Nationalpark Hohe Tauern

UNIVERSITÄT SALZBURG

Bundesministerium
Nachhaltigkeit und Tourismus

Fachbereich Ökologie und Evolution

Ecology and Evolution

Pilot-Projekt zur methodischen Entwicklung, Ersteinrichtung und Validierung eines interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016 - 2019

# Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen

## Bericht bzgl. Zusatzvereinbarung „Sommerkampagne 2019“


Projektleiter/innen:
Stephen A. Wickham, Jana S. Petermann, Ulrike-G. Berninger
FB Biowissenschaften, Universität Salzburg, Hellbrunner Str. 34, 5020 Salzburg

Mitarbeiter
Dominik Ankel, Stefan Lienbacher

Autoren/innen
S. A. Wickham, J.S. Petermann, U.-G. Berninger


Salzburg, den 13.12.2019

**Inhaltsverzeichnis**

Einleitung

Methoden
- Untersuchungsgebiete
- Geländearbeiten
- Abiotische Faktoren
- Organismen
- Laboranalysen

Ergebnisse
- Untersuchungsgebiete
- Abiotische Faktoren, Langzeitmessungen

Interpretation / Diskussion

Ausblick

Danksagung

Literatur

## Einleitung

Das o.g. Projekt ist darauf ausgerichtet, ein interdisziplinäres und integratives Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern zu etablieren. Das Gesamtprojekt ist in mehrere - konzeptionell koordinierte - Teilprojekte („Module“) untergliedert, jedes Modul setzt den Fokus auf ein spezifisches Ökosystem bzw. eine spezifische Organismengemeinschaft. Geografisch sind alle Teilprojekte in den selben Gebieten des Nationalparks (Unter- bzw. Obersulzbachtal, Innergschlöß, Seebachtal) angesiedelt.

Das hier beschriebene Modul 08 („Seen“) ist auf die Zooplanktongemeinschaften und abiotischen Parameter hochalpiner Seen fokussiert.

In den Geländekampagnen 2017 und 2018 wurden methodische Aspekte abgeklärt, die Monitoringflächen / -gebiete endgültig festgelegt und erste Ergebnisse erzielt. Diese sind u.a. im „Endbericht Modul 8“ von 2019, im „Synthesebericht“ und im „Methodenhandbuch“ festgehalten. Durch interne Missverständnisse verzögert(e) sich die Fortsetzung des Monitorings über die Pilotphase hinaus und es drohte, eine Datenlücke für den Sommer 2019 entstehen zu lassen. Da dies ernsthafte negative Konsequenzen für die Kontinuität und damit die wissenschaftliche Aussagekraft einiger der Module gehabt hätte, war der NPHT dankenswerterweise dazu bereit, im Rahmen einer Zusatzvereinbarung die Sommerkampagne 2019 dieser Module finanziell zu unterstützen.

Der vorliegende Bericht bezieht sich ausschließlich auf diese Kampagne, die im allgemeinen nach demselben Schema wie die Probenentnahmekampagnen und Auswertungen 2017 und 2018 abgelaufen ist.

Bei der Auswahl der durchgeführten Aktivitäten wurde angestrebt, die erforderliche wissenschaftliche Qualität und die Aussagekraft der Ergebnisse auch mit reduzierten finanziellen Mitteln zu erreichen:

- Beprobung aller Seen (vgl. Zwischenberichte 2017 und 2018, Synthesebericht), inkl. der Aufnahme der abiotischen Parameter,
- Beginn der (mikroskopischen) Auswertung der Proben, voraussichtlicher Abschluss der Arbeiten: Februar 2020.
- Die vollständige Analyse der Daten erfolgt nach der Vorgehensweise2017/2018
- Auf die Erstattung der Nutzungsgebühr für die Multisonde wurde von uns verzichtet.
- Aus Kostengründen mussten die eigentlich geplanten genetischen Untersuchungen der Planktonorganismen aufgeschoben werden. Um Kosten zu sparen, werden die Analysen zusammen mit Proben von Robert Ptacnik (WasserCluster Lunz) durchgeführt.
- Aus Mangel an entsprechenden Finanzmitteln wurden die eingesetzten Datalogger im Jahr 2019 noch nicht komplett ausgetauscht.
- Sämtliche Zusatzkosten (Probengefäße, Verbrauchsmittel, Chemikalien etc.) wurden aus anderen Quellen (Universität Salzburg) finanziert.

