

Biodiversität im Wandel:

die Auswirkung des Klimawandels auf die Phänologie von Wasserinsekten in den Schweizer Alpen.

Maturarbeit von Yorio Forster G4B

Kantonsschule Hottingen

Expert: Simon Tschärner

Datum: 08.12.2025

Abstract

Die Schweizer Alpen und somit auch ihre Fließgewässer werden stark vom Klimawandel beeinflusst. Wasserinsekten wie Ephemeroptera (Eintagsfliegen) reagieren empfindlich auf Temperatur- und Höhenunterschiede, was sich in ihrer Entwicklungsdauer und Phänologie widerspiegelt. Ziel dieser Arbeit ist es, die klimabedingte Verschiebung der Phänologie von Wasserinsekten sowie den Einfluss standortspezifischer Umweltbedingungen zu quantifizieren.

Zwischen April und August 2025 wurden an zwei alpinen Fließgewässern an fünf unterschiedlichen Höhenlagen Emergenzfallen ausgelegt. Die Fangdaten wurden ausgewertet und mit den Ergebnissen älterer Studien verglichen.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche temperaturabhängige Verschiebung der Emergenz: In den tieferen, wärmeren Lagen lag der Emergenzhöhepunkt früher als in den höheren, kühleren Lagen. Die wärmeren Temperaturen führten zu einer beschleunigten Entwicklung und ermöglichten so eine frühere Emergenz. Gleichzeitig wurden auch Unregelmäßigkeiten dokumentiert, und mögliche Ursachen dafür identifiziert.

Diese Arbeit verdeutlicht, dass sowohl Temperatur als auch standortspezifische Umweltbedingungen die Entwicklung und die Emergenz von Eintagsfliegen beeinflussen. Mit dem Klimawandel in Betracht gezogen, ist eine zeitliche Verschiebung der Emergenz zu rechnen, was potenziell tiefgreifende Auswirkungen auf trophische Interaktionen haben könnte.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	I
INHALTSVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
1 EINLEITUNG	1
2 METHODEN	3
2.1 UNTERSUCHUNGSGEBIET	3
2.2 UNTERSUCHUNGSOBJEKT	5
2.3 DATENERHEBUNG.....	6
2.4 DATENAUSWERTUNG	7
3 RESULTATE	7
3.1 ÜBERSICHT	7
3.2 RÄUMLICHE MUSTER.....	8
3.3 ZEITLICHE DYNAMIK	10
3.4 VERGLEICH MIT LITERATURDATEN	11
3.5 BESONDERHEITEN	12
3.6 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN EREIGNISSE.....	14
4 DISKUSSION	14
4.1 KURZE EINORDNUNG DER RESULTATE	14
4.2 EINFLUSS DER TEMPERATUR UND DER HÖHENLAGE	14
4.3 BEDEUTUNG STANDORTSSPEZIFISCHER UMWELTBEDINGUNGEN	15
4.4 VERGLEICH MIT LITERATURDATEN	17
4.5 METHODISCHE ÜBERLEGUNGEN UND LIMITATIONEN.....	17
4.6 INTERPRETATION KLIMAWANDEL	18
4.7 FAZIT	19
LITERATURVERZEICHNIS	21
EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	25
ARBEITSJOURNAL	26
ANHANG	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: zeigt den Lebenszyklus der Ephemeroptera. (Bildquelle: https://www.aardvarkmcleod.com/mayfly-life-cycle-prime-beat-availability/)	2
Abbildung 2: (Links) zeigt den Fellibach und seine fünf Sammelstellen s1–s5. Abbildung 3: (Rechts) zeigt den Vorderrhein und seine fünf Sammelstellen. (Karten gemacht mit map.geo.admin.ch)	4
Abbildung 4: zeigt Baetis, eine Gattung der Familie Baetidae. (Bildquelle: https://www.flyfisherman.com/editorial/springs-first-mayfly-baetis/152528)	5
Abbildung 5: (Links) zeigt einen der Emergenzfallen (Foto: Yorio Forster). Abbildung 6: (Rechts) zeigt den Autor beim Sammeln von Wasserinsektennymphen. (Foto: Giorgia Ercole)	6
<i>Abbildung 7: Graph 1 (Links) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1000-1300 m ü. M. Graph 2 (Rechts) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1300-1600 m ü. M. (eigene Darstellung)</i>	<i>9</i>
Abbildung 8: Graph 3 (Links) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m ² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1600-1900 m ü. M. Graph 4 (Rechts) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m ² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1900-2200 m ü. M. (eigene Darstellung).....	9
Abbildung 9: Die Grafiken 5 (Links) & 6 (Rechts) zeigen die Anzahl gefangener Wasserinsekten (unabhängig von der taxonomischen Ordnung) pro m ² pro Tag (y-Achse) im jeweiligen Monat (x-Achse). Graph 5 beschreibt nur den Vorderrhein (1360-2047 m ü. M.) und Graph 6 nur den Fellibach (1170-2022 m ü. M.). (eigene Darstellung)	10
Abbildung 10: Die Grafiken 7 (Links) und 8 (Rechts) zeigen die Anzahl gefangener Ephemeroptera pro m ² und Tag über 2000 m ü.M. (y-Achse) im jeweiligen Monat (x-Achse). Graph 7 beschreibt nur den Fellibach und Graph 8 nur den Vorderrhein. Die Skalierung wurde den Graphen der Studien von Ritter angepasst, um einen besseren visuellen Vergleich zu ermöglichen. (eigene Darstellung)	11
Abbildung 11: Graph 9 ist ein Graph aus der Studie von Ritter (Ritter, 1990). Es zeigt die Anzahl Baetis alpinus (Familie: Baetidae) pro m ² pro Tag im Stocktalbach.....	12
Abbildung 12: Graph 10 zeigt die Anzahl der Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m ² pro Tag, die bei unterschiedlichen Strömungsintensitäten gefangen wurden.....	13

1 Einleitung

Die alpinen Ökosysteme gehören zu den wichtigsten und artenreichsten Lebensräumen Europas (Kusma, 2024; European Environment Agency, 2016). Sie sind durch extreme Umweltbedingungen wie tiefe Temperaturen, kurze Vegetationszeiten und starke saisonale Schwankungen geprägt. Besonders die aquatischen Lebensräume dieser Regionen – also Bäche, Flüsse und Quellbereiche – weisen eine grosse ökologische Bedeutung auf (Blackford, 2025). Sie beherbergen eine Vielzahl spezialisierter Organismen, die sich über Jahrtausende an die harschen Bedingungen angepasst haben. Eine besonders wichtige Rolle spielen dabei die aquatischen Insekten, unter anderem die Vertreter der Ordnung Ephemeroptera (Eintagsfliegen). Diese Insekten sind in fast allen Fließgewässern der Alpen verbreitet (Alther et al., 2019) und zeichnen sich durch eine bemerkenswerte ökologische Anpassungsfähigkeit aus (Brittain, 1982). Dazu gehören Anpassungen in der Fortpflanzung, ihrer Phänologie (wird laut Duden als „die Lehre vom Einfluss der Witterung und des Klimas auf die jahreszeitliche Entwicklung der Pflanzen und Tiere“ definiert), metabolischen (wird laut Duden als „im Stoffwechselprozess entstanden“ definiert) Eigenschaften und an ihr Verhalten (Harper & Peckarsky, 2006) Ihre Lebenszyklen können sich aufgrund ihrer empfindlichen Reaktion auf physikalisch-chemische Veränderungen im Wasser verändern, deshalb gelten Ephemeroptera-Arten als wertvolle Bioindikatoren für den ökologischen Zustand von Gewässern (Menetrey et al. 2007).

In den letzten Jahrzehnten haben sich die Umweltbedingungen in den Alpen durch den Klimawandel deutlich verändert. Die mittlere Jahrestemperatur der Schweiz ist seit 1900 um etwa 2,8 °C gestiegen und damit fast doppelt so stark wie der globale Durchschnitt (MeteoSchweiz, o. D.). Diese Temperaturerhöhung hat weitreichende Folgen für alpine Ökosysteme. Solche Veränderungen beeinflussen die Lebensbedingungen aquatischer Insekten direkt. Studien zeigen, dass steigende Temperaturen zu Veränderungen der Lebenszyklen und zur Verschiebung phänologischer Ereignisse führen können, etwa beim Zeitpunkt des Schlüpfens, der Emergenz oder der Fortpflanzung (Shipley et al. 2022). Diese Verschiebungen können ökologische Interaktionen stören, etwa durch zeitliche Entkopplung zwischen Räuber- und Beutetieren (Twining et al., 2022).

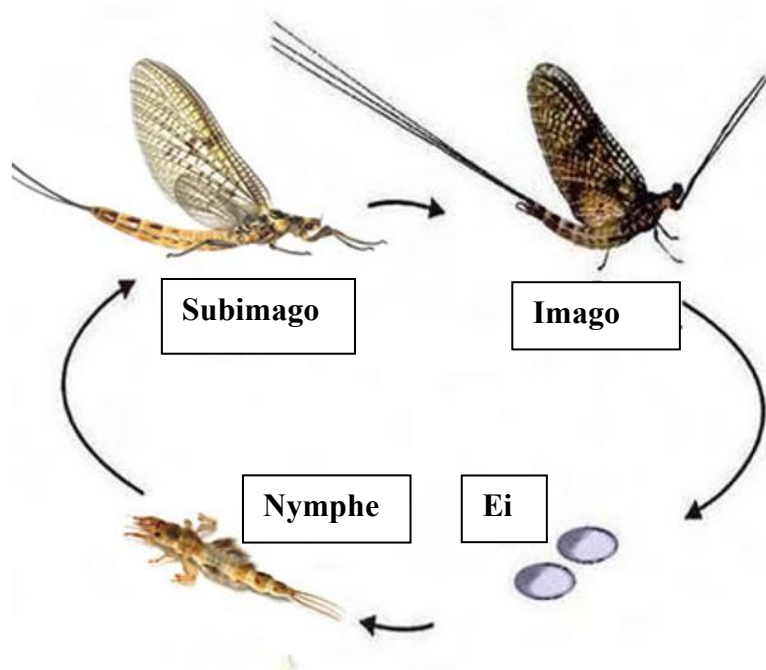


Abbildung 1: zeigt den Lebenszyklus der Ephemeroptera. (Bildquelle: <https://www.aardvarkmcleod.com/mayfly-life-cycle-prime-beat-availability/>)

Die Ephemeroptera haben einen sehr einfachen Lebenszyklus (siehe Abb. 1), der aus vier distinkten Etappen besteht. Ihre Eier werden auf einen Stein im Wasser gelegt, wo sie anschließend schlüpfen und als Nymphen unter Wasser leben. Nymphen sind eine unreife Form von Insekten, die dem erwachsenen Tier ähneln. Sie essen, bauen Masse auf und entwickeln Flügel (Subimago), um sich auf den nächsten Abschnitt ihres Lebens vorzubereiten – die Emergenz. Bei der Emergenz verlassen sie das Wasser und leben nun kurze Zeit (von ein paar Stunden bis wenigen Tagen) terrestrisch. Während dieser Phase erreichen sie die Geschlechtsreife (Imago) und pflanzen sich fort. So fängt der Zyklus wieder von vorne an. (Interview mit Connor Morang, persönliche Kommunikation, 23.09.25, Z. 15-30) (Sartori & Brittain, 2015)

Die aquatischen Insekten haben einen hohen Gehalt an hochungesättigten Omega-3-Fettsäuren (HUFAs), die für das Wachstum und die Entwicklung vieler aquatischer und terrestrischer Insektivoren, wie Fische, Amphibien und in der Ufernähe lebende Vogelarten, essenziell sind. Da viele dieser Tiere nicht in der Lage sind, HUFAs in ausreichendem Masse selbst zu synthetisieren, sind sie auf den regelmässigen Eintrag dieser Nährstoffe durchschlüpfende aquatische Insekten angewiesen. Eine zeitliche Nichtübereinstimmung zwischen der Emergenz aquatischer Insekten und den Brut- bzw. Fütterungsperioden von Nestvögeln infolge klimatischer

Veränderungen können daher negative Konsequenzen haben, etwa einen verringerten Bruterfolg und in der Folge einen Rückgang der Population dieser Arten (Twining et al. 2019).

