

Gletschertod und Gewässergeburt

Glaziohydrobiologische Prozesse im Gletschervorfeld



Foto: C. Mitterer



Bericht erstellt von:

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Leopold Füreder; Stefan Schütz, MSc.
River Ecology and Conservation Research Group
Institut für Ökologie der Universität Innsbruck
und

PD DR. Andrea Fischer; Ing. Christian Mitterer, MSc.
Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften



ÖAW



Foto: C. Mitterer



Im Auftrag von:
Nationalpark Hohe Tauern
Land Tirol



INHALTSÜBERSICHT

Kurzfassung.....	3
Einleitung.....	4
State of the Art	5
Forschungsfragen der vorliegenden Studie.....	8
Ergebnisse.....	9
1. Wie verändern sich die Gletscherränder und Gletscherbäche im Vorfeld des Schlatenkees?	9
2. Wie verändert sich das hydrologische Regime in diesen Gletscherabflüssen?	16
3. Welche Gewässer entstehen im Nahbereich von Gletschern? Wie gestalten sich die Gewässer als Ökosysteme (abiotische, physikalisch-chemische Eigenschaften, Nährstoffe, organischen Substanz, Aufwuchs)?	37
4. Von welchen Organismen sind diese Gewässer besiedelt (Organismengruppen, Arten, Eigenschaften)?	51
5. Wie lässt sich das Sukzessionsgeschehen in den neu entstandenen Gletschervorfeldern darstellen?	54
Tätigkeiten im Untersuchungszeitraum	56
Zitierte Literatur	57

Kurzfassung

Das Schlatenkees in den Hohen Tauern hat seit dem Hochstand der kleinen Eiszeit mehr als die Hälfte seiner Fläche verloren. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts werden die Längenänderungen regelmäßig gemessen, seit 2010 gibt es an dessen Zunge Punktmessungen der Massenbilanz. Aus den österreichischen Gletscherinventaren stehen Gletschergrenzen aus dem LIA Maximum, 1969, 1998 und 2009 zur Verfügung. Durch den Rückzug des Gletschers ändern sich die hydromorphologischen Gegebenheiten, was zu einer Veränderung der ökosystemaren Gegebenheiten im abfließenden Gletscherbach und zur Entstehung von neuen Gewässerabschnitten und -typen führt. In all diesen Gewässern entstehen neue/andere Lebensbedingungen, die eine Ansiedlung und Sukzession von aquatischen Organismen erwarten lassen. Erstaunlicherweise war dieses wissenschaftlich spannende Geschehen der Entstehung und Veränderung der Biodiversität im Nahbereich von Gletschern bislang nicht untersucht, ermöglicht es doch einen wichtigen Erkenntnisgewinn über die unmittelbaren und raschen Auswirkungen des Klimawandels im Hochgebirge.

Die Wasserspende des Gletschers wurde mit Massenbilanzpegeln an der Zunge des Schlatenkees erhoben. Niederschlagsmessstellen des hydrographischen Dienstes unterhalb des Gletschers und am Mullwitzkees ermöglichen die Interpolation des Beitrages des Niederschlages zur Massenbilanz. Im Zuge des Projektes wurde auch eine Abflussmessstelle eingerichtet und betreut, und mit der Messstelle des Gewässermonitorings abgeglichen. Die Verteilung, das Alter und die Typen der Gewässer im Rückzugsbereich wurden kartiert, deren Charakteristik, abiotische und biotische Bedingungen erhoben sowie die jüngst erfolgte Besiedlung durch wirbellose Tiere dokumentiert.

Diese Pilotuntersuchungen wurden im Sommer und Herbst 2015 durchgeführt. Dadurch konnten wichtige und für die Wissenschaft neue Erkenntnisse über die Variabilität der Gewässer (saisonale und tägliche Dynamik in Wasserführung, Wasserchemie und Nährstoff-/Nahrungsverfügbarkeit) und die damit in Zusammenhang stehende Neu-/Besiedlung durch verschiedene Organismen dokumentiert werden. Neu für die Wissenschaft ist auch, dass diese Prozesse zum ersten Mal zeitlich hoch aufgelöst dargestellt sind.

Seit 1850 (seit der letzten Kleinen Eiszeit) hat das Schlatenkees 36 % seiner Fläche verloren. Seit 2004 entstanden etwa 10 000 m² Gletscherbach, seit 2012 etwa 2000 m². Der seit 2015 eisfrei gewordene Bachbereich ist bereits im ersten Jahr von zwei Zuckmückenarten besiedelt. In der seit 2012 eisfrei gewordenen Strecke gesellten sich bereits drei weitere Zuckmückenarten dazu. Nach sechs Jahren sind insgesamt sechs Zuckmückenarten aus zwei Unterfamilien und Larven einer weiteren Dipterenfamilie zu finden. Ausschlaggebend dafür könnten die etwas höhere Wassertemperatur, die bessere Nahrungsverfügbarkeit und die etwas geringere Dynamik. Als Vergleich wurde ein Hochgebirgstümpel untersucht, an dem sich das Besiedlungspotential von Gewässern für diese Höhenlage zeigt: hier wurden einige Orthoclaadiinae-Arten und besonders auch Oligochaeten gefunden, die auf den stagnierenden Charakter des Gewässers hinweisen.

Dieses Projekt besitzt Pilotcharakter. Durch die Lage im Schutzgebiet des Nationalparks kann das Schlatenkees und sein Rückzugsgebiet als **Referenzsystem zum Vergleich mit anderen anthropogen genutzten oder überformten Gletschern und gletschernahen Gebieten (z.B. Gletscherskibetrieb, Skitourismus, Beschneigung)** und/oder durch nachfolgende Untersuchungen für **das Aufzeigen und die Interpretation natürlicher Veränderungen** herangezogen werden. Es kann in weiterer Folge als Grundlage für ein interdisziplinäres Monitoring und weitere Untersuchungen fungieren. Nicht zuletzt sind durch diese Untersuchung wichtige Ergebnisse aus dem Bereich Klimawandel, Hydrosphäre und Kryosphäre dokumentiert, die durch das Regierungsübereinkommen bzgl. der „Klimastrategie Tirol (Klimaschutz- und Klimawandelanpassung Tirol 2013 – 2020, Stand 31.01. 2014)“ prioritäre Bedeutung erlangen. Es wurde auch ein interessanter Beitrag zum Verständnis der Biodiversität in extremen Lebensräumen geliefert.

Einleitung

Die Kryosphäre nimmt etwa 70 % der Süßwasserressourcen der Erdoberfläche ein (Carpenter et al. 2011) und beeinflusst maßgeblich die abiotischen und biotischen Eigenschaften der Gewässerlandschaften der polnahen und hochgelegenen Regionen (Milner & Petts 1994; Slemmons & Saros 2012). Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit gehen die Gletscher und Eisschilder auf globaler Skala zurück (Vaughan et al, 2013). In den Ostalpen bedecken die Gletscher heute nur mehr 44% der Gletscherfläche der Kleinen Eiszeit (Fischer et al. 2014), sowohl die Längenänderungen (Fischer, Patzelt & Kinzl 2013) als auch die Massenbilanzen (Fischer 2010; Fischer 2014; Fischer et al. 2014) zeigen nach der Vorstoßperiode der 1980er Jahre einen zunehmenden jährlichen Gletscherrückgang.

Im Zuge der Zunahme der Sommertemperaturen in den Alpen (Auer et al 2001) kommt es durch die erhöhte Schmelze vorerst zu einer Zunahme der Gletscherabflüsse, mit abnehmender Gletscherfläche (Kuhn & Escher-Vetter 2004) und zunehmender Schuttbedeckung (Juen et al. 2014) nehmen aber die Abflüsse aus der Schmelze wieder ab. Zu den Änderungen in der Abflussmenge verschiebt sich die Saisonalität der Abflussanteile aus Regen, Schneeschmelze und Gletscherabfluss. Gletscherbäche als Gewässer mit starken tageszeitlichen, saisonalen und jahreszeitlichen Schwankungen transportieren Geschiebe und Sedimenten (Gattermayr 2013). Im Gletschervorfeld werden diese Massen sowohl erodiert, als auch deponiert (Heckmann 2012; Morche 2012).

Im Bereich der Rückzugsgebiete sind einerseits verschiedene Gewässer entstanden, andererseits sind in bestehenden Gewässern die hydrochemischen und hydromorphologischen Rahmenbedingungen verändert worden. Die klimabedingten Veränderung in der Kryosphäre und der Hydrologie wirken sich deutlich auf die ökosystemaren Gegebenheiten in den gletscherbeeinflussten Gewässern aus, was bereits durch Arbeiten in verschiedenen alpinen und arktischen Regionen belegt ist (Brown & Milner 2012; Füreder & Schöner 2013).

Ein Prozess, der ebenfalls als Folge des Gletscherrückgangs und der veränderten hydrologischen Gegebenheiten gesehen werden kann, ist die Entstehung neuer Gewässerstrecken und Gewässertypen in den eisfreigewordenen Flächen. Während die Erforschung des Sukzessionsgeschehens in Gletscherrückzugsgebieten besonders in der Botanik aber auch in der Zoologie schon seit mehreren Jahrzehnten einen Schwerpunkt in der Hochgebirgsforschung darstellt, sind keine Arbeiten über die neuentstandenen Gewässer und deren Lebensgemeinschaften bekannt. Die vorliegende Studie war nun ein erster Schritt, die jüngst entstandenen Gewässer hinsichtlich ihrer Ausprägung, Struktur und Ökologie zu erfassen. Besonders der interdisziplinäre Ansatz, glaziale und ökologische Muster zu studieren, ermöglicht eine neue Interpretation möglicher Wechselwirkungen zwischen Kryosphäre, Hydrologie und Ökologie.

Unseres Wissens nach, ist dies die erste Studie, die eine Besiedlung von Gewässern in jüngst eisfrei gewordenen Flächen über mehrere Wochen dokumentiert und dies im Zusammenhang abiotischer Bedingungen und spezifischer Produktions- und Nahrungsgrundlage zu erklären versucht. Besonders der interdisziplinäre Ansatz Glaziologie - Biologie stellt einen Erkenntnisgewinn zum Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensräume im Hochgebirge dar.

Die Untersuchungsthemen der vorliegenden Studie betreffen (a) die abiotischen (physikalisch und chemische) Eigenschaften verschiedener neuentstandener Gewässerabschnitte und -typen im Gletscherrückzugsgebiet, (b) die biotischen Gegebenheiten (Häufigkeiten, Taxazahl, Diversität benthischer Organismen), und (c) die landschaftlichen (Gletscher, Geologie, Boden, Vegetation) und hydrologischen Besonderheiten, die eine Besiedlung und Etablierung von Arten begünstigen. Mit dieser Studie versuchten wir, einen ersten Einblick in die möglichen zukünftigen, durch die klimatischen Veränderungen hervorgerufenen Prozesse zu erlangen. Von besonderem Interesse waren dabei, die durch den Rückzug der Gletscher zu erwartende Veränderung der Biodiversität im Hochgebirge sowie die Reaktion der wassergebundenen Makroinvertebraten.

State of the Art

Glaziologie – Hydrologie

Derzeit gibt es eine Reihe von Untersuchungen zur Massenbilanz, Längenänderung und Flächenänderungen der Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern (Abb. 1, Fischer et al 2014). Diese Daten eignen sich gut als Grundlage für Sukzessionsstudien. Seit 1891 werden vom Gletschermessdienst des Österreichischen Alpenvereines Messungen der Längenänderung der Ostalpengletscher durchgeführt. Auf dem Mullwitzkees (Stocker-Waldhuber et al. 2015a, b) und dem Venedigerkees (Seiser & Fischer 2014) erfolgen derzeit direkte Erhebungen der Massenbilanz. Am Schlatenkees, wo die vorliegende Untersuchung stattfand werden bereits seit 1903/1904 Längenveränderungen dokumentiert, seit 2010 gibt es auch Messungen an den Ablationspegeln.

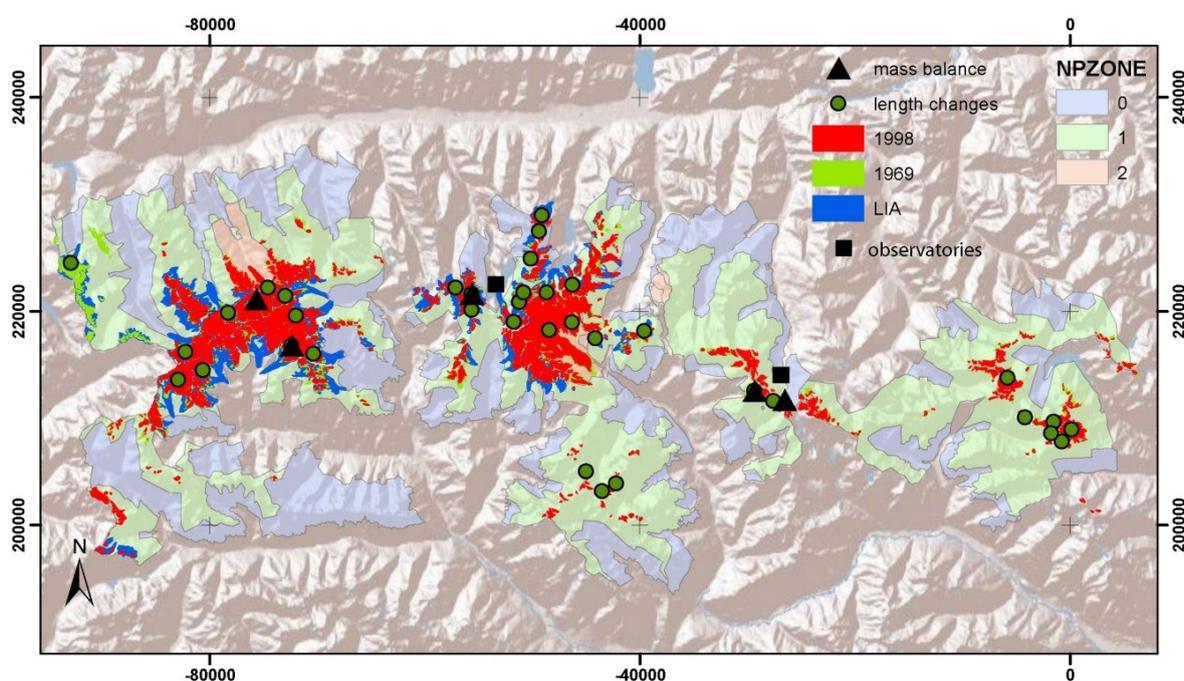


Abbildung 1: Karte der Gletscher und glaziologischen Messprogramme im Nationalpark Hohe Tauern (aus: Fischer et al. 2014)

Der jährliche Rückgang der Gletscher ist nicht nur klimatisch bedingt, sondern wird auch durch die Eigenschaften des Gletschers selbst beeinflusst, weshalb sich oft große Unterschiede finden können (Abb. 2). Die die erhobenen Längenänderungen als Mittelwerte dokumentiert sind, könnten die Rückgänge und Vorstöße an einzelnen Stellen der Gletscherzunge durchaus deutlich größer oder kleiner sein (Abb. 3). Das Archiv des Alpenvereins enthält auch bislang nicht ausgewertete fotografische Dokumentationen der Position der Gletscherstirn und des Verlaufes des Gletscherbaches, die in dieser Arbeit aber berücksichtigt werden konnten.

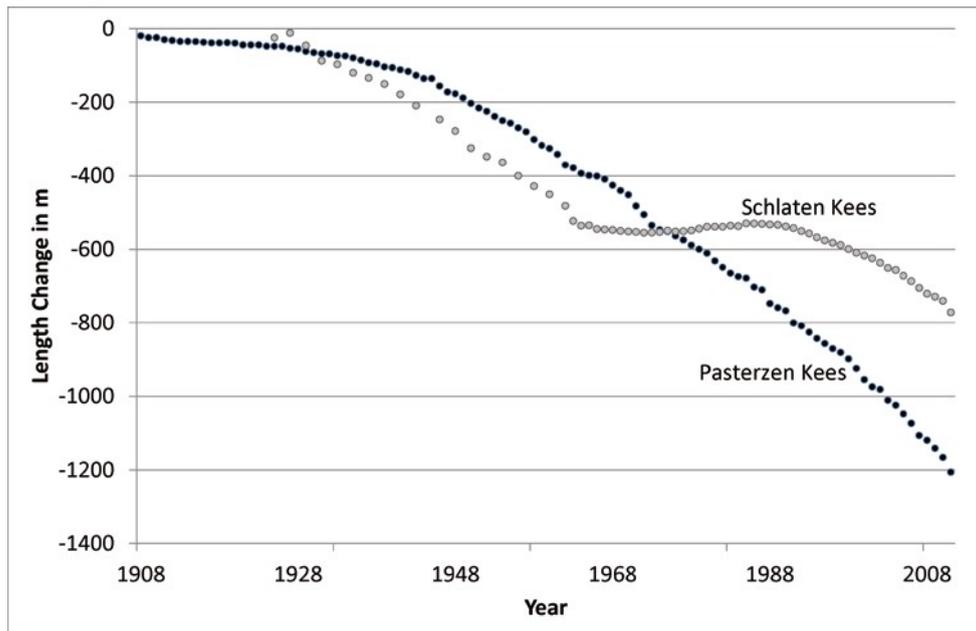


Abbildung 2: Längenänderungen an Pasterze und Schlatenkees aus den Messungen des Alpenvereins (aus Fischer et al. 2014).

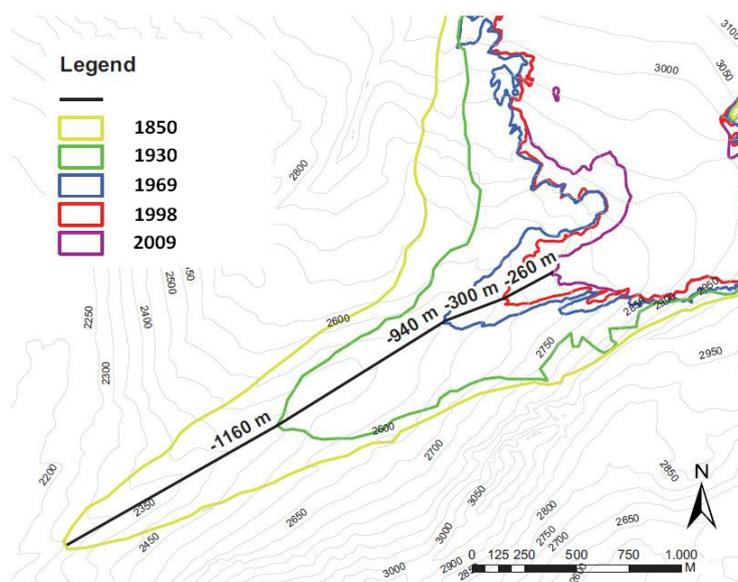


Abbildung 3: Karte der Änderung des Gletscherrandes am Mullwitzkees aus den Gletscherinventaren und einer digitalisierten Alpenvereinskarte (1930; aus Fischer et al. 2014)

Im Österreichischen Gletscherinventar liegen die Gletschergrenzen und die Oberflächenhöhen aller Gletscher Österreichs vor, und zwar für den Maximalstand zur Kleinen Eiszeit, sowie für 1969, 1998 und 2006 (Fischer et al 2014). Zu den bereits digitalisierten Gletscherständen sind für den Nationalpark Hohe Tauern eine Reihe von Orthofotodaten in den Archiven des Landes Tirol vorhanden, aus denen Gewässerverläufe und Gletscherstände kartiert werden können. Zusätzlich zu den bereits genannten Daten sind in der Arbeit von Patzelt (1973) Detailkarten und eine fotografische Dokumentation der Gletscherstände in der Venedigergruppe enthalten, die ebenfalls berücksichtigt werden konnten.

Im Vorfeld des Schlatenkeeses betreibt der Hydrographische Dienst eine Pegelmessstelle und eine Niederschlagsmessung, am Mullwitzkees steht ein Totalisator des Hydrographischen Dienstes. Am Schlatenbach werden seit 2009 hydrobiologische Messungen im Zuge des Gewässermonitorings NP Hohe Tauern durchgeführt, wodurch wichtige Parameter der letzten Jahre als Vergleich und zur unterstützenden Analyse für diese Arbeit vorliegen.

Biologie

Die jüngst intensivierte Erforschung hochalpiner Gewässer hat beträchtliches Wissen über die Besiedlungsmuster dieser produziert (Brittain & Milner 2001; Milner et al. 2009; Finn et al. 2010; Füreder 2012). Dabei wurden besonders die Bedeutung abiotischer Faktoren (Temperatur, Substratinstabilität, Extrembedingungen) und die Beschaffenheit des Einzugsgebiets (Vegetation) herausgearbeitet sowie deren Auswirkungen auf die Biodiversität der Gewässer dokumentiert (Füreder & Schöner 2013). Von Gewässern, die sich im Nahbereich von Gletschern, und besonders von jenen, die in den sich jüngst gebildeten Rückzugsgebieten befinden, liegen aber nur vereinzelt Informationen vor. Dies ist angesichts des gestiegenen Interesses für das Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökosysteme unverständlich, könnte jedoch durch die erschwerte Zugänglichkeit der oft weit entfernt liegenden Untersuchungsflächen erklärt werden.

Seit 2009 finden bereits Untersuchungen im Zuge des Gewässermonitorings im Nationalpark Hohe Tauern statt, die unter anderem auch im Innergschloß durchgeführt werden. Dadurch waren einerseits gute taxonomische Kenntnisse über die in der alpinen Zone vorkommenden aquatischen Organismen vorhanden, andererseits wurden auch hydrologische und wasserchemische Messungen durchgeführt, die wichtige Basis- und Begleitdaten für vorliegende Vorhaben liefern konnten. Da die gewässerökologischen Untersuchungen im Nahbereich von Gletschern meist zeitlich und/oder lokal sehr eingeschränkt sind, war bislang das Sukzessionsgeschehen in neu entstandenen Gewässerabschnitten und -typen kaum bekannt.

Forschungsfragen der vorliegenden Studie

Folgende Forschungsfragen wurden im vorliegenden Projekt behandelt:

1. Wie verändern sich die Gletscherränder und Gletscherbäche im Vorfeld des Schlatenkees?
2. Wie verändert sich das hydrologische Regime in diesen Gletscherabflüssen?
3. Welche Gewässer entstehen im Nahbereich von Gletschern? Wie gestalten sich die Gewässer als Ökosysteme (abiotische, physikalisch-chemische Eigenschaften, Nährstoffe, organischen Substanz, Aufwuchs)?
4. Von welchen Organismen sind diese Gewässer besiedelt (Organismengruppen, Arten, Eigenschaften)?
5. Wie lässt sich das Sukzessionsgeschehen in den neu entstandenen Gletschervorfeldern darstellen?