## Methoden

### Untersuchungsgebiete

Die Geländekampagnen 2017 und 2018 resultierten in der Auswahl von 18 (potenziellen) Dauer-Probengebieten (s. Tabelle 1 und 2). Diese erfüllen die folgenden zwingenden Kriterien:

- Lage der Seen entlang eines Höhengradienten
- Erreichbarkeit der Seen (Fußwanderung inkl. Materialtransport möglich, Entfernung von Unterkunft max. 5 Stunden)
- Erwartete permanente Wasserführung der Seen über viele Jahre
- Möglichkeit der Messung abiotischer Faktoren, der Beprobung und der Installation von Dataloggern
- Möglichst größte Nähe zu den Untersuchungsgebieten der anderen projektbeteiligten Gruppen

| Tal | See | Höhe (m) | Breitengrad | Längengrad |
|---|---|---|---|---|
| Seebachtal | Grüneckersee | 2307 | 47° 2'8.11"N | 13°10'32.19"E |
| | Kleiner Tauernsee | 2310 | 47° 2'24.38"N | 13°10'55.48"E |
| | „See oberh. Mindener Hütte (Schneefeldsee)" | 2474 | 47° 1'43.49"N | 13° 9'13.01"E |
| | „See 2 oberhalb Mindener Hütte (Plattensee)“ | 2441 | 47° 1'35.03"N | 13° 9'5.46"E |
| | „Kleines Elend“ | 2609 | 47° 2'30.86"N | 13°15'22.46"E |
| | „Großes Elend“ | 2510 | 47° 2'22.33"N | 13°15'9.10"E |
| Obersulzbachtal | Seebachsee | 2083 | 47°10'53.99"N | 12°13'43.04"E |
| | „See neben Seebachsee“ | 2083 | 47°10'48.55"N | 12°13'34.97"E |
| | Foißkarsee | 2132 | 47°10'24.50"N | 12°14'31.69"E |
| | „Obervorderjaidbachsee“ | 2412 | 47° 8'37.00"N | 12°14'9.87"E |
| | „Untervorderjaidbachsee“ | 2274 | 47° 9'10.74"N | 12°14'28.15"E |
| | Sulzsee | 2193 | 47° 7'6.62"N | 12°17'40.15"E |
| Innergschlöß | Salzbodensee | 2138 | 47° 6'55.85"N | 12°25'33.29"E |
| | „Innergschlöß See 2“ (Eisseele) | 2550 | 47° 7'25.88"N | 12°23'52.89"E |
| | „Innergschlöß See 3“ (In Loche) | 2520 | 47° 7'17.69"N | 12°23'51.78"E |
| | Löbbensee | 2226 | 47° 6'23.34"N | 12°28'36.87"E |
| | „Gletscherplateau (NPH 3)“ | 2235 | 47° 6'58.73"N | 12°24'46.63"E |
| | „See nahe Löbbensee“ | 2233 | 47° 6'13.80"N | 12°28'41.38"E |

Tab. 1: Liste der im Rahmen des Moduls „hochalpine Seen“ in den Jahren 2017, 2018 und 2019 berücksichtigten Seen (EPSG:4326) mit Angabe der Höhenlage und den geografischen Koordinaten.

