

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT INSTITUT UNR

Emergenzzeitraum von Bachforellen im Kanton Aargau



Bachelorarbeit

Arter Marcel

Bachelorstudiengang 2015 Abgabedatum: 24.10.2019 Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Dr. Constanze Pietsch Life Sciences and Facility Management ZHAW Wädenswil, Grüental, 8820 Wädenswil

Nicola Rhyner Life Sciences and Facility Management ZHAW Wädenswil, Grüental, 8820 Wädenswil

Impressum

Autor

Marcel Arter

Titelbild

Juvenile Bachforelle mit Dottersack aus der Aufzuchtstation Rekingen. © Heinz Höppli

Schlagwörter

Bachforelle, Atlantische Forelle, *Salmo trutta* L., Brown Trout, Emergence, Swim-up, Fry, Alevin, Brütling, Larve, elektrische Befischung, Emergenz, Aufschwimmen, Monitoring

Zitiervorschlag

Arter, M. (2019). Emergenzzeitraum von Bachforellen im Kanton Aargau. Bachelorarbeit, ZHAW, Wädenswil.

Institut

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Department Life Sciences und Facility Management, Institut UNR

Wädenswil, 24. Oktober 2019

Zusammenfassung

Der Nachwuchs der atlantischen Forelle (*Salmo trutta* L.) schlüpft im Frühling aus den Eiern im Kiesbett eines Fliessgewässers. Die juvenilen Forellen bleiben dort in den Laichplätzen für die nächsten paar Wochen vergraben, bis sie sich vollständig entwickelt haben. Danach verlassen sie den Kies endgültig und können das gesamte Gewässer als Lebensraum nutzen. Dieser letzte Schritt, das Verlassen des Kieses ins freie Wasser, wird Emergenz oder Aufschwimmen genannt. Die juvenilen Forellen werden während und nach der Emergenz Larven genannt. Die ganze Entwicklung und das Wachstum bis nach der Emergenz hängen stark von der Wassertemperatur ab. Je wärmer, desto schneller findet die Entwicklung der juvenilen Forellen statt. Genau wie die Wassertemperatur unterliegt die Entwicklungsgeschwindigkeit und somit der Emergenzzeitraum darum auch jährlichen Schwankungen.

In sechs kleinen Fliessgewässern im Kanton Aargau wurde in dieser Arbeit ein Monitoring im Rahmen des Projektes *Emergenz von Forellenlarven* von der Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau durchgeführt. Aufgrund der Fortpflanzung der Forellen sind zurzeit technische Eingriffe in aargauischen Gewässern vom 1. November bis zum 15. Mai eingeschränkt. Das Ziel dieser Arbeit ist aufzuzeigen, ob die Emergenz der Forellen in den untersuchten Bächen länger als am 15. Mai dauert. Zusammen mit den kantonalen Fischereiaufsehern wurde darum ein halbquantitatives Monitoring mittels elektrischer Befischung durchgeführt. Der Monitoringtag mit der höchsten Anzahl gefundener Larven wurde in dieser Arbeit als Emergenzmaximum bezeichnet. Temperaturlogger wurden in jeder Untersuchungsstrecke platziert, um Wassertemperatur-Daten aufzuzeichnen.

Die frühsten Emergenzmaxima wurden am 03.05.2019 im Elfingerbach, Möhlinbach und Hott-wilerbach festgestellt. Bis zum letzten Monitoringtag am 27.05.2019 konnte im Küntenerbach, Fisibach und Chrüzlibach kein Emergenzmaximum bestimmt werden. Die Emergenz im Küntenerbach und im Chrüzlibach war zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich noch nicht beendet. Eine Korrelation von Wassertemperatur und Emergenz konnte beobachtet werden. Je wärmer die Durchschnittstemperatur des Baches, desto früher fand die Emergenz statt. Die höchste Durchschnittstemperatur von Dezember 2018 bis Mai 2019 von rund 9.3 °C wurde im Elfingerbach gemessen, die kälteste mit rund 7.0 °C im Chrüzlibach.

Die Emergenz über alle untersuchten Gewässer startete Anfang April und war Ende Mai wahrscheinlich noch nicht beendet. Das Monitoring müsste bis im Juni durchgeführt werden, um eine gesicherte Aussage machen zu können. In den zwei kältesten Bächen wurde die Emergenz erst ab dem 16.05.2019 festgestellt, also später als die Einschränkungen für technische Eingriffe bestehen.

Abstract

The offspring of the Atlantic trout (*Salmo trutta* L.) hatch in spring from the eggs in the gravel bed of a stream. The juvenile trout remain buried in the spawning grounds for the next few weeks until their development is fully completed. At that time, the gravel is left permanently by the trout and the entire water body is used as a habitat. This last step, leaving the gravel into the open water, is called emergence. The juvenile trout are called fry during and after emergence. The whole development and growth until after the emergence depends strongly on the water temperature. The warmer, the faster the development of juvenile trout takes place. Because of annual water temperature fluctuations, the development speed and thus the emergence period fluctuate also annually.

In six small creeks in the canton of Aargau, a monitoring project was carried out as part of the *Trout Fry Emergence Project* by the Hunting and Fisheries Section Canton Aargau. Due to the reproduction of trout, technical interventions in water courses are currently restricted from 1. November to 15. May. The aim of this work is to show whether the emergence of trout in the streams studied lasts longer than the 15. May. A semi-quantitative electrofishing monitoring was carried out together with the cantonal fisheries inspectors. In this work, the monitoring day with the highest number of fry found was referred to as the emergence maximum. Temperature loggers were placed in each monitoring section to record water temperature data.

The earliest emergence maxima were recorded on 03.05.2019 in Elfingerbach, Möhlinbach and Hottwilerbach. Until the last monitoring day, the 27.05.2019, no emergence maxima could be determined in Küntenerbach, Fisibach and Chrüzlibach. The emergence in Küntenerbach and Chrüzlibach was likely not yet completed at this time.

A correlation of water temperature and emergence could be observed. The warmer the average temperature of the stream the earlier the emergence took place. The highest average temperature of around 9.3 °C from December 2018 to May 2019 was measured in the Elfingerbach, the coldest in the Chrüzlibach with around 7.0 °C.

Emergence across all studied creeks started at the beginning of April and was probably not finished by the end of May. The Monitoring should be continued until June in order to be able to make a reliable statement. In the two coldest streams, emergence was only detected after 16.05.2019. This is a later date than the restrictions for technical interventions apply.

Danksagungen

Allen beteiligten Personen und im Speziellen den nachfolgend Erwähnten, möchte ich meinen tiefsten Dank für Ihre Anregungen und Mithilfe aussprechen.

Den kantonalen Fischereiaufsehern Heinz Höppli, Ernst Sennrich und Kurt Wunderlin für Ihren wertvollen Einsatz während des Monitorings.

Dr. Constanze Pietsch für Ihr Vertrauen und Ihre Hilfe.

Dr. David Bittner für die zahlreichen guten Anregungen und Hilfestellungen.

Nicola Rhyner für die Ideen, Anregungen und Seine Hilfe im Erstellen von fantastischen Graphen.

Flavio Küttel und Kira Küttel für die gute Zusammenarbeit.

Meiner Familie und meinen Freunden für Ihre Geduld und Unterstützung.

Den Pächtern der untersuchten Bäche für Ihre Kooperation.

Inhalt

1		Einleitung	7
2		Material und Methoden	1
	2.1	Standorte1	1
	2.2	Monitoring: Elektrische Befischung1	1
	2.3	Physikalische Parameter1	2
	2.4	Chemische Gewässeranalyse1	3
	2.5	Datenanalyse1	4
3		Resultate1	6
	3.1	Emergenz 20191	6
	3.2	Vergleich der Emergenz im Möhlinbach der Jahre 2018 und 2019 1	8
	3.3	Physikalische Parameter2	0
	3.4	Chemische Parameter2	1
4		Diskussion	3
	4.1	Emergenz2	3
	4.2	Wassertemperatur2	5
	4.3	Chemische und physikalische Parameter	6
5		Schlussfolgerung	9
6		Literaturverzeichnis	1
Al	bild	lungsverzeichnis	5
Та	abell	enverzeichnis3	6
Aı	nhar	ng3	7

1 Einleitung

Die atlantische Forelle (Salmo trutta L.), allgemein bekannt als Bachforelle, lebt in vielen Gewässern im Kanton Aargau (Kreienbühl et al., 2017). Ihre Fortpflanzung findet dort primär vom November bis Januar statt, mit der höchsten Aktivität im Dezember (Kreienbühl et al., 2017). Allgemein gilt, je niedriger die Wassertemperatur desto früher findet die Fortpflanzung statt (Klemetsen et al., 2003). Die weibliche Forelle gräbt mit seitlichen Schlägen ihres Körpers eine oder meist mehrere Laichgruben in das Gewässersubstrat am Boden (Lobón Cerviá & Sanz, 2018). In die bis zu 50 cm tiefen Gruben (meist 10 cm bis 30 cm) legt sie insgesamt 250 bis 2000 Eier (Crisp, 2000; Lundsgaard-Hansen, 2014). Grössere Weibchen erstellen tiefere Gruben und können mehr Eier produzieren (Crisp, 2000; Lundsgaard-Hansen, 2014). Gleichzeitig mit der Eiablage befruchten ein oder mehrere Männchen die Eier mit ihrem Samen (Lundsgaard-Hansen, 2014). Nach der Paarung deckt das Weibchen die Grube wieder mit Kies ab, der Nachwuchs wird dadurch im Gewässergrund gut vor Fressfeinden und Winterhochwassern geschützt (Crisp, 2000; Lundsgaard-Hansen, 2014). Bevorzugt sollte die Gewässersohle am Laichplatz aus Kies mit einer möglichst heterogenen Grössenverteilung bestehen; ein hoher Anteil an kleineren Steinen von 7 bis 70 mm Korngrösse ist optimal (Jonsson & Jonsson, 2011; Lundsgaard-Hansen, 2014). Die Grössenverteilung des Kies ist zentral für eine gute Wasserdurchlässigkeit, was eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Eier und den Abtransport von ausgeschiedenen Stoffwechselprodukten gewährleistet (Crisp, 2000; Lundsgaard-Hansen, 2014). Primär wichtig ist wenig Feinsediment, daher kommen Stellen mit viel Sand und Lehm für die Eiablage nicht in Frage (Lundsgaard-Hansen, 2014; Olsson & Persson, 1986; Sternecker & Geist, 2010).

Nach der Befruchtung findet die Entwicklung der Eier im Kies statt, welche stark temperaturabhängig ist (Crisp, 2000; Elliott & Hurley, 1998; Jonsson & Jonsson, 2011; Klemetsen et al., 2003; Lobón Cerviá & Sanz, 2018). Eine niedrigere Wassertemperatur bedeutet eine längere Entwicklungszeit bis zum Schlüpfen der juvenilen Forellen (50 bis 220 Tage) (Crisp, 1988, 2000; Elliott & Hurley, 1998). Generell reguliert und steuert die Wassertemperatur das Wachstum und die Entwicklung von Fischen (Blaxter, 1992; Tåning, 1952). Das bedeutet, dieselbe Entwicklungsstufe tritt in wärmerem Wasser früher auf (Blaxter, 1992). Embryos von Salmoniden aus Gewässern mit eher kaltem Wasser können aber etwas schnellere Entwicklungsraten haben und ihre Entwicklung braucht weniger Tagesgrade (temperaturabhängige Wärme-Summe) bei derselben Temperatur wie bei Fischen, welche in wärmeren Wasser leben (Jonsson & Jonsson, 2011). Schlussendlich schlüpfen die juvenilen Forellen Ende Frühling in den Laichgruben. Der Schlupf findet statt, sobald die benötigte Anzahl Tagesgrade erreicht ist (Jonsson & Jonsson, 2011). Die geschlüpften Forellen bleiben anschliessend bis zu 30 Tagen im Kies (Crisp, 2000; Elliott & Hurley, 1998). Sie werden in diesem Lebensstadium Brütlinge genannt und ernähren sich anfangs von ihrem Dottersack, bis sie

sich vollständig entwickelt haben (Jonsson & Jonsson, 2011; Lundsgaard-Hansen, 2014). Dann steigen sie als Larven vom Kiessubstrat in die freie Wassersäule auf und beginnen mit der Aufnahme von externer Nahrung (Jonsson & Jonsson, 2011; Lundsgaard-Hansen, 2014). Diesen Vorgang des Aufsteigens aus dem Kies nennt man Emergenz (oder Aufschwimmen, Aufsteigen) (Jonsson & Jonsson, 2011; Lundsgaard-Hansen, 2014). Auch der letzte Entwicklungsschritt vom Schlüpfen bis zur Emergenz benötigt eine definierte Anzahl an Tagesgraden (Crisp, 2000). Das Datum der Emergenz wird primär durch die Wassertemperatur und sekundär durch den Laichzeitpunkt beeinflusst (Elliott & Hurley, 1998; Jonsson & Jonsson, 2011). In der Langzeit-Studie von Elliott und Hurley (1998) wird die Länge der Emergenz-Periode hauptsächlich durch das Datum der Eiablage beeinflusst. Die Dauer der Emergenz-Periode in einem Gewässer kann zwischen mehreren Tagen und zwei Monaten variieren (Elliott & Hurley, 1998; Olsson & Persson, 1986). Kottelat und Freyhof (2007) geben an, dass die Emergenz in Europa gewöhnlich zwischen März (in südlichen geographischen Lagen) und Juli (im Norden) stattfindet.