Nachfolgend sind die Methoden und die Ergebnisse der einzelnen Forschungsfragen dargestellt.

Ergebnisse

1. Wie verändern sich die Gletscherränder und Gletscherbäche im Vorfeld des Schlatenkees?

1.1. Methode

Kartierung

Die Gletschergrenzen wurden aus Orthofotos mit geringer Schneebedeckung manuell kartiert (Abermann et al. 2010). Mit den verfügbaren Aufnahmen aus den Jahren 1991, 2004, 2009 und 2012 wurde die Zeitreihe verdichtet. Der Verlauf der Gewässer in unmittelbarer Gletschernähe wurde ebenfalls kartiert. Nächster Schritt zur Verdichtung der Zeitreihe wäre die Kartierung und Georeferenzierung der vorhandenen Luftbilder der Jahre 1953, 1958, 1971, 1974, 1977, 1982 und 1983. Die Genauigkeit der Erfassung der Gletschergrenze liegt bei 1,5% bis 5% der Gesamtfläche, in Abhängigkeit von der Schuttbedeckung und der Gletschergröße.

1.2. Ergebnisse

Zeitreihe der Gletscherränder:

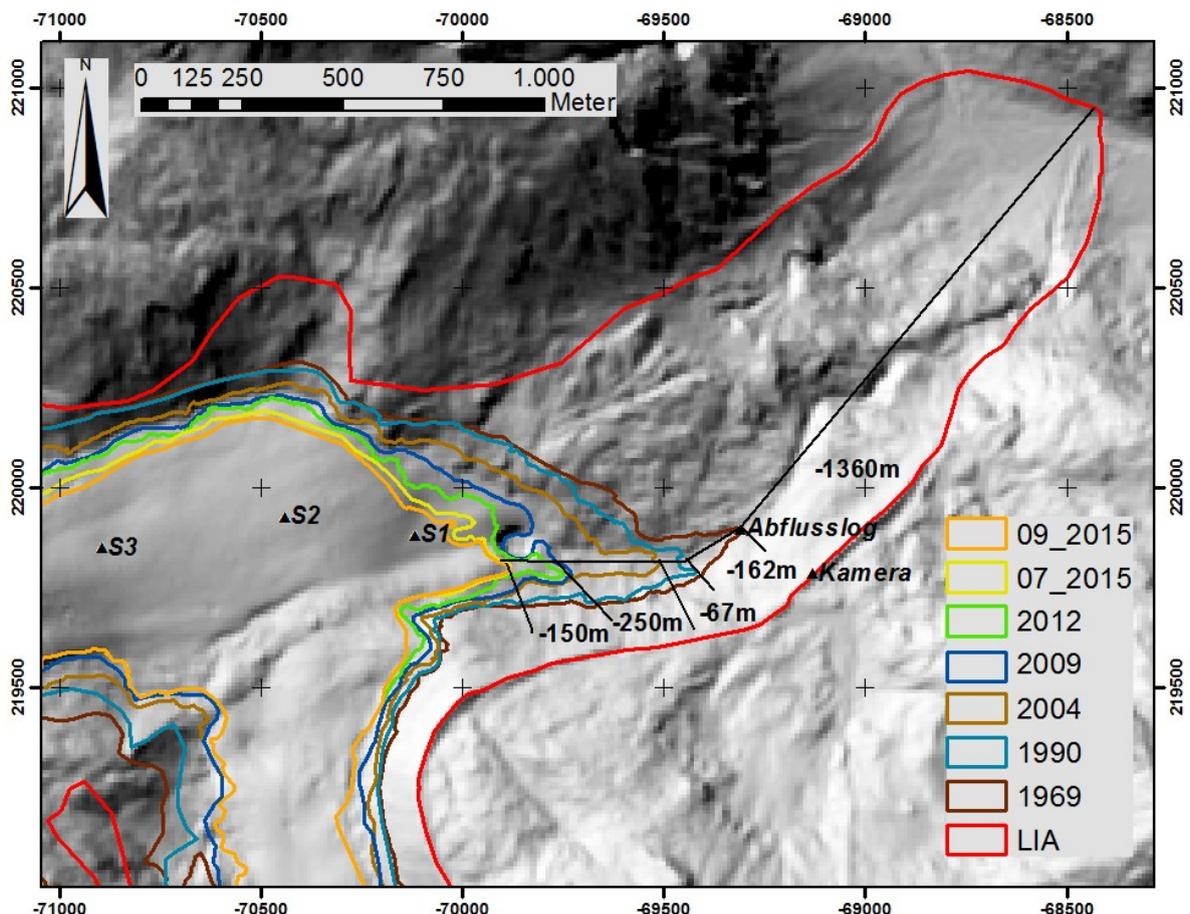


Abbildung 4: Zeitreihe der Gletscherränder des Schlatenkees mit Längenänderungen von der kleinen Eiszeit (LIA) bis 2015 auf schattiertem Relief von 2009.

Betrachtet man die Gletschergrenzen in Abbildung 4 ist gut ersichtlich, dass im nördlichen Teil der Gletscherzunge der Verlust grösser ist als an den gegenüberliegenden schattigen und schuttbedeckten Bereichen. Dadurch wird zum einen der Faktor der Sonneneinstrahlung als Beitrag zur Gletscherschmelze und zum anderen der Schutz der Schuttbedeckung des Gletschers im südlichen Teil des Schlatenkees verdeutlicht.

In Bezug auf die durchschnittlichen jährlichen Längenänderungen in Abbildung 5 ist zu erkennen, dass das Schlatenkees seinen Rückzug seit dem Stand 2004 beschleunigt.

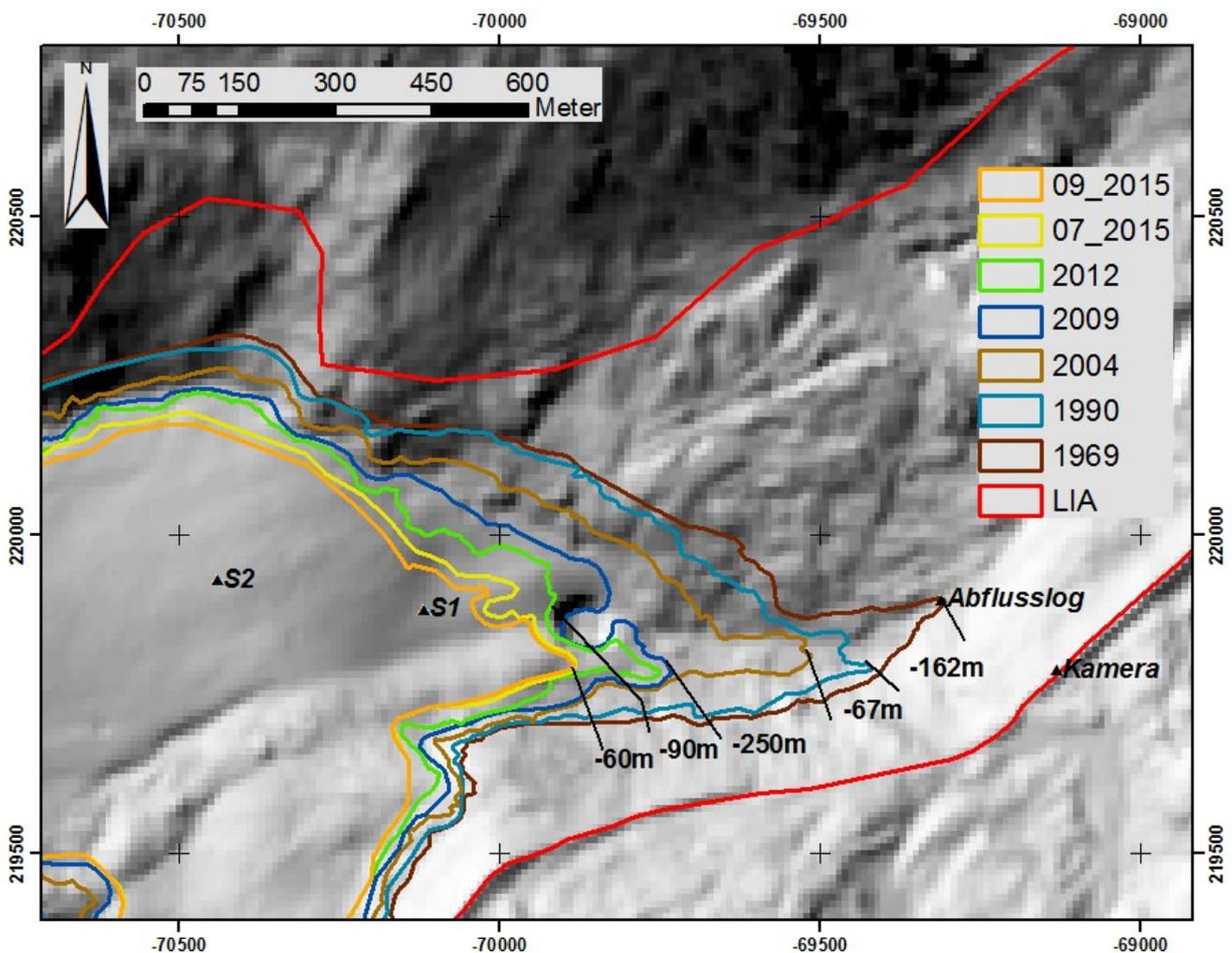


Abbildung 5: Detaillierte Zeitreihe der Gletschergrenzen des Schlatenkees mit den Längenänderungen von 1969 bis 2015 auf schattiertem Relief von 2009.

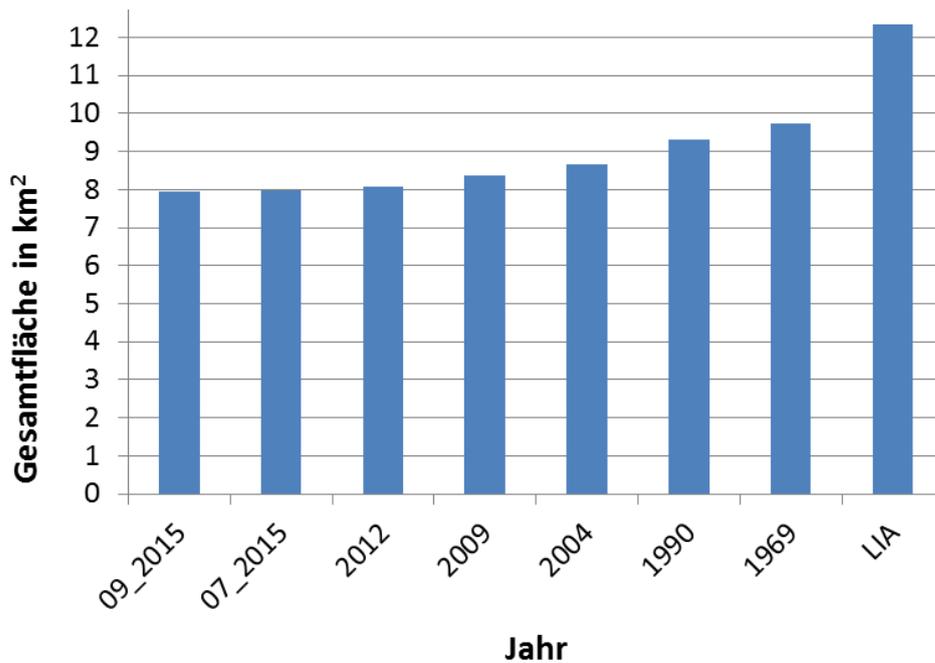


Abbildung 6: Fläche des Schlatenkees in km².

In Abbildung 6 ist die Gesamtfläche des Schlatenkees zu den verschiedenen Kartierungszeitpunkten abgebildet.

Im September 2015 hatte das Schlatenkees eine Gesamtfläche von 7,94km² und eine Länge von 4940m entlang der Fließlinie.

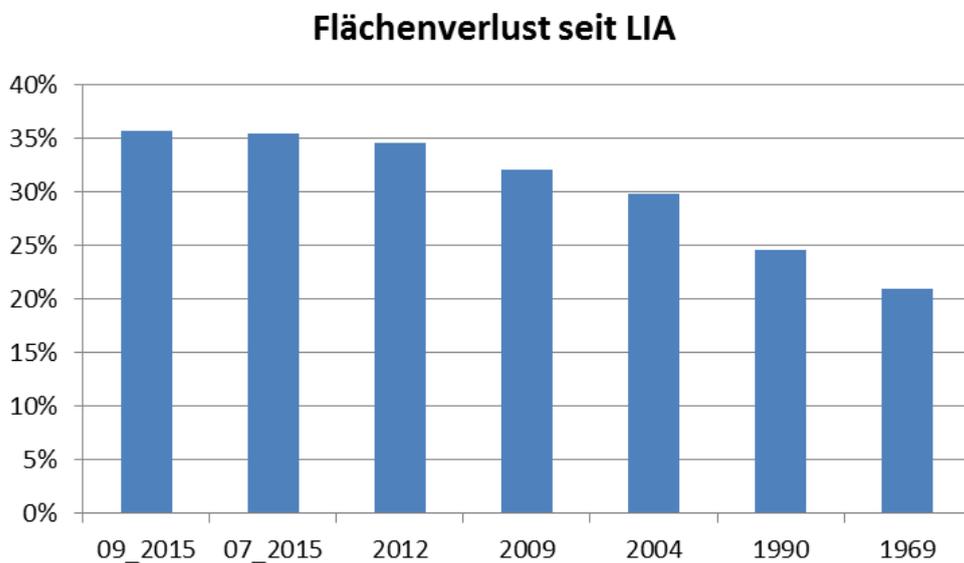


Abbildung 7: Flächenverlust des Schlatenkees in Prozent.

Abbildung 7 zeigt den Flächenverlust des Schlatenkees seit der kleinen Eiszeit, dem letzten Gletscher- hochstand, in Prozent.

Das Schlatenkees hat 36% oder 4,39 km² seiner Gesamtfläche von 1850 (12,33 km²) verloren.

Kartierung des Schlatenbach im Gletschervorfeld (ab Brücke):

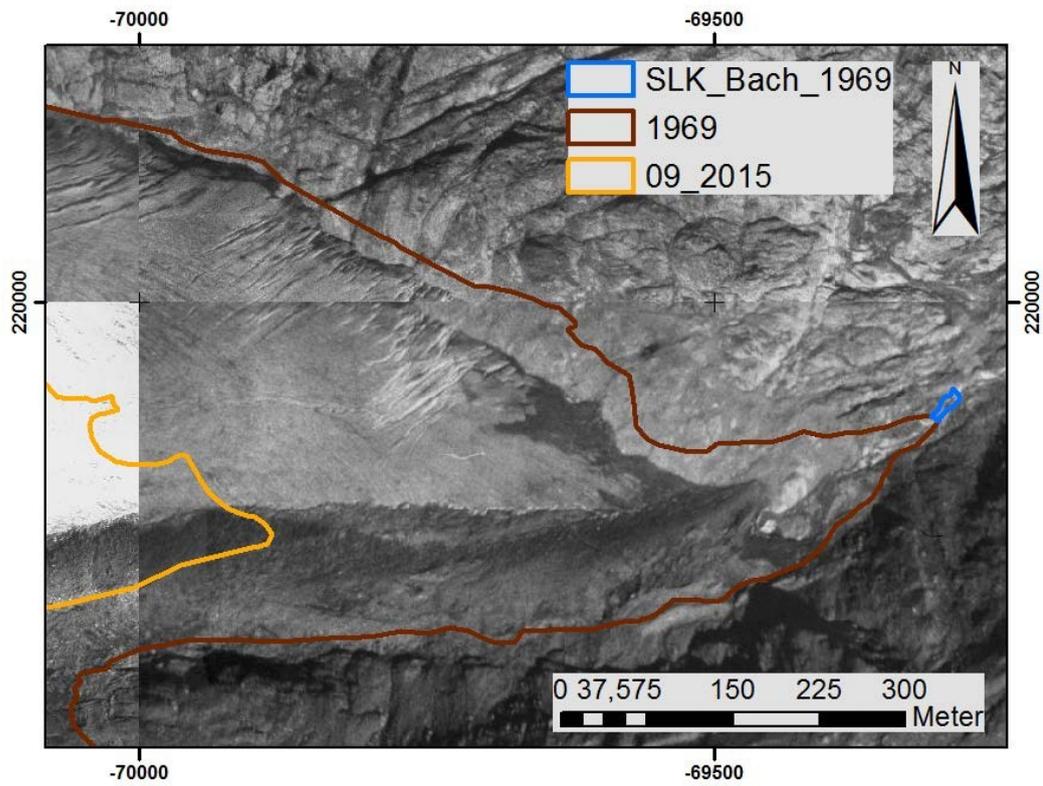


Abbildung 8: Schlatenbach 1969 (blau) und Gletscherstände des Schlatenkees 1969 (braun) und im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 1990.

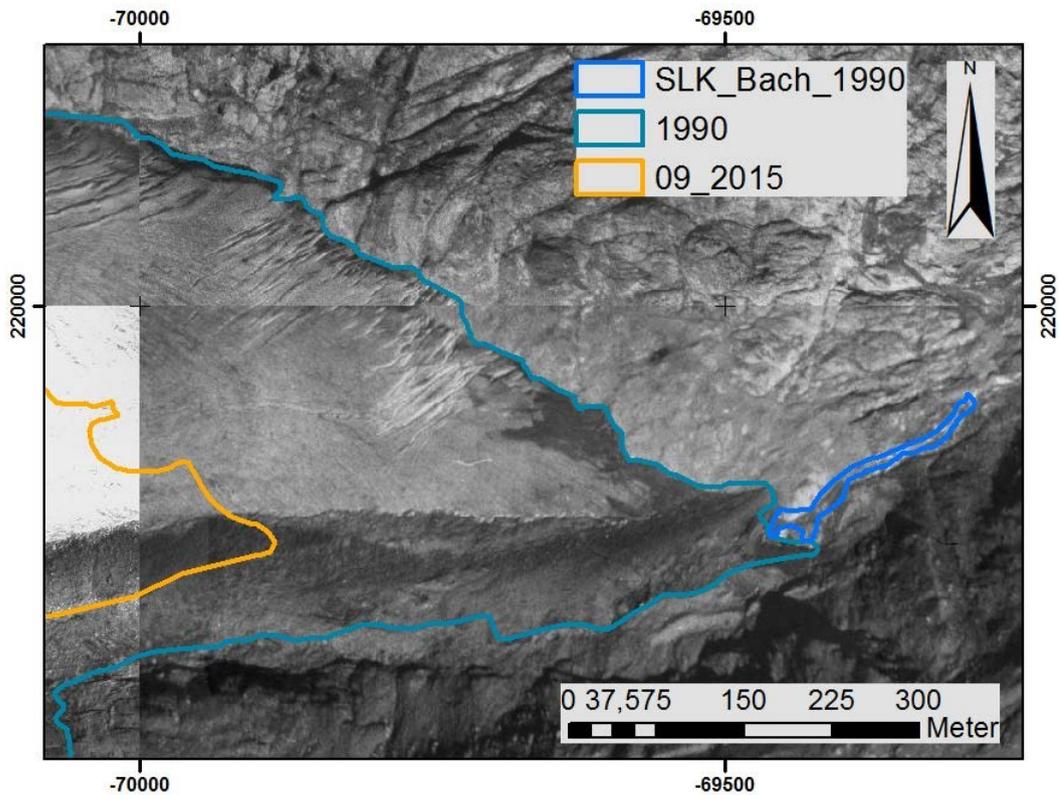


Abbildung 9: Schlatenbach 1990 (blau) und Gletscherstände des Schlatenkees 1990 (hellblau) und im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 1990.

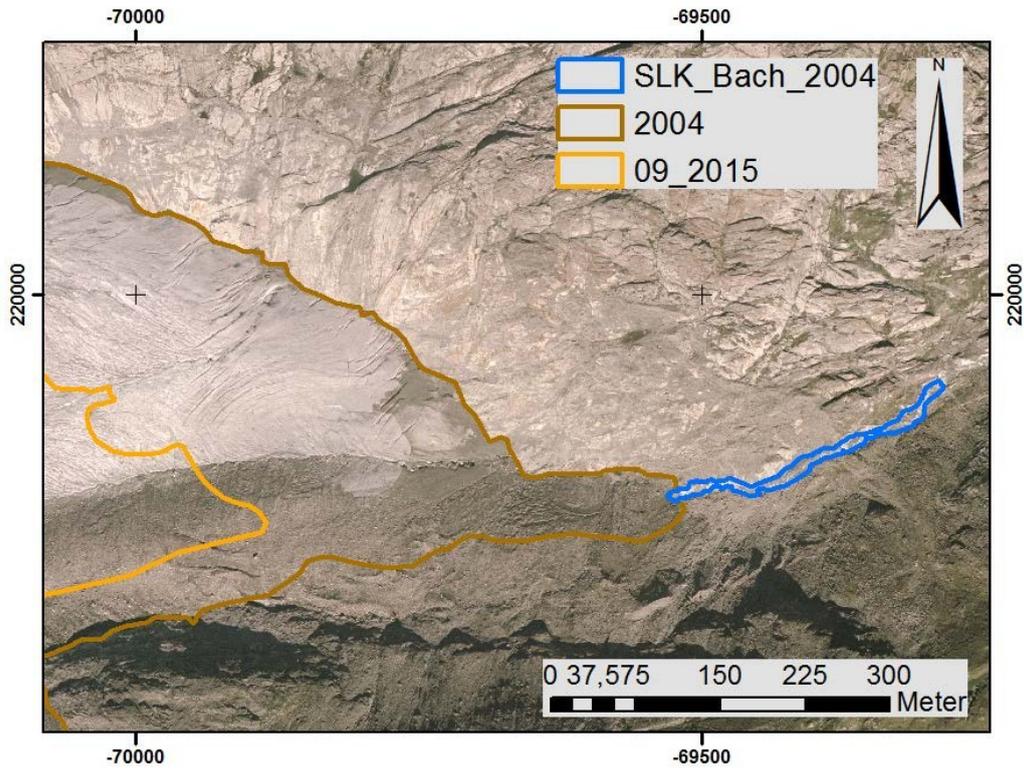


Abbildung 10: Schlattenbach 2004 (blau) und Gletscherstände des Schlattenkees 2004 (hellbraun) und im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 2004.