| Tal | See | Max. Tiefe (m) | Fläche ($m^2$) | Quelle (für Fläche) |
|---|---|---|---|---|
| Seebachtal | Grüneckersee | 20 | 32143 | Buckel & Otto (2018) |
| | Kleiner Tauernsee | 9 | 7500 | Buckel & Otto (2018) |
| | „See oberh. Mindener Hütte (Schneefeldsee)" | 7.6 | 12928 | Buckel & Otto (2018) |
| | „See 2 oberhalb Mindener Hütte (Plattensee)“ | 1.9 | 500 | eigene Messg.; Google Maps |
| | „Kleines Elend“ | 1.2 | 420 | eigene Messg.; Google Maps |
| | „Großes Elend“ | 3.4 | 1770 | eigene Messg.; Google Maps |
| Obersulzbachtal | Seebachsee | 15 | 135001 | Buckel & Otto (2018) |
| | „See neben Seebachsee“ | 13 | 5174 | Buckel & Otto (2018) |
| | Foißkarsee | 2.7 | 13455 | Buckel & Otto (2018) |
| | „Obervorderjaidbachsee“ | 6 | 2389 | Buckel & Otto (2018) |
| | „Untervorderjaidbachsee“ | 2 | 190 | eigene Messg.; Google Maps |
| | Sulzsee | 42.4 | 179721 | Buckel & Otto (2018) |
| Innergeschlöss | Salzbodensee | 5.1 | 2065 | Buckel & Otto (2018) |
| | „Innergschlöß See 2“ (Eisseele) | 7.1 | 9121 | Buckel & Otto (2018) |
| | „Innergschlöß See 3“ (In Loche) | 0.9 | 845 | eigene Messg.; Google Maps |
| | Löbbensee | 16 | 3066 | Buckel & Otto (2018) |
| | „Gletscherplateau (NPH 3)“ | 1.25 | 230 | eigene Messg.; Google Maps |
| | „See nahe Löbbensee“ | 5.4 | 2900 | Wikipedia |

Tab. 2: Liste der im Rahmen des Moduls „hochalpine Seen“ in den Jahren 2017, 2018 und 2019 berücksichtigten Seen (EPSG:4326) mit Angabe der maximalen Tiefe und der Fläche.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde auch 2019 eine Photodokumentation der Untersuchungssysteme vorgenommen.

Durchführung der Geländearbeiten

Ziel war es, die Geländearbeiten während der Monate Juli und August zur weitgehend eisfreien Zeit durchzuführen. Im Jahr 2019 erwies sich dies als etwas problematisch, da aufgrund der großen Schneemengen im Winter 2018/19 auf einigen Seen die Eisdecke zum geplanten Probenentnahmetermin noch nicht verschwunden war. Daraufhin musste die Kampagne zeitlich nach hinten verschoben werden und einzelne Seen zu einem späteren Zeitpunkt beprobt werden..

Geländedaten:

Obersulzbachtal: 23.– 25. Juli 2019
Innergschlöß: 31. Juli – 01. August 2019, Eisseele und In Loche: 22. August 2019
Seebachtal: 06.– 07. August 2019

Die Geländearbeiten beinhalteten im Jahr 2019 folgende Komponenten:

- Anfahrt aus Salzburg
- Beladen des Bootes
- Hinausrudern, Auffinden und Auslesen der Datalogger zur kontinuierlichen Temperaturmessung (s.u.)
- Bestimmen der tiefsten Stelle (mittels tragbarem Echolot)
- Durchführung der Messung der abiotischen Faktoren (Multisonde, s.u.)
- Entnahme einer Gesamtwasserprobe (Wasserschöpfer, s.u.)
- Entnahme der Zooplanktonproben (Planktonnetz, s.u., sofortige chemische Fixierung, s.u.)
- Dokumentation aller Arbeitsschritte in Standardprotokollen, mehrfach redundante Datenspeicherung.

Abiotische Parameter

Die Bestimmung der abiotischen Faktoren und die Beprobung wurden größtenteils von einem transportablen Schlauchboot aus vorgenommen (Abb. 1). Ein Echolot (LTC Fish Finder) wurde benutzt, um die maximale Tiefe des Sees zu messen. Die Quantifizierung relevanter Wasserparameter wurde mithilfe einer Multisonde (EXO2 YSI, Abb. 1) durchgeführt:

- Wassertemperatur (°C)
- Luftdruck (mm Hg)
- gelöster Sauerstoff (% Sättigung)
- spezifische Leitfähigkeit (µS/cm)
- pH
- Nitratgehalt (mg/l)
- Trübheit (FNU)
- Pycocyanin der Blau-Grünen Algen (relative Fluoreszenzeinheiten und µg/l)
- Chlorophyll *a* Konzentration

Weiterhin wurden Umgebungsparameter wie Anzeichen von Beweidung u.ä. aufgenommen.

Die Messungen wurden in der Wassersäule meist über die komplette Tiefe des Sees durchgeführt (bis zu einer maximalen Sondenreichweite von 15m).