Trotz zahlreicher internationaler Studien zu klimabedingten Veränderungen in Insektenpopulationen (Durance & Ormerod, 2007; Shipley et al., 2022; Khaliq et al., 2024; Ercole et al., 2024) existieren in der Schweiz bislang nur wenige detaillierte Untersuchungen, die sich mit der Phänologie (also der zeitlichen Abfolge biologischer Ereignisse, wie dem Schlüpfen, der Emergenz und dem Fortpflanzen) aquatischer Insekten befassen. Besonders in höheren Lagen ist bisher kaum erforscht, in welchem Ausmass klimatische Veränderungen zu messbaren Verschiebungen in der Emergenz oder Entwicklung geführt haben. Diese Forschungslücke bildet die Ausgangslage der folgenden Arbeit.

Im Rahmen dieser Maturarbeit soll untersucht werden, ob und in welchem Ausmass sich die Emergenzzeiten von Ephemeroptera-Arten aufgrund steigender Temperaturen verändern, indem die erhobenen Daten mit denen einer älteren Studie, die in vergleichbaren Alpenbächen durchgeführt wurde, verglichen werden. Ziel ist es, Hinweise darauf zu gewinnen, ob bereits klimabedingte Verschiebungen in der Phänologie dieser empfindlichen Bioindikatoren erkennbar sind. Damit trägt die Arbeit zu einem besseren Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die alpinen Gewässerökosysteme in der Schweiz bei.

Das Untersuchungsfeld umfasst ausgewählte alpine Fließgewässer in unterschiedlichen Höhenlagen und an verschiedenen Standorten, wobei auch ein Vergleich zwischen tiefergelegenen und hochalpinen Habitaten möglich ist.

2 Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchung wurde in zwei alpinen Fließgewässern in den Alpen durchgeführt: dem Vorderrhein (auch bekannt als Rein Anterior), der im Kanton Graubünden entspringt, und dem Fellibach, einem Zufluss der Reuss, der im Kanton Uri entspringt. Diese Gewässer repräsentieren eine weite Anzahl von alpinen Fließgewässern und zeichnen sich durch die klassischen Eigenschaften eines alpinen Fließgewässers aus. Jedoch unterscheiden sich beide Alpenbäche hinsichtlich ihrer geomorphologischen und hydrologischen Merkmale.

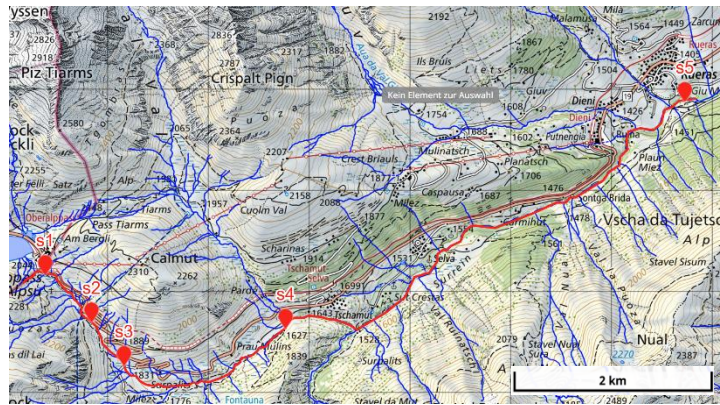
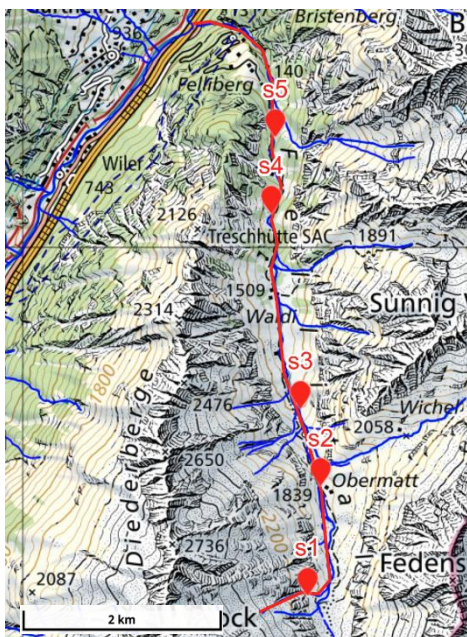


Abbildung 2: (Links) zeigt den Fellbach und seine fünf Sammelstellen s1–s5. Abbildung 3: (Rechts) zeigt den Vorderrhein und seine fünf Sammelstellen. (Karten gemacht mit map.geo.admin.ch)

Im Vorderrhein wurden insgesamt fünf Sammelstellen entlang eines Höhenprofils eingerichtet, die sich von hochgelegenen bis hin zu tiefgelegenen Lagen erstrecken. Die Höhen der einzelnen Sammelstellen s1–s5 lagen zwischen 1360 m und 2047 m ü. M. An jeder Sammelstelle wurden vier Emergenz-Fallen aufgestellt, die über dem Wasser befestigt waren und jeweils 1 m² abdeckten. Auch im Fellbach wurden fünf Sammelstellen s1–s5 ausgewählt, die ein vergleichbares Höhenintervall abdeckten, 1170 m bis 2022 m ü. M.

Es wurden zwar weitere Fallen in anderen Alpenbächen ausgesetzt; diese werden zur Analyse der Phänologie jedoch nicht verwendet, weil die Daten unvollständig sind und daher nicht brauchbar sind.

Durch diese Anordnung von insgesamt zehn Sammelstellen mit je vier Fallen (insgesamt 40 Fallen, jeweils 1 m²) war es möglich, die räumliche Variation der Insekten innerhalb der Gewässer und entlang des Höhengradienten differenziert zu erfassen. Die Auswahl der Standorte erfolgt so, dass verschiedene Höhenlagen sowie unterschiedliche Strömungs- und Beschattungsgebiete repräsentiert werden, damit ein möglichst umfassendes Bild der phänologischen Unterschiede erhalten wird.



Abbildung 4: zeigt *Baetis*, eine Gattung der Familie *Baetidae*. (Bildquelle: <https://www.flyfisherman.com/editorial/springs-first-mayfly-baetis/152528>)

2.2 Untersuchungsobjekt

Im Zentrum der Untersuchung standen Vertreter der Ordnung Ephemeroptera (Eintagsfliegen) (Abb. 4), da sie aufgrund ihrer kurzen Lebenszeit als ausgewachsene Fliegen (Stunden bis wenige Tage), ihrer klaren Entwicklungsphasen und ihrer Vielfalt in europäischen Fließgewässern geeignete Kandidaten sind (Sartori & Brittain, 2015). Die Nymphen der Eintagsfliegen leben benthisch (auf dem Boden von Gewässervorkommen), während die Erwachsenen nur wenige Tage nach der Metamorphose leben (Brittain, 1982). Die Nahrung und die Emergenz von Ephemeroptera sind stark temperaturabhängig (Hankel & Molineri, 2021; Scherr et al., 2010; Bonaccina et al., 2022) und eignen sich daher optimal zur Analyse der Phänologie und ihrer Beeinflussung durch den Klimawandel.

2.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt in Zusammenarbeit mit der EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz). Im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts wurden Emergenzfallen an den verschiedenen Sammelstellen auf der Oberfläche installiert, um schlüpfende Insekten vom April bis August zu erfassen.



Abbildung 5: (Links) zeigt einen der Emergenzfallen (Foto: Yorio Forster). Abbildung 6: (Rechts) zeigt den Autor beim Sammeln von Wasserinsektennymphen. (Foto: Giorgia Ercole)

Die Fallen waren pyramidenförmige Trichter mit einer Größe von $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$. Die Fliegen emergieren aus der Wasseroberfläche und werden über den Trichter in ein Gefäß geleitet. Allfällige Fliegen, die noch nicht ins Gefäß geflogen sind und noch am Netz der Pyramide saßen, wurden beim Leeren der Fallen mithilfe eines Schlauchs ins Gefäß gesaugt. Diese Fallen wurden regelmässig geleert. Dabei muss man erwähnen, dass Unregelmässigkeiten wetterbedingt auftreten können, da diese Fallen bei stürmischem Wetter – Juli 2025 – seltener ausgesetzt wurden. Der Zeitpunkt der Ausstellung der Fallen und des Einsammelns wurde dokumentiert und später bei der Auswertung berücksichtigt.

Nachdem die Fallen gelehrt wurden, hat man sie zurück ins Labor in Kastanienbaum (LU) gebracht und bei tiefen Temperaturen eingefroren. Später wurden die gesammelten Wasserinsekten gezählt, damit ihre Ordnung, Familie und, wenn möglich, auch ihre Spezies bestimmt werden konnten.

Zum besseren Verständnis der Wasserinsekten und der Fangmethoden der EAWAG habe ich eine Woche lang an der Sammlung mitgeholfen. Ich wurde eine Woche in Kastanienbaum untergebracht und bin vom 11. August 2025 bis zum 15. August 2025 täglich mit dem Forschungsteam an jene Alpenbäche gefahren. Nach dieser Woche blieben wir für allfällige Fragen in Kontakt und ich hatte die Möglichkeit, ein Interview mit Connor Morang, einem der PhD-Studenten, zu führen.

2.4 Datenauswertung

Die Daten wurden von der EAWAG für eine Auswertung und Analyse zur Verfügung gestellt. Die Daten umfassen sämtliche Vertreter verschiedener Ordnungen von Wasserinsekten, die verschiedenen Sammelstellen und deren Höhe über dem Meer, die Aussetzungs- und Sammelperioden der Fallen sowie die Umweltbedingungen (Strömung, Beschattung und Tiefe) der Fallen. Um ihre Bedeutung für die Emergenz zu zeigen, wurde noch eine Analyse der Emergenzen bei verschiedenen Strömungsintensitäten durchgeführt.

Anschliessend wurden die Daten nach den Monaten April, Mai, Juni, Juli und August ausgewertet. Die X-Achse zeigt die Monate April bis August auf und die Y-Achse zeigt, wie viele Fliegen pro Quadratmeter pro Tag gefangen wurden (n : Anzahl gesammelter Fliegen; A : die Fläche, welche die Fallen abdeckten, = 4 m²; d : Anzahl der Tage, an denen die Fallen ausgesetzt wurden; $n : A : d$). Dabei wurden vier verschiedene Graphen erstellt, die verschiedene Höhenabschnitte zeigen: 1000–1300 m ü. M., 1300-1600 m ü. M., 1600-1900m. ü. M. und 1900-2200 m ü. M..