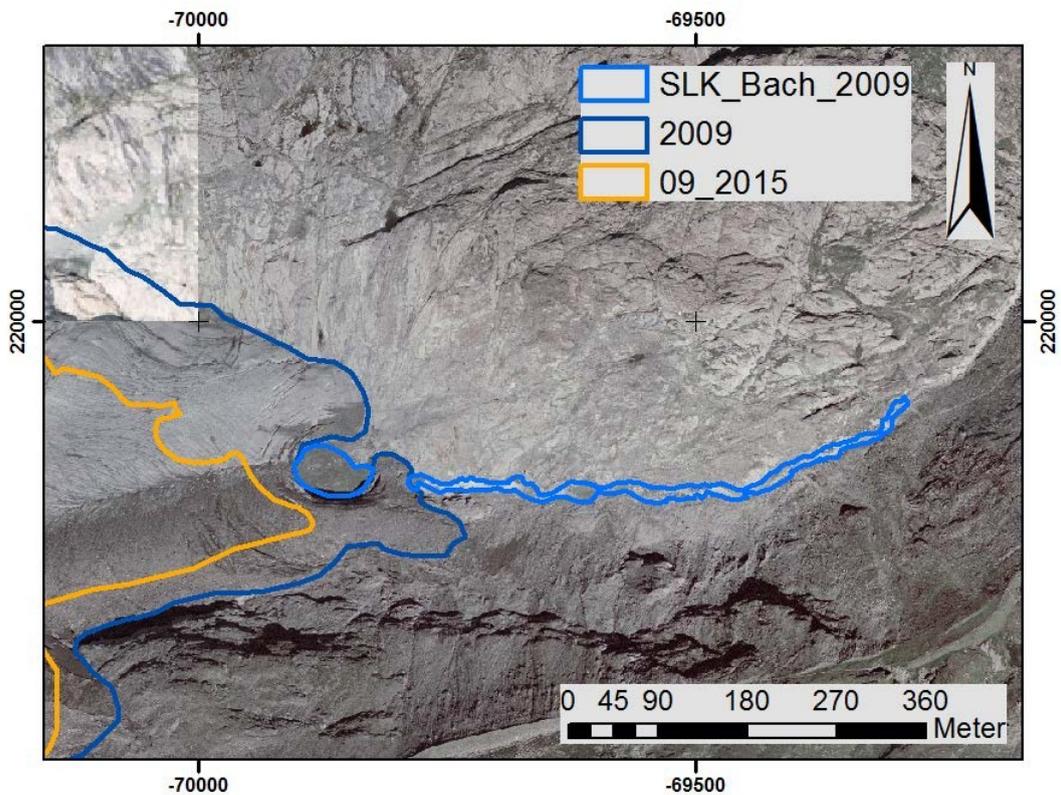


Abbildung 11: Schlattenbach 2009 (blau) und Gletscherstände des Schlattenkees 2009 (dunkelblau) und im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 2009.

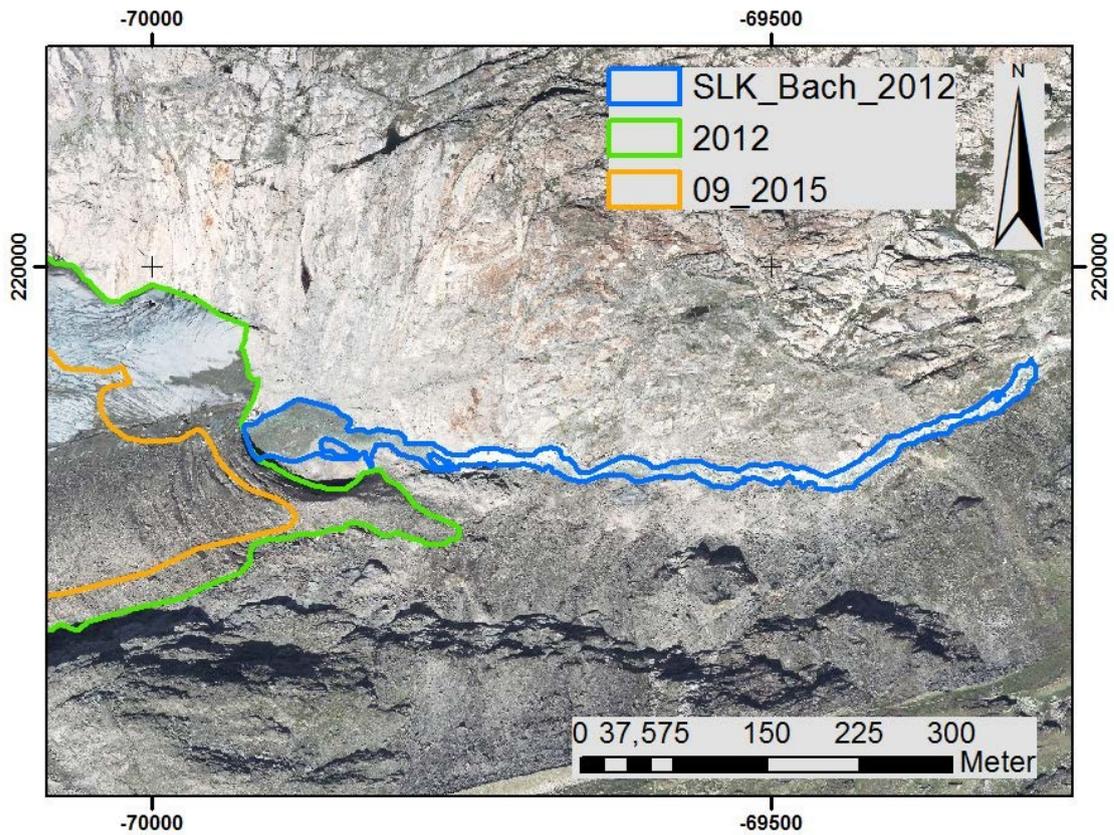


Abbildung 12: Schlattenbach 2012 (blau) und Gletscherstände des Schlattenkees 2012 (grün) und im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 2012.

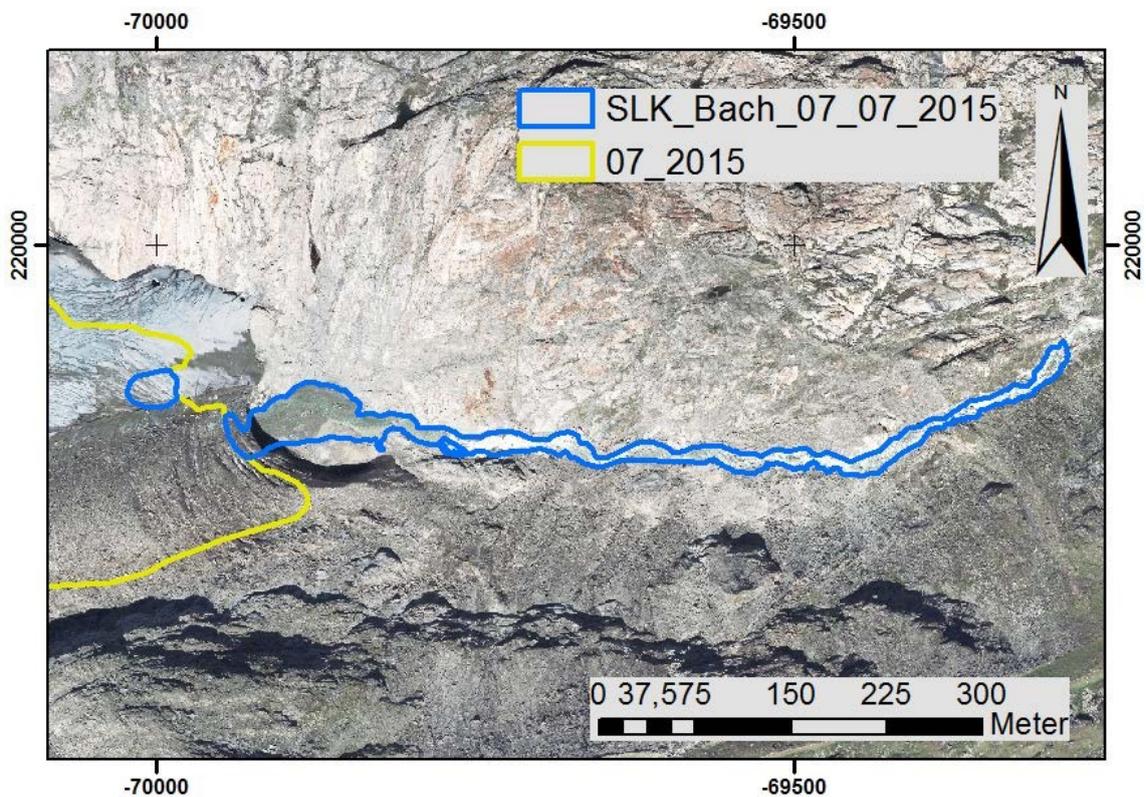


Abbildung 13: Schlattenbach im Juli 2015 (blau) und Gletscherrand des Schlattenkees im Juli 2015 (gelb) auf dem Orthofoto von 2012.

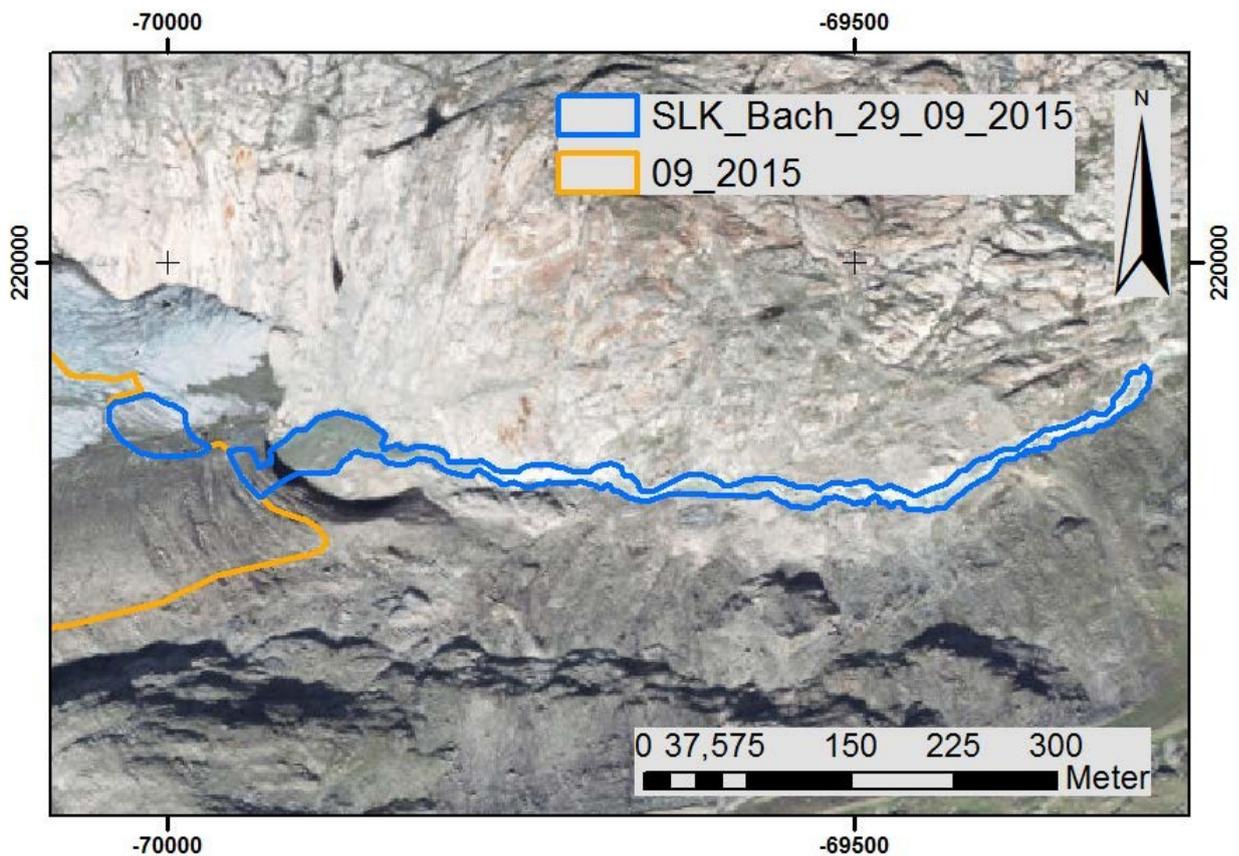


Abbildung 14: Schlattenbach im September 2015 (blau) und Gletscherrand des Schlattenkees im September 2015 (orange) auf dem Orthofoto von 2012.

Die vorherigen Abbildungen 10 - 14 zeigen die Ergebnisse der Kartierung der unterschiedlichen Gletscherstände am Schlattenbach. Ab der Brücke, die über den Schlattenbach führt, wurden alle Gewässerverläufe im Vorfeld kartiert und in Abbildung 15 deren Fläche in Quadratmeter dargestellt. Zwischen 2004 und 2015 sind fast zehn tausend Quadratmeter „Gewässergeburt“ durch den „Gletschertod“ entstanden.

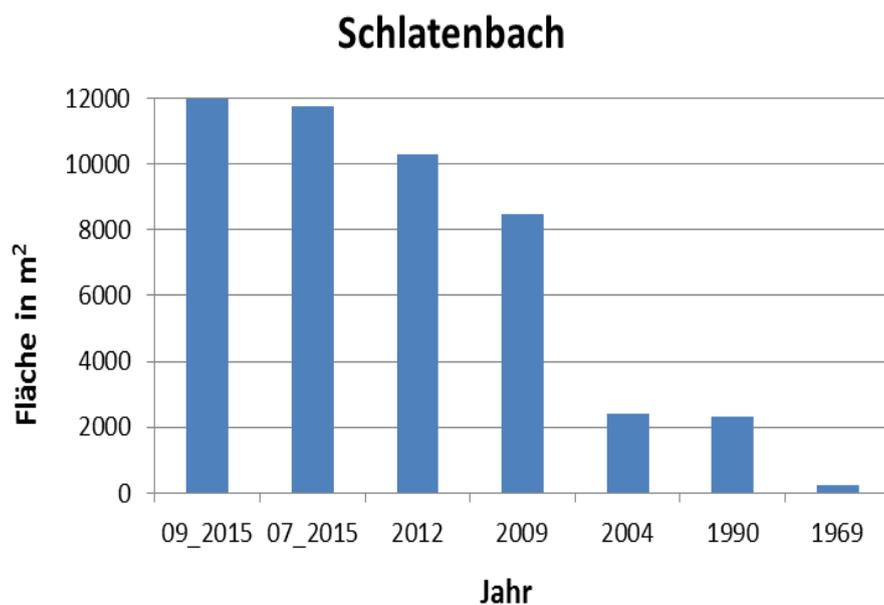


Abbildung 15: Fläche des Schlattenbach in Quadratmeter.

2. Wie verändert sich das hydrologische Regime in diesen Gletscherabflüssen?

Das glaziale Regime des Einzugsgebietes des Schlatenbach ist beeinflusst durch die ganzjährige Schnee- bzw. Eisbedeckung des Schlatenkees. Die jahreszeitliche Variabilität resultiert aus der Schneeschmelze im Frühjahr und der Gletscherschmelze im Sommer, beeinflusst durch die Sonnenhöhe. Tageszeitliche Unterschiede entstehen durch die Sonneneinstrahlung, den Niederschlag und die Änderung der Lufttemperatur.

2.1. Methoden

Massenbilanzmessung

Die direkte glaziologische Methode wurde zur Bestimmung der Schmelze angewandt. Dazu wurden Ablationspegel in das Eis gebohrt und die Schmelze direkt abgelesen.

Abflussmessung

Zur Messung des Wasserstandes und der Wassertemperatur kam ein U20 Wasserstand Logger der Firma Hobo zum Einsatz.

Fotos

Um tageszeitliche und saisonale Änderungen festzuhalten, wurde vom gleichen Punkt (siehe Abb. 16; Kamera) aus fotografiert und auch vor Ort das Gletschervorfeld visuell festgehalten. Hier ist auch die Lage der Ablationspegel und des Abflussloggers ersichtlich.

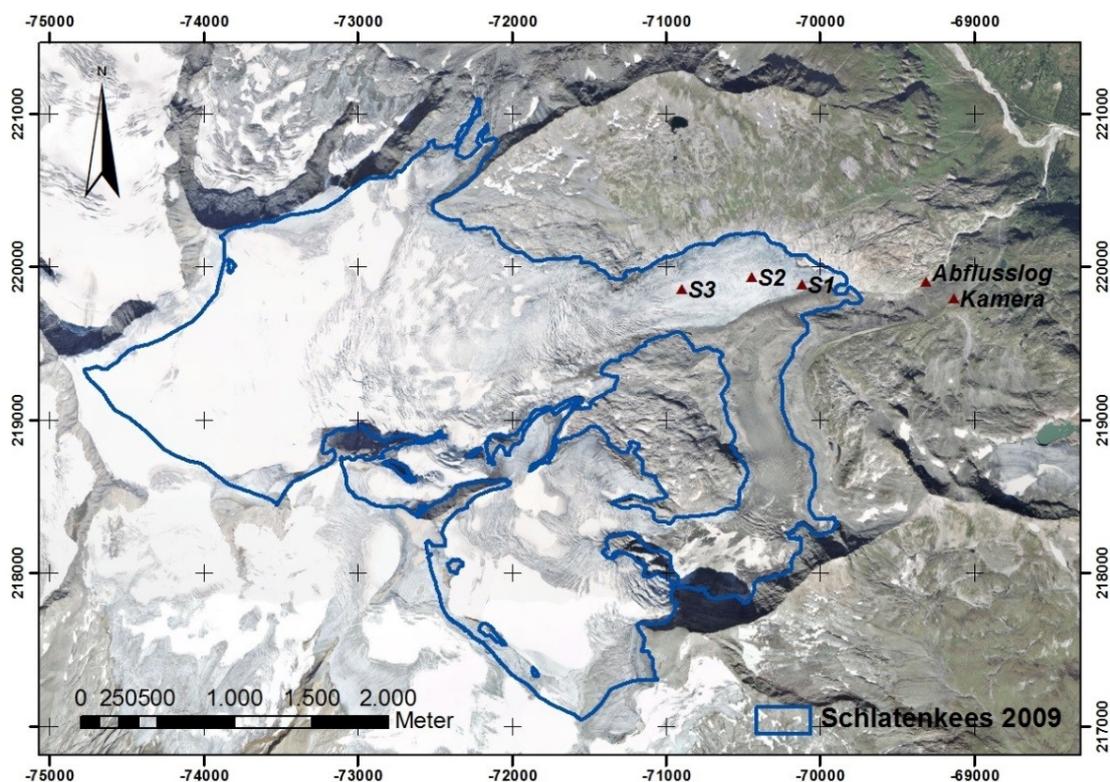


Abbildung 16: Untersuchungsgebiet mit Gletschergrenze des Schlatenkees 2009 (blau) Lage der Ablationspegel S1-S3, Kamerapunkt und Abflussmessung.

2.2. Ergebnisse

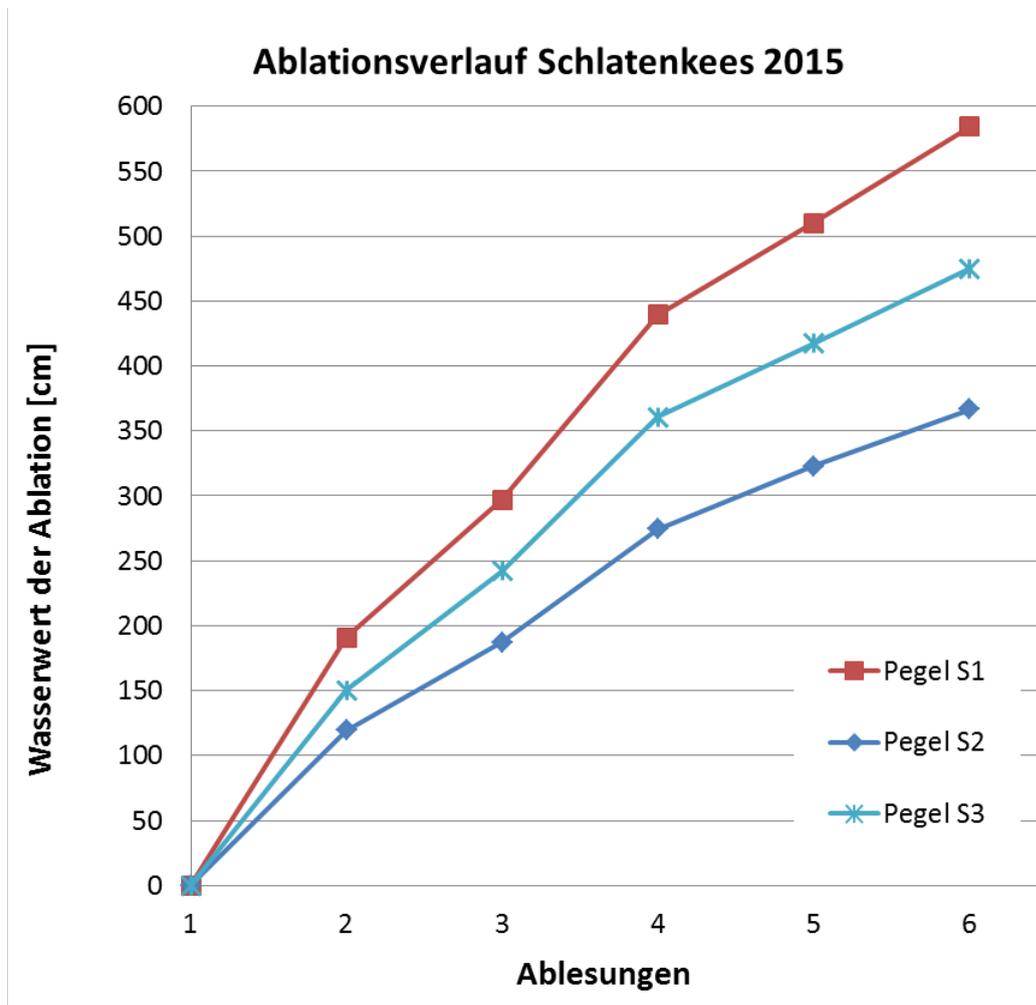


Abbildung 17: Ablationsverlauf der Ablationspegel am Schlatenkees 2015.

