untersucht werden.

2.4 Fangeffizienz

Für jeden Fangtag und für jede Maschenweite wurde der CPUE-Wert für die Anzahl und das Gewicht der Fische berechnet. Der CPUE-Wert entspricht dabei dem Fang pro Netzfläche. Zur Veranschaulichung

wurden die Werte für ein hypothetisches Netz mit einer Höhe von 6 m und einer Länge von 100 m hochgerechnet.

2.5 Maschenweiten und Netzselektivität

Die Daten für die Berechnungen der Selektivität der einzelnen Maschen stammen aus dem "Projet Lac". Alle von 2010 bis 2017 im Rahmen des "Projet Lac" gefangenen Felchen wurden für die Berechnung einbezogen. Für jede Maschenweite wurde die mittlere

Grösse aller gefangenen Felchen, mit 95 % Konfidenzintervall berechnet. Die erhaltenen Werte stellen den Längenbereich dar, in dem Felchen mit einer gegebenen Maschenweite gefangen werden.

2.6 Berechnung Jahrgangsstärke

Die virtuelle Jahrgangsstärke gibt einen Hinweis über die Häufigkeit, mit der Fische einer Kohorte im Fang vertreten sind, verteilt über mehrere Fangjahre. Um die virtuelle Jahrgangsstärke zu berechnen, wird der

Anteil an einer Kohorte im Fang aller Jahre zusammengerechnet [9]. Der Anteil wird anhand der Altersbestimmungen bestimmt.

2.7 Geschlechtsreife

Die Geschlechtsreife wurde bei den Aufnahmen von 2017 bis 2021 nicht bestimmt. Dies sollte in Zukunft möglichst wieder durchgeführt werden, zumindest

im Dezember/Januar bei der Laichfischerei. 2016 wurde zur Bestimmung des Reifegrads die Heincke-Maiersche-Reifegradeinteilung verwendet [10].

2.8 Fischfangstatistik

Gemäss Art. 11 Bundesgesetz über die Fischerei (BGF) müssen die Kantone eine Fischereistatistik führen. Berufsfischer und Angelfischer melden die Fänge der Sektion Jagd und Fischerei. Die Daten wurden für die Netzfischer und die Angelfischer (Bio-

masse pro Jahr) zur Verfügung gestellt und ausgewertet. Ab 2020 erfassen die Netzfischer auch den für den Fang getätigten Aufwand. Anhand dieser Angaben kann ab 2020 auch für die Netzfischerei ein CPUE-Wert für den Felchenfang berechnet werden.

3 Ergebnisse der Untersuchung

3.1 Anzahl gefangene Fische

Die Anzahl gefangene Fische nimmt erwartungsgemäss mit der Grösse der Maschenweite ab (Tabelle 3-1). Die Abnahme ist dabei nicht kontinuierlich, sondern erfolgt in zwei grossen Schritten. Netze mit Maschenweiten von 24 mm bis 27 mm fangen mit durchschnittlich 184 und 157 Felchen pro 100*6 m Netz deutlich mehr Felchen. Mit einer Maschenweite von 30 mm oder 32 mm werden ebenfalls recht ähnliche Fangzahlen von 32 bzw. 29 Felchen pro Netz beobachtet. Das 32 mm Netz fängt dabei nur unwesentlich weniger als das 30 mm Netz. Die 34 mm bis 36 mm Netze fangen deutlich weniger und einer Maschenweite von 38 mm Netze schliesslich werden kaum noch Felchen gefangen.

Im Vergleich der Jahre 2018-2021 ist kein eindeutiger Trend in den CPUE-Werten erkennbar. Es kommen immer wieder mal bessere und schlechtere Fänge vor. Die Streuung der Fangeffizienz ist hoch, aber nicht nur saisonal bedingt. So können gute Fangtage auch im Juni beobachtet werden (z.B. 28.06.2019) und nicht nur zur Laichzeit (z.B. 18.12.2020, 14.12.2018, 12.12.2021). Die Versuchsfänge wurden in den verschiedenen Jahren allerdings zeitlich nicht nach einem fixen Schema wiederholt, was eine direkte Vergleichbarkeit der CPUE-Werte erschwert.

Tabelle 3-1. CPUE-Werte der Anzahl gefangener Fische bei den Versuchsfängen für ein gewöhnliches Fischernetz (100m*6m). Die Farbskala bezieht sich jeweils auf die Maximalwerte (Grün) und Minimalwerte (Rot) der berechneten Werte.

Datum	Anzahl Fang							Anzahl Felchen pro 100m*6m Netz						
	24mm+25mm	27mm	30mm	32mm	34mm+35mm	36mm	38mm	24mm+25mm	27mm	30mm	32mm	34mm+35mm	36mm	38mm
	Anzahl							NPUE						
15.06.2018		52	12		6				126.3	18.0		9.0		
01.09.2018	2		6		3	11	4	12.0		9.0		4.5	16.5	6.0
08.09.2018	10		29		10	20	6	60.0		43.5		15.0	30.0	9.0
14.12.2018	30	35	13		38	22	0	180.0	140.0	19.5		57.0	33.0	0.0
24.05.2019	19	103	25		4	2	0	114.0	206.0	19.2		2.7	0.7	0.0
25.05.2019	23	57	4		0	2	0	138.0	114.0	6.3		0.0	0.5	0.0
26.05.2019	27	70	29		1	0	0	162.0	93.3	22.3		1.5	0.0	0.0
01.06.2019	12	68	31	3	0	2	0	72.0	90.7	23.8	5.0	0.0	1.0	0.0
07.06.2019	14	123	27	11	1	9	1	84.0	164.0	20.8	18.3	1.5	4.5	1.0
10.06.2019	22	120	59	7	2	6	0	132.0	160.0	45.4	11.7	3.0	3.0	0.0
28.06.2019	56	106	158	87	8	5	0	336.0	141.3	121.5	96.7	12.0	3.8	
10.07.2020	21	64	9	14	1			126.0	85.3	6.9	6.2	1.5		
18.09.2020	18	22	5	4	0			108.0	88.0	7.5	6.0	0.0		
18.12.2020	104	134	69	64	24			624.0	536.0	103.5	96.0	36.0		
03.07.2021	35	29	7	17	1			210.0	38.7	5.4	7.3	1.5		
07.08.2021	32	67	9	38	1			192.0	89.3	13.5	16.3	1.5		
12.12.2021	66	73	38	18				396.0	292.0	57.0	27.0	0.0		
Mittelwert	28	75	31	27	6	8	1	184.1	157.7	32.0	29.0	8.6	9.3	1.8

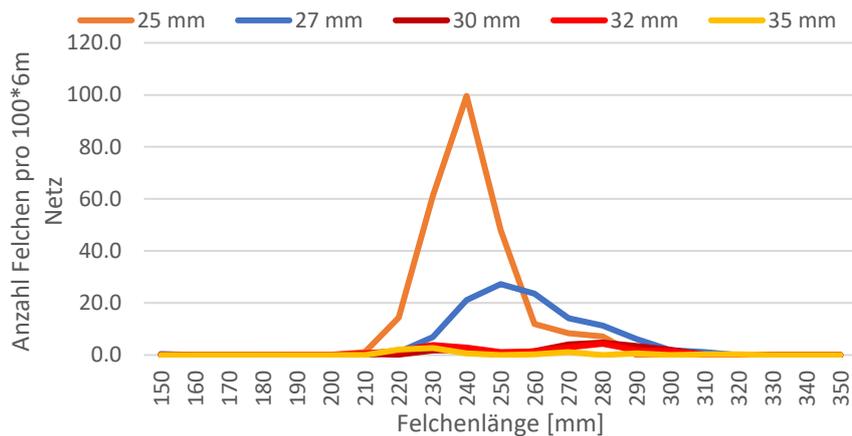


Abbildung 3-1. Anzahl Fische, die pro Maschenweite und je nach Länge der Felchen effektiv (CPUE-Wert) gefangen wurden. Angegeben sind die Werte hochgerechnet für ein 100 m * 6 m Netz.

3.2 Biomasse der gefangenen Felchen

Die CPUE-Werte für die Biomasse (Tabelle 3-2) zeigen ein ähnliches Bild wie für die Anzahl gefangener Felchen. Die Unterschiede zwischen den Maschenweiten sind aber etwas weniger ausgeprägt, da das Gewicht der Felchen mit zunehmender Fanggröße zunimmt. So war z.B. die gefangene Felchen-Biomasse im 27 mm Netz leicht höher als im 24 mm

Netz, obwohl die Anzahl gefangener Felchen kleiner war. Ein deutlicher Rückgang des CPUE-Werts von den 27 mm zum 30 mm Netz ist aber gleichwohl erkennbar, genauso wie ein deutlicher Rückgang vom 32 mm Netz zum 34 mm Netz.

Tabelle 3-2. CPUE-Werte des Gewichts, der bei den Versuchsfängen gefangenen Felchen für ein gewöhnliches Fischernetz (100m*6m). Die Farbskala bezieht sich jeweils auf die Maximalwerte (Grün) und Minimalwerte (Rot) der berechneten Werte.

Datum	Anzahl Fang							Gewicht Fische [Kg] pro 100m*6m Netz						
	24mm+25mm	27mm	30mm	32mm	34mm+35mm	36mm	38mm	24mm+25mm	27mm	30mm	32mm	34mm+35mm	36mm	38mm
	Anzahl							BPUE						
15.06.2018		52	12		6				18.4	2.9		2.0		
01.09.2018	2		6		3	11	4	1.9		1.6		1.2	3.6	1.3
08.09.2018	10		29		10	20	6	9.1		8.2		3.5	6.6	2.0
14.12.2018	30	35	13		38	22	0	21.0	20.3	3.5		10.0	5.4	0.0
24.05.2019	19	103	25		4	2	0	13.3	27.1	2.9		0.4	0.1	0.0
25.05.2019	23	57	4		0	2	0	16.8	14.7	1.0		0.0	0.1	0.0
26.05.2019	27	70	29		1	0	0	21.8	13.4	3.7		0.3	0.0	0.0
01.06.2019	12	68	31	3	0	2	0	9.9	12.5	3.7	0.9	0.0	0.1	0.0
07.06.2019	14	123	27	11	1	9	1	10.5	23.1	3.4	3.1	0.3	0.9	0.1
10.06.2019	22	120	59	7	2	6	0	15.5	22.4	7.1	2.0	0.5	0.6	0.0
28.06.2019	56	106	158	87	8	5	0	41.6	19.1	19.0	16.7	2.1	0.7	
10.07.2020	21	64	9	14	1			12.1	10.7	1.1	0.8	0.3		
18.09.2020	18	22	5	4	0			10.4	10.5	0.9	0.8	0.0		
18.12.2020	104	134	69	64	24			57.3	62.8	13.6	11.2	3.6		
03.07.2021	35	29	7	17	1			20.3	4.6	0.7	0.8	0.1		
07.08.2021	32	67	9	38	1			18.5	10.0	2.1	2.1	0.3		
12.12.2021	66	73	38	18				35.4	29.9	6.9	2.9	0.0		
Mittelwert	28	75	31	27	6	8	1	19.7	20.0	4.8	4.1	1.4	1.8	0.4

3.3 Mittlere Länge und mittleres Gewicht der gefangenen Felchen

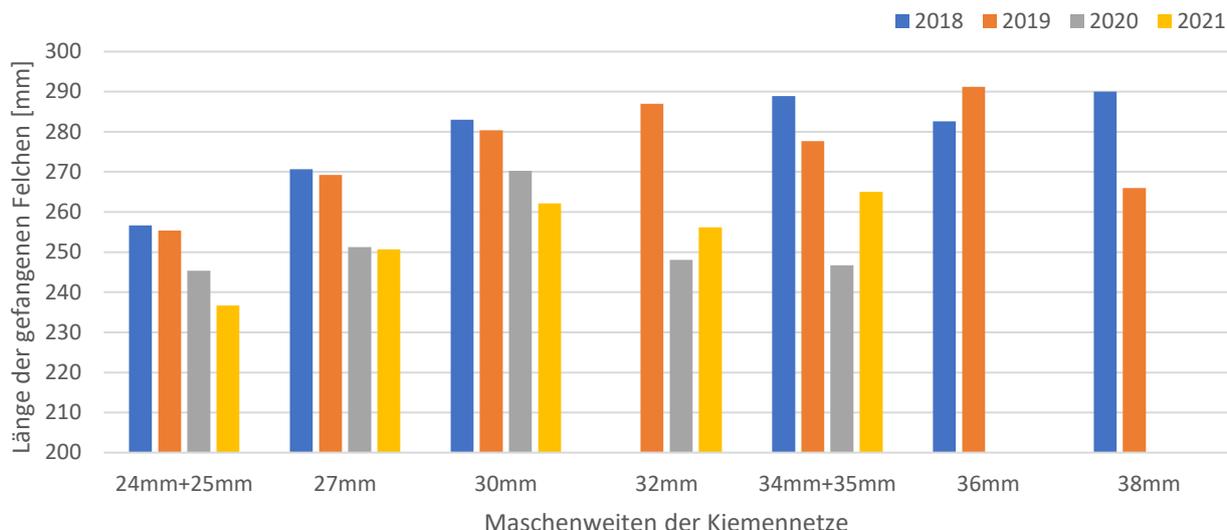


Abbildung 3-2. Mittlere Länge der gefangenen Felchen pro Maschenweite aufgeteilt nach Fangjahr.