Damit auch mit der Studie von Ritter (1990) verglichen werden konnte, wurden vom Fellibach und vom Vorderrhein zwei Graphen über 2000 m ü. M. gemacht, damit die Auswertung auch den Verhältnissen der Studie entspricht

3 Resultate

3.1 Übersicht

Zwischen April und August 2025 wurden in beiden alpinen Fliessgewässern, dem Vorderrhein (GR) und dem Fellibach (UR), insgesamt zehn Sammelstellen entlang eines ausgeprägten Höhengradientes untersucht. Pro Standort wurden vier Emergenzfallen installiert, die während der

gesamten Untersuchungsperiode betrieben wurden. Damit ergab sich eine Gesamtzahl von 40 Fallen, die eine umfassende Erfassung der emergierenden Insekten ermöglichten.

Die Sammelstellen verteilten sich auf Höhenlagen zwischen 1000 und 2200 m ü. M und deckten damit einen repräsentativen Ausschnitt der alpinen Fliessgewässer ab. Die Proben wurden regelmässig geleert, im Labor der EAWAG in Kastanienbaum (LU) bestimmt und dokumentiert.

Die erhobenen Daten umfassen sämtliche Vertreter der Ordnung Ephemeroptera sowie zwei ergänzende Kontrollauswertungen, in denen alle emergierenden Insekten – unabhängig von ihrer taxonomischen Zugehörigkeit – berücksichtigt wurden. Insgesamt konnten 84 Individuen der Ordnung Ephemeroptera erfasst werden.

Die erhobenen Daten erlauben einen fundierten Einblick in die Phänologie und die räumliche Verteilung der Ephemeroptera in alpinen Fliessgewässern. Entlang der untersuchten Gradienten zeigten sich deutliche Unterschiede in den Emergenzzeiten zwischen den verschiedenen Höhenstufen. Insgesamt liefern die Resultate eine wertvolle Grundlage, um räumliche und zeitliche Muster der Emergenz von Ephemeroptera zu charakterisieren und mögliche klimatische Einflüsse auf deren Entwicklung zu diskutieren

3.2 Räumliche Muster

Die Auswertung der Resultate zeigt einen klaren Zusammenhang zwischen der Höhenlage und dem Höhepunkt der Emergenz. In tief gelegenen Standorten setzte der Emergenzhöhepunkt deutlich früher ein als in höheren Abschnitten (1300-1900 m ü. M.): schon im Mai emergierten die ersten erwachsenen Eintagsfliegen, die Zahl stieg bis im Juni und sank im August wieder. Im Fellibach war auch eine frühere Emergenz in den tieferen Lagen erkennbar, jedoch nur unter 1500 m ü. M.. In den höheren Lagen (über 2000 m ü. M.) wurden hingegen erst im späten Juli die ersten erwachsenen Fliegen gefangen. Der Zusammenhang zwischen Höhenlage und Emergenzzeiten lässt sich durch diese Verschiebung deutlich erkennen.

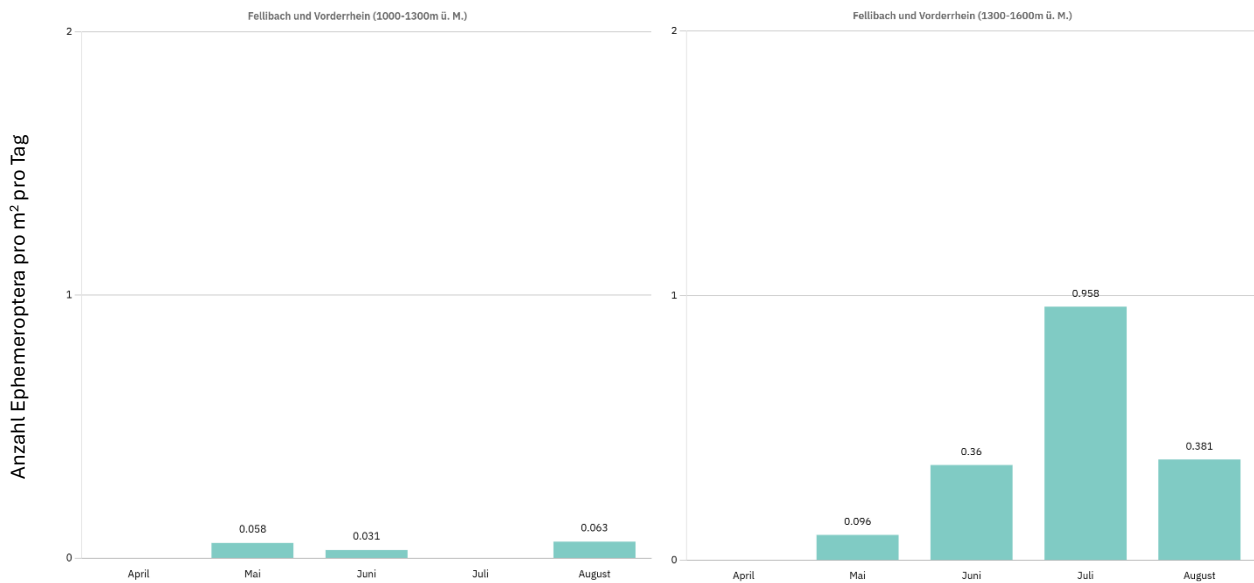


Abbildung 7: Graph 1 (Links) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1000-1300 m ü. M.. Graph 2 (Rechts) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1300-1600 m ü. M.. (eigene Darstellung)

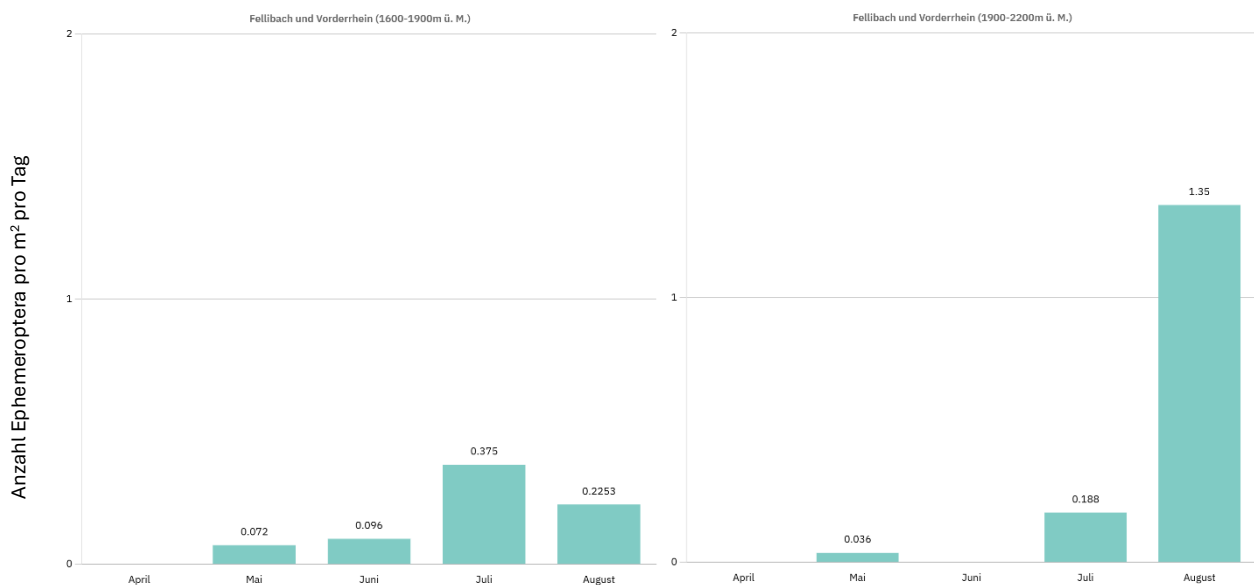


Abbildung 8: Graph 3 (Links) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1600-1900 m ü. M.. Graph 4 (Rechts) zeigt die Anzahl Gefangener Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag im jeweiligen Monat, im Höhenabschnitt 1900-2200 m ü. M.. (eigene Darstellung)

Ein Zusammenhang zwischen Höhenlage und der Gesamtzahl gesammelter Ephemeroptera im Laufe der Sammelperiode ist jedoch nicht erkennbar. Die Daten zeigen kein Muster, dass die Höhenlage einen Einfluss auf die Anzahl der Ephemeroptera hat. In den Höhenabschnitten 1300-1600 m ü. M. (Graph 2) und 1900-2200 m ü. M. (Graph 4) ist der Unterschied in der Gesamtzahl der Ephemeroptera von April bis August nur gering. In diesen Höhenabschnitten

wurden etwa 1,5–2 Ephemeroptera pro m² pro Tag gesammelt. In den Höhenabschnitten 1000–1300 m ü. M. (Graph 1) und 1600–1900 m ü. M. (Graph 3) ist die Anzahl gesammelter Ephemeroptera von April bis August deutlich geringer als in den Höhenabschnitten 1300–1600 m ü. M. und 1900–2200 m ü. M und liegt unter einem Ephemeroptera pro m² pro Tag.

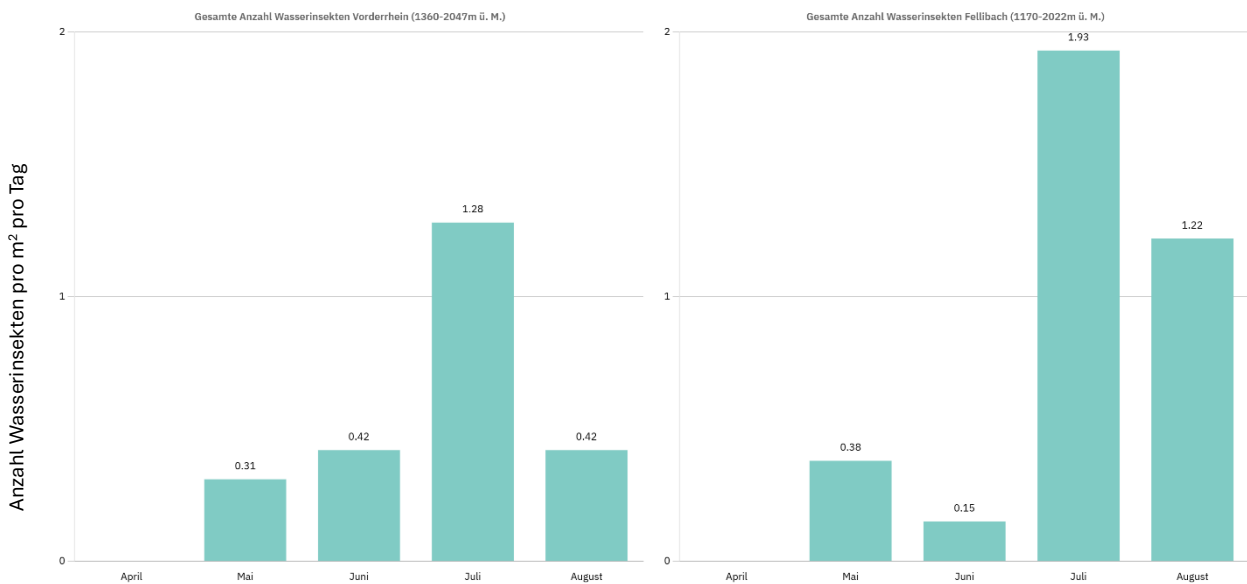


Abbildung 9: Die Grafiken 5 (Links) & 6 (Rechts) zeigen die Anzahl gefangener Wasserinsekten (unabhängig von der taxonomischen Ordnung) pro m² pro Tag (y-Achse) im jeweiligen Monat (x-Achse). Graph 5 beschreibt nur den Vorderrhein (1360–2047 m ü. M.) und Graph 6 nur den Fellibach (1170–2022 m ü. M.). (eigene Darstellung)

Vergleicht man die beiden untersuchten Gewässer, so zeigt sich, dass im Fellibach insgesamt eine grössere Zahl an Wasserinsekten (unabhängig von der taxonomischen Ordnung) erfasst wurde. Während des Emergenzpeaks lag die tägliche Fangrate pro m² im Fellibach (Graph 6) etwa 1,5-mal höher als im Vorderrhein (Graph 5). Besonders im August wurden im Fellibach bis zu dreimal so viele Insekten gefangen wie im Vorderrhein. Diese Differenz deutet darauf hin, dass die hydrologischen und klimatischen Bedingungen im Fellibach während des Untersuchungszeitraums günstiger für die Entwicklung der aquatischen Insekten waren.