Die Variation des jährlichen Emergenzzeitraumes im selben Gewässer kann bis zu zwei Monate betragen (Elliott & Elliott, 2010). Da die Wassertemperatur jährlichen Schwankungen unterliegt, unterliegt die Emergenz denselben Schwankungen. Bei viel Lehm und feinem Substrat im Gewässerboden kann die Emergenz früher auftreten, bedingt durch die schlechte Wasserdurchlässigkeit. Die Larven besitzen dann bei der Emergenz einen grösseren Dottersack (Olsson & Persson, 1986). Lehm und andere Feinteile können zum Beispiel durch Sedimentablagerung bei einem Winterhochwasser oder durch Bautätigkeiten im Gewässer an den Laichplatz transportiert werden.

Allgemein schlüpfen die Embryos früher aus den Eiern als normal wenn Sauerstoffmangel und mechanischer Störung, wie von Hochwassern, auftreten (Crisp, 1990; Næsje & Jonsson, 1988). Die geschlüpften Brütlinge sind dann kleiner und haben einen grösseren Dottersack im Vergleich zu ungestressten Brütlingen (Næsje & Jonsson, 1988). Die embryonale Entwicklung wird ebenfalls durch Chemikalien, Pestizide und Schwermetalle gestört (Jonsson & Jonsson, 2011). Fehlentwicklungen, reduziertes Wachstum und erhöhte Sterblichkeitsraten sind das Resultat (Luckenbach et al., 2001). Bereits bei niedrigen Konzentrationen, wie zum Beispiel bei Mikroverunreinigungen, können negative Effekte beobachten werden (Luckenbach et al., 2001).

Die Dauer der juvenilen Forellenentwicklung kann mit verschiedenen Modellen berechnet werden, wenn das Datum der Befruchtung der Eier und die durchschnittliche Wassertemperatur bekannt ist. Modelle dafür wurden von Elliott und Hurley (1998); Humpesch (1985) und Jungwirth und Winkler° (1984) entwickelt. In Crisp (2000) sind alle Modelle ausgeführt und diskutiert. Er erwähnt, dass alle Modelle ähnliche Resultate liefern. In der Schweiz finden sich wenige Feldstudien über die Emergenz von S. trutta (Friedl, 1996; Meyer et al., 2019). International hingegen wurde die Emergenz im Labor und im Feld seit längerem gründlich untersucht (Bardonnet, Gaudin, & Thorpe, 1993; Crisp, 1988; Elliott, 1984; Elliott & Hurley, 1998; Humpesch, 1985; Jensen & Johnsen, 1999; Jungwirth &

Winkler, 1984; Olsson & Persson, 1986; Witzel & MacCrimmon, 1983). Die Kraftwerke Oberhasli AG hat aktuell im Rahmen der Revision des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) von 2011 eine fundierte Emergenzstudie in der Hasliaare bei Innertkirchen für das Bundesamt für Umwelt durchgeführt. Das Ziel ist, durch betriebliche Massnahmen die Auswirkungen von Schwall-Sunk auf die juvenilen Forellen bis nach der Emergenz zu vermindern (Meyer et al., 2019). Weiter hat Hari (2011) im Kanton Bern mit der Formel von Elliot und Hurley (1998) die Emergenz für die GZA-Gewässer (Aaretal-Gewässer) berechnet. Friedl (1996) hat die Emergenz für hochalpine Gewässer in den Schweizer Alpen untersucht.

Aktuell werden viele Revitalisierungsmassnahmen durchgeführt, was zusätzliche Bautätigkeiten neben den anderen technischen Eingriffen in Gewässern verursachen kann. Naturnahe Gewässer sind aber wichtig für guten Lebensraum, einen intakten Geschiebetrieb und somit passendes Substrat (Burkhardt-Holm, 2009). Revitalisierungen fördern die juvenile Rekrutierung (Palm et al., 2007; Palm, Brännäs, & Nilsson, 2009). Cattanéo et al. (2002) sowie auch Jensen und Johnsen (1999) zeigen, dass Hochwasserereignisse ein entscheidender negativer Faktor für das Überleben der juvenilen Forellen vor und nach der Emergenz sind. In Elliott (1989) wird auch die juvenile Phase als die kritischste für das Überleben genannt. Nur schon Waten auf Laichplätzen vor der Emergenz kann sehr viel Nachwuchs dezimieren (Roberts, 1992). Die Bachforelle ist in der Schweiz als eine potenziell gefährdete Art klassifiziert (Kirchhofer, Breitenstein, & Zaugg, 2007). Als Gründe dafür werden Habitatdefizite, die Besatzproblematik und die Hybridisierung von Lokalpopulationen genannt. Stark abnehmende Fangzahlen bei den Bachforellenfängen in der Vergangenheit haben seit 1998 auf sinkende Populationsgrössen in der Schweiz hingedeutet (Borsuk et al., 2006; EAWAG & BUWAL, 2004)

Der Klimawandel übt einen Einfluss auf den Zeitraum der Emergenz aus (Burkhardt-Holm, 2009; Elliott & Elliott, 2010; Hari, 2011). Aufgrund des Klimawandels steigen die Wassertemperaturen in den Gewässern an und Winterhochwasser können zunehmen (Burkhardt-Holm, 2009; Elliott & Elliott, 2010). Elliott und Elliott (2010) fanden auch eine signifikante Korrelation des Emergenzzeitraums mit der Nordatlantischen Oszillation, was ein Hinweis auf einen Zusammenhang der jährlichen Variation der Emergenz mit der grundsätzlichen Klimaveränderung sein kann. Die Durchschnittstemperatur in Schweizern Gewässern hat sich in den letzten 25 Jahren um etwa 1 °C erhöht (Burkhardt-Holm, 2009). Hari (2011) hat eine um bis 15 Tage früheren Emergenzzeitraum aufgrund gestiegener Wassertemperaturen mit der Formel von Elliott und Hurley (1998) berechnet.

Im Rahmen des Projekts *Emergenz von Forellenlarven* der kantonalen Fischereiverwaltung Aargau wurde in dieser Arbeit ein Monitoring des Emergenzzeitraumes im Jahr 2019 durchgeführt. Im Moment sind aufgrund der Fortpflanzung der Forelle technische Eingriffe in Gewässern im Kanton Aargau vom 1. November bis zum 15. Mai eingeschränkt. Nach der Emergenz sind die juvenilen Forellen mobil und können sich im Gewässer verteilen. Technische Eingriffe haben dann weniger

negative Effekte auf den Forellennachwuchs. Bautätigkeiten können viel mehr Schäden an Eiern und Brütlingen verursachen. In dieser Entwicklungsphase ist der Nachwuchs stationär im Kies und kann nicht vor mechanischen Störungen flüchten. Wie schon vorher erwähnt können durch Bautätigkeiten verursachte Sedimentablagerungen einen grossen negativen Einfluss auf ihre Überlebensraten haben. Der Zeitraum der tatsächlichen Emergenz soll über zwei Jahre, 2018 und 2019, evaluiert werden um zu zeigen, ob am 15. Mai die Emergenz schon vorüber ist.

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) führt im Rahmen ihres eigenen Projekts *NAWA Spez* biologische Untersuchungen an einigen Bächen durch, welche in dieser Arbeit auch untersucht wurden. Das BAFU führt am Möhlinbach und am Künterenbach Messungen der Mikroverunreinigungen mit Hilfe chemischer Analytik durch. Am Chrüzlibach wird durch Bestimmung des Makrozoobenthos (kleinere, wirbellose, aquatische Organismen) versucht, den Einfluss von Pestiziden abzuschätzen.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

In insgesamt sechs Bächen, ersichtlich in Tab. 1, wurde ein Monitoring durchgeführt. Sie liegen alle verteilt im Kanton Aargau. Bestandteil dieser Arbeit war die Durchführung des Monitorings 2019 in Zusammenarbeit mit den kantonalen Fischereiaufsehern des Kantons Aargau.

Tab. 1: Übersicht der untersuchten Bäche, dazugehörige Ortschaft, die Koordinaten (geo.admin.ch), Altitude der Koordinaten-Standorte (geo.admin.ch) und Monitoring-Angaben.

Bach	Ortschaft	Koordinaten (CH1903+ / LV95)	Altitude (m.ü.M)	Monitoring 2018	Monitoring 2019
Fisibach	Fisibach	2'672'816 / 1'269'560	336	Ja	Ja
Hottwilerbach	Hottwil	2'653'782 / 1'267'834	374	Ja	Ja
Chrüzlibach	Böbikon	2668000 / 1267235	462	Ja	Ja
Elfingerbach	Bözen	2649151 / 1261340	422	Ja	Ja
Möhlinbach	Zeiningen	2'632'626 / 1'265'711	338	Ja	Ja
Küntenerbach	Künten	2667040 / 1248736	393	Nein	Ja

2.2 Monitoring: Elektrische Befischung

Allgemein wurde in dieser Arbeit ein Fokus auf die Schonung der juvenilen Forellen gelegt. Die Befischungen wurden mit den dazu ausgebildeten kantonalen Fischereiaufsehern durchgeführt. Das verwendete Gerät für die Befischung ist im Anhang A ersichtlich. Laut Peter und Erb (1996) reagieren Salmoniden besonders sensibel auf elektrische Befischung.

Es wurde immer mit Gleichstrom gefischt, das ist für die Fische schonender wie Impulsstrom (Höppli, 2019; Jürgen Bretschneider Spezialelektronik, o. J.). Am Gerät wurde immer die tiefst mögliche Spannung eingestellt, um möglichst wenig Strom auf die Fische zu geben. Je höher die eingestellte Spannung desto mehr Strom fliesst im Wasser (Höppli, 2019). Die Spannung musste nach Bedarf jedem Bach angepasst werden. Chemischen Bestandteile im Wasser und folglich die elektrische Leitfähigkeit üben einen grossen Einfluss auf die Wirksamkeit der elektrischen Befischung aus (Höppli, 2019). Bei Gewässern mit hoher elektrischer Leitfähigkeit erzeugt die gleiche Spannung mehr Strom und folglich mehr Wirkung auf die Fische (Höppli, 2019). Die Fische reagieren darum in jedem Gewässer anders auf die elektrische Befischung (Höppli, 2019).

Mit elektrischen Befischungen wurde am 26.03.2019 begonnen und am 27.05.2019 aufgehört. Total wurde sieben Monitoringtage durchgeführt, wobei nicht jeder Bach sieben Mal elektrisch befischt wurde. Im Falle einer festgestellten Emergenz wurde der betroffene Bach eine Woche ausgelassen, um die noch fragilen Larven zu schonen. Eine Übersicht der Befischungen ist in Anhang A dargestellt. Stark geachtet wurde auf ein vorsichtiges Waten im Bach, um die Laichplätze zu schonen. Im Kies des Bachbettes wurde nur, wenn nicht anders möglich, gewatet. Waten auf Laichplätzen kann schwerwiegende negative Folgen für das Überleben der Eier und Brütlinge haben (Roberts & White, 1992).

Juvenile Forellen wurden visuell gezählt. Sporadisch wurde mit einem kleinen Kescher ein Individuum gefangen und die Gesamtlänge nachgemessen (siehe Anhang B). So konnte zusätzlich ihr Entwicklungsstand begutachtet werden.

Das Monitoring wurde im Jahr 2018 von den kantonalen Fischeraufsehern begonnen und 2019 im Rahmen dieser Arbeit erneut durchgeführt. Der Küntenerbach wurde 2019 zum ersten Mal untersucht. Die Monitoringstrecken starteten 20 Meter unterhalb der Temperaturlogger (siehe Koordinaten Tab. 1) und endeten 20 Meter oberhalb.

2.3 Physikalische Parameter

Jeweils ein Temperatur-Datenlogger wurde im November 2018 in alle sechs Bäche in der Emergenzstrecke platziert. Die verwendeten Logger und dazugehörige Software wurden in Anhang A aufgelistet. Die Koordinaten der Logger sind in Tab. 1 mit der der entsprechenden Altitude aufgelistet. Konkret wurde die Temperatur vom 01.11.2018 bis 27.05.2019 in 10-minütigen Abständen aufgezeichnet. Für die weitere Verwendung wurden zuerst mithilfe der Logger-Software HOBOware (Onset Computer Corp.) fehlerhafte Temperaturmessungen lokalisiert und aus den Rohdaten entfernt. Diese entstanden durch Herausheben des Loggers aus dem Wasser, beispielsweise beim Kontrollieren der Funktionstüchtigkeit am 21.03.2019 oder durch andere Fremdeinwirkungen. Weiter wurden auffällige Abweichungen in den Temperaturkurven mit den automatischen Messstationen des Kantons Aargau abgeglichen.

Weiter wurden Temperatur- und Abflussdaten für Möhlinbach, Küntenerbach und Fisibach der kantonalen Messstationen verwendet. Die Stationen sind Tab. 2 aufgelistet. Die aufgezeichneten Daten der Logger wurden visuell mit den Daten der Messstationen verglichen, um ihre Übereinstimmung miteinander zu überprüfen.

Tab. 2: Stationsnummern, Ortschaft und Altitude der kantonalen Messstationen.