Die Länge der gefangenen Felchen nimmt mit der Maschenweite zu. Dies gilt insbesondere für die Maschenweiten 24-30 mm. Ab der Maschenweite 32 mm nimmt die mittlere Länge der gefangenen Fische nicht mehr zu (Abbildung 3-2, Abbildung 3-3).

Interessanterweise nimmt die Länge der gefangenen Felchen in allen Maschenweiten mit regelmässigem Fang und Einsatz (24 mm-34 mm) von 2018 bis 2021 ab. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Länge der im See schwimmenden Felchen im Verlauf dieser vier Jahre abgenommen hat. Die Abnahme ist insbesondere nach 2019 eindeutig. Ein geringeres Wachstum könnte die Ursache für diese Abnahme sein. Es

ist aber auch möglich, dass zumindest ein Teil dieses Rückgangs eine Folge des Einsatzes von Kiemennetzen mit kleineren Maschenweiten ist (32°mm Maschenweiten zugelassen ab 2020, vorher 36°mm). Denn durch den Einsatz von kleineren Maschenweiten der Netzfischerei kann die Längenzusammensetzung im Bestand direkt beeinflusst werden [11, 12].

Das mittlere Gewicht, der mit den verschiedenen Maschenweiten gefangenen Felchen, nimmt mit der Grösse der eingesetzten Maschenweite ebenfalls zu (Abbildung 3-4). Genau gleich wie bei der Länge ist im Verlauf der vier Beobachtungsjahre eine Abnahme des mittleren Fanggewichts zu erkennen.

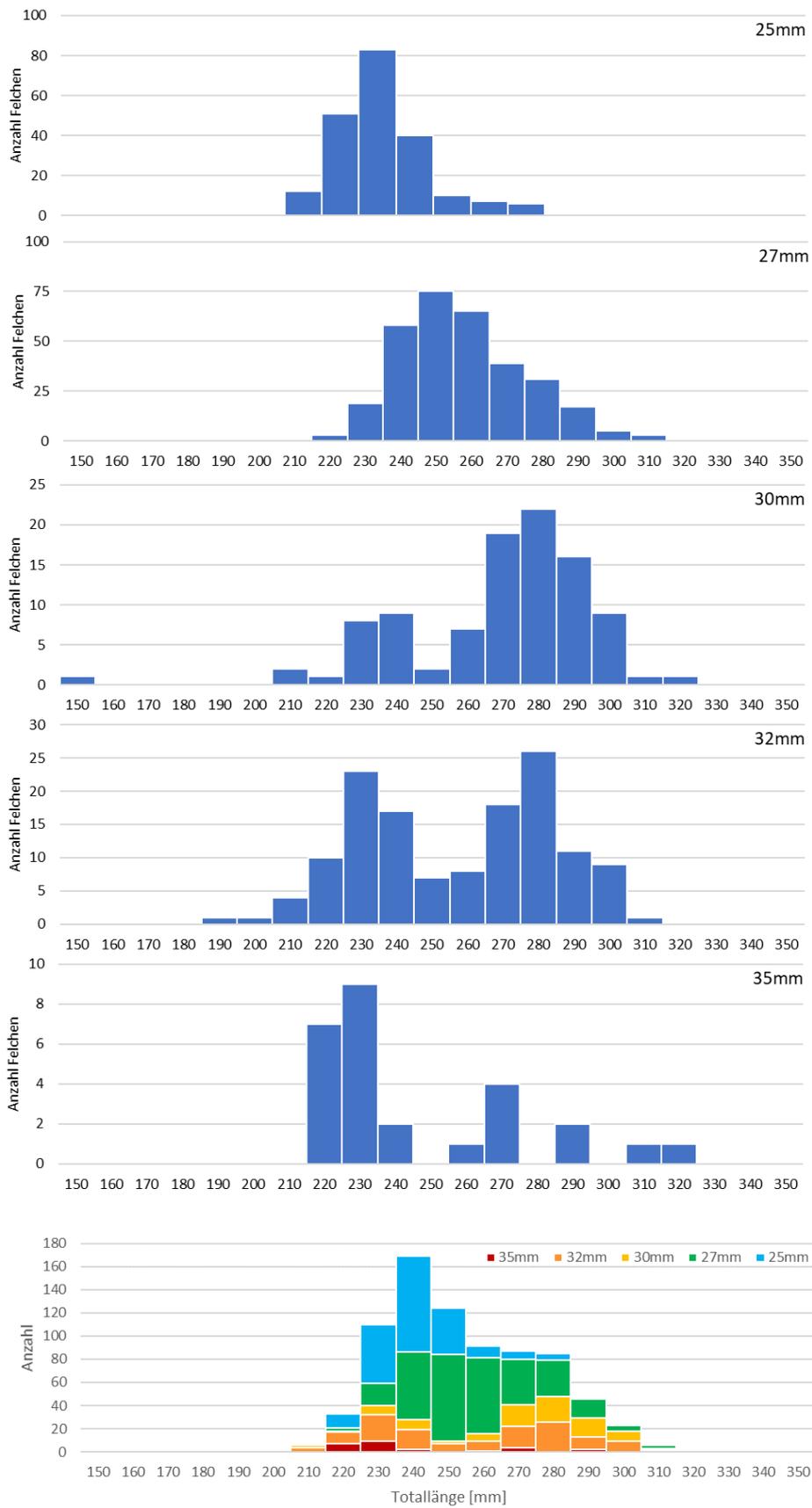


Abbildung 3-3. Längenverteilung der gefangenen Felchen in den verschiedenen Maschenweiten 2020-2021.

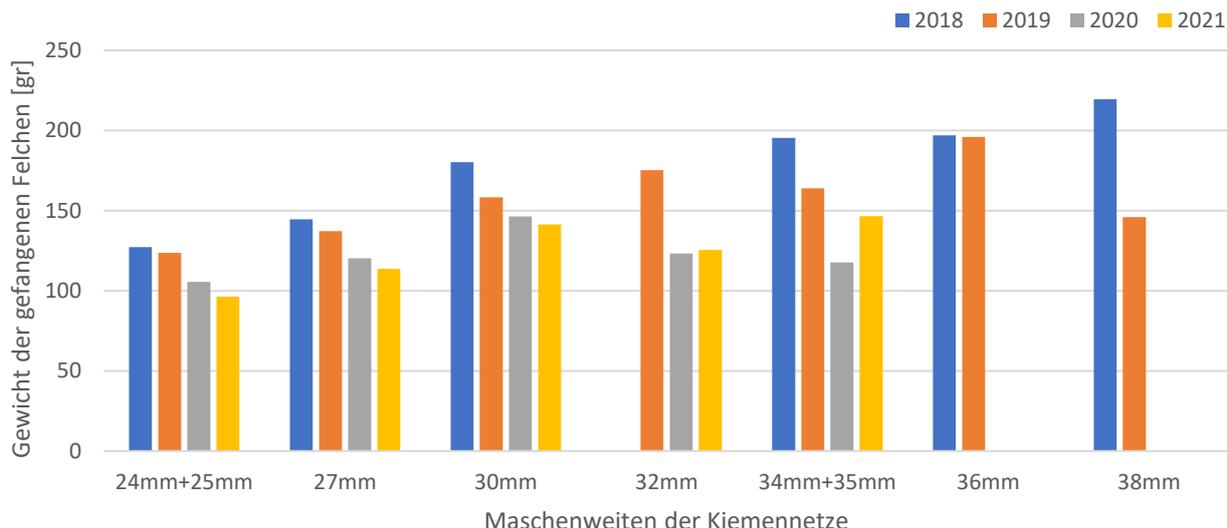


Abbildung 3-4. Mittleres Gewicht der gefangenen Felchen pro Maschenweite aufgeteilt nach Fangjahr.

3.4 Altersverteilung- und Längenwachstum

Das Alter der Fische nahm 2018 wie erwartet mit der Maschenweite zu (Abbildung 3-5). Die mit 38 mm Kiemennetzen gefangenen Felchen waren 2018 im Durchschnitt 3.5 Jahre alt. In den 24 mm und 27 mm Netzen wurden deutlich jünger Felchen gefangen die im Durchschnitt etwas weniger als 2.5 Jahre alt waren.

Anders das Bild bei den untersuchten Felchen von 2020 und 2021. Das Alter verändert sich kaum mit der eingesetzten Maschenweite. Insbesondere die in den kleinen Maschenweiten gefangenen Felchen waren 2021 älter als noch 2018.

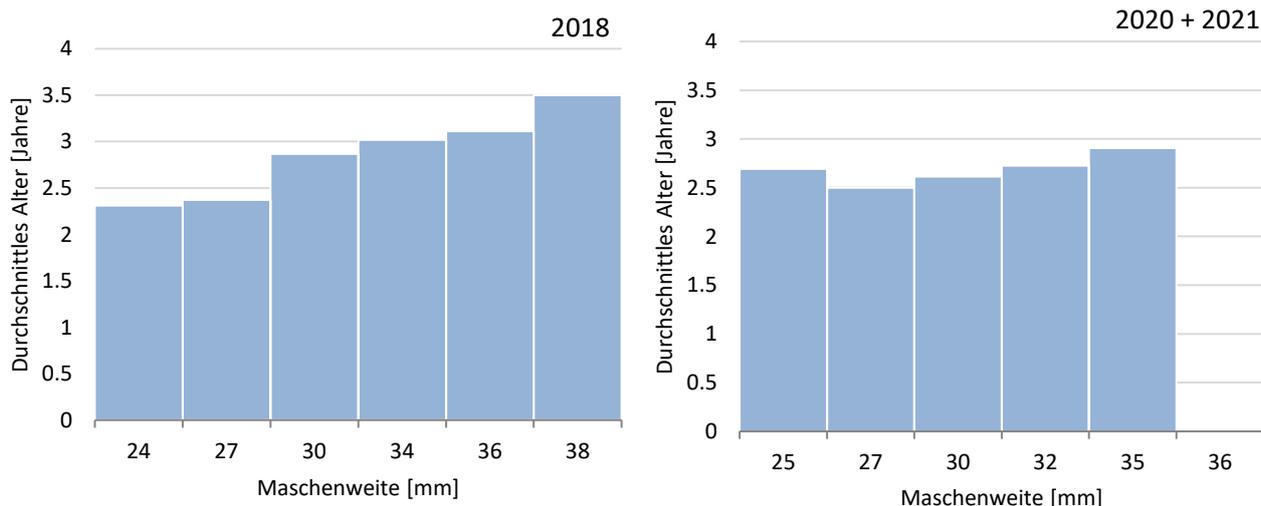


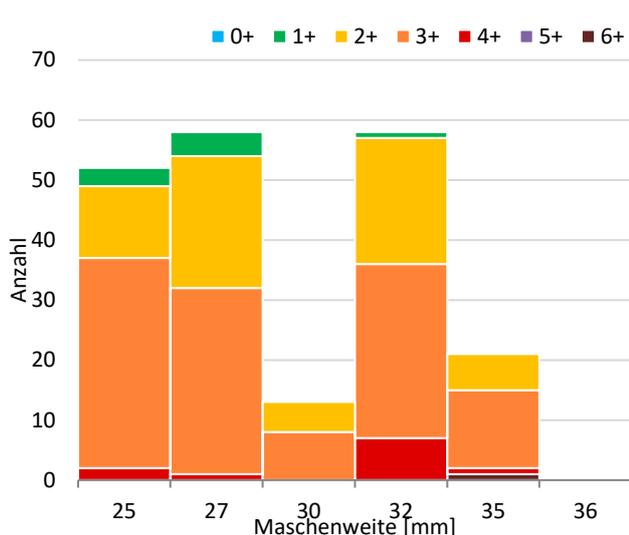
Abbildung 3-5. Durchschnittliches Alter der untersuchten Felchen pro Maschenweite von der Untersuchungen 2018 und den neuen Untersuchungen von 2020 + 2021.