In obiger Abbildung 17 ist der Ablationsverlauf der Ablationspegel veranschaulicht. Die X Achse zeigt die Ablesungen die am 7. und am 24. Juni, 6. und 28. August und am 8. und 28. September durchgeführt wurden. Die Ordinate zeigt den Wasserwert der Ablation in Zentimeter. Hier wurde die tatsächlich gemessene Eisschmelze mit einer Dichte von $0,917 \text{ g/cm}^2$ umgerechnet und somit der Ablationsbeitrag zur Massenbilanz bestimmt.

Auf der nächsten Seite sind die Daten des Wasserstandes, der Wassertemperatur und der Lufttemperatur in den Abbildungen 18 bis 20 zu sehen. Besonders auffallend ist die starke Korrelation der einzelnen Parameter. Gegen Ende des Beobachtungszeitraumes sieht man den Einbruch einer Kälteperiode. Dadurch sinkt der Wasserstand soweit, dass sich der Logger über Wasser zu liegen kommt.

Wie sehr die Lufttemperatur mit dem Abfluss des Schlatenbach korreliert, sieht man auch in den Abbildungen 21 bis 23. Hier sind die Messwerte vom 4. August grafisch dargestellt. Auffallend ist eine um 2 Stunden verschobene Temperaturganglinie gegenüber der Wasserstandslinie.

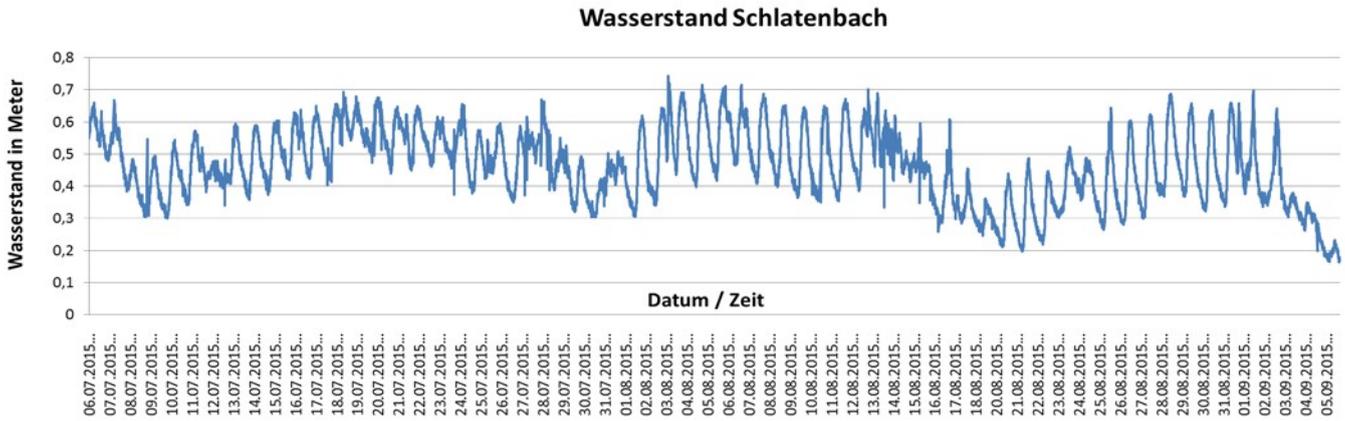


Abbildung 18: Wasserstand Schlatabach in Meter.

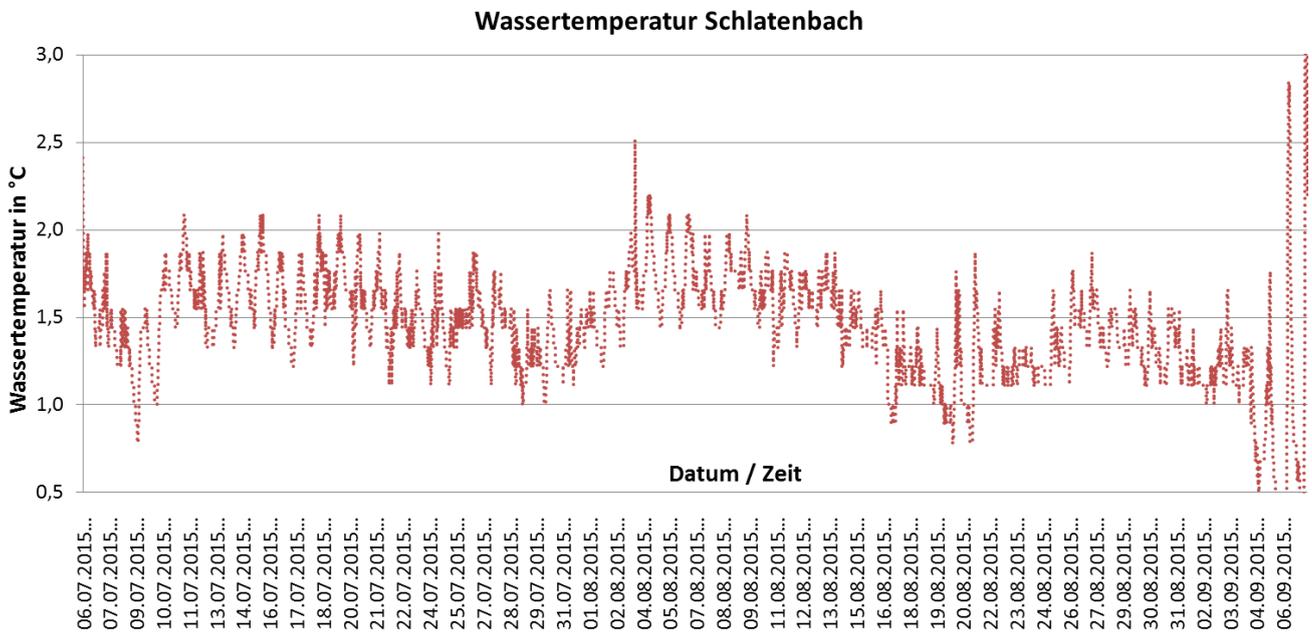


Abbildung 19: Wassertemperatur Schlatabach in Grad Celsius.

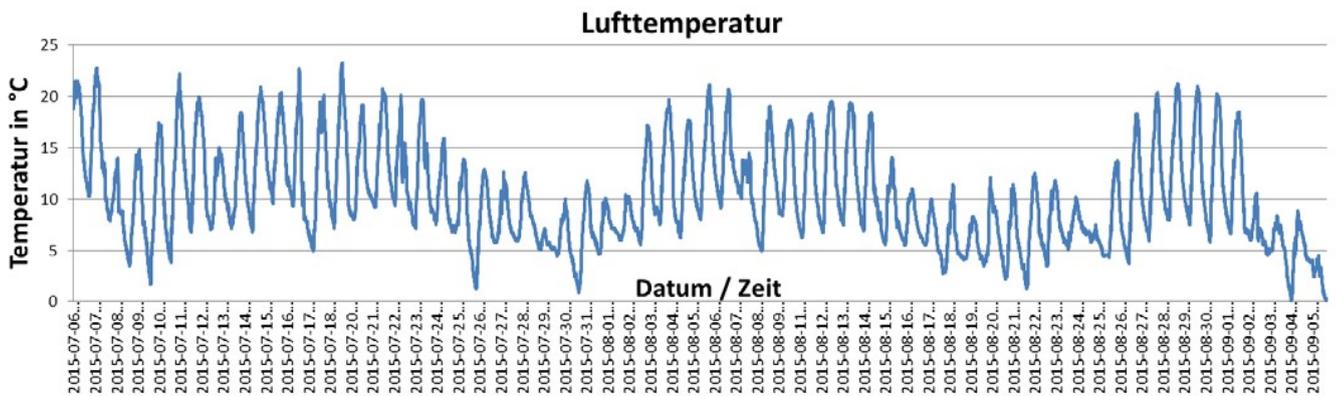


Abbildung 20: Lufttemperatur Schlatabach in Grad Celsius.

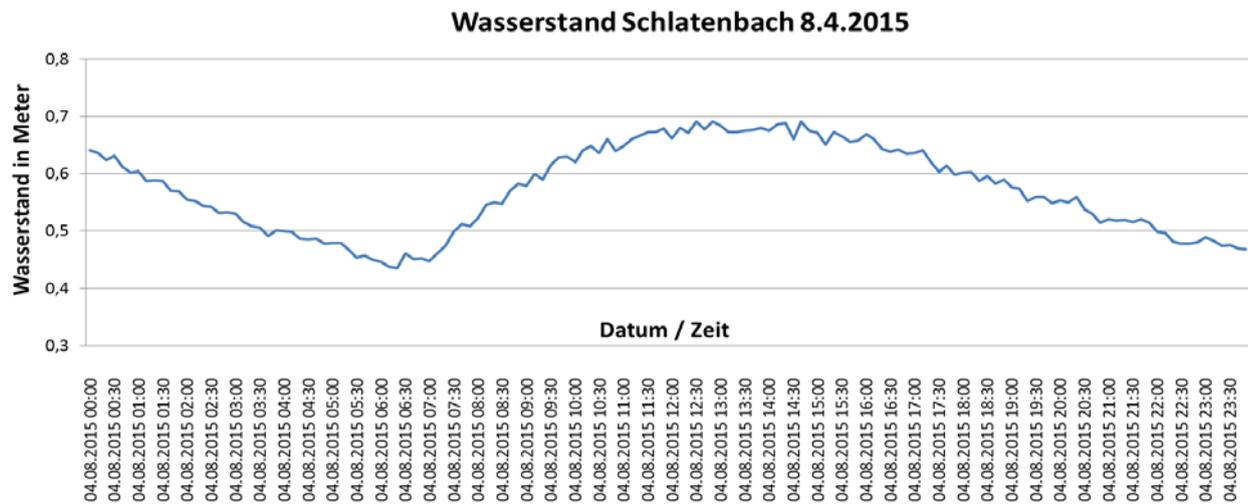


Abbildung 21: Wasserstand Schlattenbach in Meter am 8.4.2015.

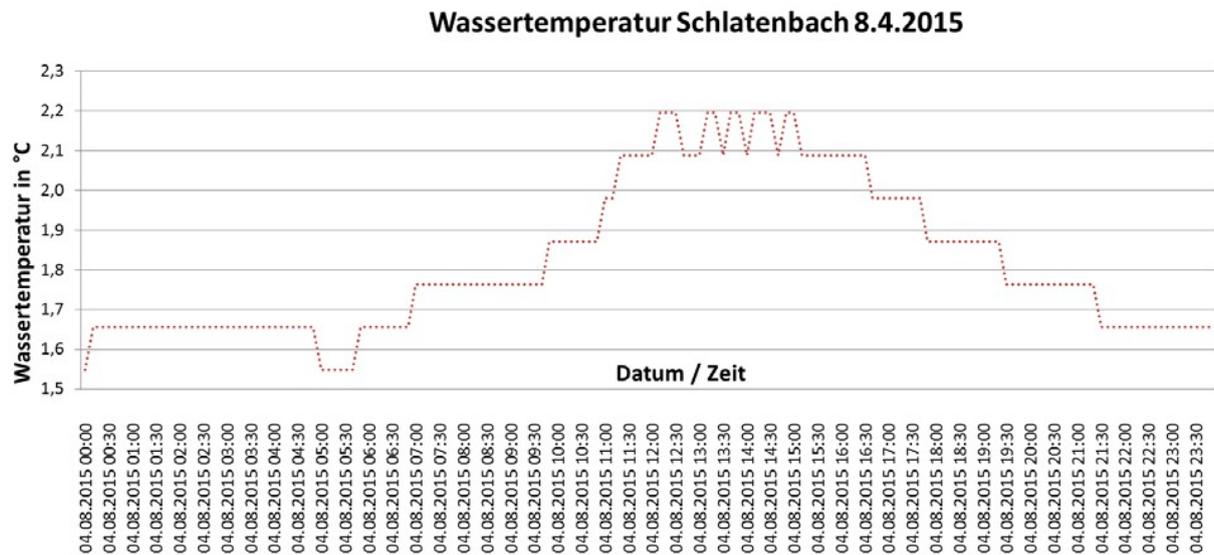


Abbildung 22: Wassertemperatur Schlattenbach in Grad Celsius Meter am 8.4.2015.

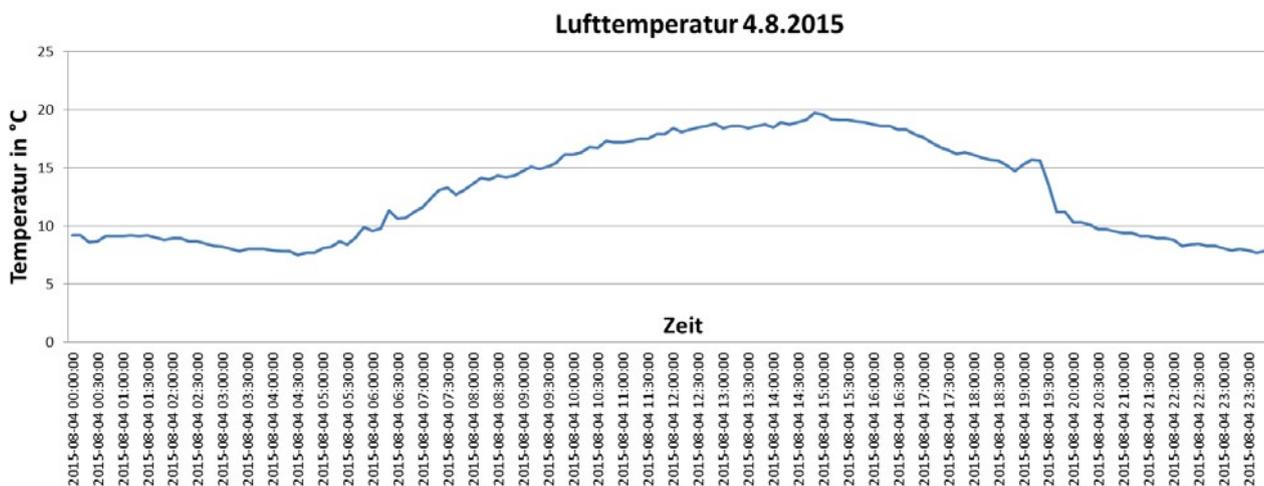


Abbildung 23: Lufttemperatur Schlattenkees in Grad Celsius am 8.4.2015.



Abbildung 24: Schlatenkees am 7.7.2015.



Abbildung 25: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 7.7.2015.

9:39 Uhr am 7.7.2015:



Abbildung 26: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 7.7.2015 um 9:39 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.

15:13 Uhr am 7.7.2015:



Abbildung 27: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 7.7.2015 um 15:13 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 28: Schlatenkees am 24.7.2015.



Abbildung 29: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 24.7.2015.



Abbildung 30: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 24.7.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 31: Gletschervorfeld am 24.7.2015 fotografiert von der Gletscherzunge.

09:56 Uhr am 24.7.2015:



Abbildung 32: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 24.7.2015 um 9:56 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.

12:32 Uhr am 24.7.2015:



Abbildung 33: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 24.7.2015 um 12:32 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 34: Schlatenkees am 6.8.2015.



Abbildung 35: Gletschervorfeld am 6.8.2015.



Abbildung 36: Gletschervorfeld am 6.8.2015.



Abbildung 37: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 6.8.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 38: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 6.8.2015 fotografiert von der Gletscherzunge.

09:11 Uhr am 6.8.2015:



Abbildung 39: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 6.8.2015 um 9:11 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.

11:46 Uhr am 6.8.2015:

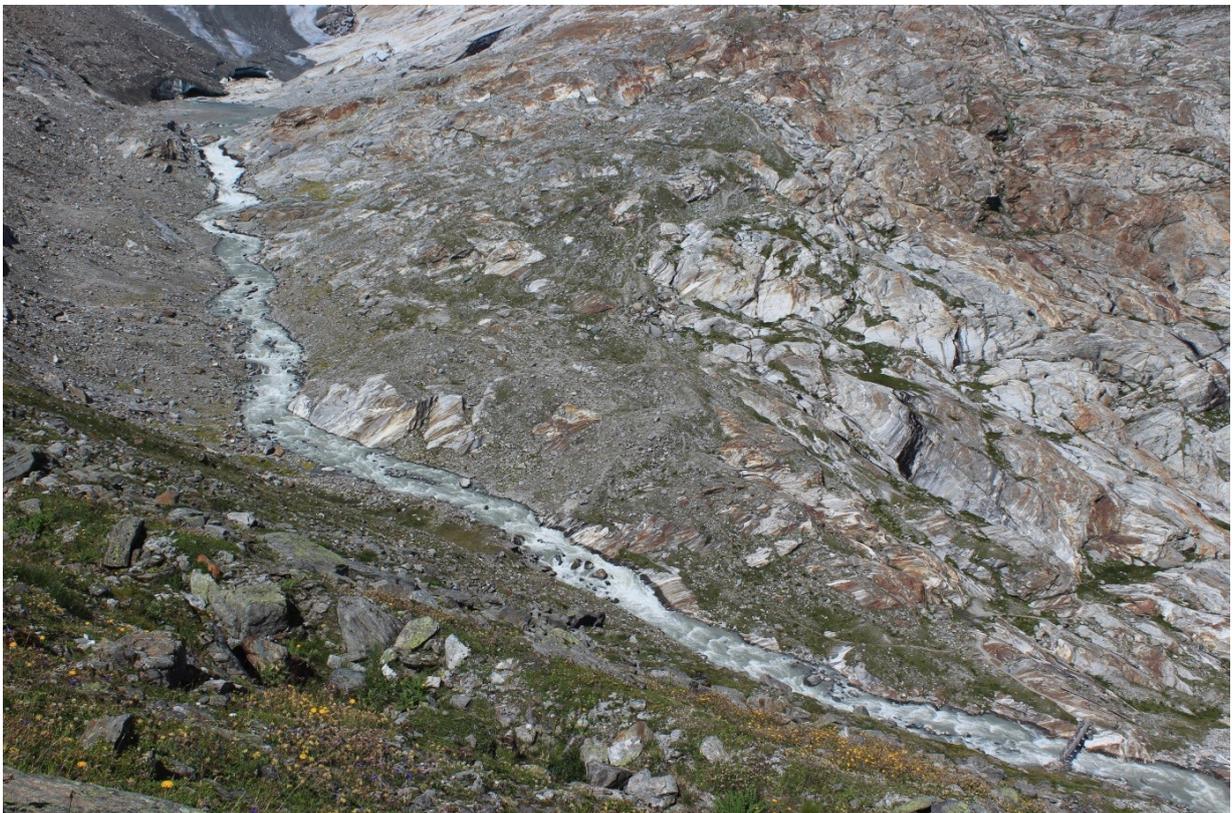


Abbildung 40: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 6.8.2015 um 11:46 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 45: Schlatenkees am 26.8.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 46: Gletschervorfeld am 26.8.2015.



Abbildung 47: Gletschervorfeld am 26.8.2015.



Abbildung 48: Gletschervorfeld am 26.8.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 49: Gletschervorfeld am 26.8.2015 fotografiert von der Gletscherzunge.

12:05 Uhr am 26.8.2015:



Abbildung 50: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 26.8.2015 um 12:05 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.

14:31 Uhr am 26.8.2015:



Abbildung 51: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 26.8.2015 um 14:31 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 52: Schlatenkees am 8.9.2015.



Abbildung 53: Gletschervorfeld am 8.9.2015.



Abbildung 54: Gletschervorfeld mit Schlattenkees am 8.9.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.

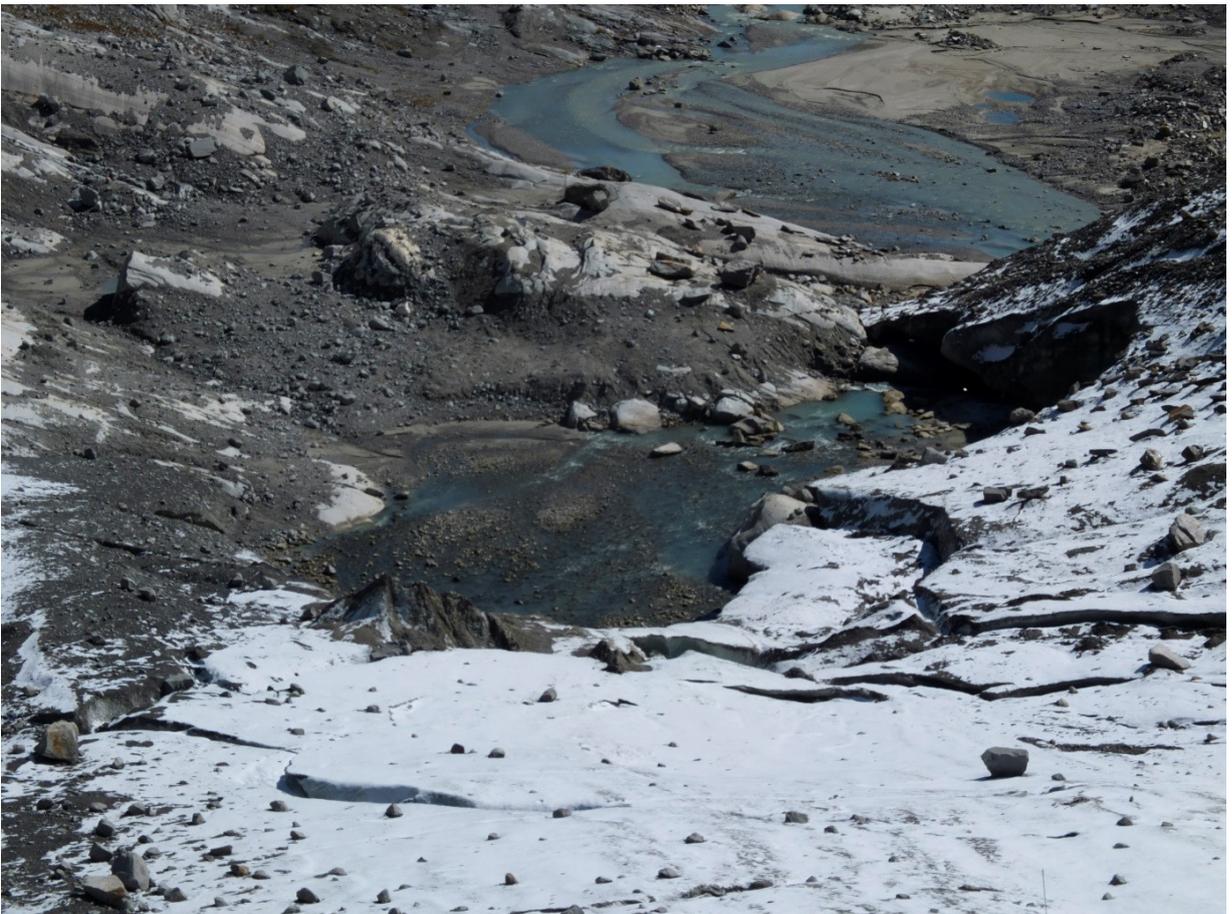


Abbildung 55: Gletschervorfeld am 8.9.2015 fotografiert von der Gletscherzunge.