Bach	Möhlinbach	Küntenerbach	Fisibach
Ortschaft	Zeiningen Ag	Künten AG	Fisibach AG
Nummer	FG_0372	FG_0368	FG_0370
Stationshöhe	338.0	381.0	379.0
(m.ü.M.)			

Am 03.04.2019 wurde mit einer Multisonde weitere physikalische Parameter wie pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung gemessen. Mit einem Fliessgeschwindigkeitsmessgerät wurden die Fliessgeschwindigkeiten gemessen. Daraus wurde mit dem Querschnitt der Fliessgewässer der Abfluss berechnet. Die Daten wurden bei Normalabfluss erhoben. Anschliessend wurden die berechneten Abflussdaten mit den Messstationen verglichen und validiert. Die verwendete Multisonde und das Fliessgeschwindigkeitsmessgerät sind in Anhang A aufgelistet.

2.4 Chemische Gewässeranalyse

Wasserproben wurden beim jeweiligen Loggerstandort am 03.04.2019 entnommen. Sie wurden am 04.04.2019 und am 05.04.0219 im Labor analysiert. Proben für Gesamtstickstoff, Gesamtphosphor und TOC (gesamter organischer Kohlenstoff) wurden unfiltriert abgefüllt. Ammonium, Nitrat, Nitrit, Ortho-Phosphat und DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) wurden mit Porengrösse 0.45 µm filtriert. Nach der Probennahme wurden die Behälter kühl (4 °C) und dunkel gelagert. Die Proben wurden mit Küvettentests von Hach Lange auf dem Photometer DR3800 (Hach Lange) analysiert. Die Beurteilung der Analyseresultate wurde mit dem Modulstufenkonzept *Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe* von Liechti (2010) vorgenommen. In Tab. 3 sind die untersuchten Parameter und ihre Küvettentest-Nummern aufgelistet.

Tab. 3: Auflistung der Parameter, die im Rahmen der chemischen Gewässeranalyse bei allen Bächen untersucht wurden und die dazugehörigen Küvettentest-Nummern.

Parameter	Küvettentest
Gesamtstickstoff N	LCK138
Gesamtphosphor P	LCK 349
Ammonium NH ₄ +-N	LCK304
Nitrat NO ₃ -N	LCK339
Nitrit NO ₂ -N	LCK341
Ortho-Phosphat gelöst	LCK349
TOC	LCK385
DOC	LCK385

2.5 Datenanalyse

Mit den Temperaturdaten der Logger und Messtationen wurden in Microsoft Excel die Tagesdurchschnitte berechnet, mit diesen dann die Monatsdurchschnitte und schlussendlich daraus die
Jahresdurchschnitte. Mit diesen berechneten Werten wurde dann in *RStudio* (RStudio°Team,°2015) die weiteren statistischen Analysen vorgenommen. Mit dem Pearson-Korrelationskoeffizien wurde untersucht, ob eine signifikante Korrelation zwischen den Emergenzzeiträumen und den Wassertemperaturen der Logger besteht. Mit einer linearen Regression wurde danach die Beziehung zwischen der unabhängigen Variable 'Wassertemperatur' mit der abhängigen Variablen 'Emergenzzeitraum' dargestellt. Die Regressionsgerade soll die Korrelation zwischen den beiden Parametern visualisieren. Mit dem Bestimmtheitsmass R² wurde die Güte des
Regressions-Modells bestimmt.

Die Durchschnittstemperaturen für die Korrelationsanalyse wurden mit Startpunkt 1. Dezember 2018 aus den Loggerdaten berechnet. Dies aufgrund der Resultate im Bericht der Laichgruben-kartierung im Kanton Aargau, in welchem die grösste Laichaktivität im Dezember festgestellt wurde (Kreienbühl et al., 2017). Das Enddatum der Durchschnittstemperaturberechnung wurde aufgrund der gefundenen Resultate angepasst.

Aus den Monitoring-Protokollen wurde der Tag bestimmt, an dem die meisten emergierten juvenilen Forellen (Larven) gefunden wurden. Dieser Wert wurde dann als Emergenzmaximum angenommen. Da die Emergenz der Larven immer über einen längeren Zeitraum stattfindet (siehe

Einleitung, meistens mehrere Tage bis Wochen), wird in dieser Arbeit meistens vom Emergenzzeitraum gesprochen. Aufgrund der begrenzten möglichen Anzahl an Monitoringtagen entstanden Datenlücken und die Genauigkeit der zeitlichen Bestimmung hat eine Abweichung. Der Emergenzzeitpunkt wurde aufgrund der Unsicherheiten daher in Kalenderwochen dargestellt (vor allem für die Korrelationsanalyse) und wird darum in dieser Arbeit auch als Emergenzzeitraum definiert werden.

Bäche, deren Emergenz-Maximum am letzten Monitoringtag noch nicht betätigt werden konnte, wurden trotzdem aufgrund der kleinen Stichprobengrösse in die Korrelationsanalyse miteinbezogen. Ihre Emergenz-Maxima wurden auf den letzten durchgeführten Monitoringtag gesetzt.

Die Emergenz im Jahr 2019 wurde mit den von der Fischereiverwaltung Aargau zur Verfügung gestellten Emergenz-Daten vom Jahr 2018 verglichen, vor allem für den Möhlinbach. Dabei wurden auch die entsprechenden Abflüsse und Durchschnittstemperaturen der Messstationen miteinbezogen.

3 Resultate

3.1 Emergenz 2019

In Anhang C sind die Ergebnisse der elektrischen Befischungen aufgelistet. Die ersten emergierten Larven wurden am 05.04.2019 im Möhlinbach (15 mm individuelle Gesamtlänge) und im Hottwilerbach gefunden.

Die frühsten Emergenzmaxima im Elfingerbach, Möhlinbach und Hottwilerbach wurden am 03.05.2019 gefunden. Die Emergenzmaxima von Küntenerbach, Fisibach und Hottwilerbach konnten nicht eindeutig ohne Unsicherheiten bestimmt werden. Die Emergenz dieser drei Bäche war am letzen Monitoringtag vom 27.05.2019 sehr wahrscheinlich noch nicht beendet. In Tab. 4 sind die Emergenzmaxima, resultierend aus den Daten von Anhang C, aufgelistet.

Tab. 4: Ermittelte Emergenzmaxima der Forellen für jeden Bach im Frühjahr 2019. Bei Daten mit einem Stern (*) konnte das Emergenzmaximum am Ende des Monitorings noch nicht eindeutig bestimmt werden.

	Küntenerb.	Chrüzlib.	Elfingerb.	Möhlinb.	Hottwilerb.	Fisib.
Datum						
Emergenz-	27.05.2019*	27.05.2019*	3.05.2019	3.05.2019	3.05.2019	27.05.2019*
maximum						

Die gefundenen und angepassten Emergenzzeiträume sind in Tab. 5 zusammen mit den berechneten Durchschnittstemperaturen der Temperaturlogger der Monate Dezember 2018 bis Mai 2019 dargestellt. Aufgrund zu weniger Monitoringtage während der Emergenz mussten die Daten der Emergenzmaxima von Elfingerbach und Chrüzlibach angepasst werden. Das Emergenzmaximum vom Elfingerbach wurde leicht zurückgesetzt, da schon die allerersten gefundenen Larven am 16.04.2019 schon eine Körperlange von rund 40 mm hatten und zu weit entwickelt waren für frisch emergierte Forellen. Auf diese Begründung wird in der Diskussion (siehe Kap. 4.1) eingegangen.

Das Emergenzmaximum vom Chrüzlibach wurde eine Woche später in die Kalenderwoche 23 gesetzt, da die Emergenz in am 27.05.2019 erst angefangen hatte und die gefundenen Larven mit 25 bis 30 mm noch klein waren. Diese Problematik wird in der Diskussion (siehe Kap. 4.1) noch eingehend besprochen.

Der Chrüzlibach war mit einer Durchschnittstemperatur von 7.04 °C zwischen Dezember 2018 bis Mai 2019 der kälteste Bach. Der Elfingerbach war in der gleichen Periode mit einer Durchschnittstemperatur von 9.27 °C der wärmste Bach. Die Durchschnittstemperatur wurde vom 1. Dezember 2018 bis zum 27. Mai 2019 berechnet.

Tab. 5: Durchschnittstemperatur für alle untersuchten Bäche der Monate Dezember 2018 bis Mai 2019 und der dazugehörige Emergenzeitraum. Diese Tabelle bildet die Datengrundlage für die Korrelationsanalyse in Abb. 1. Emergenzzeitraum angepasst bei Elfingerbach und Chrüzlibach. Mit der Bezeichnung Emergenzzeitraum ist der Zeitraum um das Emergenzmaximum gemeint.

Bach	Emergenzzeitraum (Kalender- woche)	Datum der Kalen- derwoche	Durchschnittstempe- ratur (°C)
Elfingerbach	17	22.04.2019 - 28.04.2019	9.27
Möhlinbach	18	29.04.2019 - 05.05.2019	8.39
Hottwilerbach	18	29.04.2019 - 05.05.2019	7.79
Fisibach	22	27.05.2019 - 02.06.2019	7.73
Küntenerbach	22	27.05.2019 - 02.06.2019	7.23
Chrüzlibach	23	03.06.2019 - 09.06.2019	7.04

Die Korrelationsanalyse ergab eine negative Korrelation der Durchschnittstemperatur mit dem Emergenzzeitraum. In Abb. 1 ist für jeden Bach die Durchschnittstemperatur von Dezember 2018 bis Mai 2019 gegen den gefundenen Emergenzzeitraum aufgetragen. Je höher die Durchschnittstemperatur, desto früher war die Emergenz. Der Pearson-Korrelationskoeffizient ergab mit einem Wert von -0.9 eine gute Korrelation der Daten. Der Koeffizient zeigte mit einem p-Wert von 0.030 bei einem Signifikanzlevel α = 0.05 eine statistische signifikante Korrelation der beiden Variablen. Das Bestimmtheitsmass R^2 hatte einen Wert von 0.664. Die lineare Regression besass darum eine gute Modellanpassung. Die Daten waren normalverteilt.

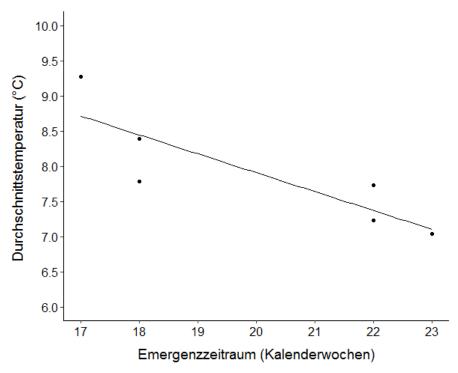


Abb. 1: Durchschnittstemperatur der Monate Dezember 2018 bis Mai 2019 in °C auf der y-Achse für jeden untersuchten Bach. Auf der x-Achse der dazugehörige Emergenzzeitraum aus Tab. 5 im Jahr 2019 in Kalenderwochen. Mithilfe dieser sechs Datenpunkte wurde eine Regressionslinie erstellt.

3.2 Vergleich der Emergenz im Möhlinbach der Jahre 2018 und 2019

Um die Emergenz der Jahre 2018 und 2019 vergleichen zu können, wurden die Temperaturdaten der Messstation in Zeiningen AG beigezogen. Die Loggerdaten vom Jahr 2018 waren leider nicht ausreichend. Ausserdem konnten so auch die Abfluss-Messwerte betrachtet werden. Der Möhlinbach eignet sich dazu, da sein Emergenz-Maximum im Monitoring 2019 bestimmt werden konnte und er eine kantonale Messstation besitzt. Die anderen zwei Bäche mit Messstation (Küntenerbach und Fisibach) zeigten keine eindeutigen Resultate.

In Tab. 6 sind die Durchschnittstemperaturen für die Jahre 2018 und 2019, von Dezember bis Mai berechnet. Im Jahr 2018 betrug die Durchschnittstemperatur 9.0 °C und war somit höher als 2019 mit nur 8.1 °C. Der Emergenzzeitpunkt wurde durch die Protokolle in Anhang A und Anhang B bestimmt. Der Emergenzzeitraum ist die Kalenderwoche (KW), in welcher das Emergenzmaxmum gefunden wurde. Das Emergenzmaximum war im Jahr 2018 am 02.05.2018 (KW 18), und damit 2 Wochen früher wie im Jahr 2019 am 16.05.2019 (KW 20).

Tab. 6: Die berechnete Durchschnittstemperatur für die Jahre 2018 und 2019 im Möhlinbach und das gefundene Emergenzmaximum mit dazugehöriger Kalenderwoche.

	2018	2019
Temperatur Dez. bis Mai (°C)	9.0	8.1
Emergenzmaximum	02.05.2018	16.05.2019
Emergenzzeitraum (Kalenderwochen)	18	20

In Abb. 2 ist ersichtlich, dass die Abflussspitzen im Möhlinbach im Jahr 2018 höher waren als im Jahr 2019. Das Jahr 2018 hatte zwei Hochwasserereignissen mit Abflüssen von über 6 m³/s. Im Jahr 2019 bewegten sich die Abflussmaxima nur um rund 3 m³/s. In beiden Jahren finden sich die grössten Ereignisse in den Monaten November bis Februar.