Über das ganze Jahr gesehen zeigt die Alterszusammensetzung, dass alle eingesetzten Maschenweiten

von 25 mm bis 35 mm mehrheitlich 3+-Felchen gefangen haben (Abbildung 3-6). 1+-Felchen wurden

vereinzelt in den 25°mm und 27°mm Maschenweiten gefangen. 2+-Felchen kamen mit einem Anteil von 20% -40% im Fang aller Maschenweiten vor.

Der Anteil 4+-und 5+-Felchen nahm 2018 in den 36 mm und 38 mm Netzen deutlich zu, diese Maschenweiten wurden aber 2020 und 2021 im Monitoring nicht mehr eingesetzt.



Erwartet wird typischerweise, dass mit zunehmender Maschenweite längere und ältere Felchen gefangen werden, wie dies auch 2018 der Fall war. 2020 und 2021 konnte dieses Bild jedoch nicht beobachtet werden. Dies lässt vermuten, dass grosse und alte Felchen im See kaum vorkamen und dass junge nachkommende Felchen wieder schneller wuchsen als in den Vorjahren.

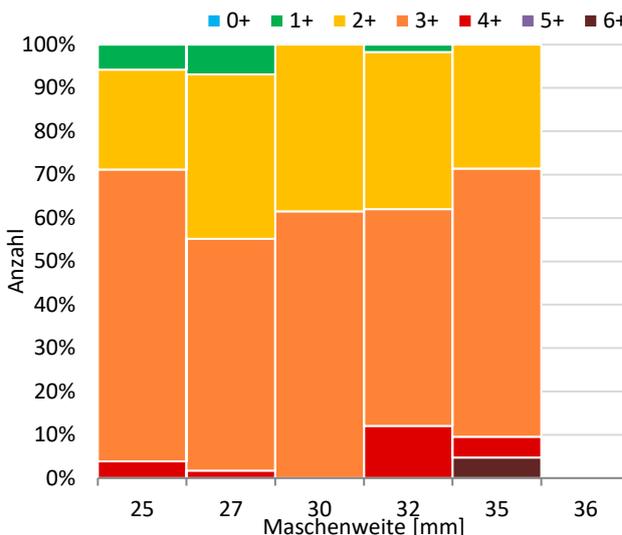


Abbildung 3-6. Anzahl der im Dezember 2020 und August 2021 gefangenen Felchen pro Altersklasse für Kiemennetze mit unterschiedlichen Maschenweiten.

Wird die Kombination von Längen- und Altersverteilung von 2018 betrachtet (Abbildung 3-7), dann kann festgestellt werden, dass:

- es sich bei Felchen, die zwischen 120 mm und 220 mm lang sind, um 1+-Fische handelte;
- es sich bei Felchen zwischen 220-280 mm Länge grösstenteils um 2+-Felchen handelte;
- 3+-Felchen zwischen 250 mm und 310 mm gross waren;
- 4+-Felchen zwischen 280 mm und 340 mm gross waren;
- 5+-Felchen >300 mm gross waren;
- ab 280 mm das Wachstum deutlich abnahm und pro Längenklasse vermehrt Felchen aus mehreren Altersklassen gefangen wurden.

Diese Beobachtungen können 2020 so nicht mehr gemacht werden:

- 1+-Felchen waren zwischen 190-260 mm lang;
- 2+-Felchen waren zwischen 190-310 mm lang;
- 3+-Felchen waren zwischen 190-310 mm lang;
- 4+-Felchen waren zwischen 210-290 mm lang.

Es kann also kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen Alter und Länge mehr beobachtet werden. Das Ergebnis zeigt, dass das Wachstum zwischen den einzelnen Individuen sehr unterschiedlich war. So waren einige ältere Fische deutlich kleiner als noch 2018, aber auch junge Fische (1+ und 2+) waren wiederum teilweise deutlich grösser als 2018.

Die Graphiken zeigen auch, dass die mittlere Länge der gefangenen Felchen deutlich abgenommen hat. Waren in den Versuchsfängen von 2018 Fische zwischen 280 und 300 mm sehr häufig vertreten so waren 2020 und 2021 die Längenklassen 230 mm und 240 mm dominant.

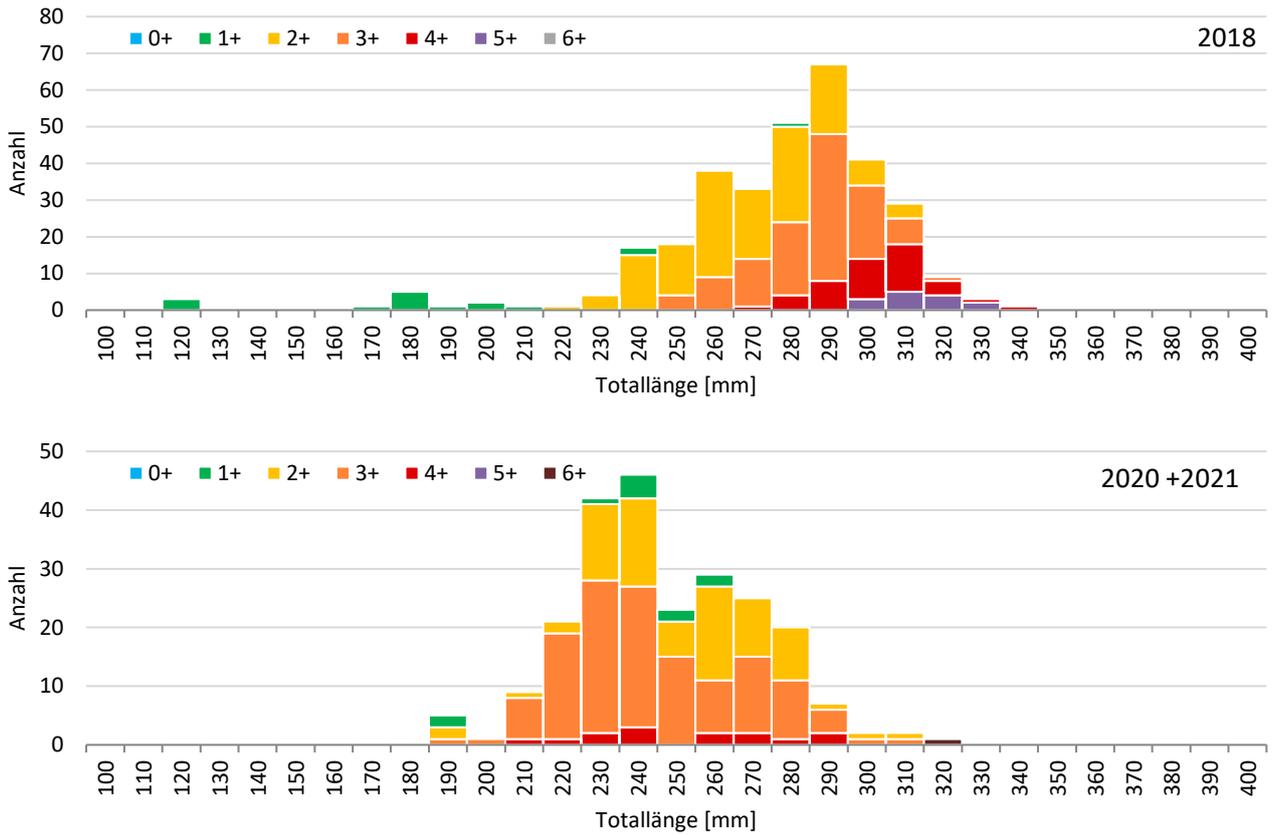


Abbildung 3-7. Längen- und Altersverteilung der im Jahr 2018 und 2020/21 im Hallwilersee in den Versuchsnetzen gefangenen Felchen.

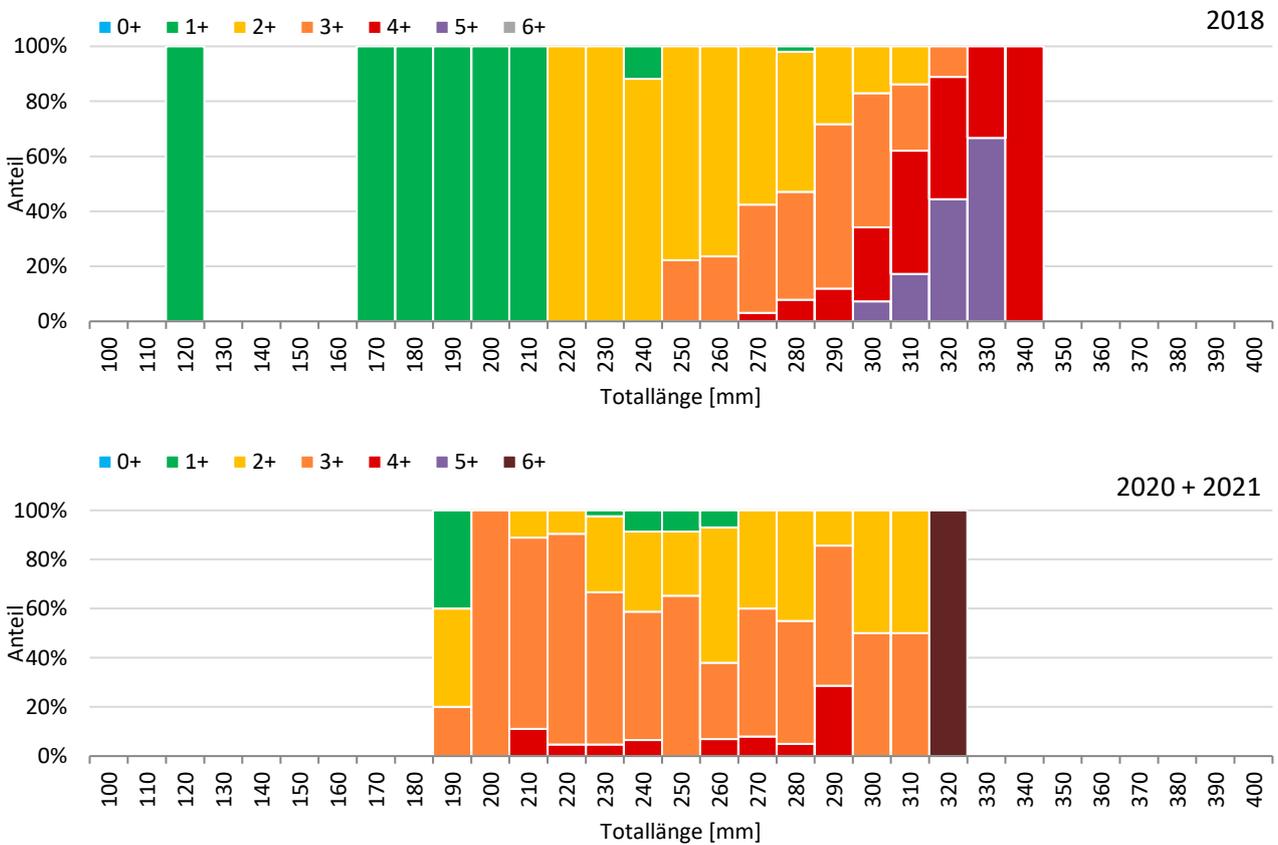


Abbildung 3-8. Relative Längen- und Altersverteilung der im Jahr 2018 und 2020/21 im Hallwilersee in den Versuchsnetzen gefangenen Felchen.

Bei der Betrachtung der Altersverteilung pro Probenahmedatum zeigt sich, dass gegen Ende des Jahres der Anteil an 2+-Felchen im Fang aller Maschenweiten zunahm (Abbildung 3-9). Diese wurden also effizienter gefangen. Ansonsten war an beiden Probenahmedaten der Anteil 3+-Felchen im Fang sehr hoch.