Abb. 1: Schlauchboot zur Beprobung der Seen mit Multisonde (in blau).

Zur Durchführung von Langzeit-Temperaturmessungen wurden in jedem See auf der selben Wassertiefe zwei Datalogger (tempmate.®-B2) installiert (Abb. 2). Sie zeichnen die Daten in 6-stündigen Intervallen auf und eignen sich daher zur Dokumentation der tageszeitlichen und saisonalen Temperaturunterschiede (Maxima, Minima, kurzfristige extreme Ereignisse) sowie der Langzeitentwicklung der Wassertemperatur.

Abb. 2: Temperaturdatenlogger in wasserdichtem Gehäuse (schwarze Kapsel) in der Wassersäule hängend und im Blick auf die Wasseroberfläche. Oben sorgen 2 Styroporkugeln für Auftrieb und Sichtbarkeit an der Wasseroberfläche. Steine im Netzbehältnis fungieren als Anker.

Beprobung für Organismen (Zooplankton)

Zur Beprobung des Metazooplanktons wurde ein Planktonnetz mit 30 µm Maschenweite und 29 cm Durchmesser der Öffnung benutzt (Abb. 3). Je nach Tiefe des Sees und erwarteter Abundanz der Organismen wurden verschiedene Wasservolumen (insgesamt 140 bis 2700 Liter) beprobt, konzentriert, zu einer einzigen Probe zusammengeführt und sofort in Succrose-Formol (Endkonzentration ca. 5%) fixiert. In der Regel wurden Vertikalproben genommen (über die gesamte Tiefe des Sees), in den sehr flachen Seen („Kleines Elend“, „Plattensee“, In Loche, „“Gletscherplateau“, „Untervorderjaidbachsee“) wurden horizontale Proben genommen.

Abb. 3: Entnahme der Zooplanktonprobe mithilfe eines Planktonnetzes.

Zooplankton (Wasserproben)

Die Zooplanktonproben werden in einer Zooplankton-Zählkammer unter einem Olympus SZX9 Stereomikroskop ausgewertet und mit einem Nikon Eclipse E800 Mikroskop und einer DS Ri1 Kamera bestimmt. Sowohl standardmäßige Bestimmungsliteratur als auch vorhandene Artenlisten von den beprobten Gebieten werden verwendet, um die Zooplanktonarten taxonomisch einzuordnen (Koste 1978, Pontin 1978, Einsle 1993, Jersabek 1996, Gaviria 1998, Flößner 2000, Jersabek et al. 2001, Gaviria-Melo et al. 2005).

## Ergebnisse

Untersuchungsgebiete und Geländearbeiten:

Alle für das Langzeitmonitoring berücksichtigten Seen konnten im Sommer 2019 wieder aufgefunden und beprobt werden, wobei die Kampagne zeitlich eine Woche nach hinten verschoben werden und in anderer Reihenfolge als im Vorjahr durchgeführt werden musste, da in der KW 29 die Seen im Innergschlöß noch vollständig von Eis bedeckt waren und auch viele Seen im Seebachtal noch nicht zu beproben waren. Im Jahr 2019 wurden also zuerst die Seen im Obersulzbachtal beprobt (KW 30), danach im Innergschlöß (KW 31), dann die im Seebachtal (KW32). Zwei Seen im Innergschlöß („Innergschlöß See 2“ (Eisseele) und „Innergschlöß See 3“ (In Loche)) konnten wegen Eisbedeckung erst am 22.08.2019 beprobt werden. Alle geplanten Probenentnahmen bzw. Messungen konnten schlussendlich durchgeführt werden.

## Abiotische Parameter - Messungen während der Geländekampagne

Wie bereits nach den Probeentnahmekampagnen 2017 und 2018 praktiziert, wird der Großteil der Auswertung der Proben und Daten aus der hier dargestellten Sommerkampagne über die folgenden Wintermonate (also bis ca. Feb. 2020) durchgeführt. Entsprechend liegen uns noch nicht alle Ergebnisse vor, interessante Trends sind aber bereits sichtbar.