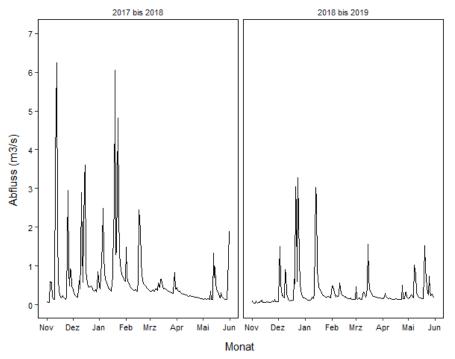


Abb. 2: Tagesmaxima des Abflusses im Möhlinbach. Das erste Diagramm zeigt Daten vom Dezember 2017 bis Juni 2018. Das zweite Diagramm zeigt Daten beginnend vom November 2018 bis Juni 2019. Verwendet wurden die Abflussdaten der kantonalen Messstation in Zeiningen AG.

3.3 Physikalische Parameter

Die Auswertung der Temperatur- Datenlogger ist in Abb. 3 ersichtlich. Die Tagesdurchschnitte aller sechs Bäche sind von November 2018 bis Mai 2019 dargestellt. Die Bäche wiesen alle ähnliche Temperaturverlaufe auf, ihre minimalen und maximalen Temperaturwerte konnten sich aber stark unterscheiden. Die kältesten Durchschnittstemperaturen wies der Möhlinbach (~ 2 °C) auf und die wärmste der Hottwilerbach (~ 16 °C). Lücken in der Diagrammlinie sind von Korrekturen fehlerhaften Daten. In Anhang G sind die Loggertemperaturen von Küntenerbach, Fisibach und Möhlinbach mit den Temperaturen im gleichen Zeitraum der Messstationen überlagert.

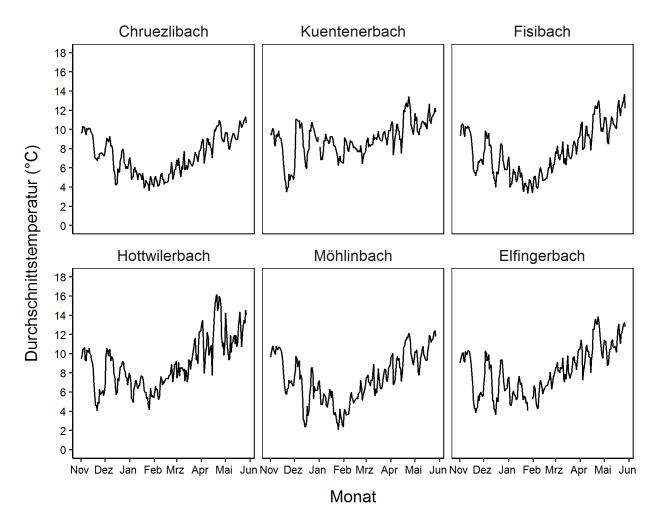


Abb. 3: Übersicht der Durchschnittstemperaturen für jeden Bach von Nov 2018 bis Mai 2019. Tages-Durchschnitte.

Die weiteren erhobenen physikalischen Parameter sind in Tab. 7 ersichtlich. Die pH-Werte bewegten sich zwischen 8.04 als kleinster Wert im Hottwilerbach und 8.69 als grösster Wert im Fisibach. Die elektrische Leitfähigkeit war im Chrüzlibach mit 446 μS/cm am niedrigsten und mit 698 μS/cm im Möhlinbach am höchsten. Die Sauerstoffkonzentration war bei allen Bächen grösser als 10 mg/l, die Sauerstoffsättigung lag bei allen um 100 %. Der Elfingerbach hatte mit 0.012 m³/s den niedrigsten Abfluss, im Möhlinbach war der Abfluss mit 0.147 m³/s am höchsten.

Tab. 7: Alle erhobenen physikalischen Parameter aller untersuchten Bäche. Die Uhrzeit bei der Erhebung ist ebenfalls notiert worden.

Bach	Uhrzeit	рН	Leitfähigkeit (µS/cm)	Tempera- tur (°C)	O ₂ (mg/l)	O₂-Sätti- gung (%)	Abfluss Q (m³/s)
Chrüzlibach	11:30	8.27	446	9.7	11.02	102	0.019
Elfingerbach	13:20	8.28	479	12.4	10.31	104.8	0.012
Hottwilerbach	12:45	8.04	520	10.7	11.8	111.5	0.022
Küntenerbach	09:00	8.42	566	9	10.31	97.4	0.025
Fisibach	10:50	8.69	460	10.1	10.42	98.1	0.090
Möhlinbach	14:00	8.4	698	13	11.08	110.7	0.147

3.4 Chemische Parameter

Die meisten untersuchten Parameter der chemische Gewässeranalyse in Tab. 8 wurden nach dem Modulstufenkonzept des Bundes als "Gut" oder "Sehr gut" klassifiziert. Gesamt-Phosphor wurde beim Fisibach (0.078 mg/l P) und Möhlinbach (0.081 mg/l P) nur mit "Mässig" bewertet.

Alle Ammonium-Konzentrationen wurden als "Sehr gut" eingestuft. Der Küntenerbach wies mit einem Nitrat-Wert von 5.78 mg/l N und einem TOC von 5.9 mg/l C zwei Werte auf, die mit "Mässig" klassifiziert wurden. Der TOC-Wert vom Fisibach von 5.9 mg/l C wurde auch mit "Mässig" klassifiziert. Die DOC-Werte von Hottwilerbach, Möhlinbach und Elfingerbach wurden als "Mässig" eingestuft. Ortho-Phosphat wurde beim Fisibach (0.27 mg/l P), Hottwilerbach (0.174 mg/l P), als "Schlecht" eingestuft, alle anderen Bäche wurden als "Sehr gut" eingestuft.

Tab. 8: Ergebnisse der chemischen Analysen aller Bäche. Die Resultate sind nach dem Modulstufenkonzept des Bundes (Liechti, 2010) eingefärbt und klassifiziert. Einteilung: "Schlecht" (rot), "Unbefriedigend" (braun), "Mässig" (gelb), "Gut" (grün), "Sehr gut" (blau). Der Stern * steht für Werte unterhalb des Messbereichs. "Total N": Gesamtstickstoff. "Total P": Gesamtphosphor. TOC: gesamter organischer Kohlenstoff (Total Organic Carbon). DOC: gelöster organischer Kohlenstoff (Dissolved Organic Carbon). Aufgrund der Abwesenheit des Parameters Chlorid wurde für die korrekte Beurteilung des Nitrit-Gehalts das strengste Kriterium mit > 20 mg/L Cl⁻ angenommen.

Parameter	Küntenerb.	Chrüzlib.	Fisib.	Hottwilerb.	Möhlinb.	Elfingerb.
Gesamt-N (mg/l N)	6.63	4.28	3.59	1.45	3.51	2.39
Gesamt-P (mg/l P)	0.06	0.061	0.078	0.06	0.081	0.0286
Ammonium NH₄⁺ (mg/l N)	0.027	0.025	0.027	0.029	0.025	0.028
Nitrat NO₃ ⁻ (mg/l N)	5.78	< 0.23*	< 0.23*	< 0.23*	0.356	<0.23*
Nitrit NO ₂ - (mg/l N)	0.011	< 0.015*	0.019	< 0.015*	< 0.015*	< 0.015*
Ortho-Phosphat (mg/l P)	0.011	0.007	0.27	0.174	0.011	0.01
TOC (mg/I C)	5.9	4.62	5.15	3.96	4.05	4.49
DOC (mg/I C)	3.94	3.8	3.82	4.25	3.71	4.41

4 Diskussion

4.1 Emergenz

Die gefunden Emergenzzeiträume können mit der durchgeführten Korrelationsanalyse validiert werden. Alle untersuchten Bäche reihen sich in die negative Korrelation ein, dieser Trend kann mit der Regressionsgeraden gut gezeigt werden. Die Beziehung zwischen Wassertemperatur und benötigter Zeit bis zur Emergenz kann allerdings nicht durch ein lineares Modell beschrieben werden, um anschliessend mit Wassertemperaturdaten den Zeitpunkt der Emergenz mathematisch abzuschätzen. Dazu eignet sich ein exponentielles, ein hyperbolisches, ein Power-Funktion oder ein Bělehrádek Modell (Crisp, 1981; Elliott & Hurley, 1998). Ein Problem war die unzureichende Genauigkeit der gefundenen Emergenz bezogen auf das Datum. Mehr Monitoringtage im Zeitraum der wahrscheinlich stattfindenden Emergenzzeiträume würden genauere Daten ergeben. Die Emergenzmaxima von Elfingerbach und Chrüzlibach musste darum unter Einbezug zusätzlichen Parametern wie Larvengrösse, Entwicklungszustand und Wassertemperatur interpretiert werden und für die Durchführung einer fundierten Korrelationsanalyse je um eine Woche angepasst werden.

Der Chrüzlibach hat die kälteste Durchschnittstemperatur, die erste Emergenz wurde erst am 16.05.2019 gefunden und war am letzten Monitoringtag mit grösster Wahrscheinlichkeit noch nicht beendet. Im Chrüzlibach ist ein guter Forellenbestand mit intakter Naturverlaichung vorhanden. Das zeigten die elektrischen Befischungen vom Jahr 2018, bei welchem schon ab dem 09.05.2018 Larven gefunden wurden. Ausserdem wurde viel Nachwuchs vom letzten Jahr und auch ältere Forellen gefunden. Die morphologischen Bedingungen waren im Jahr 2018 komplett anders, da in der Emergenzstrecke ein Biberdamm den Bach aufgestaut hatte. Der Damm war im Jahr 2019 nicht mehr vorhanden, was eine Veränderung des Temperaturregimes verursacht haben könnte (Błędzki et al., 2011; Majerova et al., 2015). Bei den elektrischen Befischungen im Jahr 2019 wurden auch viele etwa ein Jahr alte Forellen sowie auch Ältere gefunden. Es kann darum eher ausgeschlossen werden, dass aufgrund der gewässermorphologischen oder populationsbedingten Gründe kein Nachwuchs vorhanden ist. Ausserdem wurde die Emergenz ausserhalb der Monitoringstrecke weiter bachabwärts überprüft (CH1903+ / LV 95: 2'666'398 / 1'268'250). Dort wurden innert kürzester Zeit viele Larven gefunden, sie waren am 24.04.2019 schon rund 22 mm gross. Die Wassertemperatur dort ist nicht bekannt, wahrscheinlich aber eher wärmer wie in der Monitoringstrecke.

Der Elfingerbach hat die höchste Durchschnittstemperatur und wahrscheinlich das frühste Emergenzmaximum Ende April / Anfang Mai. Er kann aufgrund seiner hohen Durchschnittstemperatur eher als ein Forellengewässer an der oberen Bandbreite der Gewässertemperatur gesehen werden (Siehe Kap. 4.2 Wassertemperatur). Seine Emergenz hat im Jahr 2019 eher früher

als im Jahr 2018 stattgefunden. Die gefundenen Larven waren am 3.05.2019 schon 40 mm lang und wiesen schon einen fortgeschrittenen Entwicklungsstand ohne Dottersack auf. Dies weist auf ein früheres Emergenz-Maximum hin, als im Monitoring festgestellt wurde. Normalerweise sind die Larven um 20 mm bei der Emergenz (Elliott, 1984). Diese Grösse bei der Emergenz wurde auch während des Monitorings für die anderen fünf untersuchten Bäche festgestellt. Olsson und Persson (1986) fanden auch Larven mit einer Länge von 20 bis 25 mm unmittelbar nach der Emergenz. In zwei Gewässern im Kanton Bern wurde der Median der Larven nach der Emergenz bei 30 mm festgestellt (Meyer et al., 2019). Friedl (1996) fand die grössten juvenile Forellen nach der Emergenz bei einer Länge von > 37 mm im Graubünden. Niedrigere Temperaturen während der Inkubationszeit ergeben grössere Larven nach der Emergenz (Gray, 1928). Das heisst grössere Larven kommen eher in höherer Altitude und kälterem Wasser vor, wie bei Meyer et al. (2019) und speziell bei Friedl (1996) beschrieben für Gewässer im alpinen Bereich. Schwierigkeiten bei der elektrischen Befischung aufgrund der Gewässerchemie könnte ein zusätzlicher Grund für die späte Bestätigung der Emergenz im Elfingerbach sein (siehe Kap. 4.3 Chemische und physikalische Parameter).

Fisibach und Küntenerbach zeigten beide noch kein Emergenzmaximum während des Monitorings. Beim Küntenerbach scheint es, als wäre die Emergenz gleich wie im Chrüzlibach am letzten Monitoringtag noch nicht fertig gewesen. Die morphologischen schlechten Verhältnisse am Küntenerbach erschweren sicher auch die Naturverlaichung, darum wurden keine hohen Larven-Zahlen erwartet. Gutes Substrat für Laichgruben ist selten vorhanden, zusätzlich zur harten Gewässersohlenverbauung besteht eine starke Kolmatierung. Ausserdem erschweren hohe Abstürze die Migration. Aus diesen Gründen wurde im Verlauf des Monitorings zuerst gar keine Emergenz mehr erwartet, glücklicherweise wurden am 16.05.2019 doch noch die ersten Larven gefunden.