Das Längenwachstum der Felchen ist seit 2005 am Sinken (Abbildung 3-10). Nach 2015 war der Wachs-

tumsrückgang besonders ausgeprägt, was sich in einem Knick in der Kurve manifestiert. Insbesondere die Kohorte 2016 (Besatz 2017) wuchs extrem schlecht. Noch nie, seit das Monitoring Anfang der 80er Jahre ins Leben gerufen wurde, wuchsen die Felchen im Hallwilersee so langsam wie dies im Jahrgang 2016 der Fall war. Ein vierjähriger Felchen dieser Kohorte war im Durchschnitt unter 25cm lang.

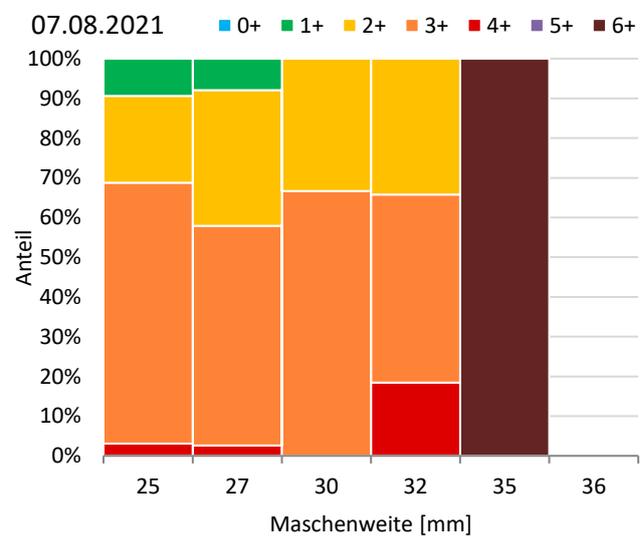
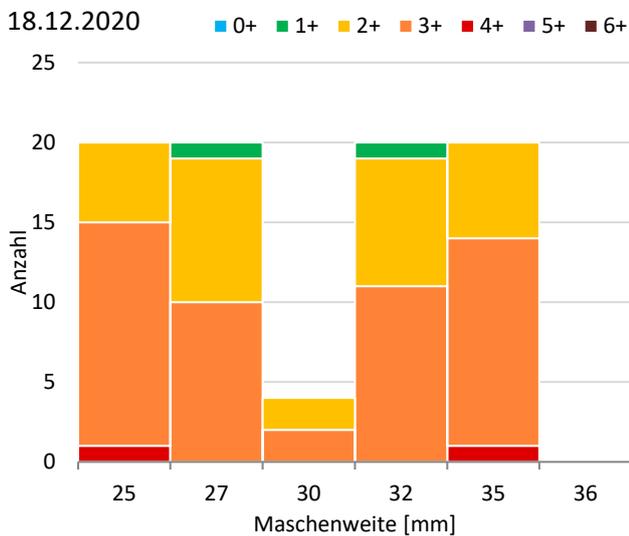
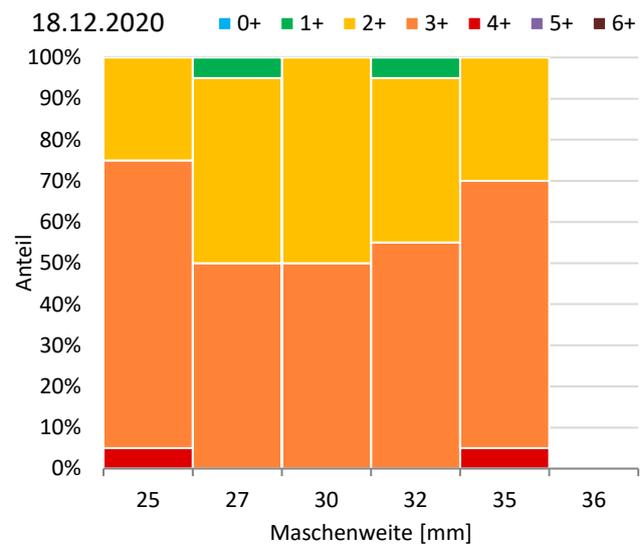
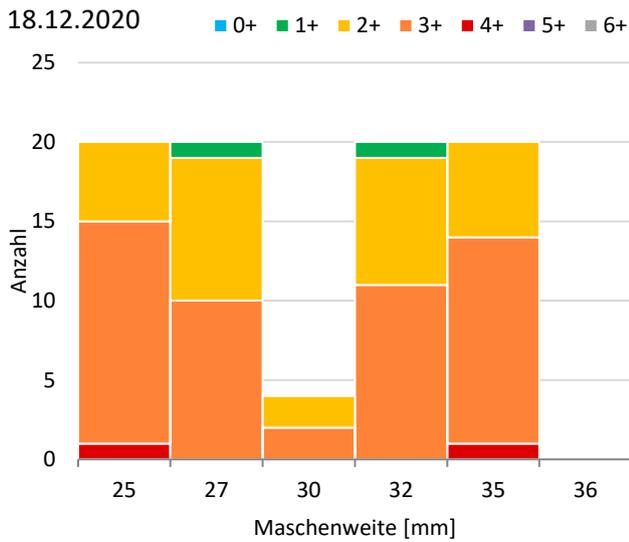


Abbildung 3-9. Anzahl (links) und Anteil (rechts) der untersuchten Felchen pro Altersklasse für Kiemennetze mit unterschiedlichen Maschenweiten.

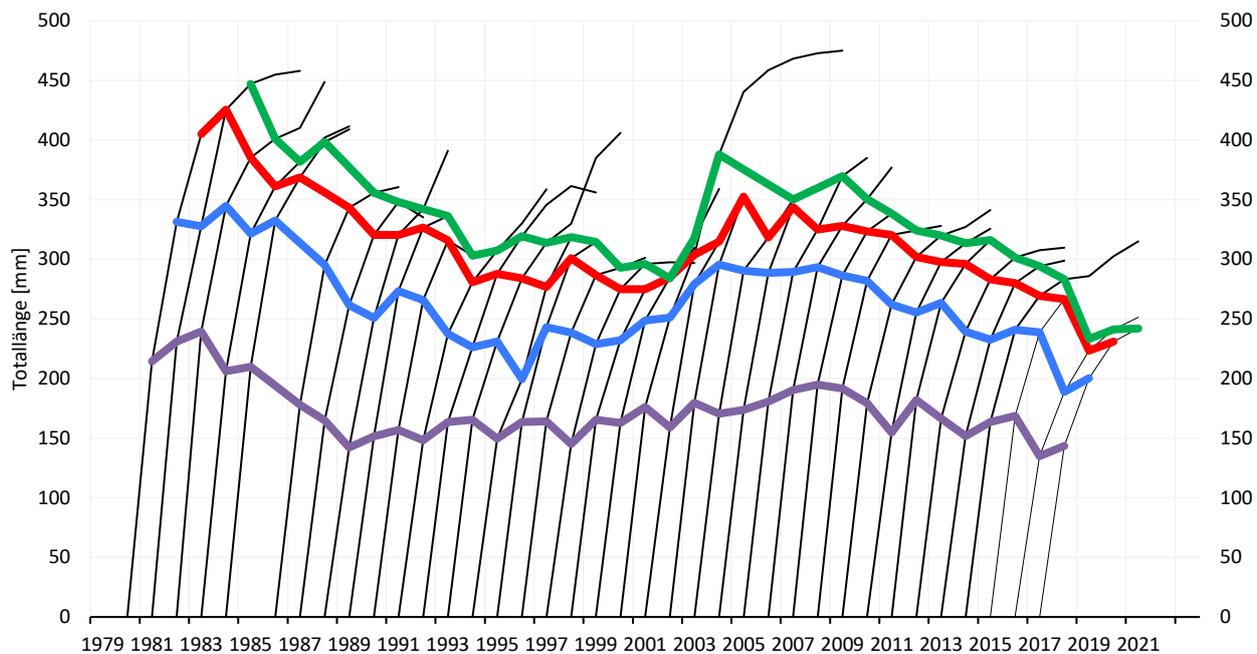


Abbildung 3-10. Längenwachstum der Felchen im Hallwilersee bis Ende 2018. Mittelwerte der Jahresendlängen nach Jahrgang und Altersklasse, Jahrgänge 1980 bis 2018.

Tabelle 3-3. Alterszusammensetzung des Felchenfangs der Berufsfischer seit 2011. Die Farbskala bezieht sich jeweils auf die Maximalwerte (Rot) und Minimalwerte (Grün) der berechneten Werte.

Fangdatum	Anteil der Altersklasse in Prozent							Anzahl Fische	Maschen- weite (mm)
	0+	1/1+	2/2+	3/3+	4/4+	5/5+	≥6/6+		
22.06.2011		2.8	63.9	30.5	2.8			72	38
24.08.2011		2.0	94.1	3.9				51	38
23.09.2011			94.6	5.4				92	38
20.12.2011		2.1	95.8	2.1				47	38
23.12.2011			97.3	2.7				73	38
20.06.2012			22.8	75.4		1.8		57	38
29.08.2012			31.6	66.6			1.8	57	38
21.09.2012			46.6	53.4				73	38
15.12.2012		1.2	68.3	29.3	1.2			82	38-40
28.12.2012			52.6	42.1	5.3			57	40-42
24.01.2013				23.1	76.9			26	38
26.02.2013				42.3	57.6			26	38
27.03.2013				39.3	57.1		3.6	28	38
23.04.2013				50.0	50.0			20	38
22.05.2013				28.6	71.4			21	38
22.06.2013				60.7	39.3			28	38
20.07.2013			7.7	69.2	23.1			26	38
21.08.2013			16.7	73.3	10.0			30	38
23.09.2013				60.0	36.7		3.3	30	38
29.10.2013			3.3	70.0	26.7			30	38
25.11.2013			7.1	53.6	39.3			28	38
28.12.2013			16.7	63.3	20.0			30	38
21.01.2014				33.3	40.7	26.0		27	38
21.02.2014				7.7	53.8	30.8	7.7	26	38
25.03.2014				13.0	56.5	30.5		23	38
22.04.2014				22.7	50.0	27.3		22	38
21.05.2014				57.7	30.8	11.5		26	38
27.06.2014				30.0	50.0	20.0		20	38
18.07.2014				56.7	16.7	13.3	13.3	30	38
23.08.2014			7.7	61.5	30.8			26	38
30.09.2014			11.1	77.8	11.1			18	38
01.11.2014				66.7	33.3			27	38
21.11.2014				44.0	48.0	8.0		25	38
08.01.2015				7.0	72.4	17.2	3.4	29	38
28.01.2015			5.4	21.6	37.9	24.3	10.8	37	38
27.02.2015		4.3	1.5	43.5	47.8	2.9		69	35-38
28.05.2015				22.2	72.2	5.6		18	37
30.06.2015				70.0	20.0	10.0		30	38
31.07.2015				63.2	36.8			19	37
15.08.2015			24.0	68.0	8.0			25	38
29.09.2015			4.3	60.9	26.1	8.7		23	38
29.10.2015			3.4	51.7	41.5	3.4		29	38
12.12.2015			3.3	16.7	56.7	20.0	3.3	30	38
27.01.2016			6.7	13.3	53.3	20.0	3.3	30	36
22.02.2016				40.7	44.4	11.1	3.7	27	36
22.03.2016			6.7	23.3	43.3	26.7		30	36
22.04.2016				23.3	60.0	13.3	3.3	30	36
27.05.2016				56.7	26.7	13.3	3.3	30	36
25.06.2016			13.3	70.0	16.7			30	36
18.07.2016			30.0	56.7	13.3			30	36
29.08.2016				61.9	28.6		4.8	21	38
28.09.2016			10.5	78.9	5.3			19	38
28.10.2016				9.7	48.4	32.3	9.7	31	38
25.11.2016				38.7	48.4	12.9		31	38
20.12.2016				29.0	51.6	16.1	3.2	31	38
19.05.2017				12.2	71.4	16.3		49	36
30.12.2017			24.0	46.0	30.0			50	36
28+30.12.2017			2.5	45.0	52.5			40	38
15.06.2018				0.50	0.33	0.17		6	34
01.09.2018			0.09	0.45	0.45			11	36
08.09.2018		0.05	0.10	0.20	0.40	0.25		20	36
14.12.2018			0.23	0.32	0.32	0.05	0.09	22	36
18.12.2020			0.1	0.4	0.6			38	32
07.08.2021			0.34	0.47	0.18			20	32

3.5 Längenselektivität der Maschenweiten

Wird die Länge der in den Versuchsnetzen pro Maschenweite gefangenen Felchen mit der Länge aus den "Projet Lac"-Fängen verglichen, dann zeigt sich, dass diese für die Maschenweiten 25 mm-30 mm leicht unter den Erwartungen lagen (Abbildung 3-11). Ab der Maschenweite 32 mm lag die Länge der im Hallwilersee gefangenen Fische deutlich unterhalb von den im "Projet Lac" ermittelten mittleren

Längen. Es wurden also in allen Maschenweiten kleinere Felchen gefangen, als dies die Selektivität der Netzmaschengrößen erwarten lassen würde.