3.3 Zeitliche Dynamik

Die zeitliche Verteilung der Emergenzaktivität zeigt in beiden Gewässern ein einheitliches Muster: Der Hauptemergenzzeitraum lag unterhalb von 2000 m ü. M. (Graph 1, Graph 2, Graph 3) deutlich im Juli. Dieser Zeitraum markiert die Phase der maximalen Aktivität adulter Eintagsfliegen. In den höher gelegenen Sammelstellen oberhalb von 2000 m ü. M. (Graph 4) verschob sich der Emergenzpeak in den August.

Während in den tiefen Lagen die Emergenz meist schon im Mai einsetzte, bis im Juli stieg und anschliessend abnahm, blieb sie in höheren Lagen lange aus, um anschliessend innerhalb weniger Wochen stark anzusteigen. Damit ergibt sich ein zeitlicher Versatz von wenigen Wochen bis zu einem Monat.

Die Analyse der Kontrollauswertung (Graph 5, Graph 6) – also aller emergierenden Insekten unabhängig von ihrer taxonomischen Ordnung – zeigt ein ähnliches Muster mit einem deutlichen Höhepunkt im Juli. Dies deutet darauf hin, dass die beobachtete Phänologie nicht nur eine Charakteristik der Ephemeroptera ist, sondern auch allgemeine alpine Wasserinsekten betrifft, die durch kurze Sommerperioden geprägt sind.

3.4 Vergleich mit Literaturdaten

Im Vergleich zu einer früheren Studie (Ritter, 1990) aus einem ähnlichen Fließgewässer (Stocktalbach, Tirol, Österreich) zeigen die vorliegenden Ergebnisse: Die Emergenz von Ephemeroptera verschiebt sich mit abnehmender Höhenlage und steigender Temperatur nach vorne.



Abbildung 10: Die Grafiken 7 (Links) und 8 (Rechts) zeigen die Anzahl gefangener Ephemeroptera pro m^2 und Tag über 2000 m ü.M. (y-Achse) im jeweiligen Monat (x-Achse). Graph 7 beschreibt nur den Fellibach und Graph 8 nur den Vorderrhein. Die Skalierung wurde den Graphen der Studien von Ritter angepasst, um einen besseren visuellen Vergleich zu ermöglichen. (eigene Darstellung)

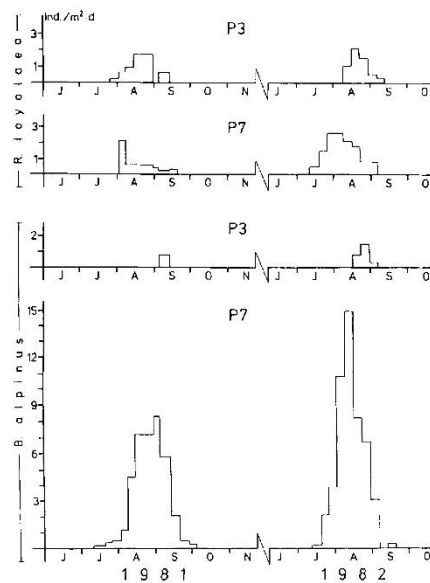


Fig. 3. Emergence during 1981 and 1982 in Stocktalbach: curve of abundance (individuals $m^{-2} day^{-1}$) of *B. alpinus* and *R. loyolaea* at P3 and P7.

Abbildung 11: Graph 9 ist ein Graph aus der Studie von Ritter (Ritter; 1990). Es zeigt die Anzahl *Baetis alpinus* (Familie: Baetidae) pro m^2 pro Tag im Stocktalbach.

Die Sammelstellen P3 (2385 m ü. M.) und P7 (2260 m ü. M.) im Stocktalbach liegen höher als die im Fellibach-s1 (2022 m ü. M.) (Graph 7) und im Vorderrhein-s1 (2047 m ü. M.) (Graph 8). Im Jahr 1981 zeigten die Sammelstellen P3 und P7 (Graph 9) ihren Emergenzpeak im frühen September, und im Jahr 1982 verschob sich dieser auf den späten August.

Ein deutlicher Unterschied zwischen den selbst erhobenen Daten und den Daten der Studie besteht in der höheren Population der gesammelten Ephemeroptera im Stocktalbach. Während die Populationen im Stocktalbach im P7, während des Emergenzpeaks, fast auf eine zweistellige Anzahl Fliegen pro m^2 pro Tag liegen, erreichen die Populationszahlen vom Fellibach-s1 und vom Vorderrhein-s1 kaum ganze Zahlen.

3.5 Besonderheiten

Der Graph 6 zeigt, dass der Fellibach im Juni, verglichen zum Vorderrhein und zu seinem Emergenzhöhepunkt, einen Tiefpunkt an emergierenden Wasserfliegen aufwies. In allen

anderen Graphen, bis auf Graph 1 und 3, sieht man vom Mai aus einen Trend nach oben bis zum jeweiligen Emergenzpeak. Die Auswertung aller Wasserinsekten im Fellibach zeigt jedoch im Juni eine starke Minderung der Fangzahlen, die im Juli dementsprechend umso höher ausfallen.

Der Höhenabschnitt 1000 – 1300 m ü. M. (Graph 1) weicht stark vom normal zu sehenden Trend ab. Nicht nur sind die Emergenzzahlen erstaunlich tief, sondern auch der Emergenzhöhepunkt liegt im August, was sonst unter 2000 m ü. M. im Juli liegt. Auf Graph 1 ist zu sehen, dass die Emergenz im Mai nur leicht beginnt und im Juni wieder sinkt. Im Juli sind keine dokumentierten Emergenzen aufgewiesen und im August steigen die Fangzahlen wieder leicht. Die Daten aus dem Abschnitt 1000 - 1300 m ü. M. deuten auf mögliche Unregelmässigkeiten bei der Sammlung hin.

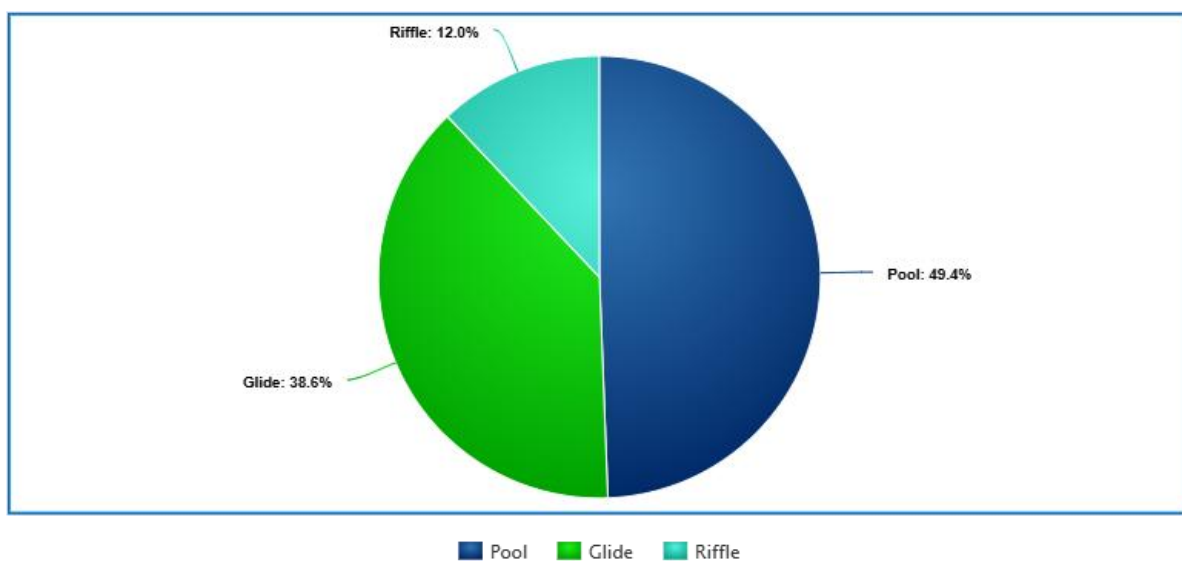


Abbildung 12: Graph 10 zeigt die Anzahl der Ephemeroptera im Fellibach und im Vorderrhein pro m² pro Tag, die bei unterschiedlichen Strömungsintensitäten gefangen wurden.

Um graphisch darzustellen, wie die Strömung die Emergenzzahlen beeinflussen kann, wurde zudem ein Kreisdiagramm erstellt, das das Verhältnis der Emergenzen bei verschiedenen Strömungsintensitäten zeigt. Auf Graph 10 ist zu sehen, dass etwa die Hälfte (49 %) der emergierenden Ephemeroptera bei geringer Strömung (Pool) emergierte. 39% der gefangenen Ephemeroptera emergierten bei einer vorschnellten Strömung (Glide) und nur 12% bei einer starken Strömung (Riffle). Das heisst, dass bei geringer Strömung etwa 1,25-mal mehr Emergenzen als

bei einer vorschnellten Strömung stattfinden und ungefähr 4-mal mehr Emergenzen als bei einer starken Strömung stattfinden.

3.6 Zusammenfassung der wichtigsten Ereignisse

Die Emergenzen zeigen, bis auf wenige Unregelmässigkeiten, eine klare Verschiebung in den späteren Sommer entlang des Höhengradienten. Der Emergenzhöhepunkt liegt im Juni unter 2000 Höhenmetern, im August über 2000 Höhenmetern. Beim Vergleich mit älteren Forschungen (Ritter, 1990) wurde eine Vorverschiebung von etwa einem Monat nach vorne gemessen. Auffällig war die geringere Insektenpopulation in den geforschten Alpenbächen im Jahr 2025, im Vergleich zur Studie von Ritter aus den Jahren 1981 und 1982.