Im Fisibach wurden in beiden Jahren, 2018 und 2019, eher wenige Larven gefunden. Die gefundenen Larven am 27.05.2019 waren schon rund 50 mm gross, sie könnten möglicherweise von Laichplätzen weiter bachaufwärts abgedriftet worden sein. Es könnte sein, das auch bei weiteren Monitoringeinsätzen kein Emergenzmaximum mehr bestimmbar gewesen wäre. Die gefundene Durchschnittstemperatur im Hottwilerbach ist sehr ähnlich. Aufgrund dieses Parameters könnte eine mögliche Emergenz schon Anfang Mai erwartet werden. Es wurden auch sehr wenige residente Forellen gefunden. Die direkte Lage der Emergenzstrecke an der Mündung in den Rhein könnte einen hohen Fressdruck durch diverse Prädatoren zur Folge haben, beispielsweise wurden Aale gefunden.

Die zeitliche Variation der Emergenz zwischen den untersuchten Bächen ist gross, die Resultate zeigen einen Unterschied von mehr als sieben Wochen zwischen der frühsten und letzten Emergenz. Dies deckt sich mit Literaturwerten, die zeigen, dass der Emergenzzeitraum nur schon

im gleichen Gewässer einer grossen jährlichen Variation von bis zu zwei Monaten zwischen den Extremwerten unterworfen sein kann (Elliott & Elliott, 2010; Elliott & Hurley, 1998).

Die Variation zeigt sich auch beim Vergleich der Emergenz im Möhlinbach 2019 mit dem Vorjahr 2018. Das Emergenzmaximum im Jahr 2018 wurde zwei Wochen früher gefunden. Die frühere Emergenz im Jahr 2018 war wahrscheinlich bedingt durch die höhere Durchschnittstemperatur und vermehrte Hochwasserereignisse im Winter mit höheren Abflüssen. Beides führt zu einer früheren Emergenz (Crisp, 1988, 1990; Elliott & Hurley, 1998). Beim Vergleich der Temperaturen der Jahre 2018 und 2019 mit den Langzeitdiagrammen in Anhang E fallen die hohen Temperaturen um die Sommermonate 2018 auf. Die Abflussspitzen sind im Winter 2017 / 2018 auch klar höher wie im Winter 2018 / 2019.

Friedl (1996) hat in einem hochalpinen Fliessgewässer auf 2180 m.ü.M beobachtet, dass die Emergenz sogar erst Ende August stattfindet. Meyer et al. (2019) haben die Emergenz in zwei Fliessgewässern mit alpinem Einzugsgebiet mithilfe von Boxen untersucht. Die Boxen wurden einige Zeit nach der Eiablage auf die Laichplätze installiert wurden, um später die emergierten Larven zählen zu können. Sie haben Emergenzdaten von Mitte März (frühste Laichgrube) bis Mitte Mai (späteste Laichgrube) für das Jahr 2018 gefunden (Meyer et al., 2019). Die mittleren Wassertemperaturen vom 27.10.2017 bis 15.05.2018 lagen bei 5.75 °C in der Hasliaare und 5.54 °C im Urbachwasser (Meyer et al., 2019). Diese Temperaturen sind also rund 2 bis 3 °C tiefer im Vergleich zu den untersuchten Fliessgewässern im Kanton Aargau. Die frühste Laichgrube konnte am 27.10.2017 und die späteste am 25.11.2017 nachgewiesen werden (Meyer et al., 2019). Die höchste Laichaktivität wurde Mitte November beobachtet, also früher als im Aargau (Dezember) (Kreienbühl et al., 2017). Im Vergleich zu den höheren Durchschnittstemperaturen im Aargau scheint es, als ob die Emergenz in der Studie von Meyer et al. (2019) eher früh stattgefunden hat.

4.2 Wassertemperatur

Generell folgen die Tagesmitteltemperaturen im Gewässer mit einigen Wochen Verzögerung den mittleren Lufttemperaturen (Liechti, 2010). Der Temperaturanstieg ist dabei meist langsamer als der Temperaturabfall (Liechti, 2010).

Die aufgezeichneten Wassertemperaturkurven der Logger zeigen einen ähnlichen Verlauf in allen Bächen, nur die Minima und Maxima unterscheiden sich um einige Grad Celsius. Die Logger-Daten von Möhlinbach, Küntenerbach und Fisibach sind beinahe identisch mit den aufgezeichneten Temperaturdaten der automatischen Messstationen (siehe Anhang G).

Der jahreszeitliche Verlauf in den untersuchten Bächen ist ähnlich im Vergleich zu einem grösseren Fliessgewässer, die Bäche zeigen aber viel ausgeprägtere und schnellere Temperaturwechsel (siehe Anhang F).

Für Brütlinge sind die kritischen Temperaturen fürs Überleben im Minimum bei 0 °C und Maximum bei 22 °C (Elliott & Baroudy, 1995). Für Larven nach der Emergenz liegen sie bei 0 °C bis maximal 25 °C (Elliott & Baroudy, 1995). Die kritischen Temperaturen werden nach dem Laichen der Forellen im Herbst/Winter bis zur Emergenz im Frühling/Sommer bei Betrachtung der Daten der Messstationen nie erreicht. Im Sommer werden Temperaturen um 22 °C erreicht, allerdings vorwiegend erst im August (siehe Anhang E). Humpesch (1985) gibt die Bandbreite für mehr als 50 % Überlebensrate bis zum Schlüpfen von 0 °C bis maximal 11 °C an. Diese Temperatur-Bandbreite wird wahrscheinlich grösstenteils in allen untersuchten Bächen bis zum Schlüpfen eingehalten. Die Wassertemperatur in allen Bächen nähert sich erst um April / Mai der oberen Grenze von 11 °C (Siehe Abb. 3).

Aufgrund der Temperatursensibilität und ihrem Lebensraum in Fliessgewässern kann der aktuelle Klimawandel einen grossen Einfluss auf die Forelle ausüben. Steigen die Wassertemperaturen in Zukunft im Kontext der Klimaerwärmung, kann die Emergenz früher im Jahr stattfinden (Burkhardt-Holm, 2009). Hari (2011) hat einen 15 Tage früheren Emergenzzeitpunkt durch die Temperaturzunahme seit 1978 in Gewässern im Aaretal im Kanton Bern berechnet. Genauso gleich können auch die vermehrt in Zukunft erwarteten Winterhochwasser einen früheren Emergenzzeitpunkt verursachen (Burkhardt-Holm, 2009; Crisp, 2000).

4.3 Chemische und physikalische Parameter

Die chemische Gewässeranalyse ergab insgesamt ein gutes Bild der untersuchten Bäche. Die Ortho-Phosphat-Konzentrationen im Fisibach und Hottwilerbach wurden jedoch als "schlecht" eingestuft. Dies sind die einzigen zwei bedenklichen Werte, allerdings müsste eine weitere Messung durchgeführt werden, um die Resultate zu bestätigen. Die restlichen Parameter dieser zwei Bäche entsprechen einer guten Wasserqualität. Der Fisibach zeigt ebenfalls höhere Werte beim Gesamt-Phosphor. Landwirtschaft, Abwassereinleitungen und Regenüberläufe können Phosphor-Einträge verursachen (Liechti, 2010). Da in allen Einzugsgebieten der untersuchten Bäche eher viel Landwirtschaft vorhanden ist, könnte dies der Grund für höhere Werte sein (GIS Kanton Aargau, 2019). Die Ortho-Phosphat-Konzentrationen der anderen Bäche werden alle mit "Sehr gut" klassifiziert.

Die DOC- und TOC-Konzentrationen sind in Ordnung. Allgemein können höhere DOC- und TOC-Werte natürlicherweise vorkommen, ohne dass sie einen negativen Einfluss auf den Gewässerzustand bewirken (Liechti, 2010). Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) wird ohne anthropogenen Einfluss durch "Abbau von organischem Material" und durch die "Auswaschung aus Böden im Einzugsgebiet" in Fliessgewässer eingetragen (Liechti, 2010). Der TOC setzt sich neben dem DOC aus partikulär gebundenen, organischen Kohlenstoffanteilen zusammen. Er kann

bei Regen durch "Regenentlastungen von Abwasserreinigungsanlagen, Abschwemmung von organischen Düngemitteln und durch die Erosion des Bodens in die Gewässer gelangen" (Liechti, 2010). Natürliche vorkommende Aufwuchsorganismen, die durch Hochwasserereignisse mobilisiert werden, erhöhen den TOC (Liechti, 2010). Weitere Analysen sind für Untersuchung der Gewässerqualität nötig, denn möglicherweise vorkommende Pestizide und Spuren von Schwermetallen könnten einen Einfluss auf die Emergenz haben (Luckenbach et al., 2001). Die Untersuchungen im Rahmen von *NAWA Spez* werden dafür tiefgreifendere Ergebnisse liefern.

Die gemessenen pH-Werte (8.04 bis 8.69) sind einwandfrei für die Entwicklung von Forellen. Generell ist ein niedriger pH-Wert für Forelleneier und Brütlinge sehr gefährlich (Crisp, 2000). Ein pH-Wert unter 4 oder über 9.5 kann tödlich sein (Carrick, 1979; Crisp, 2000). Ein pH-Wert über 9 oder unter 5 kann schädliche Folgen für Salmoniden haben (Crisp, 1988). Der pH-Wert um 8.3 weist auf das kalkreiche Einzugsgebiet hin (Liechti, 2010). Die vorkommenden Sauerstoffkonzentrationen um 10 mg/l sind optimal für die Entwicklung in der embryonalen- und larvalen Phase (Neumann, 2006).

Die elektrischen Leitfähigkeiten (446 μ S/cm bis 698 μ S/cm) aller Bäche bewegen sich in der üblichen Bandbreite (siehe Anhang I und Copp, 2003). Im Elfingerbach und Chrüzlibach wurden Schwierigkeiten mit der elektrischen Befischung festgestellt. Es ist möglich, dass darum nicht immer alle vorhandenen Larven gefunden wurden. Ein Teil dieser Schwierigkeiten kann sicher durch ihre tiefen Leifähigkeiten (446 μ S/cm und 479 μ S/cm) begründet werden (Habera, Strange, & Saxton, 1999).

Alle untersuchten Bäche sind mit Abflüssen zwischen 0.012 m³/s und 0.147 m³/s sehr kleine Fliessgewässer. Die Abflussregime von Küntenerbach, Fisibach und Möhlinbach sind von kurzeitig auftretenden und hohen Abflussspitzen geprägt (siehe Anhang E und H). Das Abflussregime eines grösseren Fliessgewässers ist im Vergleich viel ausgeglichener, die Abflussspitzen sind flacher (Siehe Anhang F und I). Wenn viele und hohe Abflussspitzen auftreten, können sie eine frühere Emergenz wie normal bewirken und eine höhere Mortalität der Brütlinge im Kies verursachen (Elliott, 1989; Jensen & Johnsen, 1999; Næsje & Jonsson, 1988).

Die untersuchten chemischen und physikalischen Parameter werden auch im Leitfaden zur Sanierung von Salmonidenlaichgewässern von Neumann (2006) empfohlen (ausser TOC und DOC). Alle untersuchten Bäche gleichen sich im Abflussregime, sowie den chemischen und physikalischen Parametern. Die Temperaturunterschiede sollten hauptsächlich durch das Einzugsgebiet und die Ufervegetation bedingt sein, da die Sonne für einen grossen Teil der Gewässer-Erwärmung verantwortlich ist (Brown & Krygier, 1970). Natürlich nimmt auch die Gewässertemperatur in zunehmender Höhe wie die Lufttemperatur ab (Hari, 2011). Die Altitude-Unterschiede der Bäche sind gering (Siehe Tab. 1), darum sollte dieser Effekt keine nennenswerten Temperaturunterschiede verursachen.

Der in der Schweiz verbreitete Unterhalt der Ufervegetation kann bei zu viel Schnitt aufgrund von mehr Sonneneinstrahlung einen Einfluss auf die Erwärmung der Gewässer und folglich auch auf die Emergenz haben. Falsche Ufergehölzpflege wurde vor allem am Elfingerbach und Chrüzlibach beobachtet. Graureiher konnten mehrmals an Stellen beobachtet werden, wo zu viel Ufervegetation entfernt worden war. Wenn die Stellen wie am Elfingerbach im Monitoringbereich liegen, besteht die Möglichkeit, dass ein Teil der emergierten Larven schon wieder aufgefressen wurden und Laichtiere attackiert worden sind. Werden beim Elfingerbach die absoluten Zahlen an gefundenen Larven in Anhang C und D für die Jahre 2018 und 2019 miteinander verglichen, fällt auf, dass sie 2019 niedriger waren. Auch die anderen Altersklassen waren im Jahr 2019 viel weniger vorhanden. Der Bestand in der Monitoringstrecke könnte also einerseits durch den Graureiher beeinfusst worden sein und andererseits durch den warmen Sommer 2018 zusätzlich geschwächt worden sein.

5 Schlussfolgerung

Eine Einschränkung von technischen Eingriffen in Gewässern besteht bis zum 15. Mai im Kanton Aargau. Das durchgeführte Monitoring hat gezeigt, dass die Emergenz in kälteren Bächen am 15. Mai noch nicht fertig ist. Im Chrüzlibach und Küntenerbach wurde erst ab dem 16.05.2019 Mai eine Emergenz festgestellt. Die benötigten Tagesgrade für die Entwicklung der juvenilen Forellen waren aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen vorher noch nicht erreicht. Es scheint, als finde die Emergenz bei einer durchschnittlichen Wassertemperatur um 7 °C erst um Mitte Mai statt und könnte sogar bis in den Juni andauern. Das Monitoring sollte daher bei Bedarf bis in den Juni durchgeführt werden, um präzisere Daten zu erhalten. In den wärmeren Bächen (Hottwilerbach, Elfingerbach und Möhlinbach) wurden die Emergenzmaxima eindeutig vor dem 15. Mai gefunden.