Dies bedeutet, dass keine oder nur sehr wenige größere Felchen im Hallwilersee vorkamen, da eigentlich Felchen bis zu einer Größe von ca. 45 cm mit diesen Maschenweiten effizient gefangen werden können.

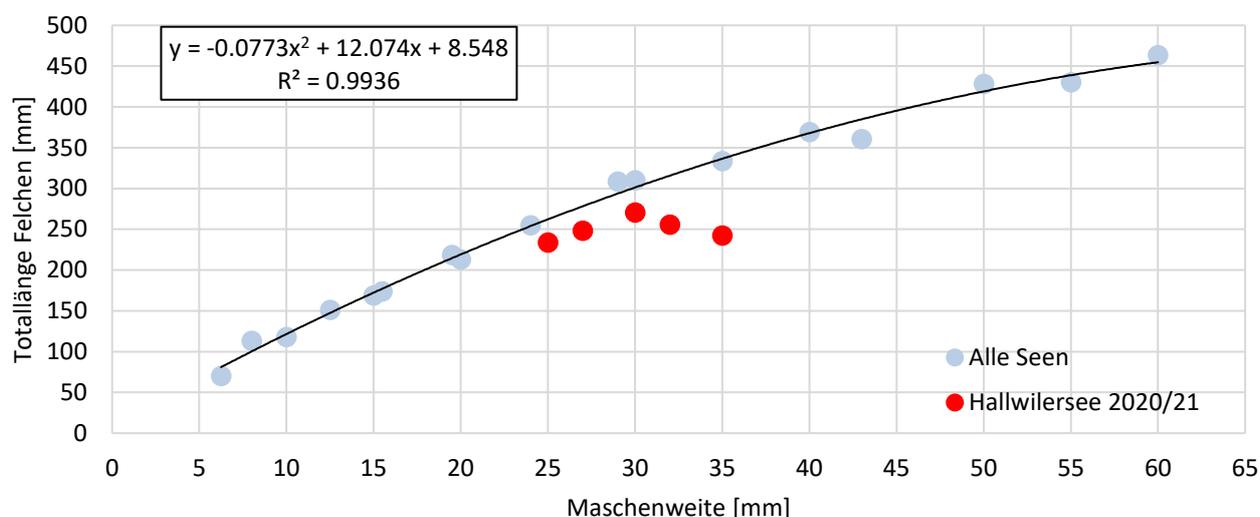


Abbildung 3-11. Längenselektivität von Kiemennetzen für Felchen. Daten «Projet Lac» und Aquabios GmbH 2010-2017 (N= 3'458 Felchen) und die des Versuchfanges von 2018.

3.6 Konditionsindex

Anhand des Gewichts und der Länge der gefangenen Felchen lässt sich der Konditionsindex berechnen. Dieser Index zeigt an, wie korpulent die Fische in Abhängigkeit ihrer Länge waren. Ein hoher Index weist auf eine hohe Korpulenz (schwere Fische) und ein niedriger Index auf eine geringe Korpulenz (magere Fische). Die Formel zur Berechnung des Indexes lautet wie folgt:

$$K = 100 \frac{W}{L^3}$$

- K: Konditionsindex
- W: Gewicht in Gramm
- L: Länge in cm

Die Auswertung der Daten zeigt, dass der Konditionsindex im Verlauf der einzelnen Monitoring Befischungen schwankt, insgesamt aber keinen Trend in Richtung einer Zu- oder Abnahme zeigt (Abbildung 3-12). Es wurde auch überprüft, ob allenfalls von Parasiten befallene Felchen eine schwächere Korpulenz aufweisen würden. Auch dies war nicht der Fall. Im Gegenteil, stärker befallene Felchen wiesen einen höheren Konditionsindex auf (Abbildung 3-13), was jedoch möglicherweise auf das Eigengewicht der Parasiten zurückzuführen sein könnte.

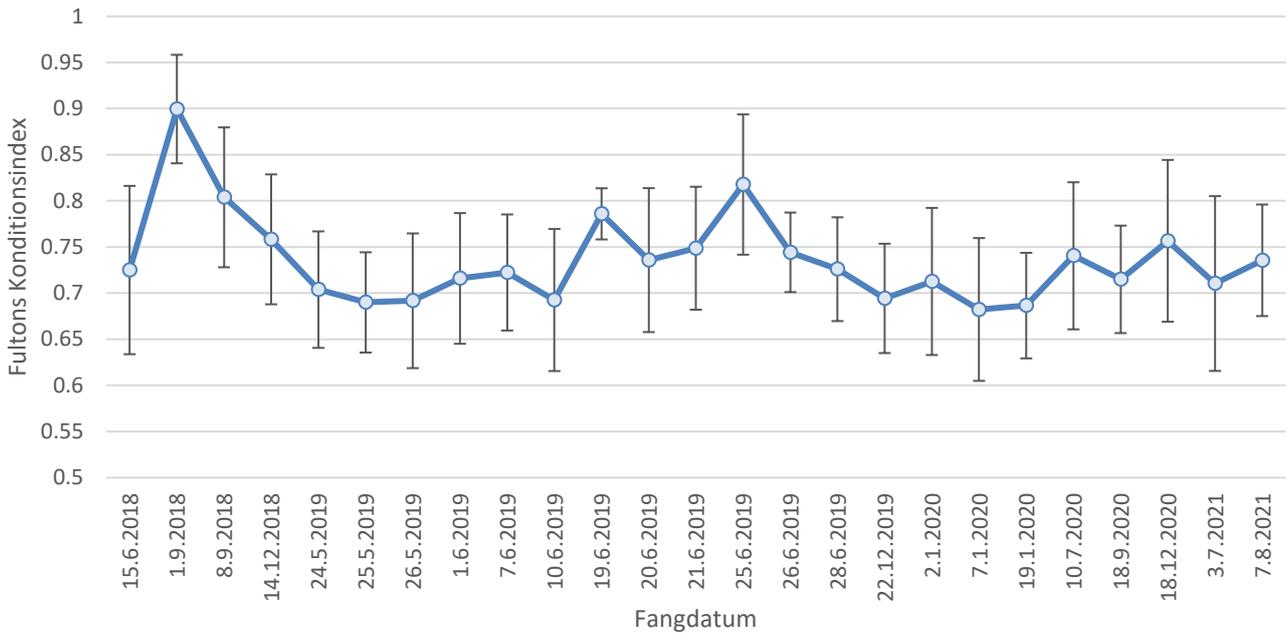


Abbildung 3-12. Entwicklung des Konditionsindex nach Foulton [13] im Verlauf der Monitoringfänge von 2018 bis 2021.

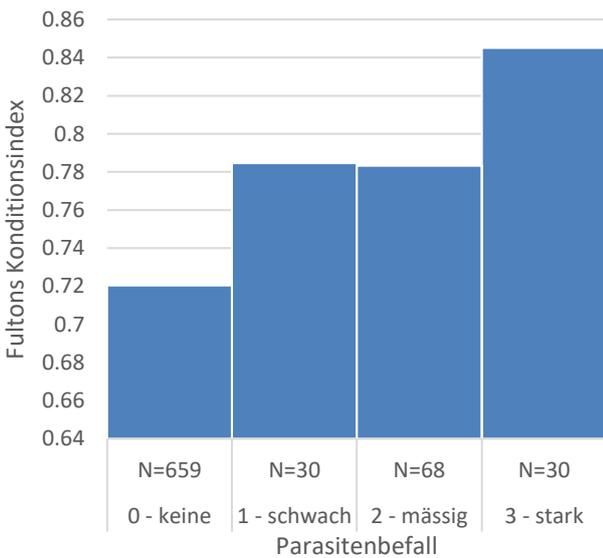


Abbildung 3-13. Links: Mittlerer Konditionsindex der gefangenen Felchen für Fische mit unterschiedlich starkem Parasitenbefall mit Bandwürmern. Rechts: Foto der gefundenen Bandwürmer (Foto © Richard Stadelmann).

3.7 Fangertrag der Berufs- und Angelfischerei im Hallwilersee

Die Summe des Felchenertrags der Netzfischer und der Angelfischer bewegte sich in den letzten Jahren auf einem höheren Niveau als in den Jahren zwischen 2003 und 2007 (Abbildung 3-15). So lagen die Fänge der Fischer von 2010 bis 2017 zwischen 8 t und 13 t pro Jahr. 2018-2020 gingen die Fänge jedoch zurück und pendelten zwischen 5.2 t und 6.8 t.

Die Felchenfänge sind aber nach wie vor etwas höher als in den schwachen Jahren 2003-2007. Der Aufwand, der für den Fang betrieben werden musste, ist gemäss Aussagen der Berufsfischer aber deutlich angestiegen.

Aus diesem Grund wird seit 2020 auch der Aufwand, der für den Fang der Fische notwendig ist, erhoben. Dieser für den Aufwand korrigierte Ertrag zeigt, wie der Fang im Jahresverlauf schwankte (Abbildung 3-15). So wurden die besten Erträge pro Aufwand während der Laichzeit oder kurz danach erreicht (Januar und Februar). Am wenigsten gefangen wurde

im Frühling von März bis Juli. Wird angenommen, dass eine wirtschaftliche Fischerei ab ca. 30 kg Fang pro Tag möglich ist, dann war dies im Hallwilersee derzeit nur in den Monaten August bis Februar der Fall.

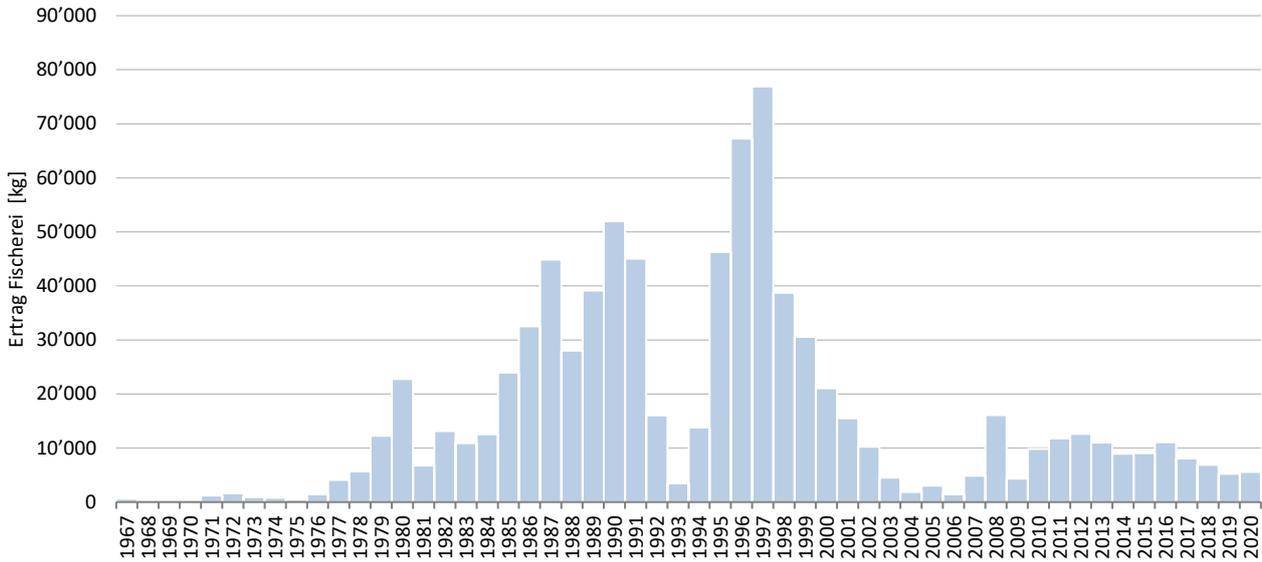


Abbildung 3-14. Felchenertrag der Berufs- und Angelfischerei im Hallwilersee. Für das Jahr 2017 lagen nur die Fänge der Netzfischer vor. Die Anglerfänge sind also im dargestellten Ertrag nicht enthalten.