Exemplarisch präsentieren wir hier die Tiefenprofile von drei der relevantesten Parameter (Wassertemperatur, Nitratkonzentration sowie Konzentration von Chlorophyll *a*) in zwei der beprobten Seen (Seebachsee im Obersulzbachtal, Abb. 4, und Löbbensee im Innergschlöß, Abb. 5). Zur Sichtbarmachung eines möglichen (lang-) zeitlichen Trends werden die erhobenen Daten von 2019 denen aus den Jahren 2017 und 2018 gegenübergestellt.

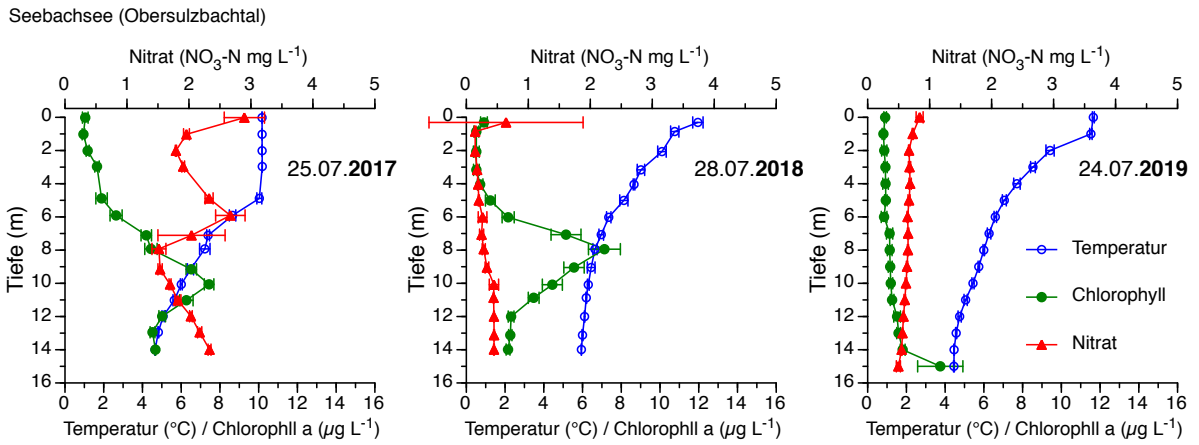


Abb. 4: Vertikalprofile von Nitrat (mg L-1, rote Dreiecke), Temperatur (°C, blaue Kreise) und Chlorophyll a-Konzentration (µg L-1, grüne Kreise) in der Wassersäule des Seebachsees, Obersulzbachtal. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die Ergebnisse der Messungen aus den drei unterschiedlichen Jahren (2017, 2018, 2019 jeweils Juli) sind nebeneinander aufgeführt. Die x-Achsen weisen für alle Grafiken die selbe Skala auf.