4 Diskussion

4.1 Kurze Einordnung der Resultate

Die Resultate zeigen, dass die Höhenlage einen grossen Einfluss auf die Emergenzzeit hat. Während die Emergenz in wärmeren, tieferen Lagen schon im Mai beginnt und bis Juli an ihren Höhepunkt steigt, bleibt die Emergenz der Ephemeroptera in Lagen über 2000 m während der Sommermonate relativ gering, bis sie im August stark in die Höhe schiesst.

4.2 Einfluss der Temperatur und der Höhenlage

Die Wassertemperatur ist einer der zentralen Umweltfaktoren, die sowohl die physiologischen Prozesse als auch die Entwicklungsdauer aquatischer Insekten beeinflussen. Bereits geringe Temperaturveränderungen können den Stoffwechsel, die Nahrungsaufnahme und die Gesamte Entwicklungsdynamik deutlich beeinflussen (Bonacina et al., 2023). Eine häufig zitierte Studie (Scherr et al., 2010) zeigt, dass erhöhte Temperaturen nicht nur das Wachstum beschleunigen, sondern auch morphologische Parameter sowie Verhaltensmuster beeinflussen. Speziell bei der Familie *Heptageniidae* (Ordnung Ephemeroptera) wurde unter experimentell erhöhten Temperaturen (ca. 28 °C) eine deutlich höhere Wachstumsrate nachgewiesen. Gleichzeitig verringerte sich das Verhältnis von Kopfkapselbreite zu Körperlänge oder die allgemeine Körpergrösse

(Scherr et al., 2010; Gutiérrez-Fonseca & Ramírez, 2020) (Interview mit Connor Morang, persönliche Kommunikation, 23.09.25, Z. 99-101). Bei zu hohen Temperaturen können die Eintagsfliegen auch unter Hitzestress leiden, was die Mortalität deutlich erhöht. Forschungen zeigen, dass 50% der untersuchten Eintagsfliegen (in diesem Fall *Stenonema tripunctatum*) bei 25,5 °C nach 96 Stunden sterben (Chou et al., 2020; Nebeker et al., 1968). Es gibt auch eine generelle Vermutung, dass die PUFA-Konzentration, die Nährstoffe, welche die Ephemeroptera so wertvoll für Prädatoren machen, bei steigenden Temperaturen abnimmt (Interview mit Connor Morang, persönliche Kommunikation, 23.09.25, Z. 94-96). Dies könnte mögliche Zusammenhänge mit Hitzestress haben.

In höher gelegenen Gewässern sind die mittleren Jahrestemperaturen aufgrund niedrigerer Lufttemperaturen deutlich geringer. Dies führt zu einem verlangsamten Stoffwechsel (Sweeney, 1978) und damit zu geringeren Wachstumsraten der Nymphen. Die Entwicklungszeit verlängert sich, wodurch sich auch der Zeitpunkt der Emergenz nach hinten verschiebt. Unsere Ergebnisse bestätigen dieses bekannte Muster: In den tiefer gelegenen Untersuchungsgebieten mit höheren Wassertemperaturen wurde der Emergenzhöhepunkt mehrere Wochen früher erreicht als an den hochgelegenen Standorten.

Auch andere Quellen belegen Veränderungen in Morphologie und Diversität in höheren Lagen (Rendoll-Cárcamo et al., 2023; Pohe et al., 2024).

An den tiefer gelegenen Standorten nehmen die Emergenzzahlen im August wieder deutlich ab, obwohl die Wassertemperaturen im August durchschnittlich höher waren als im Juni (Statista, 2025). Dieser Rückgang ist darauf zurückzuführen, dass der überwiegende Teil der Individuen bereits im Juli geschlüpft ist. Die höheren Temperaturen in tieferen Lagen führen zu einer beschleunigten Nymphenentwicklung (Bonacina et al., 2023), wodurch die Emergenz früher im Jahr stattfindet. Folglich wird ein grosser Anteil der Kohorte bereits im Juli abgeschlossen, so dass im August nur noch wenige Individuen zur Emergenz verbleiben.

4.3 Bedeutung standortsspezifischer Umweltbedingungen

Neben der Temperatur spielen auch standortsspezifische Umweltbedingungen eine zentrale Rolle für die Entwicklung und die Emergenz aquatischer Insekten. Hydrologische Prozesse und geomorphologische Eigenschaften eines Baches beeinflussen die Habitatqualität direkt. Die

insgesamt höhere Anzahl an Wasserinsekten im Fellibach lässt darauf schliessen, dass die Habitatbedingungen im Jahr 2025 dort, bis auf wenige Ausnahmen, für viele Wasserinsektenarten günstiger sind als im Vorderrhein.

Die Analyse der Emergenzen bei verschiedenen Strömungsintensitäten zeigt, dass etwa 1,25-mal mehr Emergenzen bei geringer Strömung stattfanden als bei schneller Strömung und 4-mal mehr als bei starker Strömung. Daraus kann man schliessen, dass niedrigere Strömungsintensitäten ein günstigeres Umfeld bieten, in dem sich Nymphen besser entwickeln können.

Im Jahr 2025 wurde im Fellibach eine ungewöhnlich geringe Zahl an emergierten Individuen registriert. Dieser Monat war schweizweit geprägt von überdurchschnittlich hohen Temperaturen und geringen Niederschlagsmengen im Vergleich zur Referenzperiode 1991-2020 (MeteoSchweiz, 2025). Solche klimatischen Extremereignisse können die hydrologische Stabilität kleiner Gebirgsbäche erheblich beeinträchtigen. Aufgrund des steileren Gefälles ist der Fellibach stärker auf kontinuierliche Niederschläge und weitere Zuflüsse angewiesen. Bei ausbleibender Wasserzufuhr sinkt der Wasserstand schnell, was die verfügbaren Mikrohabitate reduziert. Ein niedriger Wasserstand kann Entwicklungszyklen von Wasserinsekten unterbrechen (Walters & Post, 2011), die Nahrungs- und Platzverfügbarkeit verringern und Nymphen höheren thermischen Stress aussetzen. Entsprechend ist es plausibel, dass die extremen Bedingungen im Juni 2025 die Entwicklung vieler Nymphenstadien beeinträchtigt und zu einer reduzierten Emergenz geführt haben. Dadurch, dass im Juni kaum Emergenzen auftraten, verlagerte sich der saisonale Höhepunkt nach hinten und trat im Juli entsprechend verstärkt auf.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Wetterbedingung. Schlechtes Wetter – insbesondere anhaltende Niederschläge, starke Winde und abrupte Temperaturabfälle – kann die Aktivität emergierender Wasserinsekten unmittelbar beeinflussen. Während starken Regens sinken die Emergenzzahlen, da hohe Luftfeuchtigkeit das Tröcknen der Flügel erschwert und Regen das Fliegen erschwert (Neuswanger, o. D.-b). Zusätzlich können starke Niederschläge die Wasseroberfläche turbulenter machen, was den Schlupf erschwert. Auch Überflutungen beeinflussen die Populationsdichte von Eintagsfliegen. Nach zwei grossen Hochwasserereignissen wurde in einer Studie ein Rückgang der Ephemeroptera-Populationsdichte von über 97% festgestellt, was den starken Effekt hydrologischer Extremereignisse auf die Überlebensrate von Nymphen zeigt (Pupilli et al., 2003).

4.4 Vergleich mit Literaturdaten

Die höher gelegenen Sammelstellen P3 (2385 m ü. M.) und P7 (2260 m ü. M.), aus der Studie von Ritter (1990), liegen höher als die Standorte Fellibach-s1 (2022 m ü. M.) und Vorderrheins1 (2047 m ü. M.). Aufgrund der niedrigeren Temperaturen in diesen Höhenlagen ist zu erwarten, dass die Phänologie zeitlich leicht nach hinten verschoben ist. Zwischen den Sammelstellen im Stocktalbach und denen im Fellibach bzw. Vorderrhein weist Höhenunterschiede von mindestens 200 m auf, die in unseren Daten mit einer Verschiebung um etwa einen Monat einhergehen. Diese Beobachtung deckt sich mit Erwartungen im Zusammenhang mit klimabedingten Temperaturanstiegen, die eine Vorverschiebung der Emergenzphänologie um etwa zwei Wochen plausibel erscheinen lassen, ab.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von Ritter (1990) zeigt deutliche Unterschiede in der Anzahl gefangener Ephemeroptera. Während im Stocktalbach deutlich höhere Fangzahlen erzielt wurden, entsprechen unsere Resultate eher jenen der Sammelstelle P3 als denen von P7 – obwohl P7 hinsichtlich der Höhenlage besser mit unseren Standorten vergleichbar wäre. Für diese Diskrepanz kommen mehrere potenzielle Erklärungsansätze in Frage.

So ist beispielsweise unklar, ob in der Studie von Ritter unterschiedliche Strömungsintensitäten berücksichtigt wurden. Sollten die Fallen ausschliesslich in Bereichen geringer Strömung ausgesetzt worden sein, könnte dies die höheren Fangzahlen erklären, da unsere Daten zeigen, dass die Emergenz in solchen Habitaten mindestens 1,25-mal höher ausfällt.

Umgekehrt ist es auch möglich, dass Ritter (1990) aufgrund des deutlich grösseren Fallen-Einzugsbereichs – acht Fallen mit je 693 m² statt vier Fallen mit je 1 m² – eine wesentlich grössere Vielfalt an Mikrohabitaten hat, was zu den höheren Fangzahlen beigetragen haben könnte.

Zudem ist in den vergangenen Jahrzehnten weltweit ein deutlicher Rückgang der Insektenpopulation beobachtet worden. Auch in der Schweiz wird dieser Trend beobachtet, wobei insbesondere die zunehmende Verbauung von Lebensräumen sowie die Verschlechterung der Wasserqualität in Fliessgewässern zu den Hauptursachen zählen (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2019).

4.5 Methodische Überlegungen und Limitationen

Wie in allen Feldstudien sind auch die vorliegenden Resultate von bestimmten methodischen Einschränkungen geprägt. Einerseits beschränkt sich die Untersuchung auf eine kurze

Erhebungsperiode (April-August 2025), wodurch mögliche Spätemergenzen ausserhalb dieses Zeitfensters nicht erfasst wurden. Eine längere Beobachtungsdauer über mehrere Jahre wäre notwendig, um Schwankungen in verschiedenen Jahren sowie klimatische Anomalien besser erfassen zu können.

Auch die Konstruktion und die Platzierung der Fallen können die Ergebnisse beeinflussen. Die vier Fallen pro Sammelstelle deckten zwar verschiedene Mikrohabitate ab, erfassen jedoch nur einen Bruchteil der tatsächlichen Ermergenzfläche des Gewässers. Zudem können Strömungsdynamik und Vegetationsdichte die Fangleistung der Fallen beeinflussen.

Die taxonomische Erfassung beschränkte sich in dieser Arbeit auf die Ordnungsebene der Ephemeroptera. Eine spezifische Unterscheidung der Fliegen hätte möglicherweise Unterschiede in der Phänologie zwischen verschiedenen Gattungen (z.B. *Baetis*, *Rhithrogena*, *Heptagenia*) aufgezeigt.