Baustellen im Gewässer verursachen viel Sedimenttransport und können dadurch eine Ablagerung von Feinsediment auf den Laichplätzen zur Folge haben. Die Ablagerung kann die Wasserdurchlässigkeit des Grundes stark vermindern, was dann die Sauerstoffversorgung und den Abtransport von Stoffwechselprodukten der Eier hemmt. Die Überlebensrate der Embryonen kann als Folge davon enorm sinken (Conallin, 2004; Heywood & Walling, 2007; Jensen & Johnsen, 1999; Olsson & Persson, 1986). Eine weitere Folge kann sein, dass die die Emergenz der Larven verfrüht wie normal stattfindet (Næsje & Jonsson, 1988). Feindsedimente erschweren auch das Aufsteigen der Larven während der Emergenz in die freie Wassersäule enorm, die Mortalität kann deswegen sehr hoch sein (Sternecker & Geist, 2010).

Für eine Modellrechnung des Emergenzzeitraumes müsste der Zeitpunkt der Laichablage bekannt sein (Crisp, 2000; Elliott & Hurley, 1998). Dann können die benötigten Tagesgrade bis zur Emergenz berechnet werden und schlussendlich der Zeitraum der Emergenz. Die Temperaturen der kantonalen Messstationen am Küntenerbach, Fisibach und Möhlinbach decken sich praktisch mit den aufgezeichneten Logger-Temperaturen. Es kann überlegt werden, ob die Temperaturdaten für die Modellrechnung dann entweder durch Logger oder von den Messstationen entnommen werden. Es muss sicher auch beachtet werden, dass die Wassertemperatur im Interstitial (Kieslebensraum im Gewässergrund) von der Wassertemperatur im Freiwasser abweichen kann (Klemetsen et al., 2003). Die Temperatur im Interstitial ist normalerweise höher als die Gewässertemperatur darüber (Acornley, 1999).

Im Fisibach sollte eventuell eine Monitoring-Strecke weiter bachaufwärts gewählt werden, da im untersuchten Monitoring-Perimeter im Jahr 2018 sowie 2019 praktisch keine Emergenz gefunden wurde. Die meisten gefundenen juvenilen Forellen wurden wahrscheinlich von oberhalb abgedriftet. Im oberen Lauf (CH1903+ / LV 95: 2'672'962.000 / 1'267'729.000) finden sich ausgezeichnete Bestände mit Naturverlaichung, was auch durch eine elektrische Befischung am

24.04.2019 überprüft wurde. Dort wurden innert kurzer Zeit viele Larven mit Körperlängen von 22 mm bis maximal 30 mm gefunden.

Abschliessend ist zu sagen, dass Bachforellen in der Schweiz mit vielen anthropogen verursachten Problemen in ihren Lebensräumen auskommen müssen. Um Ihre Populationen nachhaltig zu erhalten, lohnt es sich, auch in Zukunft weitere Untersuchungen durchzuführen. So können vielleicht einige dieser Probleme beseitigt werden.

6 Literaturverzeichnis

- Acornley, R. M. (1999). Water temperatures within spawning beds in two chalk streams and implications for salmonid egg development. *Hydrological Processes*, *13*(3), 439–446. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19990228)13:3<439::AID-HYP748>3.0.CO;2-E
- Bardonnet, A., Gaudin, P., & Thorpe, J. E. (1993). Diel rhythm of emergence and of first displacement downstream in trout (Salmo trutta), Atlantic salmon (S. salar) and grayling (Thymallus thymallus). *Journal of Fish Biology*, *43*(5), 755–762. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb01152.x
- Blaxter, J. H. S. (Scottish M. B. A. (1992). The effect of temperature on larval fishes. *Netherlands Journal of Zoology (Netherlands)*. Abgerufen von http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NL9300506
- Błędzki, L. A., Bubier, J. L., Moulton, L. A., & Kyker-Snowman, T. D. (2011). Downstream effects of beaver ponds on the water quality of New England first- and second-order streams. *Ecohydrology*, *4*(5), 698–707. https://doi.org/10.1002/eco.163
- Borsuk, M. E., Reichert, P., Peter, A., Schager, E., & Burkhardt-Holm, P. (2006). Assessing the decline of brown trout (Salmo trutta) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. *Ecological Modelling*, 192(1–2), 224–244. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.006
- Brown, G. W., & Krygier, J. T. (1970). Effects of Clear-Cutting on Stream Temperature. *Water Resources Research*, *6*(4), 1133–1139. https://doi.org/10.1029/WR006i004p01133
- Burkhardt-Holm, P. (2009). Klimawandel und Bachforellenrückgang gibt es einen Zusammenhang? Resultate aus der Schweiz. *Environmental Sciences Europe*, *21*(2), 177–185. https://doi.org/10.1007/s12302-009-0043-7
- Carrick, T. R. (1979). The effect of acid water on the hatching of salmonid eggs. *Journal of Fish Biology*, *14*(2), 165–172. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1979.tb03506.x
- Cattanéo, F., Lamouroux, N., Breil, P., & Capra, H. (2002). The influence of hydrological and biotic processes on brown trout (Salmo trutta) population dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *59*(1), 12–22. https://doi.org/10.1139/f01-186
- Conallin, J. (2004). The Negative Impacts of Sedimentation on Brown Trout (Salmo trutta) Natural Recruitment, and the Management of Danish Streams. *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*, 3.
- Copp, G. H. (2003). Is fish condition correlated with water conductivity? *Journal of Fish Biology*, 63(1), 263–266. https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00145.x
- Crisp, D. T. (1981). A desk study of the relationship between temperature and hatching time for the eggs of five species of salmonid fishes. *Freshwater Biology*, 11(4), 361–368. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1981.tb01267.x
- Crisp, D. T. (1988). Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and 'swim-up' times for salmonid embryos. *Freshwater Biology*, *19*(1), 41–48. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1988.tb00325.x
- Crisp, D. T. (1990). Some effects of application of mechanical shock at varying stages of development upon the survival and hatching time of British salmonid eggs. *Hydrobiologia*, *194*(1), 57–65. https://doi.org/10.1007/BF00012112
- Crisp, D. T. (2000). *Trout and salmon: Ecology, conservation, and rehabilitation*. Oxford; Malden, MA: Malden, MA: Fishing News Books,; Blackwell Science [distributor].

- EAWAG, & BUWAL. (2004). Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz. Dübendorf und Bern.
- Elliott, J. M. (1984). Growth, Size, Biomass and Production of Young Migratory Trout Salmo trutta in a Lake District Stream, 1966-83. *Journal of Animal Ecology*, *53*(3), 979–994. https://doi.org/10.2307/4672
- Elliott, J. M. (1989). Mechanisms Responsible for Population Regulation in Young Migratory Trout, Salmo trutta. I. The Critical Time for Survival. *Journal of Animal Ecology*, *58*(3), 987–1001. https://doi.org/10.2307/5137
- Elliott, J. M., & Baroudy, E. (NERC I. of F. E. (1995). The ecology of Arctic charr, Salvelinus alpinus, and brown trout, Salmo trutta, in Windermere (northwest England). *Nordic Journal of Freshwater Research (Sweden)*. Gehalten auf der 3. International Charr Symposium, Trondheim (Norway), 13-18 Jun 1994. Abgerufen von http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE9611173
- Elliott, J. M., & Elliott, J. A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon Salmo salar, brown trout Salmo trutta and Arctic charr Salvelinus alpinus: Predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, *77*(8), 1793–1817. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x
- Elliott, J. M., & Hurley, M. A. (1998). An individual-based model for predicting the emergence period of sea trout fry in a Lake District stream. *Journal of Fish Biology*, *53*(2), 414–433. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb00990.x
- Friedl, C. (1996). Populationsdynamik und Reproduktionsbiologie der Bachforelle (salmo trutta fario L.) in einem hochalpinen Fliessgewässer (ETH Zurich). https://doi.org/10.3929/ethz-a-001608154
- GIS Kanton Aargau. (2019). Kulturland. Abgerufen 7. Oktober 2019, von https://www.ag.ch/app/agisviewer4/v1/agisviewer.html
- Gray, J. (1928). The Growth of Fish: III. The Effect of Temperature on the Development of the Eggs of Salmo Fario. *Journal of Experimental Biology*, *6*(2), 125–130.
- Habera, J. W., Strange, R. J., & Saxton, A. M. (1999). AC Electrofishing Injury of Large Brown Trout in Low-Conductivity Streams. *North American Journal of Fisheries Management*, 19(1), 120–126. https://doi.org/10.1577/1548-8675(1999)019<0120:AEIOLB>2.0.CO;2
- Hari, R. E. (2011). *Projekt GZA: TP H Veränderungen in Temperatur und Abfluss in den GZA-Fliessgewässern in den letzten 30 Jahren*. Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA), Gewässer- und Bodenschutzlabor.
- Heywood, M. J. T., & Walling, D. E. (2007). The sedimentation of salmonid spawning gravels in the Hampshire Avon catchment, UK: Implications for the dissolved oxygen content of intragravel water and embryo survival. *Hydrological Processes*, *21*(6), 770–788. https://doi.org/10.1002/hyp.6266
- Höppli, H. (2019). Frühere Ausbildungsunterlagen Elektrofischerei Kanton Aargau. nicht veröffentlicht.
- Humpesch, U. H. (1985). Inter- and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and Thymallus thymallus. *Archiv für Hydrobiologie*, 104, 129–144.
- Jensen, A. J., & Johnsen, B. O. (1999). The functional relationship between peak spring floods and survival and growth of juvenile Atlantic Salmon (Salmo salar) and Brown Trout (Salmo trutta). *Functional Ecology*, 13(6), 778–785. https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00358.x

- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic salmon and brown trout: Habitat as a template for life histories*. Dordrecht; New York: Springer.
- Jungwirth, M., & Winkler, H. (1984). The temperature dependence of embryonic development of grayling (Thymallus thymallus), Danube salmon (Hucho hucho), Arctic char (Salvelinus alpinus) and brown trout (Salmo trutta fario). *Aquaculture*, 38(4), 315–327. https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90336-3
- Jürgen Bretschneider Spezialelektronik. (o. J.). *Bedienungsanleitung für das Elektrofischereige- rät EFGI 650.* Chemnitz-Grüna.
- Kirchhofer, A., Breitenstein, M., & Zaugg, B. (2007). *Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Bern, und Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna, Neuenburg: Umwelt-Vollzug Nr. 0734. 64 S.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon Salmo salar L., brown trout Salmo trutta L. and Arctic charr Salvelinus alpinus (L.): A review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, *12*(1), 1–59. https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x
- Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Cornol: Publ. Kottelat.
- Kreienbühl, T., Vonlanthen, P., Hoppler, L., & Breitenstein, M. (2017). *Inventar der Laichgebiete der Forellen in den kleinen Fliessgewässern des Kantons Aargau.* Aquabios, ECQUA und WFN. Auftraggeber: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei. Aarau.
- Liechti, P. (2010). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemischphysikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Lobón Cerviá, J., & Sanz, N. (Hrsg.). (2018). *Brown Trout: Biology, Ecology and Management*. Chichester: Wiley.
- Luckenbach, T., Triebskorn, R., Müller, E., & Oberemm, A. (2001). Toxicity of waters from two streams to early life stages of brown trout (Salmo trutta f. Fario L.), tested under semi-field conditions. *Chemosphere*, 45(4), 571–579. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00595-6
- Lundsgaard-Hansen, B. (2014). *Forellen in der Schweiz*. Kastanienbaum: Fischereiberatungsstelle FIBER.
- Majerova, M., Neilson, B. T., Schmadel, N. M., Wheaton, J. M., & Snow, C. J. (2015). Impacts of beaver dams on hydrologic and temperature regimes in a mountain stream. *Hydrology and Earth System Sciences*, *19*(8), 3541–3556. https://doi.org/10.5194/hess-19-3541-2015
- Meyer, M., Greter, R., Schweizer, S., Baumgartner, J., Schläpi, S., & Büsser, P. (2019). *Untersuchungen zum Emergenzzeitraum von Salmo trutta in der Hasliaare in 2018*. Innertkirchen: Fachstelle Ökologie Kraftwerke Oberhasli AG (KWO). Unveröffentlicht.
- Næsje, T., & Jonsson, B. (1988). Impacted Stress: A Causal Agent of Reduced Whitefish (Coregonus lavaretus) Egg Incubation Time. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 45, 27–31. https://doi.org/10.1139/f88-004
- Neumann, D. (2006). Leitfaden zur wasserwirtschaftlichökologischen Sanierung von Salmonidenlaichgewässern in NRW. Nordrhein-Westfalen: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV).