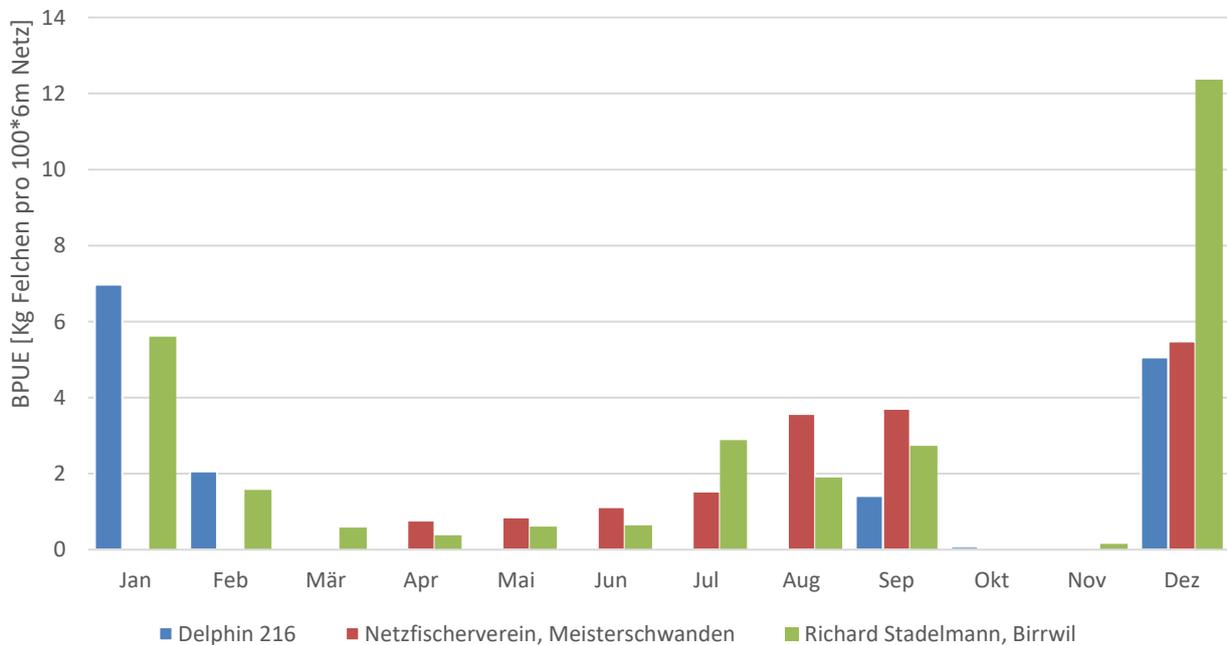


Abbildung 3-15. Felchenertrag des Jahrs 2020 in kg korrigiert für den Befischungsaufwand, also pro 100 m* 6 m Netz und für jeden Betrieb (Daten von Delphin 216 waren von März bis August nicht komplett und konnten in diesem Zeitraum nicht ausgewertet werden).

3.8 Jahrgangsstärken

Die Kohorten 2016 und 2017 (Besatzjahr 2017 und 2018) waren in den Jahren 2020/21 die dominierenden Jahrgänge im Fang der Fischer. In den letzten Jahren waren die Jahrgänge 2013 und 2014 (der mar-

kierte Jahrgang) stärker im Fang vertreten (Abbildung 3-16). 2015 scheint als Jahrgang eher schwach auszufallen, 2016 und 2017 scheinen wieder eher stärkere Bestände aufzuweisen.

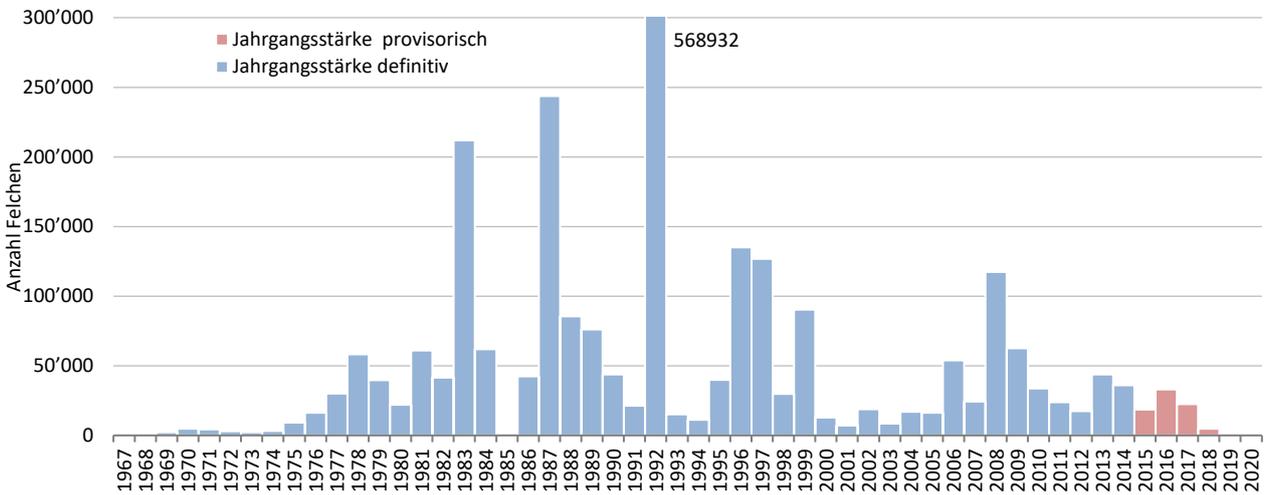


Abbildung 3-16. Virtuelle Jahrgangsstärke der Hallwilerseefelchen. Die virtuelle Jahrgangsstärke (JGS) entspricht der Anzahl Fische, die von einem Jahrgang insgesamt gefangen werden. Die Fangzahlen sind bis und mit 2018 verfügbar. Die Jahrgänge bis und mit 2014 sind vollständig erfasst (definitiv). Die Jahrgänge 2015-2018 sind mit einem provisorischen Wert dargestellt, da diese noch nicht vollständig im Fang erschienen sind.

3.9 Besatzzahlen

Seit 2004 nahm der Laichfischfang stets zu und im Jahr 2016 wurde mit Abstand das grösste Ergebnis beim Fang erreicht, was auch die Anzahl Liter aufgelegter Eier zeigen (68.25 Mio. Eier, Abbildung 3-17). Ab 2017 nahm die Menge eingelegter Felcheneier

wieder deutlich ab und sank auf 4.97 Mio im 2021. Die Anzahl Eier ging also zirka auf das Niveau von 2006-2010 zurück. Laut Aussage der Netzfischer war dies auf die geringe Fangeffizienz der verwendeten Netze im Laichfischfang zurückzuführen.

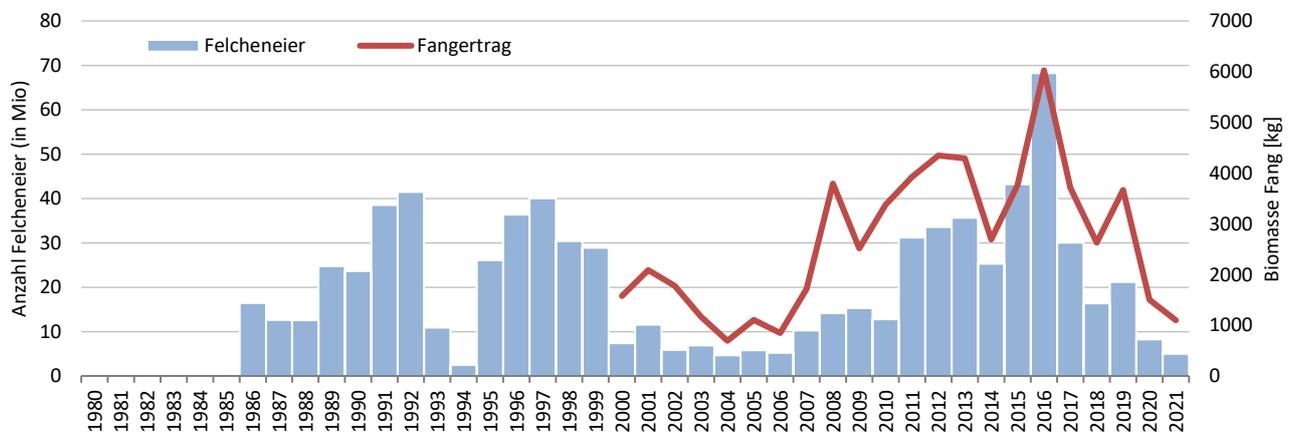


Abbildung 3-17. Ergebnis der Laichfischerei bei den Felchen des Hallwilersees. Dargestellt sind die eingelegten Eimengen in Millionen Felcheneiern in den Laichperioden 1986 bis 2021. Angaben Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau.

3.10 Zusammenhang Besatz, Jahrgangsstärke und Wachstum

Ein Vergleich zwischen der Jahrgangsstärke und den Besatzzahlen der entsprechenden Kohorte zeigt einen leicht positiven und signifikanten ($p < 0.05$) Zusammenhang zwischen Besatz und Fang (Abbildung 3-18). Die Besatzzahlen erklären lediglich 16 % der

Varianz in den Felchenfängen. Auffallend ist dabei, dass starke Jahrgänge auch in Jahren mit vergleichsweise geringen Besatzmengen hervorkommen können. Die Besatzmenge vermag also Unterschiede im Fang nicht stark zu beeinflussen.

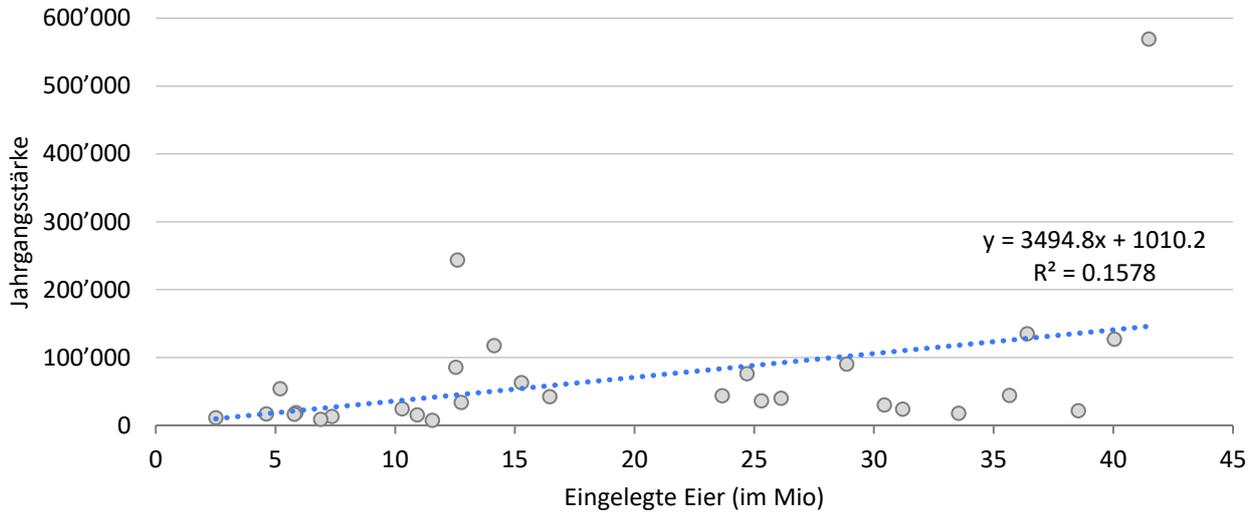


Abbildung 3-18. Zusammenhang zwischen der Anzahl eingelegter Eier und der entsprechenden Jahrgangsstärke der Kohorte im Felchenfang. Die blau gestrichelte Linie entspricht der linearen Regressionslinie. Die Lineare Regression weist einen signifikanten P-Wert auf (Anova, $p < 0.05$).

Das Wachstum der Felchen im See scheint demgegenüber sehr stark von der Besatzmenge abzuhängen (Abbildung 3-19). Die beobachtete Länge von 4-jährigen Felchen war in Jahren mit geringen Besatzmengen hoch und in Jahren mit hohen Besatzmengen gering. Die Besatzmenge erklärt dabei mit einem R^2 -Wert von 0.6 ganze 60% der Varianz ($p < 0.001$), die in der erreichten Länge zwischen den Jahren beobachtet wurde.