Ein weiterhin limitierender Faktor sind die Wetterbedingungen während der Erhebungsperiode. Die technische Erfassung kann unter schlechtem Wetter beeinträchtigt werden. Hohe Abflüsse können Material beschädigen oder Fangtrichter mit Treibgut verstopfen, was die Nachweiswahrscheinlichkeit verringert. Zudem erschwert schlechtes Wetter die regelmässige Kontrolle und Leerung der Fallen, was zu Verlusten oder zur Zersetzung der Proben führen kann.

Während der Sammelzeit wurden in den Fallen gelegentlich Raubtiere beobachtet. Spinnen konnten vereinzelt in den Fallen beobachtet werden. Prädation innerhalb der Fallen kann zu Verlusten an emergierten Individuen führen und dadurch die Genauigkeit der Fangzahlen beeinträchtigen. Dies stellt zusätzliche Limitationen dar, da einzelne Fälle möglicherweise weniger adulten Fliegen aufzeichnen, wenn diese von Raubtieren gefressen oder durch deren Aktivitäten beschädigt werden.

Trotz dieser Limitationen liefern die vorliegenden Daten eine solide Basis für weiterführende Analysen und zeigen, dass bereits vergleichsweise kurze Untersuchungen wertvolle Erkenntnisse über die Funktionsweise alpiner Ökosysteme liefern können.

4.6 Interpretation Klimawandel

Der Klimawandel beeinflusst die Phänologie der Ephemeroptera und vieler weiterer aquatischer Insektenarten, insbesondere durch steigende Wassertemperaturen. Höhere Temperaturen

beschleunigen den Stoffwechsel der Nymphen, verkürzen die Entwicklungsdauer und verschieben die Emergenzzeitpunkte vor (Bonacina et al., 2023).

Neben der direkten Wirkung auf die Entwicklungszeiten können steigende Wassertemperaturen die gesamte aquatische Dynamik verändern: Veränderungen in der Nahrungsverfügbarkeit, Sauerstoffmangel und Wasserstands-Schwankungen wirken sich auch direkt auf das Nymphenwachstum und den Emergenzzeitpunkt aus. Ein früheres Emergenzpeak kann zudem die trophischen Interaktionen beeinflussen, indem Räuber, die auf Wasserinsekten angewiesen sind, zeitlich verschobene Nahrungsangebote finden. Dies kann Kaskadeneffekte im Nahrungsnetz auslösen, die von der Population der emergierenden Arten bis hin zu terrestrischen Räubern reichen.

4.7 Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse liefern wertvolle Einblicke in die Phänologie der Ephemeroptera sowie in deren Reaktion auf Umweltfaktoren wie Temperatur und hydrologische Bedingungen. Dennoch zeigen die Limitationen der Studie, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind, um langfristige Trends und klimabedingte Verschiebungen der Emergenz zuverlässig zu quantifizieren.

Zukünftige Forschungen sollten insbesondere mehrjährige Beobachtungsteilräume umfassen, um Schwankungen über mehrere Jahre hinweg sowie in Extremjahren besser erfassen zu können. Dabei wäre eine detailliertere taxonomische Auflösung auf Familien- oder Gattungsebene sinnvoll, um artspezifische Anpassungsstrategien, Entwicklungszeiten und Habitatpräferenzen zu identifizieren.

Die Entwicklung vom Ei zu einem geschlechtsreifen Tier ist bei den Ephemeroptera stark von der Temperatur abhängig. Viele Quellen belegen, dass höhere Wassertemperaturen zu einer beschleunigten Nymphenentwicklung führen und die Emergenz entsprechend früher im Jahr stattfinden lässt. (Bonacina et al., 2023). Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten bestätigen diesen Zusammenhang und zeigen, dass der Klimawandel mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Vorverlagerung der phänologischen Ereignisse verursacht. Dies wird auch von Experten beobachtet und erwartet. (Interview mit Connor Morang, persönliche Kommunikation, 23.09.25, Z. 67-69).

Eine solche Verschiebung kann weitreichende ökologische Folgen haben. Besonders kritisch sind mögliche Störungen trophischer Interaktionen. Wenn sich die Emergenzzeitpunkte aufgrund steigender Temperaturen verändern, während andere Organismengruppen – etwa Prädatoren oder Konsumenten am Ufer – ihre Aktivitätsperioden nicht in gleicher Weise anpassen können, entstehen zeitliche Fehlanpassungen in der Phänologie (Shipley et al., 2022; Twining et al., 2022). Solche Zeitversetzungen können die Nahrungsverfügbarkeit für Insektenfresser reduzieren und damit die Fitness der betroffenen Arten beeinträchtigen. Dies kann auch indirekte Auswirkungen auf die tieferen Ebenen der Nahrungsketten haben. Ein bekanntes Beispiel stammt aus dem Yellowstone-Nationalpark (Ferrari, 2025): Werden die Prädatoren auf höherem Trophieniveau beeinträchtigt, können sich Herbivoren auf tieferem Trophieniveau ungehindert vermehren. Dies kann grosse Auswirkungen auf die Faunabiodiversität haben. Die Biodiversität ist zentral für das Funktionieren natürlicher Systeme, auf die die Menschheit direkt oder indirekt angewiesen ist. Von der Produktion unserer Nahrung über die Qualität von Wasser und Luft bis hin zur Regulierung des Klimas – Biodiversität trägt wesentlich zur Aufrechterhaltung lebenswichtiger ökologischer Prozesse bei (WWF, 2024).

Literaturverzeichnis

- Alther, R., Thompson, C., Lods-Crozet, B., Robinson, C., Department of Aquatic Ecology, Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, and the Institute of Integrative Biology, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, Department of Environmental Sciences, Western Wyoming Community College, Rock Springs, Wyoming, USA, Institute of Evolutionary Biology and Environmental Studies, University of Zurich, Zurich, Switzerland & Musée cantonal de Zoologie, Place de la Riponne 6, 1014 Lausanne, Switzerland. (o. D.). Macroinvertebrate Diversity and Rarity in Non-Glacial Alpine Streams. In *Biodiversity in Alpine Streams* [Journal-article].
- Blackford, J. (2025, 13. Januar). 35 Fakten über alpine Ökosysteme - Facts.net. *Facts.net*. <https://de.facts.net/wissenschaft/geographie/35-fakten-ueber-alpine-oekosysteme/#:~:text=Die%20Vegetationsperiode%20ist%20extrem%20kurz.%20In%20alpinen%20Regionen,und%20fr%C3%BCh%20wieder%20f%C3%A4hlt.%20Pflanzen%20haben%20spezielle%20Anpassungen>.
- Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., Fornaroli, R. & Department of Earth and Environmental Sciences (DISAT), University of Milano-Bicocca. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. In *Biological Reviews* (Bd. 98, S. 191–221). John Wiley & Sons Ltd on behalf of Cambridge Philosophical Society. <https://doi.org/10.1111/brv.12903>
- Brittain, J. E. (1982). BIOLOGY OF MAYFLIES. In *Ann. Rev. Entomol.* (S. 119–147).
- Chou, H., Jima, D. D., Funk, D. H., Jackson, J. K., Sweeney, B. W. & Buchwalter, D. B. (2020). Transcriptomic and life history responses of the mayfly *Neocloeon triangulifer* to chronic diel thermal challenge. *Scientific Reports*, 10(1), 19119. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75064-y>
- Duden.de. (2025, 14. Juni). *Metamorphose*. Duden. <https://www.duden.de/node/96330/revision/1326579>
- Duden.de. (2025, 14. Juni). *Phänologie*. Duden. <https://www.duden.de/node/110980/revision/1351956>

- Durance, I. & Ormerod, S. J. (2007). Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, 13(5), 942–957. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x>
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. (2019). *Das Insektensterben stoppen – eine Auslegeordnung zuhanden der UREK-N: Ursachen, Handlungsbedarf, Massnahmen*.
- Ercole, G., Marino, A., Fenoglio, S. & Bo, T. (2024). Ephoron virgo (Olivier, 1791) anticipates emergence in a warming world: some evidence from non-specialist observations and a case study from Northwest Italy. *Aquatic Insects*, 45(4), 486–492. <https://doi.org/10.1080/01650424.2024.2337644>
- European Environment Agency (2016, 21. Juni) Europe’s mountains: rich in biodiversity but increasingly vulnerable. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/highlights/europe2019s-mountains-rich-in-biodiversity?utm>
- Ferrari, O. (2025, 25. Februar). Reintroducing wolves to Yellowstone helped entire ecosystem thrive, 20-year study finds. *Live Science*. <https://www.livescience.com/animals/land-mammals/reintroducing-wolves-to-yellowstone-helped-entire-ecosystem-thrive-20-year-study-finds>
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. & Ramírez, A. (2020). Mayfly emergence production and body length response to hydrology in a tropical lowland stream. *PeerJ*, 8, e9883. <https://doi.org/10.7717/peerj.9883>
- Hankel, G. E. & Molineri, C. (2021). Growth rates of mayflies (Ephemeroptera) reared in the field differed under contrasting temperatures. *Austral Entomology*, 60(3), 578–587. <https://doi.org/10.1111/aen.12550>
- Harper, M. P., III & Peckarsky, B. L. (2006). EMERGENCE CUES OF a MAYFLY IN a HIGH-ALTITUDE STREAM ECOSYSTEM: POTENTIAL RESPONSE TO CLIMATE CHANGE. In Ecological Society of America, *Ecological Applications* (Bd. 16, Nummer 2, S. 612–621).
- Khaliq, I., Rixen, C., Zellweger, F., Graham, C. H., Gossner, M. M., McFadden, I. R., Antão, L., Brodersen, J., Ghosh, S., Pomati, F., Seehausen, O., Roth, T., Sattler, T., Supp, S. R., Riaz, M., Zimmermann, N. E., Matthews, B. & Narwani, A. (2024). Warming underpins

- community turnover in temperate freshwater and terrestrial communities. *Nature Communications*, 15(1), 1921. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46282-z>
- Kusma, S. (2024, 22 Januar) Alpine plants under climate change: gaps in the transnational. Swiss Federal Research Institute WSL. <https://www.wsl.ch/en/news/alpine-plants-under-climate-change-gaps-in-the-transnational-mosaic-of-protected-areas/?utm>
- Menetrey, N., Oertli, B., Sartori, M., Wagner, A. & Lachavanne, J. B. (2007). Eutrophication: are mayflies (Ephemeroptera) good bioindicators for ponds? *Hydrobiologia*, 597(1), 125–135. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9223-x>
- MeteoSchweiz. (2025). Klimabulletin Juli 2025. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/publikationen/berichte-und-bulletins/climate-bulletins/klimabulletin-2025-7.html>
- MeteoSchweiz. (o. D.). Klimawandel. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel.html>
- Nebeker, A. V., Jr., Lemke, A. E., National Water Quality Laboratory & Federal Water Pollution Control Administration. (1968). Preliminary Studies on the Tolerance of Aquatic Insects to Heated Waters. In *Journal Of Kansas Entomological Society* (Bd. 41, Nummer 3, S. 413–418).
- Neuswanger, J. (o. D.-b). *Hatch Time of Day*. <https://www.troutnut.com/article/34/61/hatch-time-of-day?>
- Nymphe oder Larve ?* (o. D.). <https://darkness-lizards.com/blog/nymphe-oder-larve/>
- Pohe, S. R., Winterbourn, M. J. & Harding, J. S. (2024). Species Richness and Similarity of New Zealand Mayfly Communities (Ephemeroptera) Decline with Increasing Latitude and Altitude. *Insects*, 15(10), 757. <https://doi.org/10.3390/insects15100757>
- Pupilli, E., Puig, M. A. & Centre d'Estudis Avançats de Blanes. (2003). Effects of a major flood on the mayfly and stonefly populations in a Mediterranean stream (Matarranya Stream, Ebro River basin, North East of Spain). In University of Perugia, *Research Update On Ephemeroptera & Plecoptera*.
- Rendoll-Cárcamo, J., Gañán, M., Madriz, R. I., Convey, P. & Contador, T. (2023). Wing reduction and body size variation along a steep elevation gradient: a case study with