- Olsson, T. I., & Persson, B.-G. (1986). Effects of gravel size and peat material concentrations on embryo survival and alevin emergence of brown trout, Salmo trutta L. *Hydrobiologia*, 135(1), 9–14. https://doi.org/10.1007/BF00006453
- Palm, D., Brännäs, E., Lepori, F., Nilsson, K., & Stridsman, S. (2007). The influence of spawning habitat restoration on juvenile brown trout (Salmo trutta) density. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *64*(3), 509–515. https://doi.org/10.1139/f07-027
- Palm, D., Brännäs, E., & Nilsson, K. (2009). Predicting site-specific overwintering of juvenile brown trout (Salmo trutta) using a habitat suitability index. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(4), 540–546. https://doi.org/10.1139/F09-016
- Peter, A., & Erb, M. (1996). Leitfaden für fischbiologische Erhebungen in Fliessgewässern unter Einsatz der Elektrofischerei. BUWAL, EAWAG.
- Roberts, B. C., & White, R. G. (1992). Effects of Angler Wading on Survival of Trout Eggs and Pre-emergent Fry. *North American Journal of Fisheries Management*, *12*(3), 450–459. https://doi.org/10.1577/1548-8675(1992)012<0450:EOAWOS>2.3.CO;2
- RStudio Team. (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. (Version 1.2.1335). Abgerufen von http://www.rstudio.com/
- Sternecker, K., & Geist, J. (2010). The effects of stream substratum composition on the emergence of salmonid fry. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(4), 537–544. https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00432.x
- Tåning, Å. V. (1952). EXPERIMENTAL STUDY OF MERISTIC CHARACTERS IN FISHES. *Biological Reviews*, 27(2), 169–193. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1952.tb01392.x
- Witzel, L. D., & MacCrimmon, H. R. (1983). Embryo survival and alevin emergence of brook charr, Salvelinus fontinalis and brown trout, Salmo trutta, relative to redd gravel composition. *Canadian Journal of Zoology*, *61*(8), 1783–1792. https://doi.org/10.1139/z83-230

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Durchschnittstemperatur der Monate Dezember 2018 bis Mai 2019 in °C auf der y-	
Achse für jeden untersuchten Bach. Auf der x-Achse der dazugehörige	
Emergenzzeitraum aus Tab. 5 im Jahr 2019 in Kalenderwochen. Mithilfe dieser sechs	
Datenpunkte wurde eine Regressionslinie erstellt.	. 18
Abb. 2: Tagesmaxima des Abflusses im Möhlinbach. Das erste Diagramm zeigt Daten vom	
Dezember 2017 bis Juni 2018. Das zweite Diagramm zeigt Daten beginnend vom	
November 2018 bis Juni 2019. Verwendet wurden die Abflussdaten der kantonalen	
Messstation in Zeiningen AG.	. 19
Abb. 3: Übersicht der Durchschnittstemperaturen für jeden Bach von Nov 2018 bis Mai 2019.	
Tages-Durchschnitte	. 20

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht der untersuchten Bäche, dazugehörige Ortschaft, die Koordinaten
(geo.admin.ch), Altitude der Koordinaten-Standorte (geo.admin.ch) und Monitoring-
Angaben 11
Tab. 2: Stationsnummern, Ortschaft und Altitude der kantonalen Messstationen
Tab. 3: Auflistung der Parameter, die im Rahmen der chemischen Gewässeranalyse bei
allen Bächen untersucht wurden und die dazugehörigen Küvettentest-Nummern 14
Tab. 4: Ermittelte Emergenzmaxima der Forellen für jeden Bach im Frühjahr 2019. Bei
Daten mit einem Stern (*) konnte das Emergenzmaximum am Ende des Monitorings
noch nicht eindeutig bestimmt werden
Tab. 5: Durchschnittstemperatur für alle untersuchten Bäche der Monate Dezember 2018
bis Mai 2019 und der dazugehörige Emergenzeitraum. Diese Tabelle bildet die
Datengrundlage für die Korrelationsanalyse in Abb. 1. Emergenzzeitraum angepasst
bei Elfingerbach und Chrüzlibach. Mit der Bezeichnung Emergenzzeitraum ist der
Zeitraum um das Emergenzmaximum gemeint
Tab. 6: Die berechnete Durchschnittstemperatur für die Jahre 2018 und 2019 im
Möhlinbach und das gefundene Emergenzmaximum mit dazugehöriger
Kalenderwoche19
Tab. 7: Alle erhobenen physikalischen Parameter aller untersuchten Bäche. Die Uhrzeit bei
der Erhebung ist ebenfalls notiert worden
Tab. 8: Ergebnisse der chemischen Analysen aller Bäche. Die Resultate sind nach dem
Modulstufenkonzept des Bundes (Liechti, 2010) eingefärbt und klassifiziert.
Einteilung: "Schlecht" (rot), "Unbefriedigend" (braun), "Mässig" (gelb), "Gut" (grün),
"Sehr gut" (blau). Der Stern * steht für Werte unterhalb des Messbereichs. "Total N"
: Gesamtstickstoff. "Total P": Gesamtphosphor. TOC: gesamter organischer
Kohlenstoff (Total Organic Carbon). DOC: gelöster organischer Kohlenstoff
(Dissolved Organic Carbon). Aufgrund der Abwesenheit des Parameters Chlorid
wurde für die korrekte Beurteilung des Nitrit-Gehalts das strengste Kriterium mit >
20 mg/L Cl ⁻ angenommen

Anhang

Anhang A: Geräteliste und Software

Anhang B: Bildaufnahme Grössenbestimmung

Anhang C: Ergebnisse elektrische Befischung 2019

Anhang D: Ergebnisse elektrische Befischung 2018

Anhang E: Messstation Möhlinbach; Abfluss und Temperatur Langzeitdiagramme

Anhang F: Kontrollstationen Aare bei Brugg und Möhlinbach in Zeiningen

Anhang G: Verifizierung Logger

Anhang H: Abflüsse Messtationen Küntenerbach und Fisibach

Anhang I: Physikalische und chemische Parameter Aare bei Brugg

Anhang J: Plagiatserklärung

Anhang A: Geräteliste und Software

Gerätebezeichung / Software	Hersteller
Software: HOBOware	Onset Computer Corp.
Logger: HOBO UA-001-64 Pendant Temp Seriennummer 20373230	Onset Computer Corp.
Optic USB Base Station für Logger Teilenummer: BASE-U-1	Onset Computer Corp.
Elektrofischereigerät EFGI 650	Jürgen Bretschneider Spezialelektronik Chemnitz-Grüna DE
Multisonde HQ40d	Hach Lange GmbH
Flowatch® Fliessgeschwindigkeitsmessgerät	JDC Electronic SA

Anhang B: Bildaufnahme Grössenbestimmung

Juvenile Bachforelle nach der Emergenz im Hottwilerbach aufgenommen am 27.05.2019. Fotograf: © Heinz Höppli



Anhang C: Ergebnisse elektrische Befischung 2019

	26.03	05.04	16.04	24.04	03.05	16.05	27.05	Maximum	
KW	13	14	16	17	18	20	22		
						5	9		
Küntenerb.	NA	0	0	NA	NA	(25 mm und 40	(27 mm und 45	9	
						mm)	mm)		
Chrüzlib.	0	0	0	0	0	1	2	2	
						(20 mm)	(25 – 30 mm)	2	
Elfingerb.	0	0	3	4	11	9	NΙΔ		
			(40 mm)	0 mm) (30 – 35 mm) (40 mm) (40 – 45 mm)	NA	11			
Möhlinb.	0	2	9	NA	20	21 28mm und 48 mm	NA	21	
			(20 – 30mm)		(24mm und 32mm				
					– 40mm)				
Hottwilerb.	0	7	14	NA	20	9	4	20	
		(20 mm)	(25mm)			(40mm)	(40mm)		
Fisib.	0	0	NA	0	NA	0	6	6	
							(50mm)	O	

In der Tabelle sind die gefundene Anzahl Larven für jeden Bach dargestellt.

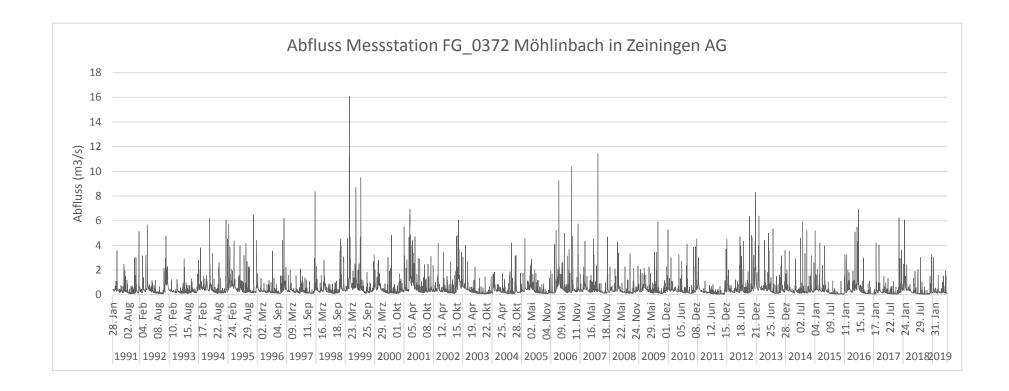
In Klammer sind die gefundenen Gesamtkörperlängen der Fische vermerkt. (20 – 30 mm) bedeutet zum Beispiel das Larven in dieser Bandbreite gefunden wurde (wahrscheinlich basierend auf Larven mit unterschiedlichem Wachstum). (25 mm und 40 mm) bedeutet zum Beispiel das Larven in zwei verschiedenen Grössenordnungen gefunden wurden (wahrscheinlich basierend auf verschiedene Schlupfzeitpunkte). Bei "NA" wurde nicht abgefischt. **Fett markiert** sind die Emergenzmaxima pro Bach; das Maximum an gefundenen Larven.

Anhang D: Ergebnisse elektrische Befischung 2018

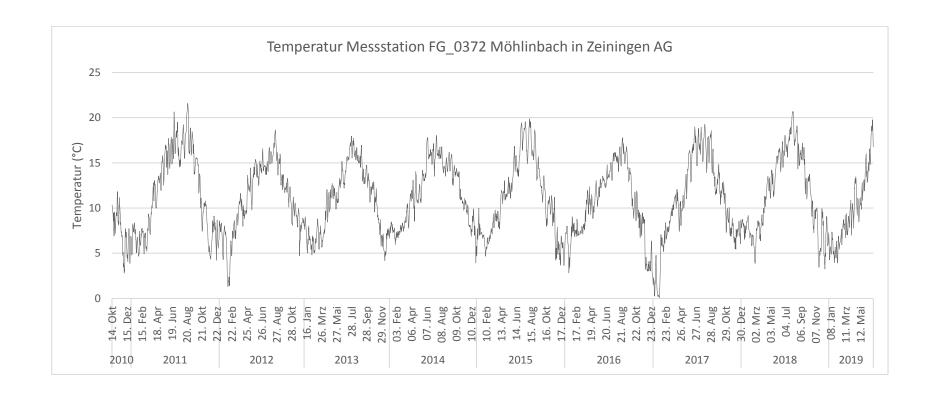
	24.04	02.05	7/09.05	18.05	07.06	
Kalenderwoche	17	18	19	20	23	
Küntenerbach	NA	NA	NA	NA	NA	
Chrüzlibach	0	0	2	5	NA	
Elfingerbach	8	17	16	NA	NA	
Möhlinbach	11	21	NA	NA	31	
Hottwilerbach	NA	NA	4	6	7	
Fisibach	NA	NA	4	6	NA	

Daten bereitgestellt vom Kanton Aargau.

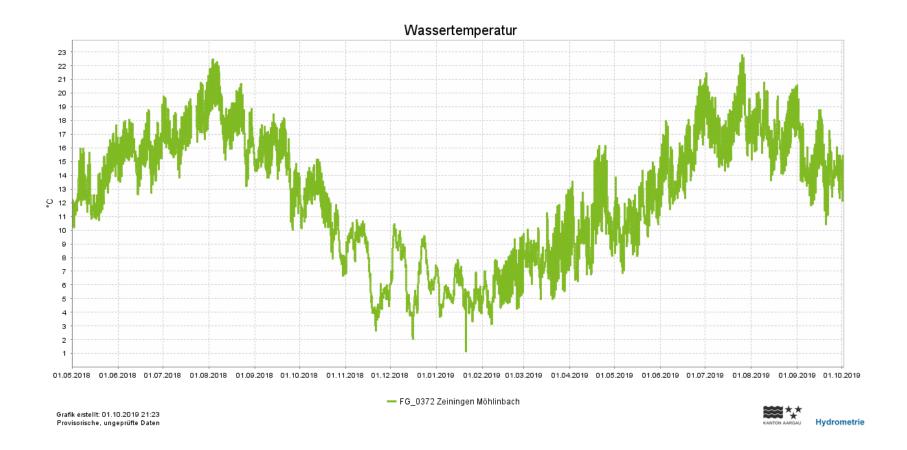
Anhang E: Messtation Möhlinbach; Abfluss und Temperatur Langzeitdiagramme