Dieser Zusammenhang wird schon im ersten Wachstumsjahr eindeutig ersichtlich, wie Auswertungen zeigen, die Rahmen eines Forschungsprojekts der Universität Lausanne durchgeführt wurden [14]. Dies deutet sehr stark darauf hin, dass die Besatzmenge und damit vermutlich auch die Bestandsdichte im See, einen entscheidenden Einfluss auf das Wachstum der Felchen im Hallwilersee hat.

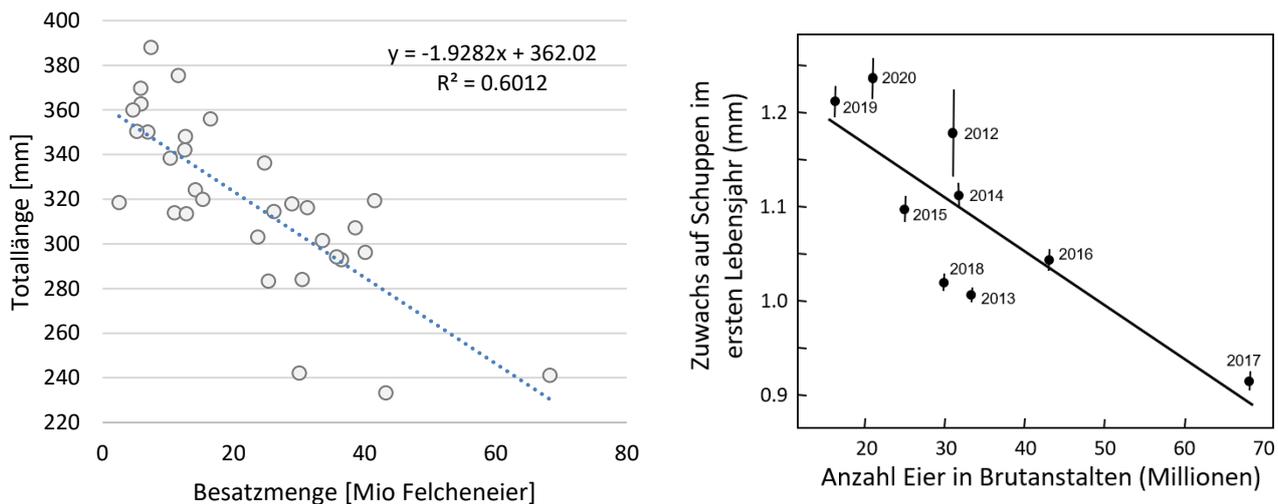


Abbildung 3-19. Links: Korrelation zwischen der Anzahl eingelegter Felcheneier in den Fischzuchten und der erreichten Totallänge der Felchen dieser Kohorte nach 4 Jahren. Die Daten beinhalten die Jahrgänge 1986 bis 2017. Die Lineare Regression weist einen hoch signifikanten P-Wert auf (Anova, $p < 0.001$). Rechts das Wachstum der Schuppen im ersten Jahr von Felchen, die von 2012 bis 2020 vermessen wurden im Vergleich mit der Anzahl besetzten Felchen [14].

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Vergleich CPUE-Werte der Versuchsfänge

Sowohl für die Biomasse als auch für die Anzahl gefangene Fische sind die CPUE-Werte für kleine Maschenweiten (24 mm und 27 mm) klar am höchsten. Für Netze mit einer Maschenweite von 38 mm sind die CPUE-Werte deutlich geringer. Netze mit einer Maschenweite von 30 mm und 32 mm weisen ähnliche CPUE-Werte auf.

Das Gewicht der in kleineren Maschenweiten gefangenen Felchen fällt deutlich geringer aus. 2021 waren Felchen, die im Versuchsnetz mit der Maschenweite von 32 mm gefangen wurden, im Mittel nur noch 125 g schwer. 2015 lag das mittlere Gewicht

noch bei 250 g und 2008 sogar bei 300 g. Das Fanggewicht der Felchen hat sich also innerhalb von 13 Jahren mehr als halbiert! Für den gleichen Ertrag müssen heute also mehr als die doppelte Anzahl Felchen gefangen werden als noch 2008.

Die Analyse der CPUE-Werte der Versuchsfänge über das Jahr ist im bestehenden Datensatz schwierig, da die Netze nicht jedes Jahr gleich häufig und zu den gleichen Jahreszeiten eingesetzt werden. Die Fänge der Berufsfischer zeigen aber, dass die Fänge insbesondere im Frühling sehr niedrig sind. In der zweiten Jahreshälfte und insbesondere während dem Laichfischfang, fallen die Fänge besser aus.

Um gesicherte Aussagen über die CPUE-Werte treffen zu können, müssten die Versuchsnetze möglichst immer zum gleichen Zeitpunkt eingesetzt werden. Wie empfehlen die Versuchsfänge vier Mal im Jahr durchzuführen: Jeweils im Juni, Ende Juli, im September und im Dezember.

4.2 Altersverteilung in den Versuchsfängen und Maschenweite

Um eine möglichst nachhaltige Fischerei zu betreiben, muss eine Überfischung des Bestands vermieden werden. Klassischerweise wird dies versucht, indem einem Grossteil des Bestands einer Art einmal die Möglichkeiten gegeben wird, sich fortzupflanzen. Die Felchen des Hallwilersees werden zu einem grossen Teil am Ende des dritten Lebensjahrs (2+) zum ersten Mal geschlechtsreif. Wird nach diesem Ansatz bewirtschaftet, dann sollten durch die Fischerei (Angelfischerei und Berufsfischerei) grossmehrheitlich Felchen gefangen werden, die älter als drei Jahre sind (3+, 4+, 5+, 6+). Der Alters- und Längenverteilung zeigt 2020 und 2021 keine klare Längenabgrenzung zwischen den Altersklassen. 2018 lag die Grenze für eine mehrheitliche Entnahme von älteren Fischen bei ca. 290 mm. Allerdings ist das Wachstum der Felchen nach 2015 nochmals deutlich zurückgegangen, was vermuten lässt, dass dieses Mass heute

wahrscheinlich tiefer liegt. Dies zeigt auch die Längenverteilung der Versuchsfänge. Es wurden praktisch keine Felchen mehr gefangen die grösser als 290 mm waren, obwohl diese 2018 in den Versuchsfängen noch häufig waren. Es kann aber auch beobachtet werden, dass 2021 wieder vermehrt schneller wachsende 1+- und 2+-Felchen im Fang waren.

Die Versuchsfänge haben auch gezeigt, dass die höchsten Dichten mit Netzen einer Maschenweite von 25 mm und 27 mm gefangen wurden. Die CPUE-Werte sind für Netze mit diesen Maschenweiten sehr hoch. Diese mit kleinen Maschenweiten erlangten Daten zeigen, dass es eine Vielzahl an Felchen im Hallwilersee hat. Ansonsten könnten keine konstant so hohen Dichten gefangen werden. Das Gewicht der Felchen, die in diesen Maschenweiten gefangen wurden, ist allerdings gering und liegt 2020/21 bei weni-

ger als 100 g. Die Netzfischer bevorzugen für die Verarbeitung grössere Felchen von mindestens 150 g. Heute werden in den 32 mm Netze Felchen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 125 g gefangen. Dies liegt also unterhalb der Zielgrösse, die für die Betriebe noch wirtschaftlich gut ist.

Da mit 30 mm Netzen kaum mehr Felchen gefangen werden und weil die Felchen mit den kleineren Maschenweiten von 25 mm oder 27 mm doch deutlich geringere Gewichte aufweisen, aber auch weil bei den 1+- und 2+-Kohorten wieder schneller wachsende Felchen beobachtet wurden, sollte auf eine weitere Reduktion der zugelassenen Maschenweite aus unserer Sicht verzichtet werden.

Aufgrund der Ergebnisse der Jahre 2020 und 2021 können keine Fanglängen für eine nachhaltige Fischerei abgeleitet werden. Da aber wieder schneller wachsende 1+- und 2+-Felchen festgestellt wurden, wird davon abgeraten, die Maschenweite für den Netzfang weiter zu senken.

4.3 Wachstum der Felchen

Die Analyse der Felchenschuppen, die im Jahr 2020 und 2021 gesammelt wurden, zeigt eine weitere und deutliche Abnahme des Längenwachstums (insb. Kohorten 2016 und 2017). Ebenfalls fällt die Abflachung der Wachstumskurve ab einer Länge von ca. 280 mm auf. Als mögliche Gründe für diesen Rückgang stehen dieselben Hypothesen wie schon 2018 im Raum:

Bestandsdichte: Der Rückgang im Wachstum könnte eine direkte Auswirkung einer gestiegenen Bestandsdichte sein. Wenn sich mehr Fische einen Lebensraum mit einer begrenzten Nahrungsproduktion teilen, verläuft das Wachstum langsamer.

Dieser Effekt erscheint derzeit klar am meisten Einfluss auf das Wachstum der Felchen zu haben. So konnte eine starke und statistisch signifikante Korrelation zwischen den Besatzzahlen und dem Wachstum der Felchen festgestellt werden. Da ein Grossteil der Felchen im See von Besatzmassnahmen abstammt [8] ist anzunehmen, dass das Wachstum der Felchen durch die Besatzmenge direkt beeinflusst wird und zwar durch die dadurch entstehende innerartliche Konkurrenz auf die im See begrenzt verfügbare Nahrung. Zudem zeigen die Wachstumskurven der letzten Jahre, dass das Wachstum in den 2000er

Jahren, als der Besatz und auch die Fänge gering ausfielen, deutlich besser war.

Abnahme im Nahrungsangebots: Eine Abnahme im Nahrungsangebot könnte zu einem Rückgang des Wachstums führen, ohne dass sich der Bestand ändert. Der Hallwilersee ist jedoch nach wie vor ein produktiver See und das Zooplanktonmonitoring vom Kanton zeigt seit 2010 keine signifikante Veränderung im Nahrungsangebot (Abbildung 4-1). 2020 wurden teilweise sogar sehr hohe Zooplanktondichten beobachtet (Pers. Mitteilung Lukas De Ventura) Daher erscheint dies als Ursache eher wenig wahrscheinlich zu sein.

Evolutive Prozesse: Durch die selektive Entnahme von rasch wachsenden Fischen im Verlauf des Jahres wird ein Selektionsdruck auf die Population ausgeübt. Langsam wüchsige Felchen haben dadurch eine bessere Überlebenschance und werden beim Laichfischfang häufiger gefangen und dadurch gezielt, auch wenn unabsichtlich, vermehrt. Da das Wachstum bei Felchen eine genetische Grundlage besitzt [15], muss davon ausgegangen werden, dass dies längerfristig zu einer Abnahme des Wachstums führen kann [16].

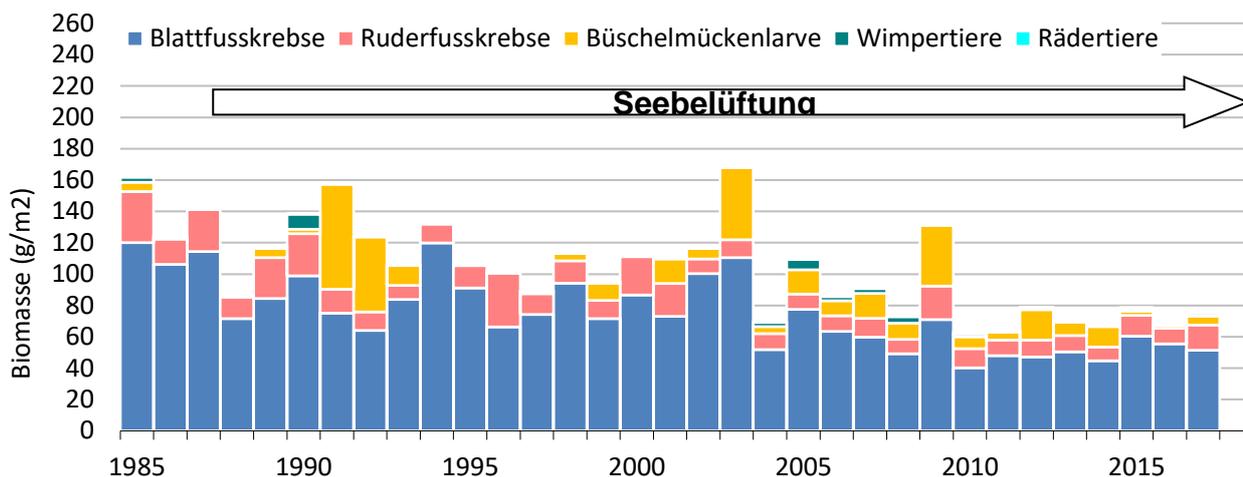


Abbildung 4-1. Entwicklung des Zooplanktons im Hallwilersee (Daten Kanton Aargau).