- Magellanic sub-Antarctic mayflies and stoneflies. *Frontiers in Ecology And Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1188889>
- Ritter, H. (1990). Ephemeroptera Emergence from a High Mountain Stream in Tyrol, Austria. In *Mayflies and Stoneflies: Life Histories and Biology* (S. 53–59). https://doi.org/10.1007/978-94-009-2397-3_7
- Sartori, M. & Brittain, J. E. (2015). Order Ephemeroptera. In Thorp, J. & Rogers, D.C. (Hrsg.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (S. 873–891). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00034-6>
- Scherr, M. A., Wooster, D. E. & Rao, S. (2010). Effects of Temperature on Growth Rate and Behavior of *Epeorus albertae* (Ephemeroptera: Heptageniidae) Nymphs. *Environmental Entomology*, 39(6), 2017–2024. <https://doi.org/10.1603/en09247>
- Shipley, J. R., Twining, C. W., Mathieu-Resuge, M., Parmar, T. P., Kainz, M., Martin-Creuzburg, D., Weber, C., Winkler, D. W., Graham, C. H. & Matthews, B. (2022). Climate change shifts the timing of nutritional flux from aquatic insects. *Current Biology*, 32(6), 1342-1349.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.01.057>
- Statista. (2025, 8. September). *Temperatur in der Schweiz nach Monaten bis August 2025*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/955376/umfrage/temperatur-in-der-schweiz-nach-monaten/#:~:text=Im%20August%202025%20betrug%20die%20Temperatur%20in%20der,und%20die%20verschiedenen%20H%C3%B6henlagen%20der%20Schweiz%20gemessene%20Temperatur.>
- Sweeney, B. W. (1978). Bioenergetic and developmental response of a mayfly to thermal variation 1. *Limnology And Oceanography*, 23(3), 461–477. <https://doi.org/10.4319/lo.1978.23.3.0461>
- Twining, C. W., Brenna, J. T., Lawrence, P., Winkler, D. W., Flecker, A. S. & Hairston, N. G. (2019). Aquatic and terrestrial resources are not nutritionally reciprocal for consumers. *Functional Ecology*, 33(10), 2042–2052. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13401>
- Twining, C. W., Shipley, J. R. & Matthews, B. (2022). Climate change creates nutritional phenological mismatches. *Trends in Ecology & Evolution*, 37(9), 736–739. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.06.009>
- Walters, A. W. & Post, D. M. (2011). How low can you go? Impacts of a low-flow disturbance on aquatic insect communities. In Ecological Society of America & Wiley, *Ecological*

Applications (Bde. 21–21, Nummer 1, S. 163–174). Wiley on behalf of the Ecological Society of America. <https://www.jstor.org/stable/29779644>

WWF. (2024). *WWF LIVING PLANET REPORT 2024*.

Eigenständigkeitserklärung

Eigenständigkeitserklärung

«Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Alle wörtlichen und sinngemässen Übernahmen aus anderen Werken habe ich als solche kenntlich gemacht und korrekt zitiert. Ich bestätige zudem, dass persönliche Aussagen der in der Maturaarbeit zitierten Personen mit deren Einverständnis erfolgt sind und dass sie davon Kenntnis genommen haben, dass eine Möglichkeit zur Einsichtnahme in die Maturaarbeit besteht. Bilder, Texte und Programme, die mithilfe von KI-Tools generiert wurden, habe ich als solche gekennzeichnet und dokumentiert, inklusive des verwendeten Programms, der Programmversion, des Prompts und der Einstellungen.

Ich nehme ausserdem zur Kenntnis, dass meine Arbeit zur Überprüfung der korrekten und vollständigen Angabe der Quellen mithilfe einer Software (Plagiatserkennungstool) geprüft wird.»

Datum

03.12.25

Unterschrift

Yorio Forster

Arbeitsjournal

26.02.2025

Erste Besprechung, Einführung und Erklärung, erste Fragen werden beantwortet.

Inhalt: Tipps und Tricks, um die Übersicht über die Quellen und die Arbeit nicht zu verlieren. Richtlinien für die Maturarbeit und eine allgemeine Erklärung, was Herr Tschärner von uns erwartet.

18.04.2025

Erste Recherchen zum Thema.

Ich suche Projekte, an denen ich mitmachen könnte, um praktische Erfahrungen zu sammeln. Ich lese mich ein in die allgemeine Biodiversität der Schweiz und ihre Herausforderungen

06.05.25

Erste offizielle Besprechung mit Herr Tschärner

Inhalt: Thema genauer definieren, Überlegungen zur praktischen Arbeit machen.

03.06.2025

Projekt gefunden an dem ich teilnehmen kann (Ernährungsphänologie im Zusammenhang mit Klimawandel: Projektleiterin Dr. Cornelia Twining)

15.06.2025

Projektleiterin (Dr. Cornelia Twining) angeschrieben, um Erlaubnis zum Mitmachen zu bitten.

Rückmeldung positiv, Zoom-Meeting am 26.06.2025 vereinbart

26.06.2025

Zoom-Meeting mit Dr. Cornelia Twining

Besprochen: Wann und wo ich an Ihrem Projekt mitmachen darf. Worum es geht.

14.07.2025

Eingelesen in den Dokumenten von Dr. Cornelia Twining und Herr Simon Tschärner.

25.07.2025

Weiter eingelesen in den Dokumenten von Dr. Cornelia Twining und Herr Simon Tschärner

10-15.08.2025

Am Projekt der EAWAG mitgemacht

Inhalt: In Alpenbächen (Engelberg, Furenalp (1150 m–1900 m), 5 Stellen, und Vorderrhein, Oberalppass (1450 m–2000 m), 5 Stellen). Erwachsene Fliegen gesammelt. Ich habe viel über die Sammelmethode gelernt und speziell auch was alles zu einer naturwissenschaftlichen Untersuchung gehört. Viele Daten müssen, neben der Fangzahlen, aufgezeichnet werden wie z.B. Strömungsstärke und Habitat Beschreibung.

26.08.25

2. offizielle Besprechung: Videokonferenz mit Herr Tschärner

Inhalt: Nachfragen nach der Familie der Wasserinsekten in anderen Monaten/Jahren. Kompass kaufen.

E-Mail 08.09.25

Anfrage auf Interview bei Connor, um mehr über die Eintagsfliegen zu lernen. Ich möchte auch seine Meinung auf Phänologische Geschehnisse wissen.

23.09.25

Interview mit Connor

Inhalt: Fragen gestellt (Aufgenommen), Dokument zur Anzahl der Fliegen erhalten. Viel neues über den Lebenszyklus der Eintagsfliegen gelernt.

23.09.25

3. offizielle Besprechung mit Herr Tschärner (Videokonferenz)

Inhalt:

Mein aktueller Stand

Wie anfangen mit Einleitung

Interview mit Conner besprochen.

Wie soll ich die gesandten Daten auswerten

Herbstferien 06.10.25 – 19.10.25

Angefangen mit Schreiben, Auswertung gemacht

Einleitung fertig. Graphiken erstellt und dem Herr Tscharner geschickt. Er gibt Verbesserungsvorschläge. Skalierung der Graphen, für den Vergleich mit anderer, muss gleich sein.

07.11.25

Einleitung, Resultate, Methoden fertig geschrieben und zum Probelesen dem Herr Tscharner geschickt.

12.11.25

4. Besprechung mit Herr Tscharner,

Inhalt: Aktueller Standpunkt, Verbesserungen zum Geschriebenen, Erwartungen für die Diskussion werden angegeben:

Kurze Wiederholung von Resultaten

Fragestellung

Aber?

Was könnte sein, Vermutungen

Klimaerwärmung: Wieso gibt es im August weniger Fliegen?

12.11.25 – 15.11.25

Fleissig an der Maturarbeit geschuftet, Quellen hinzugefügt etc.

25.11.25

5. Besprechung mit Herr Tscharner

Inhalt: Diskussion gelesen und Verbesserungsvorschläge: Fazit erweitern (Einfluss auf den Menschen). Was wird sonst alles noch von mir verlangt?

25. 11. 25 - 30.11.25

Maturarbeit überarbeitet, Feinschliff, Bilder eingefügt.

Für zukünftige Arbeiten wie diese würde ich mir mehr Zeit nehmen. Ich würde mir von Anfang an einen grösseren Überblick machen, um die Zeit besser einzuschätzen. Ich würde mir mehr Zeit für Korrekturen machen und versuchen immer mit ähnlicher Intensität zu arbeiten und einen konstanten Rhythmus beizubehalten. Ich würde mir Anfangswoche vornehmen, was ich erreichen will, und dieses Ziel erreichen. Als ich angefangen habe zu schreiben, habe ich nicht direkt im Text auf die Quellen verwiesen und habe das erst später gemacht. Dies hat mir viel Arbeit bereitet. Nächstes Mal würde ich direkt auf die Quellen verweisen.

Ich habe aber viel Neues zum Studienbereich der Ökologie gelernt und habe jetzt ein ausgeprägtes Wissen über das Leben von Ephemeroptera. Ich finde dieses Thema sehr spannend und wäre ohne diese Arbeit niemals so vertieft in dieses Thema eingegangen. Ich hatte viel Freude an der Forschung, der Eawag teilnehmen zu dürfen.

Anhang

Interview mit Connor Morang

Connor: I'm in Georgia's office right now just because she's not here, and what's it called, so in case the other person in my office comes back, but, all good. the field's been busy, but hasn't been so intense, so that's good. And then we're doing our last round of sampling at the beginning of October, and then that's it for this year.

5 **Yorio:** How about we start with the questions? So, let's start with the Baetis itself. How does the Baetis reproduce?

Connor: So, I mean, I guess kind of ritual that happens is when they emerge, then they become sexually mature, and they're ready to reproduce. And what happens is the males all group together in like a swarm by the river, and then the females like fly into the swarm and then
10 they like mate with the male and then they'll leave and then fly further upstream. So the males swarm, females fly into the swarm and then the females fly upstream and then it's pretty cool, they like dive into the water and deposit the eggs on the underside of a rock.

So, they just put like a strip of eggs on the rock and then they leave the eggs there and there's no parental care. So, the eggs just get put there and then after that they're on their own.

15 **Yorio:** Thank you very much. , so, you were talking about when they turn mature. So, what is the life cycle of Baetis? So, when do they become mature and what happens before that?