10:37 Uhr am 8.9.2015:



Abbildung 56: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 8.9.2015 um 10:37 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.

13:38 Uhr am 8.9.2015:



Abbildung 57: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 8.9.2015 um 13:38 Uhr fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 58: Schlatenkees am 28.9.2015.



Abbildung 59: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 28.9.2015.



Abbildung 60: Gletschervorfeld mit Schlatenkees am 28.9.2015 fotografiert vom Kamerapunkt.



Abbildung 61: Gletschervorfeld am 28.9.2015 fotografiert von der Gletscherzunge.

In der Fotoreihe von Abbildung 24 bis 61 werden die saisonale und die tageszeitliche Variation der Wasserführung gut veranschaulicht.

Mit den Bildern von Anfang Juli bis Ende August ist der Höhepunkt der Gletscherschmelze in den Abbildungen 24 bis 51 sichtbar. Ab September, in den Abbildungen 52 bis 61, sieht man den Rückgang der Schmelze mit kälter werdenden Temperaturen, niedrigem Wasserstand, und dem ersten Schnee auf dem Gletscher.

Eine Installation einer automatischen Kamera wäre für die Zukunft sinnvoll um die Änderungen des Schlatenkees und im Gletschervorfeld zu dokumentieren.

Bei Fertigstellung des Berichtes wurden bezüglich der glaziologischen Untersuchungen folgende Daten dem Nationalpark Hohe Tauern übergeben:

1. Daten:

• GIS Daten:

NP-Gletscher.gdb: Kartierung der Gletscherstände im osttiroler Teil des Nationalpark Hohe Tauern der Jahre 1990,2002/2004, 2012.

Shapefiles der Gletscherstände des Schlatenkees und des Gewässerverlaufes des Schlatenbach.

• Messdaten:

Excel Files der Daten des Wasserstandloggers und der Ablationsmessungen.

2. Fotos:

Digitale Fotografien des Schlatenkees und des Vorfeldes zu jedem Beobachtungszeitpunkt.

3. Welche Gewässer entstehen im Nahbereich von Gletschern? Wie gestalten sich die Gewässer als Ökosysteme (abiotische, physikalisch-chemische Eigenschaften, Nährstoffe, organischen Substanz, Aufwuchs)?

Alpine Gewässer und besonders Fließgewässer werden als kleinräumig strukturierte und dynamische Lebensräume charakterisiert (Milner & Petts 1994; Brown et al. 2007; Jacobsen et al. 2014). Sie dienen oft als Modellökosysteme für die Untersuchung von Habitatvielfalt, hydrologischer Vernetzung und der möglichen Reaktion von Flora und Fauna auf Klimaveränderungen (Brittain & Milner 2001). Die in diesem Projekt vorgeschlagene Erhebung der Vielfalt der Gewässertypen und der dadurch neu entstandenen Lebensräume im Gletscherrückzugsgebiet wurde bisher jedoch kaum untersucht.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick der Beprobungszeitpunkte sowie der Wetterlage während der biotischen Feldetappen. Im weiteren Verlauf des Protokolls werden der Einfachheit halber nur mehr die Terminbezeichnungen, nicht mehr die exakten Datumsangaben verwendet.

Tab. 1: Beprobungstermine und Wetterlage

Bezeichnung	Datum von-bis	Wetterverhältnisse
1. Termin	11.-13.08.2015	durchgehend sonnig
2. Termin	19.-21.08.2015	durchgehend sonnig
3. Termin	26.-28.08.2015	durchgehend sonnig
4. Termin	01.-04.09.2015	zunächst sonnig, dann wechselhaftregnerisch
5. Termin	24.-25.09.2015	Bewölkt, ca. 20cm Neuschnee an Probenstellen

Bei jedem Termin wurden vier Fließgewässerabschnitte (Sch1, Sch2, Sch3 und Sch4; Abbildung 62) beprobt. Zusätzlich erfolgte die biotische und abiotische Charakterisierung eines nahe gelegenen Tümpels (La). Eine Verortung der Probenstellen auf Luftbildaufnahmen ist leider nicht möglich. Die aktuellsten Orthofotos des Schlatenkees-Gletschertores stammen aus 2012. Zu diesem Zeitpunkt sind drei der vier untersuchten Fließgewässerabschnitte noch nicht eisfrei. Die exakten Koordinaten der untersuchten Gewässerabschnitte, sowie deren Höhenlage sind daher nachfolgender Tabelle zu entnehmen.

Tab. 2: Höhenlage und Koordinaten der Beprobungsstellen

Standort	Höhe [müNN]	Koordinaten	
		N	E
Sch1	2166	47°06'51.9''	12°24'36.7''
Sch2	2161	47°06'51.1''	12°24'37.0''
Sch3	2158	47°06'50.7''	12°24'40.2''
Sch4	2150	47°06'50.8''	12°24'46.1''
LA	2183	47°06'53.8''	12°24'57.8''



Abbildung 62: Lage der biologischen Fließgewässerprobenstellen Sch1-4 (Foto: Stefan Schütz)

Als Beispiel der zeitlichen Unterschiede im Abflussverhalten ist hier ein Querprofil an der Stelle Sch4 dargestellt. Der Abfluss ist durch Tagesdynamik und einer saisonalen Dynamik geprägt.

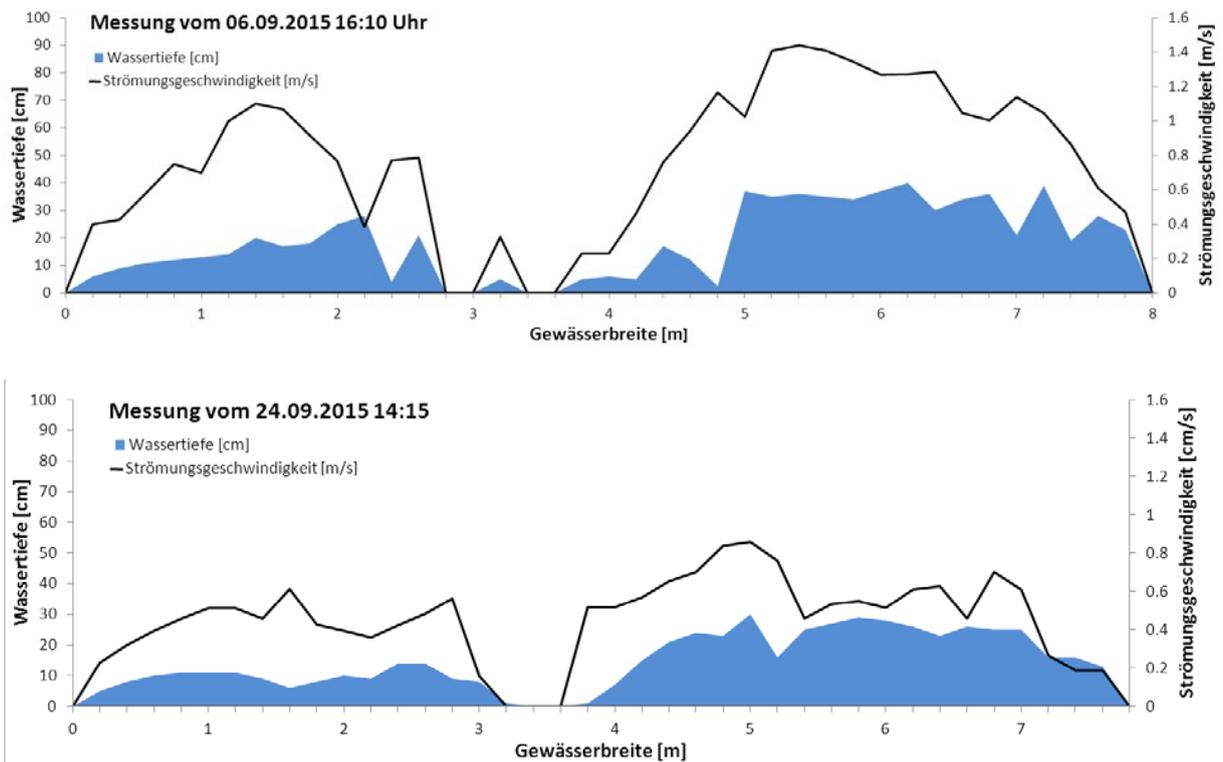




Abbildung 63: Alle biologischen Probestellen im Detail (Fotos: Stefan Schütz)

Ganz im Gegensatz zu der Dynamik des Gletscherbaches zeigt sich der Hochgebirgstümpel, der im Bereich des Gletscherrückzuges entstanden ist (Abb. 63, La). Die Gewässertypen und die neu entstandenen Lebensräume unterscheiden sich in abiotischer und biotischer Hinsicht. Gerade hochalpine Fließgewässer, welche unter starkem Gletschereinfluss stehen, können deutliche Habitat-Unterschiede auf kurzen Distanzen aufweisen. Die wichtigsten Gründe hierfür sind die Kleinräumigkeit der Reliefstruktur in hochalpinen Lagen, der Grad des direkten Gletschereinflusses sowie die Zeit seit der Vergletscherung. Ein erster Anhaltspunkt der Habitat-Diversität der Probestellen gibt die ökomorphologische Beschreibung der Probenpunkte. Nachstehende Tabelle 3 fasst die ökomorphologischen Erhebungen zusammen.

Tabelle 3: Auflistung morphologischer Kenngrößen an den Untersuchungsstellen

Charakteristikum	Beschreibung		Probenstelle				
			Sch1	Sch2	Sch3	Sch4	La (Tümpel)
Sohle, Substrat mit Korngröße	Fels	gewachsen	10	20	10	20	2
	Megalithal	> 40 cm	20	20	5	30	5
	Makrolithal	20-40 cm	40	20	10	30	30
	Mesolithal	6,3 - 20 cm	20	15	40	10	10
	Mikrolithal	2 - 6,3 cm	20	20	25	10	20
	Akal	0,2 - 2 cm	10	5	10	0	10
	Psammal	0,0063 - 0,2 cm	0	0	0	0	10
	Pelal	< 0,0063 cm	0	0	0	0	13
Gewässerausmaße (Schätzungen)	Wassertiefe [m]	von	0.1	0.2	10	0.3	0.2
		bis	0.8	1	40	1.2	0.8
	Wasserbreite [m]	von	18	10	13	6	3
		bis	20	25	18	8	8
	Sohlbreite [m]	von	18	10	14	6	3.3
		bis	20	26	20	9	8.4
	Sohltiefe li [m]	von	0.2	0.3	10	0.3	0.2
		bis	1.2	1	40	1.5	1
	Sohltiefe re [m]	von	18	0.3	10	0.3	0.2
		bis	21	1	40	1.5	1
	Bösch. Neigung li [°]	von	90	30	3	25	15 (Ost)
		bis	100	45	10	70	30 (Ost)
Bösch. Neigung re [°]	von	90	25	3	15	15 (West)	
	bis	100	100	10	45	45 (West)	
Sohlbeschattung	Beschattung [%]		10	20	0	0	0
Ufervegetation	links, 5m [%]	keine	100	100	100	100	50
		krautige					40
		Feuchtveg.					10
		Strauchveg.					
		Baumveg.					
	rechts, 5m [%]	keine	100	100	100	100	50
		krautige					40
		Feuchtveg.					10
		Strauchveg.					
		Baumveg.					
Variabilität	Breite [keine, gering, mittel, hoch]		gering	mittel	mittel	gering	mittel
	Tiefe [keine, gering, mittel, hoch]		gering	mittel	mittel	gering	mittel

Die Zusammenfassung der Ökomorphologie beschreibt die Ausgestaltung des Lebensraumes an den einzelnen Probenstellen sehr anschaulich. Auffallend ist, dass die Fließgewässerstellen (Sch1-4) einen sehr hohen Anteil (65-90%) an relativ großem Gesteinsmaterial (6,3cm-Fels) in der Sohle aufweisen. Dies ist typisch für alpine Fließgewässer, da sich das feine Gesteinsmaterial aufgrund der relativ hohen Strömung und der hohen Reliefenergie kaum in der Gewässersohle ablagern kann. Die Gewässer- und Sohlbreite weichen nicht stark voneinander ab, was auf einen relativ hohen Wasserstand zum Zeitpunkt der ökomorphologischen Erhebung hindeutet. Dies deckt sich auch mit der einheitlich ausfallenden Bewertung der Variabilität. Das Fließgewässer nutzt aufgrund der relativ hohen Wasserverführung, bedingt durch das sonnige Wetter und dem dadurch verstärkten Abschmelzen des Gletschers, die Sohlbreite aus und füllt damit den ihm zur Verfügung stehenden

Raum. Die nicht vorhandene Ufervegetation an den jeweiligen Probenstellen, einhergehend mit den hohen Böschungswinkeln zeigt die Dynamik der untersuchten Fließgewässerabschnitte. Durch häufiges Umlagern und Überschwemmen der Ufer- und Böschungsbereiche kann keine Vegetation auf den ersten fünf Metern neben der Wasserlinie aufkommen. Der in diese Studie aufgenommene Tümpel unterscheidet sich ökomorphologisch deutlich zu den Fließgewässerstellen. Die fehlende Dynamik ermöglicht eine dichte Ufervegetation. Abhängig von den Niederschlägen und den Außentemperaturen verändert sich lediglich die Gewässertiefe, welche zum Zeitpunkt der Aufnahme als normaler Wasserstand zu bezeichnen ist. Die Fließgewässerprobenstellen scheinen sich von außen betrachtet also nur geringfügig voneinander zu unterscheiden. Um feinste Unterschiede von räumlich dicht aufeinander folgenden Probenstellen herausfinden zu können, bedarf es jedoch der Anwendung genauerer Untersuchungsmethoden. Für diese Studie wurden mehrere, bewährte Methoden kombiniert und erstmalig abiotische, biotische und physikalisch-chemische Parameter sowohl vor- als auch nachmittags erfasst, um neben den saisonalen Entwicklungen auch tageszeitliche Veränderungen an den Probenstellen erfassen zu können.

3.1. Methoden

Zweimal täglich wurde Wasser aus der freien Welle zur exakten physikalischen- und Ionen-Analyse (2 Liter), Messung des Trübstoff- und Chlorophyllgehalts und Bestimmung des organischen Materials im Abfluss entnommen und in drei Parallelproben (je ca. 650ml) gefiltert. Zusätzlich zur Abflussfiltration erfolgte die einmalige Bestimmung des organischen und anorganischen Materials, sowie des Chlorophyllgehalts des Aufwuchses im Flussbett. Hierfür wurden drei flache, permanent überströmte, ca. handtellergroße Steine dem Gewässer entnommen, deren Aufwuchs abgebürstet, jeweils in ca. 100ml Wasser gelöst und anschließend filtriert. Die Steinfläche wurde abgezeichnet, um die verschiedenen analysierten Parameter auf eine bestimmte Fläche beziehen zu können. Zeitgleich erfolgte die Messung der physikalisch-chemischen Parameter - pH-Wert, Leitfähigkeit [$\mu\text{s}/\text{cm}$], Sauerstoffkonzentration [mg/l] und -sättigung [%], sowie der Wassertemperatur [$^{\circ}\text{C}$] - mit Hilfe einer Hand-Multisonde („WTW Multi 3430“ mit „pH-Electrode SenTix 950“, „TetraCon 925“ und „FDO 925“ Messsensoren). Die dabei im Feld produzierten Filter- und Wasserproben wurden im Anschluss an jede Expedition im Labor der Universität Innsbruck analysiert. Zur exakten Bestimmung des Ionengehalts, sowie der Leitfähigkeit und des pH-Wertes erfolgten eine Ionen-Chromatografie, eine Leitfähigkeitsmessung unter standardisierten Bedingungen sowie eine pH-Titration. Darüber hinaus wurde der DOC (dissolved organic carbon) Gehalt ermittelt. Für die Bestimmung des Trübstoffgehalts, sowie der Menge an organischem Material im Freiwasser und dem Aufwuchs war eine mehrstufige Aufarbeitung der Filter notwendig. Für die Ermittlung des organischen Materials mussten die Filter zunächst getrocknet (60°C , 24 Stunden) und anschließend gewogen werden. In einem zweiten Schritt erfolgte die Veraschung des organischen Materials auf den Filtern (400°C , zwei Stunden) und eine erneute Wiegung. Da das gemuffelte Leergewicht jedes Filters bekannt ist (wurde vor jeder Feldetappe gemuffelt und gewogen), kann auf diese Weise sowohl das organische als auch anorganische Material (Trübstoffe) bestimmt werden. Die Chlorophyllanalyse erfolgte über eine Lösung des auf den Filtern vorhandenen Pigmentes in Aceton. Über photometrische Messungen kann im Anschluss daran der Chlorophyll a Gehalt ermittelt werden. Die dabei aus den drei Parallelen gewonnen Werte wurden für die Darstellung der Ergebnisse und die anschließende Diskussion gemittelt. Auf diese Weise erfolgte eine äußerst umfangreiche und aussagekräftige Charakterisierung der Probenstellen zu verschiedenen fünf verschiedenen Zeitpunkten und im Tagesgang. Zusätzlich erfolgte an jeder der fünf Probenstellen eine durchgehende Aufzeichnung der Wassertemperatur mit

Loggern (Intervall 30 Minuten, Firma Onset; Tidbit v2 Temp-Logger).

3.2. Ergebnisse

Eine erste Charakterisierung der untersuchten Gewässerabschnitte ermöglichen die im Feld aufgezeichneten physikalisch-chemischen Parameter. Die exakten Termine der einzelnen Feldetappen sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: physikalisch-chemische Parameter aufgenommen während der Feldarbeit; Vm=Vormittag, Nm=Nachmittag

Probenstelle	Etappe	Uhrzeit	Physikalisch-chemische Parameter während Feldarbeit				
			O ₂ -Konz. [mg/l]	O ₂ -Sätt. [%]	pH-Wert	Leitf. [µS/cm]	Temp. [°C]
Sch1Vm	1. Termin	11:30	12,30	111,4	6,355	18,5	1,1
Sch1Nm		15:30	12,07	111,3	6,411	15,9	1,6
Sch2Vm		11:33	12,25	110,8	6,525	18,3	1,1
Sch2Nm		16:15	12,13	110,4	6,232	15,7	1,5
Sch3Vm		11:45	12,45	111,5	6,457	17,9	1,3
Sch3Nm		17:04	12,13	111,2	6,31	18,4	1,5
Sch4Vm		11:20	12,20	111,6	6,534	18,3	1,4
Sch4Nm		17:47	12,05	110,9	6,685	18,7	1,6
LA		16:00	9,53	116,4	8,53	73,4	12,6
Sch1Vm	2. Termin	15:45	12,26	109,7	7,249	40,7	0,6
Sch1Nm		10:15	12,27	109,7	7,29	43,4	0,6
Sch2Vm		15:35	12,26	109,5	7,142	40,8	0,6
Sch2Nm		10:10	12,26	109,8	7,125	43,6	0,6
Sch3Vm		12:10	12,24	110,5	7,268	43,1	0,9
Sch3Nm		15:25	12,32	220,3	7,279	40,6	0,6
Sch4Vm		10:50	12,23	110,4	7,238	42,4	0,9
Sch4Nm		14:45	12,27	110,2	7,453	41,6	0,6
LA		16:25	9,64	133,9	9,330	81,4	18,7
Sch1Vm	3. Termin	09:20	11,88	109,6	7,743	25,8	1,1
Sch1Nm		14:30	12,22	111,3	7,672	27,3	1,1
Sch2Vm		9:35	12,15	109,9	7,709	25,9	1,1
Sch2Nm		14:30	12,23	111,2	7,669	27,4	1,1
Sch3Vm		11:00	12,2	109,0	7,602	29,5	1,1
Sch3Nm		14:35	12,30	121,5	7,497	25,4	1,2
Sch4Vm		16:00	12,31	111,5	7,398	27,5	1,1
Sch4Nm		09:30	12,12	110,7	7,570	30,5	1,3
LA		16:00	9,17	135,5	9,285	84,5	21,4
Sch1Vm	4. Termin	13:40	12,18	111,6	7,25	21,6	1,1
Sch1Nm		10:20	11,60	105,1	7,478	37,6	0,8
Sch2Vm		13:30	12,24	111,4	7,254	21,7	0,9
Sch2Nm		10:30	11,63	105,1	7,494	38,1	0,7
Sch3Vm		11:00	12,25	111,1	7,470	21,2	0,9
Sch3Nm		14:50	12,29	111,2	7,412	22,0	0,9
Sch4Vm		16:15	12,19	112,1	7,570	16,7	1,4
Sch4Nm		10:15	12,24	111,4	7,48	22,0	1,0
LA		10:20	10,06	97,4	7,422	70,9	3,0
Sch1Vm	5. Termin	10:35	11,74	104,9	7,636	62,5	0,3
Sch1Nm		14:30	11,78	104,9	7,555	62,1	0,3
Sch2Vm		11:00	11,72	105,6	7,593	48,5	0,7
Sch2Nm		15:15	11,75	104,8	7,664	58,4	0,3
Sch3Vm		11:35	11,70	104,7	7,433	57,1	0,5
Sch3Nm		15:15	11,66	104,5	7,584	58,6	0,4
Sch4Vm		10:50	11,50	104,3	7,434	56,3	0,8
Sch4Nm		14:15	11,53	104,6	7,443	57,9	1,1
LA		10:20	10,06	97,4	7,422	70,9	3,0

Auffallend sind hierbei im Besonderen die Wassertemperaturen, welche sich meist im Tagesgang erhöhten, in seltenen Fällen wurden am Nachmittag niedrigere Temperaturen gemessen. Die größten Temperaturschwankungen zeigen sich im untersuchten Tümpel, welcher stark von atmosphärischen Einflüssen (Wetterlage) geprägt ist. Die saisonalen Unterschiede der Fließgewässerstellen hingegen fallen sehr gering aus. Insgesamt nimmt die Wassertemperatur an allen Probenstellen über den untersuchten Zeitraum um ca. 1°C ab. Genauere Aussagen bezüglich der kleinräumigen Unterschiede der Wassertemperatur, sowohl saisonal, als auch im Tagesgang sind nur mittels kontinuierlicher Temperaturaufzeichnung über die gesamte Projektdauer hinweg möglich. Die an jeder Probenstelle installierten Temperaturlogger sollten halbstündlich Daten aufzeichnen, um selbst geringe Veränderungen in der Wassertemperatur nachvollziehen zu können. Allerdings funktionierten die verwendeten Temperaturlogger der Firma Onset (Tidbit v2 TempLogger) augenscheinlich nicht ordnungsgemäß. Dieser nicht tragbare Umstand wurde umgehend reklamiert. Die Logger wurden eingeschickt, in der Hoffnung die kostbaren Temperaturdaten über die Firma Onset/Synotech zu erhalten. Daher sind derzeit nur Fragmente der Aufzeichnungen verfügbar und sinnvoll zu interpretieren. Nachstehende Graphik zeigt die halbstündlichen Temperaturaufzeichnungen für alle fünf Probenstellen.