Habitatangebot: Möglicherweise führen andere Umweltparameter (z.B. das Temperaturregime, verfügbare Habitate mit Futter im Angebot) zu einem Rückgang. Auch dies ist schwer zu prüfen, da die Nutzung

der Habitate im See nur einmalig beim "Projet Lac" untersucht wurde. Eine Wiederholung dieser standardisierten Befischungen könnte diesbezüglich etwas mehr Klarheit schaffen.

Die Ursachen für den beobachteten Wachstumsrückgang der Felchen können anhand des bestehenden Monitorings nicht zweifelsfrei bestimmt werden. Eine dichteabhängige innerartliche Konkurrenz der Felchen im See scheint aufgrund der starken Korrelation zwischen Besatzmengen und Wachstum jedoch eine wichtige Ursache für den Wachstumsrückgang darzustellen.

4.4 Felchenbewirtschaftung

Da sich Felchen im Hallwilersee schlecht natürlich fortpflanzen können [8], spielt der Laichfischfang und die künstliche Erbrütung in den Fischzuchten heute eine wichtige Rolle bei der Bewirtschaftung und für die fischereiliche Nutzung der Felchen [14].

Dass dabei eine künstliche Selektion entsteht, die das Längenwachstum der Felchen beeinträchtigen kann, ist aus der wissenschaftlichen Literatur bekannt [16–19]. Wie gross diese Effektgrösse bei Felchen sein kann, ist weitgehend unbekannt und die möglichen Konsequenzen dieses Prozesses sind in der Fischerei noch sehr wenig verstanden.

Es stellt sich trotzdem die Frage, ob bei der Bewirtschaftung im Hallwilersee Möglichkeiten bestehen, diesem Selektionsdruck und dem dichteabhängigen Wachstum entgegenzuwirken.

Um die Bestandsgrösse im See zu senken, müssten die Besatzmengen reduziert werden. Solange die natürliche Fortpflanzung nur wenig zur Bestandsrekrutierung beiträgt, kann damit der Bestand reguliert werden. 2020 und 2021 waren die Besatzmengen mit weniger als 10 Mio. eingesetzten Felchen deutlich geringer als in den Jahren 2011-2017. Falls die Bestandsdichte stark durch die Besatzmenge beeinflusst wird, kann erwartet werden, dass die Felchen in den nächsten Jahren wieder besser wachsen. Erste Anzeichen dafür liefern die Daten von 2021, die bei den 1+ und 2+ wieder ein besseres Wachstum zeigen (Kohorten 2018 und 2019, Besatzjahre 2019 und 2020). Ob dies nachhaltig der Fall ist und wie stark die Erholung beim Wachstum ausfällt, sollte im 2022 bei den 0+- bis 3+-Felchen ersichtlich sein. Umso wichtiger ist es demnach, dass das Monitoring 2022 fortgeführt wird.

Bezüglich der möglichen evolutionären Effekte wirkt sich derzeit positiv aus, dass bei der künstlichen Vermehrung oftmals vierjährige Weibchen mit dreijährigen Männchen gekreuzt werden [20]. Damit kann die genetische Vielfalt erhöht, Inzucht vermieden, und zumindest ein Teil der fischereilich induzierten Selektion gegen langsames Wachstum umgangen werden [20]. Eine weitere Reduktion wäre unserer Ansicht nach nur möglich, wenn die selektive Förderung von rasch wachsenden Felchen noch stärker unterstützt wird.

Um dies zu erreichen könnte versucht werden, den Anteil schnell wachsender Felchen zu erhöhen. Diese könnte erreicht werden, indem beim Laichfischfang Maschenweiten zugelassen werden, die auch auf den Fang von 3-jährigen Weibchen ausgerichtet sind. Dazu müssten beim Laichfischfang kleinere Maschenweiten eingesetzt werden als in der regulären Fischerei. Dabei sollte nicht die eingelegte Ei-Menge im Vordergrund der Besatzmassnahmen stehen, sondern eher die Qualität der Elterntiere die gefangen und gestreift werden.

Um dichteabhängige Prozesse zu reduzieren, die ein langsames Wachstum verursachen, sollte die Besatzmenge reduziert werden. Ein gutes Wachstum wurde vor allem in Kohorten mit weniger als 15 Mio. Besatzfischen beobachtet. Es sollte daher in Zukunft vermieden werden, mehr als 15 Mio. Felchen auszusetzen. Dies war 2020 und 2021 bereits der Fall. Der Effekt dieser Reduktion der Besatzmenge auf die Bestandsdichte im See und auf das Wachstum der Felchen sollte überwacht werden.

Zudem sollte überprüft werden, wie gross der Anteil an naturverlaichten Felchen heute im See ist und ob sich dieser Anteil seit der Kohorte 2013 verändert hat. Sollte die Naturverlaichung heute mehr zur Rekrutierung beitragen, dann wäre eine weitere Senkung der Besatzmassnahmen empfehlenswert.

Um der möglichen fischereilich induzierten Selektion gegen langsames Wachstum entgegenzuwirken, könnte versuchsweise der Laichfischfang mit kleineren Maschenweiten durchgeführt werden als die reguläre Fischerei.

4.5 Fangertag und Ertragspotential

Die Netzfischer sind erneut unzufrieden mit dem erreichten Fangertag und stellen sich die Frage, wie hoch das Ertragspotential im See ist und ob sich der Fischbestand im See in den letzten Jahren verändert hat. Diese Fragen können mit dem gezielten Felchenmonitoring nicht beantwortet werden. Im Jahr 2013 wurde der Hallwilersee jedoch im Rahmen des "Projet Lac" standardisiert befischt. Also zu einem Zeitpunkt als die Fischer mit den Felchenerträgen zufrieden waren. Die Fänge lagen damals für Felchen ca. 50% höher als in den letzten Jahren.

Wenn das heutige Ertragspotential und der Fischbestand mit dem von 2013 verglichen werden soll, dann empfiehlt es sich die standardisierten Befischungen des "Projet Lac" zu wiederholen. Damit könnte überprüft werden, ob sich der Fischbestand

im See, also auch der anderen Fischarten, signifikant verändert hat oder nicht.

Aufgrund der vorliegenden Informationen kann die fischereiliche Situation am Hallwilersee bis und mit 2017 als recht gut beurteilt werden, dies vor allem im Vergleich mit den Jahren 2003 bis 2007. 2018 bis 2021 fielen jedoch deutlich schlechter aus. Inwiefern die Abnahme zumindest teilweise auf einen allfällig geringeren Befischungsaufwand zurückgeführt werden kann, ist jedoch unbekannt. Ab 2020 werden deshalb bei der Netzfischerei auch der Aufwand und die Befischungsgeräte erfasst. In Zukunft wird dies demnach überprüfbar sein.

Bemerkenswert ist ausserdem die stets geringe Menge der gefangenen Karpfenartigen (Cypriniden).

Dies ist für einen produktiven See wie den Hallwilersee erstaunlich. Dieser Umstand zeigt, dass Karpfenartige bei uns kaum geschätzt und deshalb auch nicht gezielt gefangen werden. Der „Projet Lac“-Bericht

weist darauf hin, dass Cypriniden im Hallwilersee doch recht häufig waren [21]. Die Präferenz für die Fischarten spielt also die grösste Rolle beim Fang, sei es in der Netzfischerei oder in der Angelfischerei.

4.6 Monitoring

Die neu eingeführten Monitorings haben sie bewährt und sollten fortgeführt werden. Das Monitoring umfasst damit drei Komponenten:

- **Erfassung des Aufwands bei den Netzfischern:** Die Netzfischer erfassen nicht nur den Tagesfang, sondern auch die Anzahl und die Grösse der dafür verwendeten Netze sowie die Maschenweite. Dadurch ist es möglich, Entwicklungen des fangbaren Felchenbestands zu dokumentieren und zu verfolgen.
- **Fortsetzung der CPUE-Erfassung bei den Angelfischern:** Die bisher erhobenen CPUE-Werte der Angelfischer sollten weiterhin erfasst werden und periodisch auf Veränderungen geprüft werden.
- **Versuchsnetze:** Die Versuchsnetze (25, 27, 30, 32, 34, 36 mm) sollten weiterhin periodisch 4* im Jahr eingesetzt werden, um Veränderungen der CPUE-Werte im Vergleich zu den heutigen Versuchsfängen zu dokumentieren. Dabei sollten von allen gefangenen Felchen auch Schuppen entnommen werden. Wichtig ist, dass die Versuchsfänge alle Jahre zur gleichen Zeit stattfinden. Wir empfehlen das Monitoring im Juni, Ende Juli, im September und im Dezember durchzuführen.

5 Literaturverzeichnis

1. Stöckli, A. 2010. Dem Hallwilersee geht es immer besser. *Umwelt Aargau Nr. 49*.
2. Müller, R. 2013. *Fischereibiologische Untersuchungen am Hallwilersee*. Horw: LIMNOS Fischuntersuchungen.
3. Müller, R. 2013. *Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2013*. Horw: LIMNOS Fischuntersuchungen.
4. Müller, R. 2017. *Fischereibiologische Untersuchungen am Hallwilersee*. Horw: Limnos Fischuntersuchungen.
5. Aquabios. 2013. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Vorstudie*. Châtonnaye: Aquabios.
6. Aquabios. 2014. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee 2014 - Ergebnisse der Markierung*. Châtonnaye: Aquabios GmbH.
7. Aquabios. 2017. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Erfolgskontrolle 3 (2+) 2016*. Cordast.
8. Aquabios. 2018. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Markierung 2014 und Erfolgskontrollen 2014 - 2018 - Schlussbericht*. Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr Und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd Und Fischerei, Kanton Aargau. Cordast: Aquabios GmbH.
9. Hilborn, R., and C. J. Walters. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. London: Chapman & Hall Ltd.
10. Smolia, K. 1920. *Merkbuch der Binnenfischerei*. Berlin.
11. Policansky, D. Fishing as a cause of evolution in fishes. In *The exploitation of evolving resources. Lecture Notes in Biomathematics, vol 99*. Berlin: Springer-Verlag.
12. Heikinheimo, O., and J. Mikkola. 2004. Effect of selective gill-net fishing on the length distribution of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) in the Gulf of Finland. *Ann. Zool. Fennici* 41: 357–366.
13. Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol* 22: 241–253.
14. de Guttry, C., P. Vonlanthen, R. Stadelmann, N. Stadelmann, A. Pirat, G. Perroud, D. Bittner, L. de Ventura, and C. Wedekind. 2022. Persistent high hatchery recruitment despite advanced reoligotrophication and significant natural spawning in a whitefish.
15. Bernatchez, L. 2004. Ecological Theory of Adaptive Radiation. An Empirical Assessment from Coregonine Fishes (Salmoniformes). In *In: Evolution Illuminated (Hendry, A. P. & Stearns, S. C., eds.)*, 175–207. Oxford: Oxford University Press.
16. Thomas, G., H. Quob, J. Hartmann, and R. Eckmann. 2009. Human-induced changes in the reproductive traits of Lake Constance common whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Journal of Evolutionary Biology* 22: 88–96.
17. Thomas, G., and R. Eckmann. 2007. The influence of eutrophication and population biomass on common whitefish (*Coregonus lavaretus*) growth — the Lake Constance example revisited. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 402–410.
18. Lundsgaard-Hansen, B., and C. Schmid. 2017. Von frühreifen Dorschen und guten Vätern – oder wie Fischerei die Evolution von Fischpopulationen beeinflussen kann. *FIBER Wissen*.
19. Rogers, S.M., and L. Bernatchez. 2005. Integrating QTL mapping and genome scans towards the characterization of candidate loci under parallel selection in the lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *Molecular Ecology* 14: 351–361.
20. de Guttry, C., P. Vonlanthen, D. Nusbaumer, G. Perroud, A. Garcia Jimenez, A. Atherton, R. Stadelmann, N. Stadelmann, D. Bittner, and C. Wedekind. 2022. Demographic and genetic consequences of altered gillnet selectivity during spawning season. *In prep*.
21. Vonlanthen, P., G. Périat, O. Seehausen, and T. Alexander. 2014. *Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Hallwilersee*. Kastanienbaum: EAWAG.