Connor: So, I don't know if I can share or show you here, although that's not super big. But, I mean there's like four kinds of big stages. So, it starts with an egg. Like I said, the eggs are laid on the rock and then they sit there for x amount of time, it depends, and then they hatch from
20 the egg and turn into the larvae.

So, those are what you saw and what we caught. It's their one stage of life where they're developing and growing. So, they're eating a lot, building their body mass and getting ready for the next stage which is when they emerge.

25 So, they develop wings and stuff and then finally leave the water. So, you have eggs which is the aquatic stage, then you have the larvae which is aquatic and then they transition to the terrestrial. So, they emerge as adults, fly out of the water and then that's when their adults is kind of their final stage.

30 They sexually mature and then reproduce, put the eggs back into the water and it keeps going. So, it's not super complex, but it's kind of unique in that they have spent a lot of their life in the water and then go on land to reproduce.

Yorio: And I remember you were working with the algae. So, the debate is what kind of algae does it eat? I remember they eat algae, right? Well, what is their favorite or what algae do they normally eat like the diatom or the cyano?

35 **Connor:** I don't know if there have been any studies that pinpoint exactly what their preference is, but pretty much they are only able to eat what's there.

Generally, people believe that they're going on the surface of rocks and just scraping the algae off of it. So, the algae that grows on rocks or, I don't know, a leaf or something or twigs, they're viewed as, these Baetis are viewed as insects that do that. So, that's their primary source of food is scraping on it.

40 And so, part of our study is trying to figure out what type of algae there is. But, they're going to be eating diatoms for sure, green algae, cyanobacteria. I think it depends.

Some of them might be challenging for them to eat if they're too filamentous. So, if they're more like a string or something, I'm not sure about their ability to eat that. But pretty much anything that is there, they'll eat.

45 And so, that means if the food source is changing over the course of the year, then they have different quality of food available to them throughout their development.

Yorio: Okay. So, how's the phenology and how does climate change influence this phenology?

Connor: So, I mean, when we talk about phenology, we're thinking about the different life history events for insects.

50 So, when they're laid as eggs, and then when they go from egg to larvae, and then larvae to adult. So, it depends because there are kind of two different groups. Some of them, so all of the eggs generally are laid in autumn.

So, around this time of year, or maybe a little bit earlier in the summer, but around this time, some of them hatch right away. So, they go from egg to larvae super quick. And then from now
55 until next summer, they're eating and growing, building up the body mass.

But some of them stay as eggs over winter. So, they're laid now, and then they stay as eggs for a really long time until I think it's mid to late summer of next year. So, they don't even hatch from being an egg until September or something.

So, they're the two different phenologies that you have. You have some, like I said, they spend
60 winter as egg, then they hatch around August, become a larvae, and they spend this little two to three month window eating, and then they fly out of the water.

But other ones hatch right away, eat all throughout the winter and spring, and then they hatch sometime in summer.

And so, I mean, those are kind of two different ways. And I think climate change can impact
65 both of those in a significant way. So, I mean, I guess it's not exactly sure yet how exactly climate change will impact it.

And that's kind of why we're doing the study. But in general, we see a trend with aquatic insects that the emergence is happening earlier in the year. Because there's higher temperatures, typically, there's more, the emergence period shifts to earlier in the year.

70 So, for example, let's say in this summer cohort, this top one right here, they're expected to emerge in October or something. Maybe because of climate change, that emergence will shift more towards September or something.

And then that could be the same could be for this one. So, rather than July, maybe it's June or May.

75 So, for most of them, it's shifting their life history to earlier in the year compared to before. And that's just because of like warming temperatures. So, the amount of heat that they need in order to grow and stuff and kind of trigger these life history events.

And so, I mean, one thing like that we could predict possibly is that the populations that experience warmer temperatures are going to emerge earlier. So, like when you came with us, the ones at the lower elevations are probably going to emerge earlier.

And they're pretty sure they'll emerge before the ones at the higher elevation. The higher elevation or cooler temperatures, they're more likely to emerge earlier.

And so, that's kind of how climate change, I think, could affect them.

Yorio : Then, so it's kind of a similar question to the earlier one, but how does climate change influence the population of the Baetis? And if there are any other trends known to influence the population? Mm-hmm.

Connor: I mean, it's like before, I think the really big thing that would affect them is just the timing of those life history events. So, when all of those things are occurring. And as we've talked about before, because those life history events could be happening at different times of year, that also means the food that they're eating is occurring at different times, or rather the food that they're able to eat is going to be likely, we think, is going to be different.

So, that can affect a lot of things. I mean, one of the things that we care about is the fatty acid content. So, the polyunsaturated fatty acids, like the omega-3, omega-6 fatty acids.

So, climate change can affect that. There's kind of an overall prediction that as temperatures increase, the PUFA content, so those omega-3, those will decrease. That's one way they could affect it.

And then another is just growth rates. So, if it's warmer, the overall size of the insect could change. When they reach maturity, the size could change.

So, temperature can affect body size. So, that's another thing, just the overall growth. And then, of course, I mean, I think we've also talked about it, like the number of individuals that fly out of the river.

So, overall, like the total amount of insects in the population. I think that's it. And then also, actually, the last thing would be like warmer temperatures could favor individuals or populations that are better adapted to warm temperatures.

105 So, if you have like way, if you have warmer temperatures, and there's kind of a cold adapted type, it might not be able to handle the new environmental conditions. And then it could like reduce in proportion in the population compared to a warmer adapted one.

Yorio: Then, again, something with the climate change. So, how does it influence the distribution? Or any other trends known? Like if there's anything else that influences the distribution?
110 Or like the density of the bait is on a single altitude or place?

Connor: I mean, I think that the two like big things that you really need is like you need habitat, and then you need the right temperature range.

So, it's kind of it's both. And I think that's like climate change can influence that or like humans can influence that. So, you need I mean, baetis is like kind of in the faster flowing, cool water.

115 So, if a stream gets too warm, then that can make it harder for them to survive there. And they might not be able to. Or if you have a hydropower plant or something that dams it up, that could also cause some issues because they don't have the right habitat.

So, they don't have the good water that's flowing through for them to survive. So, it's like kind of the two things that are really important for them. And so, , you could have on one like end
120 of the spectrum, you could have higher temperatures, melting more glaciers, which means like the water would stay cool throughout the year.

Or you have like on the opposite end, you have that the rivers dry up. So, it's too hot and stuff. The rivers maybe don't dry up, but you know, the overall like water level is lower and stuff means the temperature is higher and then they might not be able to survive in those condi-
125 tions.

So, it could be like a bunch of different things in climate change or under climate change conditions that will negatively impact them. But it's not exactly certain yet. But for sure, any of those things are possible.

And then, I guess also the temperature definitely will affect the emergence times. And so, the
130 geographic range could narrow because of the influence of temperature. So, you might see, you know, we have those five like elevation points on the river.

It might be that like lower down, they get too warm, so they can no longer survive there. And then it'll kind of like only be at the higher sites that they survive. .

Or there could be other things where like the top site becomes uninhabitable for some reason.
135 If there's too much glacial melt, maybe it's too like there's not enough algae growth if there's
too much glacial melt. And so, then maybe they can't survive in the top site.

So, that's also a possibility.

Yorio: And then, so my next question, you basically already answered it.

It's how does climate change affect the emergence times? Is it that it happens earlier? So
140 what's in your opinion, would we still need to, or you still need to research to get a better
knowledge about all of this?

Connor: I mean, so it's like a lot of different things.

And hopefully our project will be able to answer those questions. I mean, one of the possibil-
ities for the emergence time is earlier, but it's also possible that somehow there's a shift to
145 later. So, not exactly certain.

I mean, it's possible. I think generally the trend is earlier, but , I think the big thing is the influ-
ence of temperature on emergence times. Like that's still for this species isn't like super well
known across these elevation gradients and temperature gradients. So, that'll be really inter-
esting for us to understand. And then, also the fatty acid content, how that's changing in this
150 species or if it changes, if it's different.

And I mean, that's really interesting to us because it has impacts on other animals. So, like the
birds and the spiders and stuff. .

I mean, our supervisor sent a paper the other day and it was about like how salmonids like
trout and salmon in California are lacking a certain nutrient. They really lack this specific nutri-
155 ent and it causes them to like lack neural function and they just swim in circles.

So, it's like that type of, you know, that's an example of like nutrient deficiency that has a real
effect on like an important animal. Right. And so, I mean, that's why we're still, that's why we're
interested in the fatty acid content because it's important for birds and stuff like that.

And so, we want to know that. And there's still no like, or there's not a lot of understanding
160 for how the fatty acid content of this species changes and how they're able to synthesize it,

produce those nutrients or not. So, that's like a really big thing that could be an interesting outcome of our project.

. . And I can share actually this, I just like wrote down some little answers for.

. So, I can just share that with you in case like, I mean, it's probably not as detailed as the little
165 talk I gave, but , I can share it with you just in case. , that would be great.

There you go.

But , I mean, if you have any, I don't know, any more questions or anything else that needs to be clarified, you can also email or ask now or whatever.

....

170 I'll show you the like sheet that we use. I mean, it's kind of crazy. But let's see.

Because this is basically the spreadsheet that we have for. . .

All of the insects that we've caught like throughout the whole season. So, it's like.

I mean, it's a lot of entries. One thousand six hundred.

So, it's a ton of insects. And that, you know, for example, you have here like at site one there
175 were. So, at site one in one of the traps on the twenty ninth of July, there were eighty-two of those tiny little insects in the trap.

So, it's like insane. But we could also find.

Here you go. Like the species that we're interested in, the Baetis.

Like we got some emergence from.

180 During that time, another one. So, I don't know. I can send you it, I can download this like onto Excel and send it to you if you'd like.

And then you can kind of do a small little analysis. But to make you familiar with it. Basically, you have in this first column.

This is just like a unique identification number.

185 It's just like that's the jar that Georgia put it in. But you would want to look for the family.

You'd want to find betidae. Or Baetis, depending on who.

. If it was like written correctly. So, .

Here at Reichenbach site four, there was one. So, you see N is the number of individuals in that jar.

190 So, there was one Baetis caught on, geez, what is it? April. April 23rd at that site. So, you could kind of, you could go through this and you could filter for Baetis or betidae and then find out how many were, , emerging at each site and then kind of do like a graph of over time or something or compare that to the other insects that were emerging.

...

195 Then I'd be happy to share this. And like if you need, if you want like suggestions or , have any questions with it, I'm happy to help.

One interesting thing would be when they emerged, you could just graph like the total emergence. And then you could also. What's it called? You could also compare it to the other individuals. One thing I would say is that if you're going to graph the total number of insects that
200 we caught.

Of Baetis that we caught, you want to make sure that you like normalizing it for sampling effort. So, you don't want to just say we caught 84 Baetis in May.

You want to normalize it for how many days we put the traps out. So you'd want to say, OK, we caught like, you know, five Baetis per day or whatever it is, five Baetis per day per site, you
205 know, because you can't just say like, oh, we caught 87 Baetis in May if we only really put traps out in May and we didn't put them out in June.

To represent your sampling effort. But I'll download this and send it to you or share the link with you.

Just can't alter it. So, I'll download the data and send it to you. OK, that would be great.

210