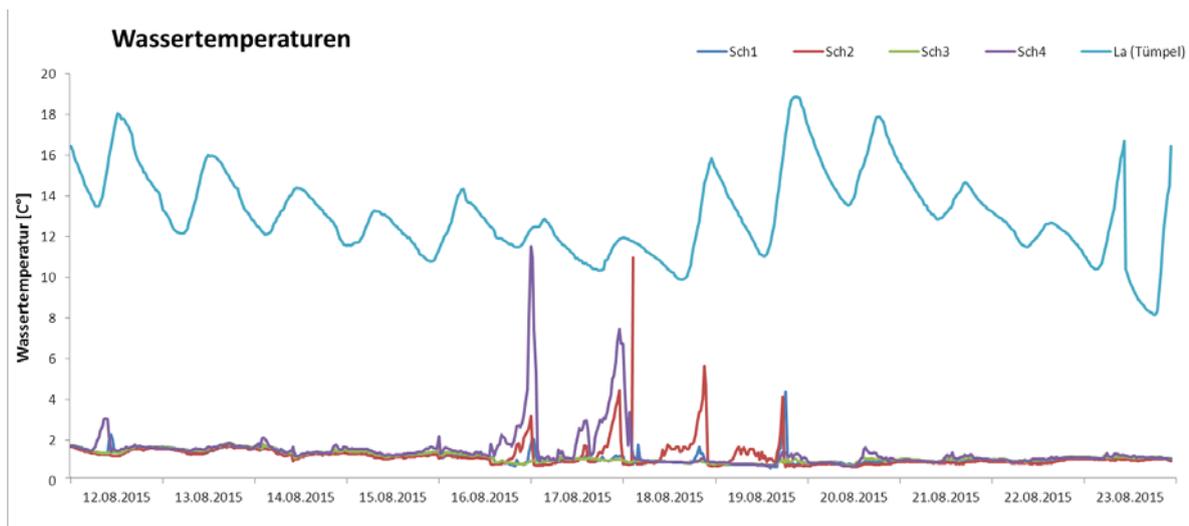


Abbildung 64: Wassertemperaturen aller fünf Probenstellen mit Temperaturloggern

Auffallend ist der große Temperaturunterschied zwischen den vier Fließgewässerabschnitten und dem Tümpel. Dies ist auf den fehlenden Gletschereinfluss des stehenden Gewässers zurück zu schließen. Aufgrund der großen Unterschiede ist in Abbildung 3 lediglich der Tagesgang des Tümpels nachzuvollziehen. Die Temperaturspitzen der Fließgewässer zwischen 16.08.2015 und 19.08.2015 sind durch einen drastischen Rückgang der Abflussmenge, einhergehend mit dem temporären Trockenfallen der Logger zu begründen. Um auch den Tagesgang der Fließgewässer-Wassertemperatur darzustellen zeigt folgendes Diagramm lediglich die Probenstellen „Sch1“ bis „Sch4“ von 13.08.2015 (ab 0:00 Uhr) bis 15.08.2015 (0:00).

Wassertemperaturen

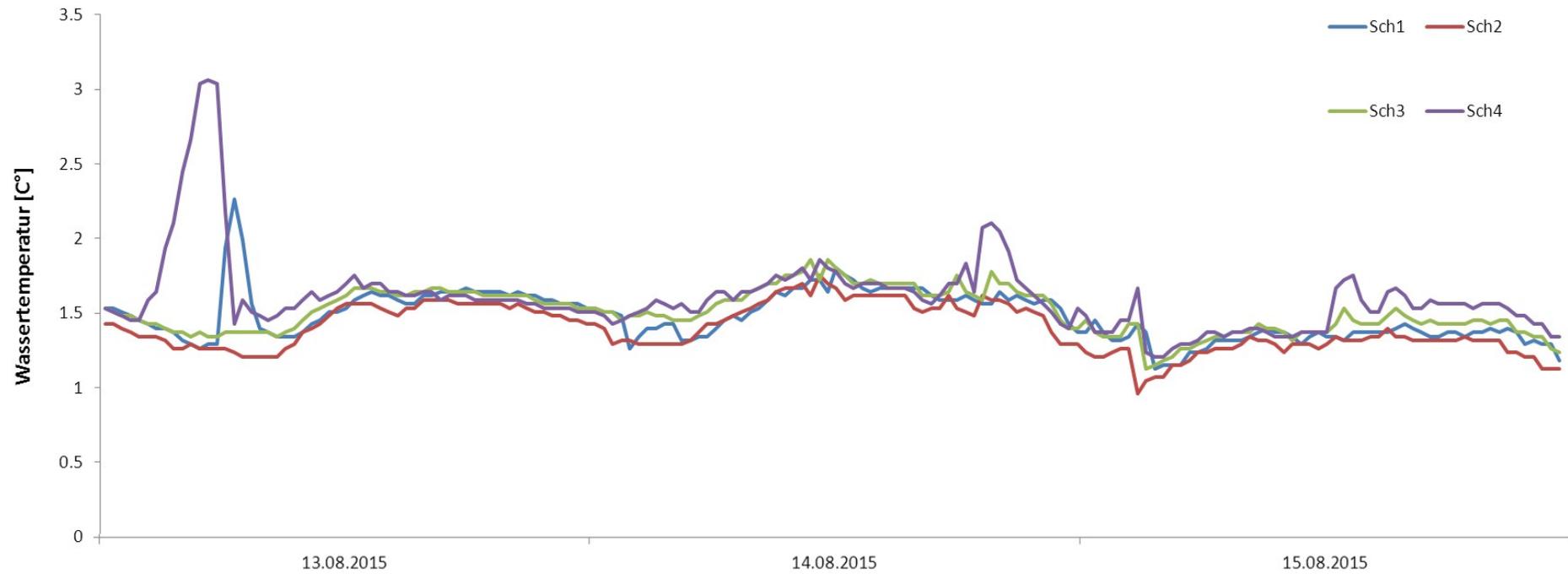


Abbildung 65: Tagesgang Wassertemperatur der vier Fließgewässerprobenstellen „Sch1“ bis „Sch4“

Generell zeigt die Temperatur der vier untersuchten Fließgewässerstellen dieselben Entwicklungen. Der typische Tagesgang eines Gletscherbaches, mit Temperaturerhöhung zur Mittagszeit, ist bei allen vier Gewässerabschnitten über alle drei dargestellten Tage zu erkennen. Generell wurden bei „Sch2“ die niedrigsten Wassertemperaturen aufgezeichnet, gefolgt von „Sch1“. Der Grund hierfür ist die geringe Wassertiefe bei „Sch1“, dort kann sich das Wasser durch den atmosphärischen Einfluss erwärmen, ehe die Tiefe bei „Sch2“ wieder zunimmt und sich der Wasserkörper leicht abkühlt (Gletscherrand reicht bis „Sch2“). Dieser Effekt ist auch bei „Sch3“ und „Sch4“ erkennbar. „Sch3“ zeigt ähnliche Temperaturen wie „Sch2“, was aufgrund der räumlichen Nähe zu erwarten ist. Da das Gewässer bis zur Probenstelle „Sch4“ einen deutlich flacheren Verlauf hat, erwärmt sich der Wasserkörper durch atmosphärische Einflüsse. Dies wird auch durch kurzfristige Temperaturspitzen im Tagesverlauf deutlich.

Der pH-Wert nimmt während des Untersuchungszeitraumes zu (Tab. 3), während die Sauerstoffkonzentration und –sättigung zunächst kaum schwankt und erst am letzten Beprobungstermin leicht abnimmt. Das Gewässer ist jedoch immer mit Sauerstoff übersättigt, was der hohen Dynamik geschuldet ist. Deutliche Schwankungen der Leitfähigkeit sind nur saisonal, nicht jedoch im Tagesgang zu erkennen. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der einzelnen Beprobungspunkte zeigen saisonale Veränderungen des untersuchten Fließ- und Stillgewässers auf. Um Unterschiede im Tagesverlauf bzw. die Kleinräumigkeit der beprobten Habitats aufzeigen zu können bedarf es einer genaueren Untersuchung des Abflusses sowie des Aufwuchses an den jeweiligen Probenstellen.

Nachfolgende Tabelle 5 zeigt das in der freien Welle mitgeführte, anorganische Material in µg/l.

Tabelle 5 : Mittelwerte des anorganischen Materials [µg/l] aus der freien Welle aller Beprobungstermine;
Vm=Vormittag, Nm=Nachmittag

Anorganisches Material Welle [µg/l]		Beprobungsetappen				
Probenstelle	Zeitpunkt	1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
Sch1	Vm	276,75	60,46	67,09	137,56	20,82
	Nm	345,96	67,26	158,8	202,02	26,36
Sch2	Vm	212,68	42,88	78,63	124,8	15,12
	Nm	284,14	76,35	126,96	167,63	88,61
Sch3	Vm	268,61	69,12	121,59	125,71	34,4
	Nm	274,44	143,7	152,51	185,25	31,72
Sch4	Vm	230,09	113,74	143,92	109,15	51,03
	Nm	317,68	131,78	177,35	177,68	66,75
La	Nm		1,03			

In alpinen Fließgewässern, deren Abflussqualität durch den glazialen Einfluss dominiert wird, steht die Menge an transportiertem, anorganischem Material für den Grad des Gletschereinflusses am jeweiligen Abflussgeschehen. Je mehr anorganisches Material, also Trübstoffe, in der freien Welle mitgeführt werden, umso stärker schmilzt der Gletscher, umso mehr Gletscherabrieb wird in der freien Welle mitgeführt. Der Anteil der Trübstoffe im Abfluss ist daher auch stark von der Lufttemperatur, einem Haupteinflussfaktor für das Abschmelzen der Gletscher, abhängig. Die saisonalen Untersuchungen des anorganischen Materials in der freien Welle zeigen deutliche

Unterschiede bezüglich der Trübung der untersuchten Fließgewässerabschnitte zu den einzelnen Beprobungsterminen. Die mit Abstand höchste Konzentration an anorganischem Material wurde beim ersten Feldtermin aufgezeichnet. Die Werte bewegen sich hierbei zwischen 230,09 und 345,96 µg/l. In den drei darauf folgenden Feldetappen wurden deutlich niedrigere Werte an Trübstoffen gemessen (2. Termin: 42,88-143,70 µg/l, 3. Termin: 67,09-177,35 µg/l und 4. Termin: 109,15-202,02 µg/l). Zum letzten Zeitpunkt der Probennahme, bei Termin 5, gab es einen Wettersturz einhergehend mit deutlichen Temperaturabnahmen und ca. 20cm Neuschnee an den Probenstellen. Dieser Umstand spiegelt sich in den gemessenen Trübstoffwerten wieder. Bedingt durch das geringere Abschmelzen der Gletschermasse zeigte sich beim 5. Termin die niedrigste Trübung der freien Welle, ausgedrückt durch die niedrigsten Konzentrationen an anorganischem Material im Abfluss (15,12-88,61 µg/l). Der in die Untersuchung aufgenommene Tümpel zeigt mit 1,04 µg/l anorganischem Material pro Liter einen extrem niedrigen Wert, verglichen mit den Fließgewässerstellen. Dies ist durch den fehlenden glazialen Einfluss beim Tümpel zu erklären. Neben den saisonalen Unterschieden in der Abflusstrübung konnten auch deutliche Unterschiede im Tagesgang an den einzelnen Beprobungsstellen nachgewiesen werden.

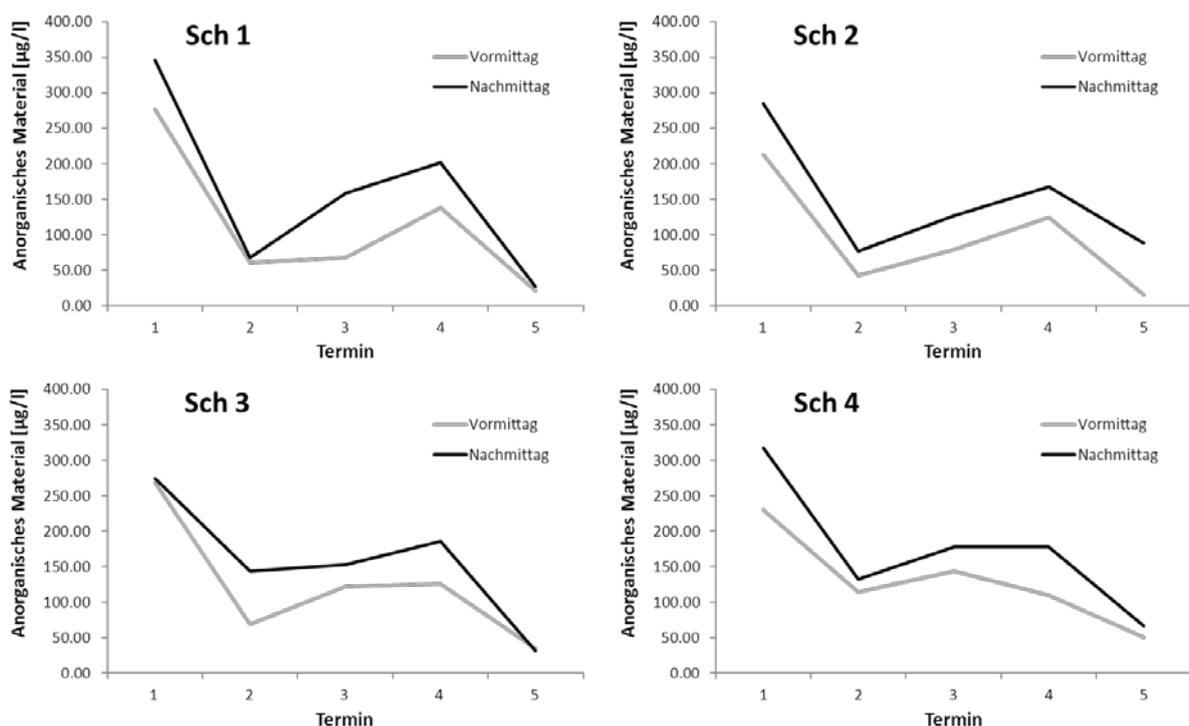


Abbildung 66: Gehalt an anorganischem Material [µg/l] in der freien Welle

Aus Abbildung 66 wird klar ersichtlich, dass bei allen Probenstellen zu allen Untersuchungsterminen die Trübstoffkonzentration im Tagesverlauf zunimmt. Dies ist durch die Erhöhung der Lufttemperatur, einhergehend mit einer gesteigerten Gletscherschmelze zu erklären. Einzig bei „Sch3“, Feldetappe 5, liegt der Nachmittagswert knapp unter dem Vormittagswert (Nachmittag 31,72 µg/l, Vormittag 34,40 µg/l).

Neben den Trübstoffen spielt das in der freien Welle mitgeführte, organische Material für die Biologie eines alpinen Fließgewässers eine große Rolle.

Tabelle 6: Mittelwerte des organischen Materials [$\mu\text{g/l}$] aus der freien Welle aller Beprobungstermine;
Vm=Vormittag, Nm=Nachmittag

Organisches Material Welle [$\mu\text{g/l}$]		Beprobungsetappen				
Probenstelle	Zeitpunkt	1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
Sch1	Vm	2,72	1,90	2,57	2,09	0,76
	Nm	5,81	2,69	3,09	2,79	0,96
Sch2	Vm	1,51	10,33	2,64	1,92	0,74
	Nm	3,72	2,20	2,33	2,55	1,96
Sch3	Vm	2,23	5,94	1,78	2,85	0,83
	Nm	3,79	1,20	2,07	3,71	0,65
Sch4	Vm	3,25	1,47	2,46	2,81	1,00
	Nm	2,73	6,45	2,65	3,45	0,74
La	Nm		1,52			

Auf den ersten Blick wird aus Tabelle 6 ein ähnlicher Trend wie bei Tabelle 5 sichtbar. Das organische Material schwankt ebenfalls in seiner Konzentration in der freien Welle zwischen den einzelnen Beprobungsterminen. Dessen Konzentration war beim 1. Termin generell am höchsten (zwischen 1,51 und 5,81 $\mu\text{g/l}$). Die drei darauffolgenden Untersuchungsetappen brachten niedrigere Werte hervor (2. Termin: 1,20-10,33 $\mu\text{g/l}$, 3. Termin: 1,78-3,09 $\mu\text{g/l}$ und 4. Termin: 1,92-3,71 $\mu\text{g/l}$). Die geringste Konzentration an organischem Material im Abfluss wurde beim fünften Untersuchungstermin gemessen.

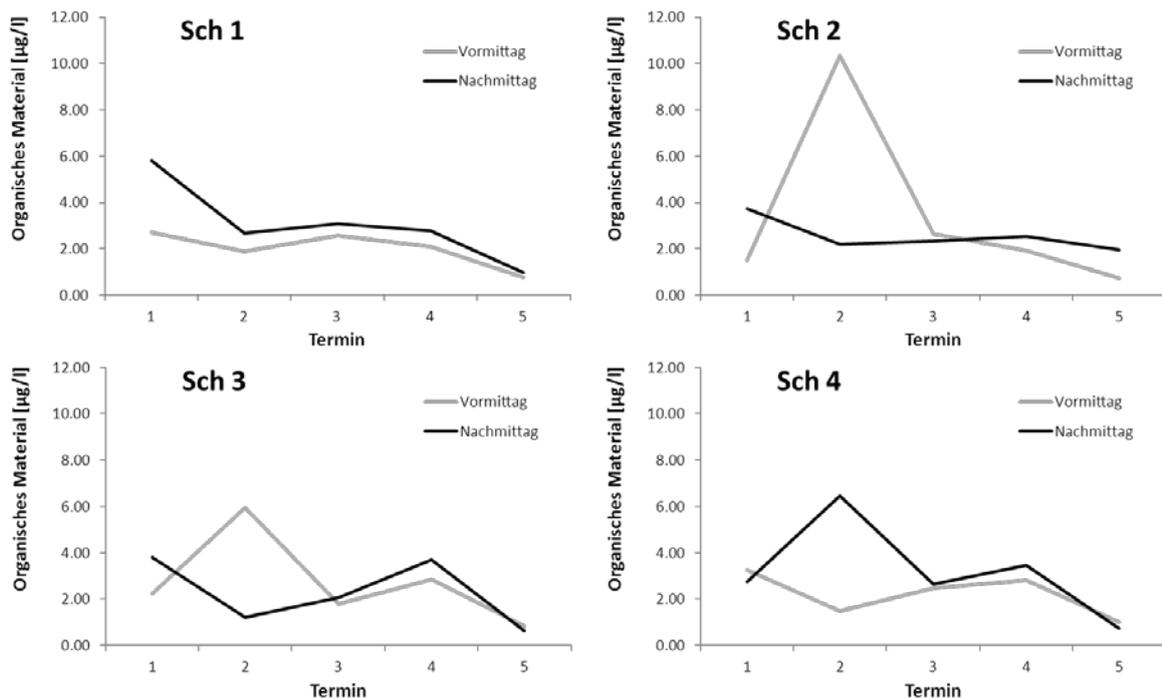


Abbildung 67: Gehalt an organischem Material [$\mu\text{g/l}$] in der freien Welle

Wie den Graphen aus Abbildung 67 entnommen werden kann nimmt der Gehalt an organischem Material generell, wie der anorganische Gehalt, im Tagesverlauf zu. Dies gilt vor allem für die Probenstellen „Sch1“ und „Sch4“. Bei den restlichen beiden Untersuchungsabschnitten variieren die Werte im Tagesgang teils deutlich, sodass hier nicht von einer kontinuierlichen Zunahme während des Beprobungstages gesprochen werden kann.

Neben den Filtrationen der freien Welle erfolgte auch die Analyse des anorganischen und organischen Materials des Aufwuchses auf permanent überströmten Steinen an jeder Probenstelle zu jedem Feldtermin.

Tabelle 7: Mittelwerte des organischen und anorganischen Materials [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$] des Aufwuchses für alle Beprobungstermine

Aufwuchs Steine [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]		Beprobungsetappen				
Probenstelle	Material	1. Termin	2. Termin	3. Termin	4. Termin	5. Termin
Sch1	Anorganisch	0,654	0,179	0,486	0,246	0,039
	Organisch	0,067	0,005	0,009	0,021	0,006
Sch2	Anorganisch	0,065	0,152	0,108	0,050	0,015
	Organisch	0,001	0,003	0,003	0,011	0,003
Sch3	Anorganisch	0,027	0,022	0,131	0,039	0,011
	Organisch	0,001	0,001	0,004	0,004	0,001
Sch4	Anorganisch	1,601	0,085	0,110	0,076	0,016
	Organisch	0,026	0,004	0,003	0,008	0,003
La	Anorganisch		0,085			
	Organisch		0,048			

Auffallend ist hierbei, dass „Sch3“ über die gesamt Saison hinweg gesehen den niedrigsten Gehalt an organischer Masse im Aufwuchs aufweist. Über alle Beprobungstermine gesehen wurde bei „Sch1“ der höchste Gehalt an organischem Material pro cm^2 gemessen. Damit steht der Gehalt an organischem Material in der freien Welle in Kontrast zu dem organischen Gehalt des Aufwuchses.

Der Gehalt an Chlorophyll a in der freien Welle und im Aufwuchs zeigte über die Saison hinweg folgende Werte (Tab. 8).