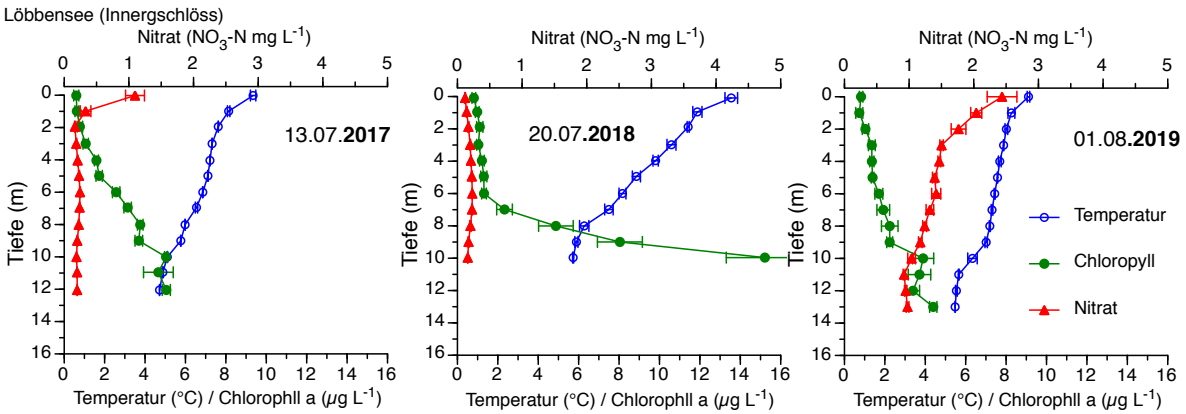


Abb. 5: Vertikalprofile von Nitrat (mg L-1, rote Dreiecke), Temperatur (°C, blaue Kreise) und Chlorophyll a-Konzentration (µg L-1, grüne Kreise) in der Wassersäule des Löbbensees, Innergschlöß. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die Ergebnisse der Messungen aus den drei unterschiedlichen Jahren (2017, 2018, 2019 jeweils Juli/August) sind nebeneinander aufgeführt. Die x-Achsen weisen für alle Grafiken die selbe Skala auf.

Die abiotischen Parameter beider Seen sind durch eine hohe interannuelle Variabilität gekennzeichnet. Während die Temperaturprofile von Jahr zu Jahr recht ähnlich sind, zeigen die Nitratwerte sowie die Chlorophyll *a*-Konzentrationen (herangezogen als Massenparameter zur Abschätzung der photoautotrophen Primärproduktion) große Unterschiede. Im Seebachsee (Abb. 4) sind die Nitratprofile der Jahre 2018 und 2019 nahezu identisch (abgesehen von der großen Schwankungsbreite der Parallelmessungen direkt an der Wasseroberfläche im Jahr 2018), im Jahr 2017 hingegen waren die Werte deutlich erhöht. Im Gegensatz dazu sind die Chlorophyll-Werte der Jahre 2017 und 2018 über die Wassersäule hinweg sehr ähnlich, inkl. eines deutlichen Tiefenchlorophyllmaximums auf 8 bis 10 m Wassertiefe. Ein solches Tiefenchlorophyllmaximum trat im Jahre 2019 nicht auf, die Konzentrationen blieben bis zum Gewässergrund, wo eine leichte Erhöhung sichtbar wird, sehr niedrig (< 1 µg $L^{-1}$).

Ein etwas anderes Bild zeigt der Löbbensee (Abb. 5). Auch hier sind die Wassertemperaturen über die drei Untersuchungsjahre recht ähnlich, aber die Nitratwerte zeigen jedes Jahr ein anderes Muster (leicht erhöhte Konzentrationen an der Wasseroberfläche und dann Abfall auf sehr niedrige Werte im Jahr 2017, durchgängig sehr geringe Konzentrationen 2018 und deutlich erhöhte Konzentrationen an der Wasseroberfläche und vertikale Konzentrationen, die nicht unter 1 mg $L^{-1}$ abfallen im Jahr 2019). Die Chlorophyll-*a*-Konzentrationen zeigen während allen drei Kampagnen die niedrigsten Werte an der Wasseroberfläche, aber - teilweise deutlich - erhöhte Werte in tieferen Wasserschichten. Die Maximalwerte sind von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich, insbesondere im Jahr 2018 wurde ein sehr hohes Tiefenchlorophyllmaximum verzeichnet (>15 µg $L^{-1}$ Chlorophyll *a*).

## Abiotische Parameter - Langzeit-Temperaturmessungen

Mithilfe von Dataloggern, die in den Untersuchungssystemen installiert werden, können die Wassertemperaturen unterhalb der Wasseroberfläche (auf ca. 0,4 - 1 m Wassertiefe) kontinuierlich gemessen werden. Exemplarisch präsentieren und besprechen wir hier die Daten aus jeweils zwei Seen im Innergschlöß (Gletscherplateausee und Salzbodensee), Abb. 6, und im Seebachtal (Plattensee und Schneefeldsee), Abb. 7.