Daten von https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/

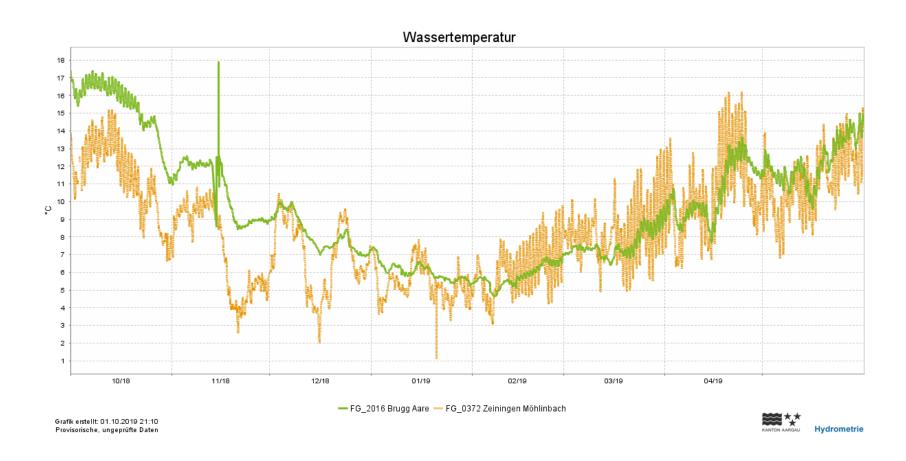


Daten von https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/



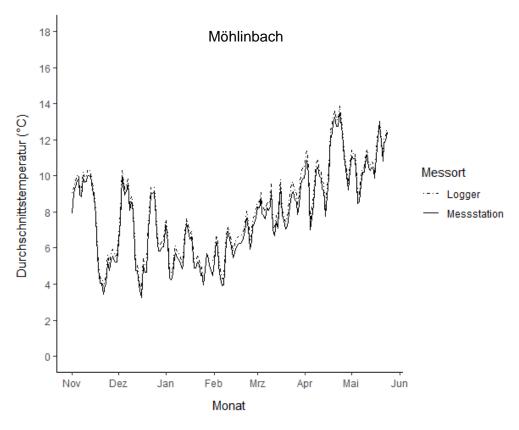
Quelle Grafik: https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/

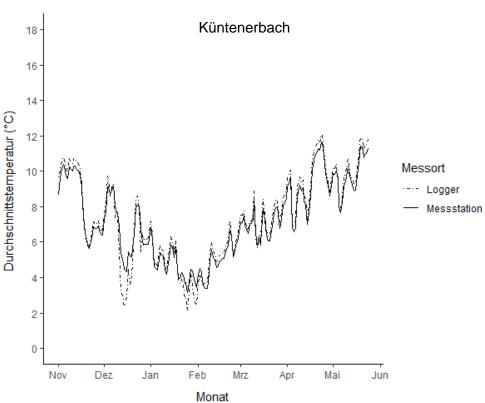
Anhang F: Kontrollstationen Aare bei Brugg und Möhlinbach in Zeiningen

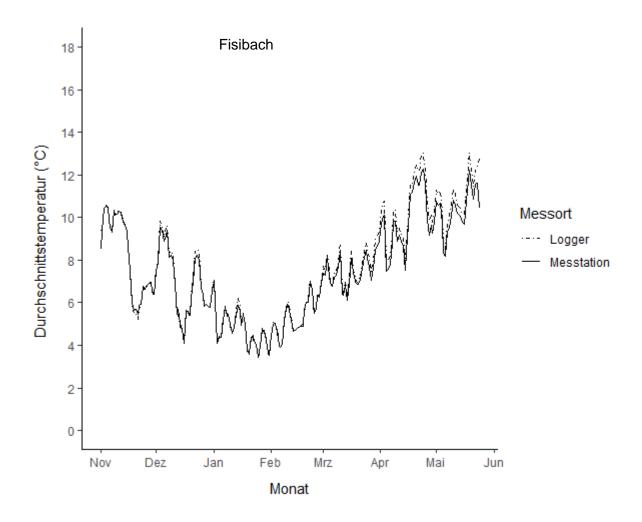


11/18 auf x-Achse: Im November 2018 hat die Messstation Brugg der Aare einen Fehler, Ausschlag zu Hoch (grüne Linie). Quelle Grafik: https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/

Anhang G: Verifizierung Logger

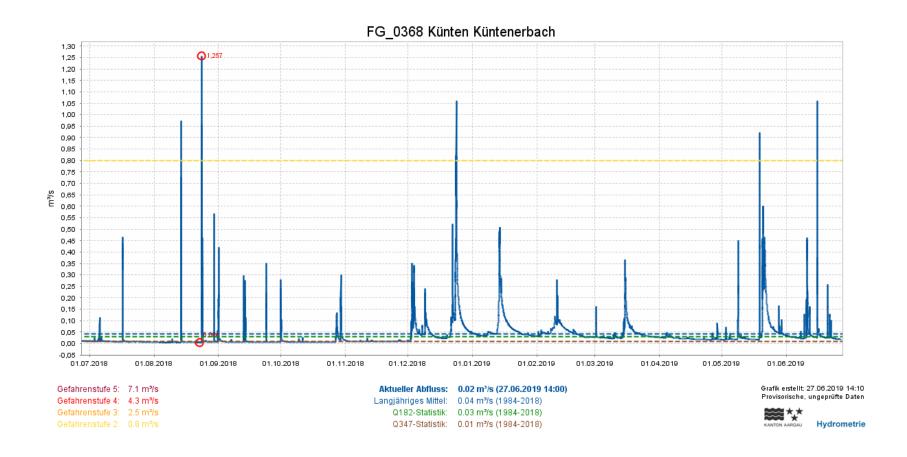




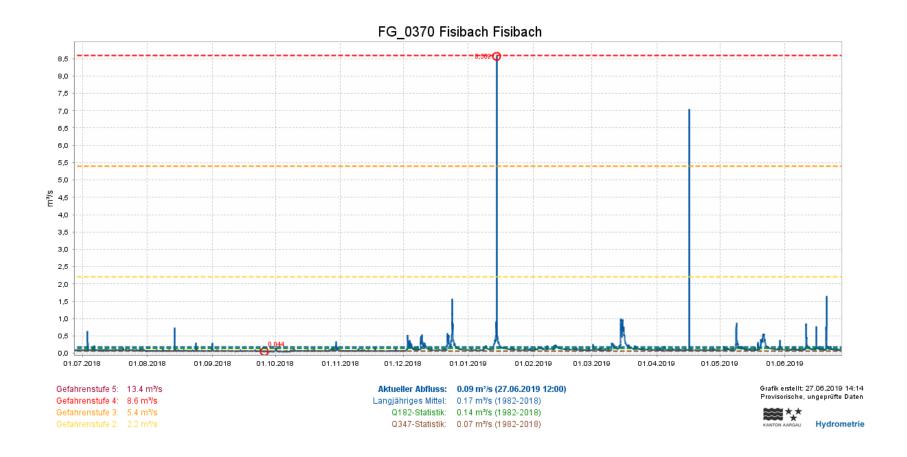


Daten Messstation von https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/.

Anhang H: Abflüsse Messtationen Küntenerbach und Fisibach

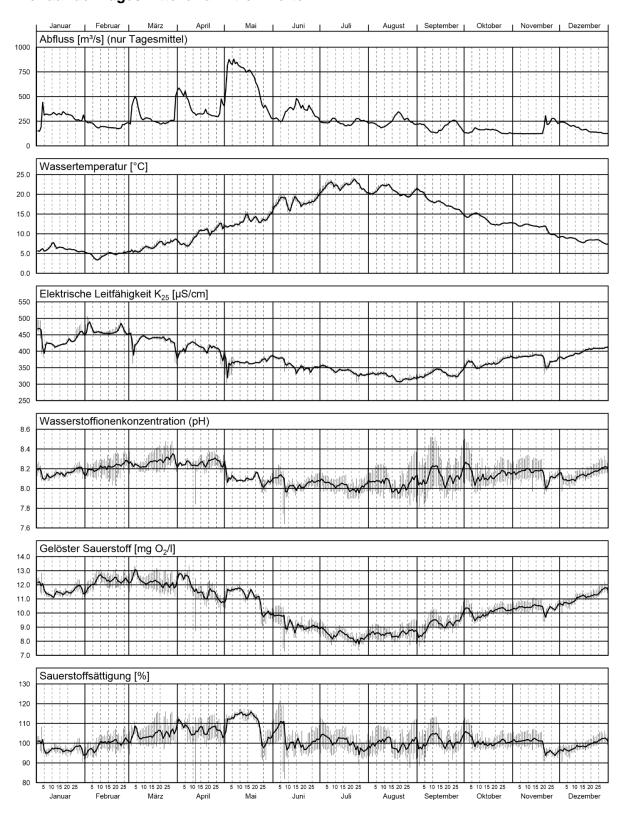


Quelle Grafik: https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/

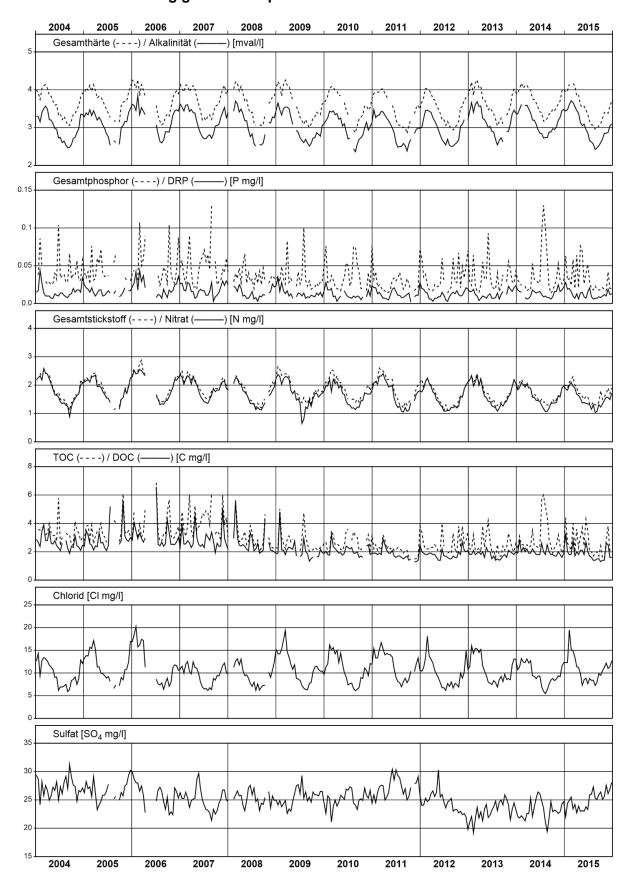


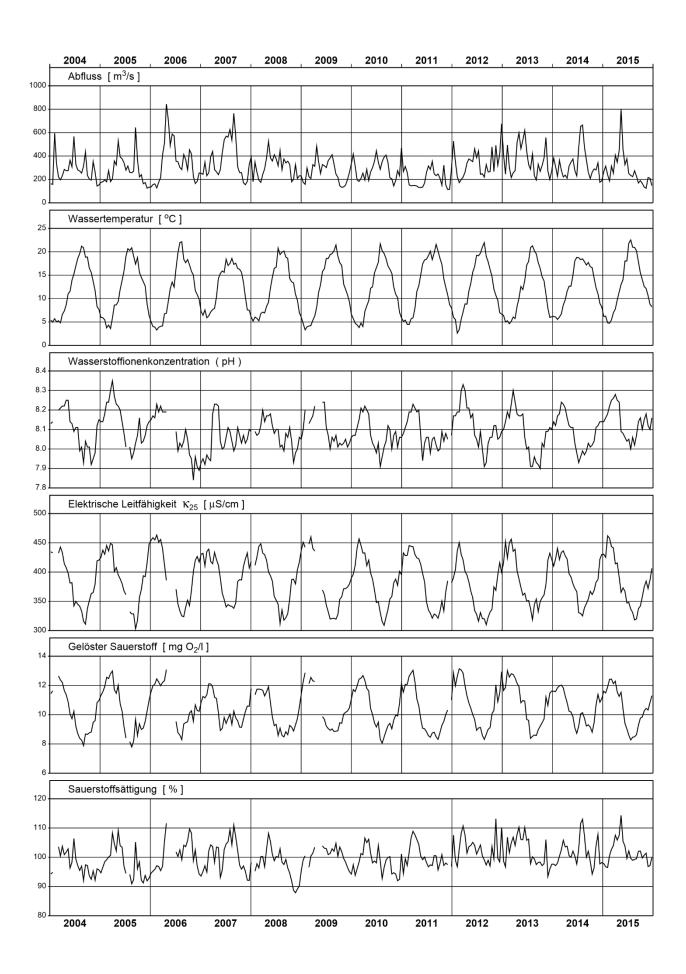
Quelle Grafik: https://www.ag.ch/app/hydrometrie/liste/

Anhang I: Chemische und physikalische Parameter Aare bei Brugg NADUF 2015 (Graphen vom BAFU, www.hydrodaten.admin.ch/de/2016.html) Verlauf der Tagesmittel und Extremwerte.



Messwerte der 14-tägigen Sammelproben





Anhang J: Plagiatserklärung



Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorerbeit versichert der/die Studierende, dass ensie die Arbeit selbständig und nann framde Hilfe verfeset hat

Der/die unterzeichnende Studlerende erklärt, dass alle werwendeten Quellen (auch Internetseiter) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiete enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fromden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgebe der eigenen Urheberschaft dzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Artiteten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rehmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmessnahmen der Hochschulordhung in Kraft

Ort, Datum: Unterachrift:

Brugg + 24-70-2019

[] Au

Das Original uieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller ebgegebenen Bacheldrerbeiten im Anhang mit Original-Unterschriften und -Detum (keine Kaple) einzutägen.

Zirolan hadinodasdina