Tabelle 8: Chlorophyll a Werte des 2. Und 5. Beprobungstermines einer Parallele

Chlorophyll a Gehalt		Beprobungsetappen	
Probenstelle	Probe	2. Termin	5. Termin
Sch1	Wasser [$\mu\text{g}/\text{l}$]	0,441	2,137
	Stein [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	1,619	1,007
Sch2	Wasser [$\mu\text{g}/\text{l}$]	3,781	4,997
	Stein [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	3,782	0,818
Sch3	Wasser [$\mu\text{g}/\text{l}$]	8,152	5,073
	Stein [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	1,645	0,264
Sch4	Wasser [$\mu\text{g}/\text{l}$]	3,428	2,818
	Stein [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	0,818	0,328
La	Wasser [$\mu\text{g}/\text{l}$]	40,310	
	Stein [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	0,063	

Während der Chlorophyll a Gehalt des Aufwuchses zu Beginn der Beprobung, beim 2. Termin, durchweg höher war, als beim letzten Beprobungstermin, schwanken die Werte der Chlorophyll a Konzentration in der freien Welle deutlich stärker (Tab. 8 und Abb. 68).

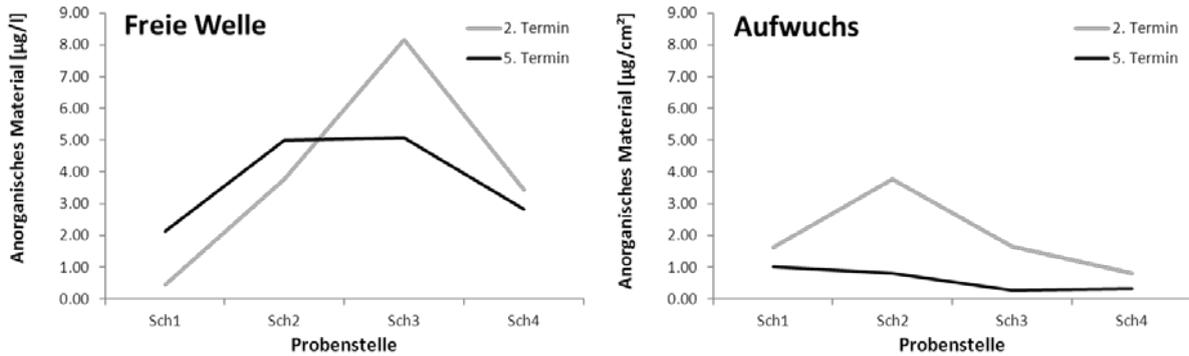


Abb. 68: Chlorophyll a Gehalt in der freien Welle und Aufwuchs, nur eine Parallele

Ein Grund für die unterschiedlichen Mengen an Chlorophyll a in den beiden untersuchten Medien könnte eine unterschiedliche Herkunft des organischen Materials der freien Welle und des Aufwuchses sein. Hierfür wurden lineare Regressionen zwischen dem jeweiligen organischem Material und dem Chlorophyll a Gehalt berechnet. Dabei zeigte sich, dass der Chlorophyll a Gehalt des Aufwuchses statistisch signifikant ($p < 0.05$, Tab. 9) vom Gehalt an organischem Material abhängt.

Tabelle 9: Anova der linearen Regression aus organischem Material und Chlorophyll a Konzentration des Aufwuchses

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,245E+15	1	1,245E+15	13,931	,007 ^b
	Residual	6,255E+14	7	8,936E+13		
	Total	1,870E+15	8			

a. Dependent Variable: Chla_Aufwuchs

b. Predictors: (Constant), OM_Aufwuchs

Tab. 10: Anova der linearen Regression aus organischem Material und Chlorophyll a Konzentration der freien Welle

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,929E+18	1	3,929E+18	,950	,362 ^b
	Residual	2,894E+19	7	4,135E+18		
	Total	3,287E+19	8			

a. Dependent Variable: Chla_Welle

b. Predictors: (Constant), OM_Welle

Die Konzentration von Chlorophyll a in der freien Welle ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p > 0.05$, Tab. 10) vom Gehalt an organischem Material abhängig. Die Berechnung der linearen Regression verdeutlicht, dass das organische Material der freien Welle und des Aufwuchses eine unterschiedliche Herkunft hat. Die statistisch signifikante Abhängigkeit des Chlorophyll a Gehalts vom organischen Material des Aufwuchses lässt darauf schließen, dass das OM des Aufwuchses lebendes Pflanzenmaterial (Algen) mit der Fähigkeit zur Photosynthese ist. Das OM der freien Welle hingegen besteht zu einem Großteil aus totem Material, welches keine Photosynthese betreiben kann und daher kaum Chlorophyll a beinhaltet.

Tabelle 11: Hydrochemische Analysen der Gewässerabschnitte und -typen an den Pebröbungsstellen

Probenstelle	Datum	Cond [µS]	pH	Alk/Gran [µeq/l]	[HCO ₃] [µg/l]	NO ₃ -N [µg/l]	NO ₃ -N [µg/l]	NO ₃ -N [µg/l]	SO ₄ [µg/l]	SO ₄ [µg/l]	Cl [mg/l]	Cl [µg/l]	[H] [µg/l]	NH ₄ -N [µg/l]	NH ₄ -N [µg/l]	Na [mg/l]	Na [µg/l]	K [mg/l]	K [µg/l]	Mg [mg/l]	Mg [µg/l]	Ca [mg/l]	Ca [µg/l]	Ptot [µg/l]	Pdis [µg/l]	DOC [µg/l]	DN [µg/l]	DRSI [µg/l]	[Anions] [µeq/l]	[Cations] [µeq/l]	[IONSUM] [µeq/l]	[CAT/SUM] [µeq/l]
Sch1Vw	12.08.2015	201	7.37	119	119	75	5.36	2.92	60.72	0.04	1	0.04	23	1.64	0.06	2.61	0.55	14.14	0.27	22.39	3.05	152.2	98.3	5.1	183	103	130	186	193	379	50.91	
Sch1Nm	11.08.2015	203	7.38	111	111	73	5.21	2.27	47.18	0.01	0.3	0.04	21	1.5	0.05	2.13	0.53	13.48	0.24	19.51	2.57	127.99	89.4	2	194	94	84	164	165	328	50.14	
Sch2Vw	12.08.2015	173	7.47	110	110	74	5.29	2.97	61.82	0.02	0.6	0.03	26	1.86	0.06	2.48	0.54	13.73	0.28	22.8	2.97	148	81.7	3.1	181	105	83	178	189	367	51.53	
Sch2Nm	11.08.2015	174	7.44	110	110	67	4.79	2.26	47.03	0.04	1.2	0.04	20	1.43	0.05	2.22	0.57	14.53	0.24	20	2.53	126.1	77.7	4.3	193	94	89	163	164	327	50.19	
Sch3Vw	12.08.2015	194	7.33	108	108	77	5.5	2.8	58.28	0.04	1	0.05	24	1.71	0.05	2.31	0.55	14.02	0.27	22.06	2.83	141.37	62.9	4.3	156	101	86	173	182	354	51.22	
Sch3Nm	12.08.2015	175	7.32	102	102	64	4.57	2.33	48.45	0.06	1.7	0.05	23	1.64	0.05	2.04	0.53	13.43	0.23	19.18	2.55	127.35	102.9	2.3	133	90	61	157	164	320	51.08	
Sch4Vw	12.08.2015	195	7.3	105	105	76	5.43	2.85	59.32	0.01	0.4	0.05	24	1.71	0.05	2.35	0.48	12.35	0.27	22.06	2.84	141.62	76.6	4.9	192	94	80	170	180	350	51.42	
Sch4Nm	12.08.2015	176	7.32	104	104	71	5.07	2.27	47.2	0.04	1	0.05	21	1.5	0.06	2.44	0.52	13.25	0.24	19.92	2.61	130.34	79.1	2.6	267	97	69	157	167	325	51.57	
La (Tümpel)	12.08.2015	75.8	6.99	640	640	0	0	2.93	61.09	0.17	4.8	0	5	0.36	0.2	8.61	0.22	5.61	0.57	47.24	12.96	646.66	19.4	2.9	3966	174	414	706	708	1414	50.09	
Sch1Vw	21.08.2015	43.4	7.24	150	150	104	7.43	10.06	209.5	0.1	2.7	0.06	18	1.29	0.15	6.44	0.69	17.72	0.82	67.37	5.56	277.54	30.3	8.3	333	132	149	370	370	740	50.05	
Sch1Nm	20.08.2015	41.6	7.25	146	146	97	6.93	9.32	194	0.09	2.6	0.06	17	1.21	0.14	6.13	0.67	17.03	0.79	64.86	5.45	272.16	28.6	2.3	341	122	143	350	361	711	50.83	
Sch2Vw	21.08.2015	43.5	7.26	155	155	100	7.14	10.04	209.1	0.1	2.7	0.05	15	1.07	0.12	5.35	0.71	18.06	0.82	67.24	5.57	277.94	18.9	2.3	212	120	164	374	370	744	49.71	
Sch2Nm	20.08.2015	41.2	7.27	144	144	101	7.21	9.44	196.6	0.08	2.3	0.05	19	1.36	0.15	6.35	0.67	17.08	0.78	64.53	5.3	264.27	33.4	2.9	256	123	138	350	354	704	50.25	
Sch3Vw	20.08.2015	42.6	7.32	157	157	95	6.79	9.69	201.73	0.06	1.6	0.05	18	1.29	0.16	6.83	0.67	17.21	0.79	64.61	5.43	270.86	96.3	3.7	307	128	134	367	361	728	49.57	
Sch3Nm	20.08.2015	40.9	7.27	144	144	101	7.21	9.3	193.7	0.12	3.4	0.05	16	1.14	0.13	5.48	0.64	16.45	0.77	63.54	5.22	260.33	31.7	2.9	239	117	159	348	347	695	49.9	
Sch4Vw	20.08.2015	43.5	7.33	170	170	98	7	9.46	197.13	0.07	2	0.05	15	1.07	0.14	6.26	0.74	19.03	0.77	63.7	5.61	279.99	70.6	3.7	392	119	148	376	370	746	49.59	
Sch4Nm	20.08.2015	42.2	7.34	157	157	99	7.07	9.4	195.73	0.13	3.6	0.05	18	1.29	0.16	6.87	0.7	17.85	0.75	62.06	5.47	273	54.3	2.9	360	135	146	363	361	725	49.84	
La (Tümpel)	19.08.2015	76	7.96	654	654	8	0.57	3.13	65.29	0.19	5.2	0.01	2	0.14	0.21	9.13	2.15	55.06	0.6	49.55	11.81	589.12	8	4	2927	158	434	725	703	1428	49.23	
Sch1Vw	28.08.2015	26.3	7.21	110	110	65	4.64	5.11	106.3	0.11	3.1	0.06	12	0.86	0.11	4.96	0.49	12.56	0.46	38.11	3.42	170.81	39.2	8.6	357	94	86	224	227	451	50.36	
Sch1Nm	27.08.2015	29.1	7.2	120	120	76	5.43	5.68	118.3	0.08	2.3	0.06	12	0.86	0.23	9.96	0.43	10.9	0.51	41.81	3.6	179.64	81.6	2.9	335	107	93	246	243	489	49.71	
Sch2Vw	28.08.2015	27.1	7.24	116	116	67	4.79	5.24	109.1	0.11	3	0.06	14	1	0.23	10	0.45	11.38	0.47	38.44	3.49	174.05	66.8	3.7	265	111	86	233	235	468	50.21	
Sch2Nm	27.08.2015	28	7.23	114	114	72	5.43	5.43	113.1	0.14	4	0.06	17	1.21	0.3	13.05	0.48	12.25	0.49	40.58	3.45	172.26	72.7	6.1	479	189	89	237	239	476	50.3	
Sch3Vw	27.08.2015	30.3	7.23	121	121	72	5.14	6.24	130	0.15	4.3	0.06	16	1.14	0.23	10.18	0.49	12.48	0.54	44.77	3.87	193.01	59.1	3.5	422	121	103	261	262	522	50.11	
Sch3Nm	27.08.2015	27.1	7.26	118	118	70	5	5.18	107.9	0.1	2.8	0.05	10	0.71	0.15	6.57	0.42	10.66	0.47	39.01	3.31	165.27	78.1	1.7	357	101	112	234	222	456	48.74	
Sch4Vw	27.08.2015	31.3	7.28	128	128	73	5.21	6.37	132.6	0.09	2.6	0.05	8	0.57	0.13	5.52	0.54	13.71	0.55	45.02	3.99	199.25	43.7	5.2	334	99	106	269	264	533	49.59	
Sch4Nm	26.08.2015	30	7.23	120	120	76	5.43	5.99	124.8	0.12	3.5	0.06	4	0.29	0.13	5.7	0.49	12.53	0.54	44.61	3.68	183.78	71.9	1.8	584	92	114	254	247	501	49.32	
La (Tümpel)	26.08.2015	78.8	7.54	680	680	0	0	3.197	66.6	0.25	7	0.03	26	1.86	0.16	6.79	2.27	58.16	0.61	50.45	12.74	635.48	33.9	2.1	2551	186	398	754	753	1506	49.97	
Sch1Vw	04.09.2015	38.2	7.04	140	140	125	8.93	8.45	176.1	0.2	5.7	0.09	47	3.36	0.31	13.35	0.73	17.82	0.69	56.95	4.97	248.15	36	1.8	429	205	136	331	341	671	50.73	
Sch1Nm	02.09.2015	32.7	6.93	108	108	111	7.93	3.7	77.1	0.24	6.8	0.12	43	3.07	0.14	6.05	0.62	15.75	0.34	28.23	3.01	150.05	57.3	2.2	395	172	106	200	203	403	50.41	
Sch2Vw	04.09.2015	39.3	7.12	146	146	129	9.21	8.73	181.8	0.09	2.6	0.08	48	3.07	0.14	6.26	0.67	17.01	0.72	58.85	5.12	255.34	35.5	1.8	312	165	136	340	341	680	50.06	
Sch2Nm	03.09.2015	22.4	7.1	105	105	94	6.74	4.13	86.1	0.15	4.3	0.08	26	1.86	0.14	6.26	0.42	10.69	0.38	31.11	3.02	150.9	48.1	2.2	252	125	105	202	201	403	50.09	
Sch3Vw	02.09.2015	21.8	7.05	100	100	85	6.07	3.71	77.2	0.1	2.8	0.09	36	2.57	0.14	6.05	0.44	11.3	0.35	28.72	2.9	144.46	18.7	1.8	304	137	83	186	193	379	50.93	
Sch3Nm	02.09.2015	21.9	7.06	101	101	88	6.29	3.74	77.8	0.08	2.2	0.09	27	1.93	0.24	10.53	0.4	10.13	0.36	29.38	2.96	147.9	34.7	2.5	298	134	107	187	200	387	51.62	
Sch4Vw	02.09.2015	22.9	7.07	114	114	80	5.71	3.8	79.1	0.11	3.1	0.09	28	2	0.13	5.48	0.46	11.76	0.35	29.14	3.03	151	49.9	1.8	305	124	97	202	199	401	49.71	
Sch4Nm	01.09.2015	18.1	7.11	96	96	51	3.64	2.71	56.4	0.15	4.1	0.08	1	0.07	0.16	6.96	0.42	10.66	0.28	23.21	2.42	120.96	58.9	3.1	315	97	107	160	162	322	50.25	
La (Tümpel)	01.09.2015	84	7.89	741	741	0	0	3.49	72.8	0.26	7.3	0.01	19	1.36	0.21	9.31	2.59	66.24	0.68	56.13	14.27	711.98	11.5	3.1	300	234	395	821	845	1666	50.72	
Sch1Vw	25.09.2015	62.6	7.45	234	234	190	13.57	14.09	293.4	0.27	7.5	0.04	20	1.43	0.33	14.31	1.26	32.23	1.1	90.12	8.21	409.68	8.3	3.2	439	239	242	549	548	1096	49.96	
Sch1Nm	25.09.2015	62.2	7.49	234	234	201	14.36	13.92	289.9	0.12	3.2	0.03	15	1.07	0.22	9.61	1.2	30.72	1.09	89.96	8.19	408.73	8.8	2.6	260	207	245	542	540	1082	49.94	
Sch2Vw	25.09.2015	61	7.49	262	262	189	13.5	13.97	290.9	0.11	3.1	0.03	12	0.86	0.22	9.4	1.21	30.95	1.09	89.63	8.22	410.13	60.8	1.5	243	195	242	570	541	1110	48.72	
Sch2Nm	24.09.2015	54.5	7.46	243	243	150	10.71	10.87	226.3	0.12	3.3	0.03	12	0.86	0.21	9.05	1.18	30.08	0.83	68.64	7.37	367.51	50.5	1.5	766	167	262	483	476	960	49.62	
Sch3Vw	24.09.2015	57.2	7.39	223	223	159																										

4. Von welchen Organismen sind diese Gewässer besiedelt (Organismengruppen, Arten, Eigenschaften)?

Diese Heterogenität an Lebensbedingungen lässt eine Besiedlung durch eine Reihe von hoch angepassten Invertebraten erwarten. Dennoch ist eine genaue Identifizierung der Taxa und auch der besonderen Eigenschaften dieser Arten im unmittelbaren Nahbereich der Gletscher bislang nicht erfolgt. Die gewässergebundenen Arten wurden in wöchentlichen Begehungen (August bis September 2015) mit standardisierten Methoden gesammelt, in 75% Ethanol fixiert und später im Labor determiniert. Es wurden bei jeder Feldetappe drei Parallelproben mit Hilfe eines „Surber Samplers“ (100µm Maschenweite) aus den Fließgewässern entnommen. Für die Darstellung des Sukzessionsgeschehens wurden exemplarisch einige Ergebnisse herausgegriffen (siehe Tab.12).

Tabelle 12: vorübergehende Taxaliste mit einem Drittel aller Proben

Proben				Taxa														Zusammenfassung			
Zeitpunkt	Stelle	Beschreibung		Diamesa				Pseudodiamesa	Pseudokiefferiella	Mikrospectra	Orthocladus	Chironominae	Chaetocladus	Chironomidae	Andere				Taxazahl	Individuen	
		Substrat	Tiefe [cm]	Strömung [m/s]	steinboeckii	latitarsis I	latitarsis II	cinerella/zernyi	branickii	parva	sp.	sp.	sp.	sp.	Puppe	Tipulidae	Corixidae	Oligochaeta	Collembola		
1. Termin	Sch1	Mega	10	0,51	2		4	11												3	17
	Sch3	Meso/Mikro	20	0,74	3		1	7												3	12
	Sch4	Mega	25	0,75			1	3	2						1					4	7
2. Termin	Sch1	Mega	7	0,46	1		1	7												3	9
	Sch3	Mega	10	0,51	58		1	7												3	66
	Sch4	Mega	8	0,36	1		2													2	3
	la	Mega	20	0,6						4	19	1	37			1	276			6	338
3. Termin	Sch1	Mega	13	0,55				1												1	1
	Sch3	Makro	15	0,77																0	0
	Sch4	Mega	20	0,69															1	1	1
4. Termin	Sch1	Mega	14	0,71	1		2	16												3	16
	Sch3	Mega	17	0,66	7			9	1											3	14
	Sch4	Mega	16	0,88																0	0
	Sch4	Mega	5	0,49		1	2	8												3	11
5. Termin	Sch3	Mega	6	0,49	20		9	102							1					4	132
	Sch4	Mega	7	0,73	70	2		12		3				9	1				6	103	
	Sch4	Mega	7	0,73	70	2		12		3				9	1				6	103	
				Summe	103	21	24	177	21	3	4	19	1	37	20	2	1	276	1	46	729

Aus Tabelle 12 können die verschiedenen, an den jeweiligen Probenstellen vorgefundenen Taxa sowie deren Abundanz eingesehen werden. Insgesamt wurden bis jetzt 729 Individuen aus 15 verschiedenen Taxa gefunden und bestimmt. Die benthische Artgemeinschaft der Fließgewässer wird dabei von der Familie der Chironomidae, Zuckmücken, dominiert. Mit 177 bzw. 167 Individuen sind die Taxa *Diamesa cinerella/zernyi* und *Diamesa steinboeckii* am häufigsten vertreten. Deutlich geringer in ihrer Abundanz fallen *Diamesa latitarsis II* mit 23 Individuen und *D. latitarsis I* mit nur drei Individuen aus. Von *Pseudodiamesa branickii* und *Pseudokiefferiella parva* wurden ebenfalls je drei Individuen gefunden. Es konnten auch zwei Tipulidae (Diptera), sowie ein Collembola in den Makrozoobenthosproben gefunden werden. Die Dominanz der Chironomidae und Diamesinae entspricht dabei der zu erwartenden Taxaverteilung in alpinen Fließgewässern, gemäß dem Modell nach Milner & Petts (1994) und Milner et al. (2001). Die beiden Taxa *Pseudodiamesa* und *Pseudokiefferiella* zeigen jedoch, dass die Diversität bereits mit geringem Abstand vom Gletschertor (Sch3 und Sch4) messbar zunimmt. Außerdem konnte mit einer Tipulidae-Larve bei „Sch4“ eine weitere Insektenfamilie nachgewiesen werden. Die Artgemeinschaft an allen drei biotisch untersuchten Fließgewässerabschnitten kann als Primärbesiedelungsgemeinschaft beschrieben werden. Betrachtet man den Gletscherstand auf den vorher diskutierten, historischen Gletscherständen aus 2012, so wird deutlich, dass drei der vier beprobten Bachabschnitte erst kürzlich eisfrei sind. Umso erstaunlicher sind die relativ hohen Individuenzahlen der benthischen Artgemeinschaften. Damit sind die biotischen Ergebnisse dieses Projektes ein Paradebeispiel für die enorme Besiedelungsgeschwindigkeit der benthischen Insekten in alpinen aquatischen Ökosystemen. Die Artgemeinschaft des Tümpels wird von Oligochaeten (276 Individuen) dominiert. Neben den Wenigborstern kommen vier Chironomidae-Taxa mit 37 Individuen der Gattung *Chaetocladus* sp. (Wohnröhre bauend), 19 *Orthocladus* sp., 4 *Micropsectra* sp. und eine *Chironominae* sp. vor.

Abbildung 69 zeigt die Taxa- und Individuenverteilung an den vier biotischen Probenstellen über den gesamten Beprobungszeitraum. Es ist eindeutig zu sehen, dass im Vergleich zum Tümpel, die Diversität der Fließgewässerstellen niedriger ist. Innerhalb der Fließgewässerstellen ist die mittlere Taxazahl gleich, die Standardabweichung nimmt jedoch mit größer werdendem Abstand vom Gletscher zu. Vergleicht man die Mittelwerte mit den absoluten Zahlen aus Tabelle 12, so zeigt sich, dass zwar die Taxazahl ähnlich bleibt, sich die Taxa selbst jedoch unterscheiden. Die größeren Standardabweichungen bei „Sch3“ und „Sch4“, verglichen mit „Sch1“, deuten einzelne, besonders diverse Proben an, welche alle im Gletscherbach gefundenen Taxa beinhalten (vgl. Tab. 12). Es findet somit ein allmählicher, kein abrupter, Artenwandel mit zunehmender Entfernung vom Gletscher statt.

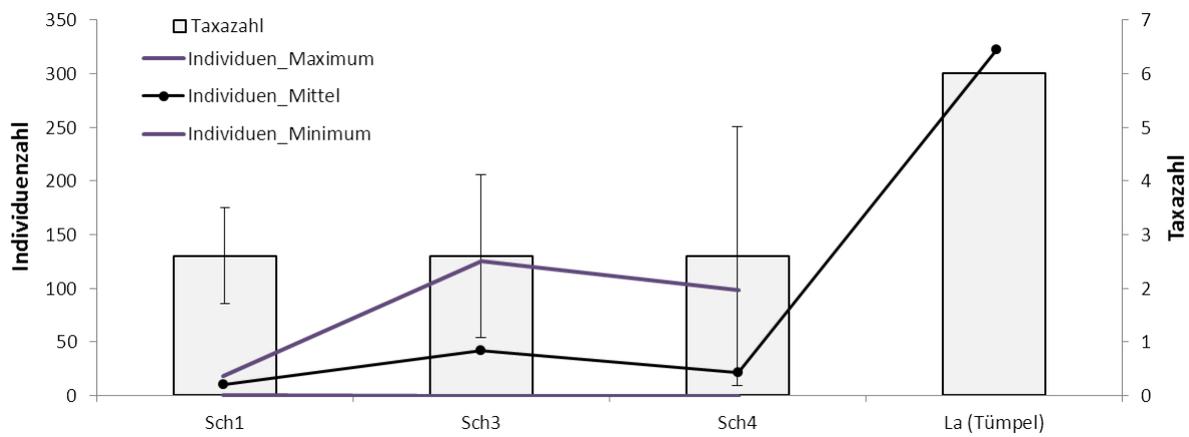


Abb. 69: Taxa- und Individuenzahlen der analysierten Makrozoobenthosproben

Die unterschiedlichen Taxa der Chironomidae der Fließ- und Stillgewässer sind in Ihren Eigenschaften hoch spezialisiert und perfekt an ihren Lebensraum angepasst. Die Zuckmückenlarven der Gletscherbäche müssen den extremen Umweltbedingungen wie beispielsweise niedrigen Temperaturen, starker Strömung, wenig Nahrung und geringer Bachbettstabilität trotzen. In Stillgewässern hingegen finden sie weitaus gemäßigtere Bedingungen vor und müssen sich lediglich gegen Fressfeinde (z.B. Corixidae, ein Individuum) schützen. Dies wird unter anderem in der Morphologie der Larven deutlich.

Interessant ist auch, dass die Individuenzahl an den untersuchten Abschnitten im gleichen Bereich liegen, im Hochgebirgstümpel aber wesentlich höher sind. So ist ersichtlich, dass bereits direkt im Nahbereich des Gletschers, wo die tiefsten Temperaturen und damit diesbezüglich die extremsten Verhältnisse vorherrschen, über den Sommer gemittelt gleich viele Individuen vorkommen wie in etwas weiter entfernten Gewässerabschnitten. Die Anzahl der Taxa beträgt in allen untersuchten Bereichen meist drei (*Diamesa steinboeckii*, *D. latitarsis* und *D. cinerella/zernyi*), wobei sich in den etwas tiefer liegenden Abschnitten eine weitere Art der Unterfamilie Diamesinae (*Pseudokiefferiella parva*) und der Unterfamilie Prodiamesinae (*Pseudodiamesa branickii*) hinzugesellen, aber auch noch eine andere Dipterenfamilie (Tipulidae) vorkommt. Der Hochgebirgstümpel ist durch stabilere Konditionen und eine höhere Wassertemperatur geprägt, wodurch das Vorkommen anderer Organismen zu erklären ist. So kommen die Orthoclaadiinae *Chaetocladius* sp. und *Orthoclaadius* sp. vor, zusammen mit den Tanytasini *Micropsectra* sp. und einer großen Anzahl von Wenigborstern (Ordnung

Oligochaeta). Sogar Wasserwanzen haben den Tümpel bereits besiedelt.



Abbildung 70: Eine für Stillgewässer typische Chironomidengattung: *Chaetocladius* sp. (linkes Bild), und eine für den Gletscherbach typische Chironomide: *Diamesa cinerella/zernyi* (rechtes Bild) (Fotos: Stefan Schütz)

In Abbildung 70 sind zwei typische Vertreter der Zuckmücken (Chironomidae, Diptera) beispielhaft dargestellt, wobei das linke Foto Chironomidenlarven des beprobten Tümpels zeigt. Diese Gattung (*Chaetocladius* sp.) gehört in die Unterfamilie Orthoclaadiinae. Diese Gattung hat zum Schutz vor Fressfeinden eine transportable Wohnhöhle aus Sand um ihren Körper geformt. Die drei Larven von *Diamesa cinerella/zernyi* im rechten Bild sind typische Vertreter benthischer Artgemeinschaften in glazial geprägten Fließgewässern. Auf den ersten Blick wird die derbere, kräftigere Gestalt der Larven deutlich. Die deutlich ausgeprägten Nachschieber werden benötigt, um sich trotz der teils sehr hohen Strömung und den damit einhergehenden hohen Scherkräften am Habitat festhalten zu können. Trotz der räumlichen Nähe des Sees zum Fließgewässer sind die Artgemeinschaften Grund verschieden. Dies unterstreicht wiederum die Kleinräumigkeit des alpinen Raumes und dessen Eigenschaft auf kleiner Fläche verschiedenste aquatische Ökosysteme zu beherbergen.

5. Wie lässt sich das Sukzessionsgeschehen in den neu entstandenen Gletschervorfeldern darstellen?

In vorliegender Untersuchung am Schlattenkees im Sommer und Herbst 2015 konnten wichtige und auch für die Wissenschaft neue Erkenntnisse über die Variabilität der gletschernächsten Gewässer (saisonale und tägliche Dynamik in Wasserführung, Wasserchemie und Nährstoff-/Nahrungsverfügbarkeit) und die damit in Zusammenhang stehende Neu-/Besiedlung durch verschiedene Organismen erbracht werden. Zum ersten Mal wurden zeitlich hoch aufgelöst diese Prozesse dargestellt. Dieses Projekt besitzt Pilotcharakter, weil es durch die Lage im Schutzgebiet des Nationalparks als Referenzsystem zum Vergleich mit anderen anthropogen genutzten oder überformten Gletschern und gletschernahen Gebieten (z.B. Gletscherskibetrieb, Skitourismus, Beschneigung) und/oder durch nachfolgende Untersuchungen für Aufzeigen und Interpretation natürlicher Veränderungen herangezogen werden kann. Es kann in weiterer Folge als Grundlage für ein interdisziplinäres Monitoring und weitere Untersuchungen fungieren. Nicht zuletzt sind durch diese Untersuchung wichtige Ergebnisse aus dem Bereich Klimawandel, Hydrosphäre, Kryosphäre dokumentiert, die durch das Regierungsübereinkommen bzgl. der „Klimastrategie Tirol (Klimaschutz- und Klimawandelanpassung Tirol 2013 – 2020, Stand 31.01. 2014)“ prioritäre Bedeutung erlangen. Es wurde auch ein interessanter Beitrag zum Verständnis der Biodiversität in extremen Lebensräumen geliefert.

Obwohl es bereits einige Arbeiten über die räumliche und zeitliche Organisation von Lebensgemeinschaften und der Wirkung abiotischer Bedingungen in hochgelegenen Gletscherbächen gibt, lagen bislang keine wie in dieser Arbeit erbrachten detaillierten Ergebnisse über die Besiedlung von neu/jüngst entstanden Gewässern und Gewässerabschnitten vor. Mit den hier vorliegenden Ergebnissen wurde es dadurch möglich, ein Konzept über das räumliche und zeitliche Sukzessionsgeschehen in Gewässern in Gletschervorfeldern zu erstellen.

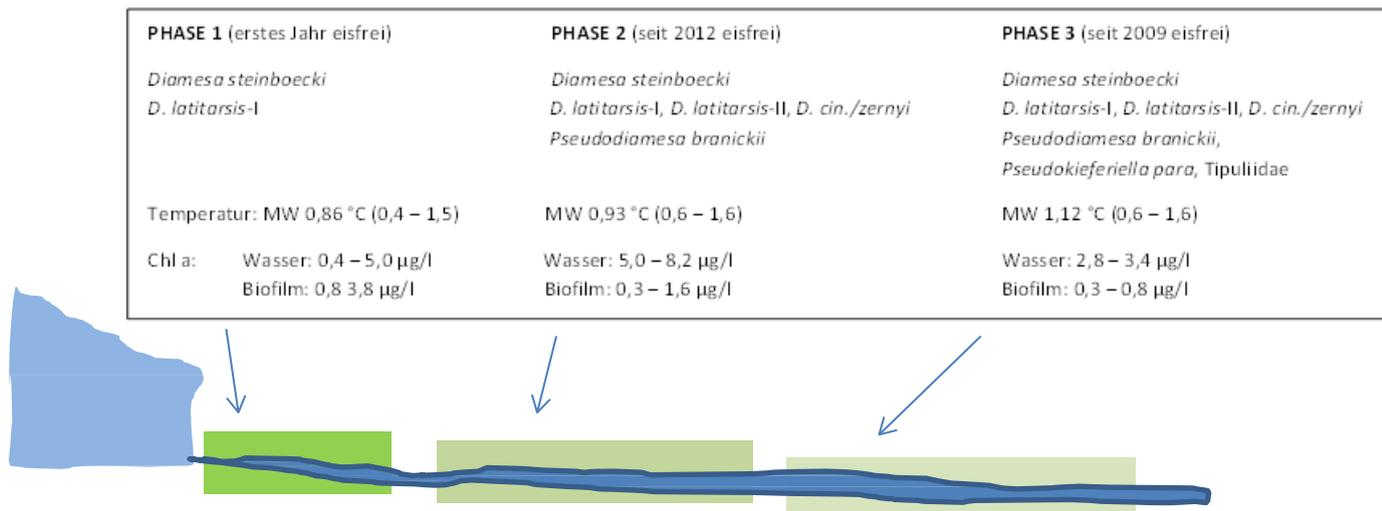


Abbildung 71: Sukzessionsbereiche im Schlattenbach im unmittelbaren Gletschervorfeldbereich

PHASE 1: Schmelz- und Erosionswirkung am Gletscherrand, Eisabbrüche sowie die hydromechanische Kräfte des Gletscherbaches bewirken die Entstehung freier Fließstrecken am und im unmittelbaren Nahbereich des Gletschertores. Der Temperaturbereich beträgt im Mittel 0,86 °C, der Chl a Gehalt als Zeiger der Algenproduktion liegt im Wasser zwischen 0,4 und 5,0 µg/l und im Biofilm auf Steinen im Bereich von 0,8 bis 3,8 µg/l. Besiedelt ist diese Strecke bereits im ersten Jahr von *Diamesa steinboeckii* und *D. latitarsis-I*.

PHASE 2: Eine seit 3 Jahren unvergletscherte Bachstrecke liegt etwa 70 m unterhalb der PHASE 1. Die Temperatur beträgt im Mittel 0,93 °C, der Chl a Gehalt als Zeiger der Algenproduktion liegt im Wasser zwischen 5,0 und 8,2 µg/l und im Biofilm auf Steinen im Bereich von 0,3 bis 1,6 µg/l. Zu den Zuckmückenarten *Diamesa steinboeckii* und *D. latitarsis-I* gesellen sich *D. latitarsis-II* und *D. cinerella/zernyi*.

PHASE 3: Eine seit 6 Jahren eisfreie Bachstrecke liegt etwa 150 m unterhalb der PHASE 2. Die Temperatur beträgt im Mittel bereits 1,12 °C, der Chl a Gehalt als Zeiger der Algenproduktion liegt im Wasser zwischen 2,8 und 3,4 µg/l und im Biofilm auf Steinen im Bereich von 0,3 bis 0,8 µg/l. Die Lebensgemeinschaft der PHASE 2 wird hier um eine weitere Art, *Pseudodiamesa branickii*, und der Dipterenfamilie Tipulidae ergänzt.

Tätigkeiten im Untersuchungszeitraum

Arbeitspaket Nr./Name	Kartierung der Gletschergrenzen und Gewässer aus Orthophotos
Zeitraum	08/2015-09/2015
Beschreibung der Arbeiten	Die Gletschergrenzen und Gewässer im Vorfeld des Schlatenkeeses werden von den Orthofotos des Landes in ArcGIS kartiert
Beteiligte Personen	IGF, Christian Mitterer
Ergebnis	Zeitreihe der Gletschergrenzen und Gewässerverläufe

Arbeitspaket Nr./Name	Feldarbeiten Glaziologie-Hydrologie
Zeitraum	07/2015-10/2015
Beschreibung der Arbeiten	Die Gewässerverläufe wurden mit DGPS kartiert, sowie Wasserstands- und Massenbilanzmessungen durchgeführt.
Beteiligte Personen	IGF, Christian Mitterer
Ergebnis	Zeitreihen der Variabilität des Abflusses, der Massenbilanz und der Wasserführung

Arbeitspaket Nr./Name	Feldarbeiten Hydromorphologie, Hydrochemie, Nährstoffe
Zeitraum	08/2015-09/2015
Beschreibung der Arbeiten	Die Gewässerverläufe und neuentstandenen Gewässer wurden einmal pro Woche beprobt und analysiert
Beteiligte Personen	UIBK, L. Füreder, S. Schütz, B. Hechenblaickner, S. Amann und B. Kofler
Ergebnis	Daten der Hydromorphologie, Hydrochemie, Nährstoffe

Arbeitspaket Nr./Name	Feldarbeiten Biodiversität
Zeitraum	08/2015-09/2015
Beschreibung der Arbeiten	Die Gewässerverläufe und Lebensräume wurden wöchentlich beprobt.
Beteiligte Personen	UIBK, L. Füreder, S. Schütz, B. Hechenbklackner, S. Amann und B. Kofler
Ergebnis	Daten organismische Besiedlung

Arbeitspaket Nr./Name	Synthese und Endbericht
Zeitraum	10/2015
Beschreibung der Arbeiten	Zusammenfassung der Ergebnisse, Berichtserstellung, Bereitstellung der erhobenen Daten (GIS, Biologie) für NP Hohe Tauern
Beteiligte Personen	UIBK: L. Füreder, S. Schütz IGF: A. Fischer, C. Mitterer
Ergebnis	Endbericht mit Zeitreihen der Variabilität des Abflusses, der Massenbilanz und der Wasserführung, Biodiversität, Besiedlung und Sukzessionsgeschehen

Zitierte Literatur

- Abermann, J., A. Lambrecht, A. Fischer, and M. Kuhn (2009): Quantifying changes and trends in glacier area and volume in the Austrian Ötztal Alps (1969-1997-2006), *The Cryosphere*, 3, 205-215.
- Abermann, J., B. Seiser, I. Meran, M. Stocker-Waldhuber, M. Goller and A. Fischer (2012): A new ALS glacier inventory of North Tyrol, Austria, for 2006. *Zeitschrift für Gletscherkunde* 43/44, 109– 119.
- Abermann, J., Fischer, A., Lambrecht, A. und Geist, T. (2009): Multitemporal LIDAR-DEMs for glacier and permafrost mapping and monitoring, *The Cryosphere*, 4, 53-65.
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Lipa W, Orlik A, Potzmann R, Schöner W, Ungersböck M, Matulla C, Briffa K, Jones PD, Efthymiadis D, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Mercalli L, Mestre O, Moisselin J-M, Begert M, Müller-Westermeier G, Kveton V, Bochnicek O, Stastny P, Lapin M, Szalai S, Szentimrey T, Cegnar T, Dolinar M, Gajic-Capka M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Niepova E, 2007. HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology* 27: 17-46.
- Brown LE, Milner AM. 2012. Rapid loss of glacial ice reveals stream community assembly processes. *Glob Chang Biol* 18:2195–204.

- Brown, L. E., D. M. Hannah & A. M. Milner, 2007. Vulnerability of alpine stream biodiversity to shrinking glaciers and snowpacks. *Global Change Biology* 13: 958–966.
- Fischer, A. (2010): Glaciers and climate change: Interpretation of 50 years of direct mass balance of Hintereisferner, *Global and Planetary Change*, Volume 71, Issues 1-2, Pages 13-26, ISSN 0921-8181, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2009.11.014.
- Fischer, A., 2013, *Plant Ecology and Diversity*, Long term monitoring of glacier mass balance and length changes in Tyrol as a base for glacier foreland succession studies., Vol 6, Issues 3-4, 537-547, <http://dx.doi.org/10.1008/17550874.2011.568529>
- Fischer, A., M. Stocker-Waldhuber, B. Seiser, B. Hynek and H. Slupetzky (2014): Glaciological Monitoring in the Hohe Tauern National Park, *ecomont*, 6/1, 55-62.
- Fischer, A., Patzelt, G. and Kinzl, H.: Length changes of Austrian glaciers 1969-2013. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, doi:10.1594/PANGAEA.821823, 2013b.
- Füreder, L. 2012. Freshwater ecology: Melting biodiversity. *Nat. Clim. Change* 2: 318-319.
- Füreder L. 2007. Life at the edge: habitat condition and bottom fauna of alpine running waters. *Int Rev Hydrobiol* 92: 491–513.
- Füreder, L., W. Schöner 2013. Framework for a long-term ecological research in alpine river systems. 5th Symposium for Research in Protected Areas, Mittersill, Conference volume: 197-204.
- Füreder, L., C. Schütz, M. Wallinger, and R. Burger. 2001. Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. *Freshw. Biol.* 46: 1673-1690.
- Füreder, L. 1999. High alpine streams: Cold habitat for insect larvae, p. 181-196. In R. Margesin and F. Schinner [eds.], *Cold adapted organisms. Ecology, physiology, enzymology and molecular biology*. Springer Verlag.
- Gattermayr, W.: Das hydrographische Regime der Ötztaler Ache. in : *Klima, Wetter, Gletscher im Wandel* (Hrsg E.-M. Koch, B. Erschbamer) Alpine Research Centre Obergugl, 3, innsbruck university press, 218 S, 2013.
- Heckmann T., Haas, F., Morche, D., Schmidt, K.-H., Rohn, J., Moser, M., Leopold, M., Kuhn, M., Briese, C., Pfeifer, N. und Becht, M.: Investigating an alpine proglacial sediment budget using field measurements, airborne and terrestrial LiDAR data. - IAHS Publication (Proceedings of the IAHS/ICCE International Symposium 'Erosion and sediment yields in the changing environment, Chengdu 2012), 2012.
- Huss, M., Joerg, P.C., Zemp, M. und Salzmann, N.: High uncertainty in 21st century runoff projections from glacierized basins. *Journal of Hydrology*, 510, 35-48, 2014.
- Juen, M., Mayer, C., Lambrecht, A., Han, H. und Liu, S.: Impact of varying debris cover thickness on ablation: a case study for Koxkar Glacier in the Tien Shan, *The Cryosphere*, 8, 377-386, 2014.
- Kuhn, M. und Escher-Vetter, H.: Die Reaktion der österreichischen Gletscher und ihres Abflusses auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag, *Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56 (1-2), 1-7, 2004.
- Milner, A. M., L. E. Brown, and D. M. Hannah. 2009. Hydroecological response of river systems to shrinking glaciers. *Hydrol. Process.* 23: 62-77.
- Milner, A.M., Brittain, J.E., Castellas, E. & G.E., Petts 2001. Trends of macroinvertebrate community structure in glacier-fed rivers in relation to environmental conditions: a synthesis. *Fresh. Biol.* 46: 1833-1847

- Milner, A. M., and G. E. Petts. 1994. Glacial rivers: Physical habitat and ecology. *Freshw. Biol.* 32: 295-307.
- Morche D., Haas, F., Baewert, H., Heckmann, T., Schmidt, K.-H. und Becht, M.: Sediment transport in the proglacial Fagge River (Kاونertal/Austria). - IAHS Publication (Proceedings of the IAHS/ICCE International Symposium 'Erosion and sediment yields in the changing environment, Chengdu 2012), 2012.
- Oerlemans, J., Giesen, R.H. und van den Broeke, M.R.: Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland) *Journal of Glaciology*, 55 (192), 729 – 736, 2009.
- Patzelt G. (1973): Die postglazialen Gletscher- und Klimaschwankungen in der Venedigergruppe (Hohe Tauern, Ostalpen). *Z. f. Geomorphologie N.F., Suppl.Bd.16* (1973):25-72.
- Seiser, Bernd; Fischer, Andrea (2014): Glacier mass balances and elevation zones of Venedigerkees, Hohe Tauern, Austria, 2011/2012 to 2012/2013. <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.833232>
- Slemmons, K. E., J. E. Saros, and K. Simon. 2013. The influence of glacial meltwater on alpine aquatic ecosystems: A review. *Environ. Sci. Process. Impacts* 15: 1794-806.
- Stocker-Waldhuber, M., H. Wiesenegger, J. Abermann, B. Hynek, A. Fischer (2012): A new glacier inventory of the province of Salzburg, Austria 2007/2009, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Band 43/44 (2009/10), S.121–128
- Stocker-Waldhuber, M., K. Helfricht, L. Hartl, and A. Fischer, 2015: Glacier Surface Mass Balance 2006–2014 on Mullwitzkees and Hallstätter Gletscher, Austria, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Band 47 (2013), 101–119.
- Stocker-Waldhuber, Martin; Fischer, Andrea; Kuhn, Michael (2015): Glacier mass balances and elevation zones of Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2006/2007 to 2013/2014. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, doi:10.1594/PANGAEA.806662
- Vaughan, D.G., J.C. Comiso, I. Allison, J. Carrasco, G. Kaser, R. Kwok, P. Mote, T. Murray, F. Paul, J. Ren, E. Rignot, O. Solomina, K. Steffen and T. Zhang, 2013: Observations: Cryosphere. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.