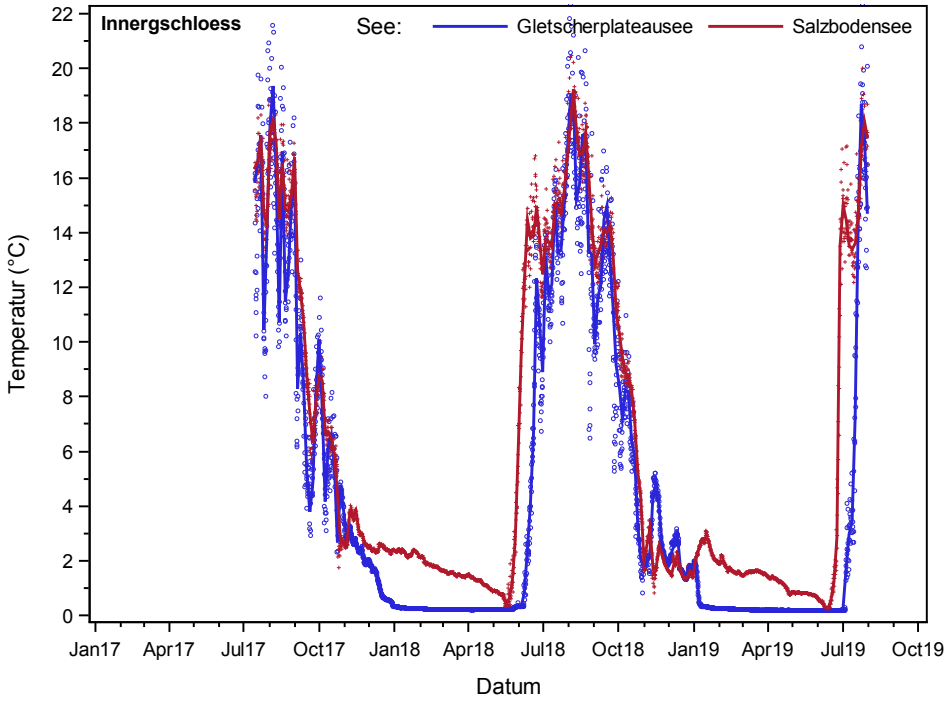


Abb. 6: Wassertemperatur von Juli 2017 bis August 2019 (°C, in ca. 0,4 - 1 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in zwei Beprobungssystemen des Innergschlöß (Gletscherplateausee und Salzbodensee). Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen <2°C sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von 0°C zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.

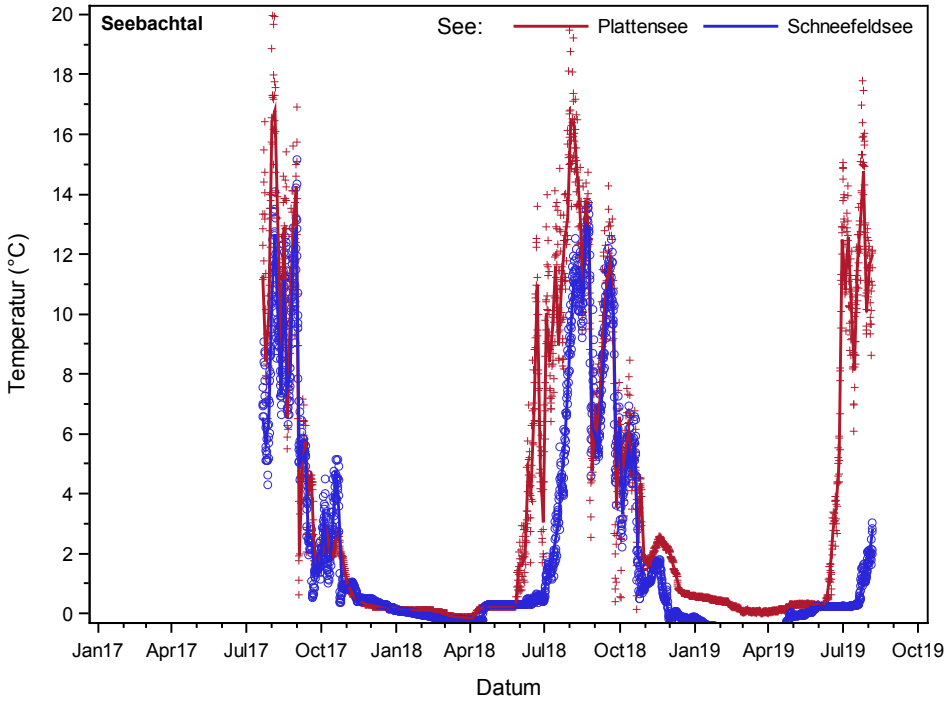


Abb. 7: Wassertemperatur von Juli 2017 bis August 2019 (°C, in ca. 1 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in zwei Beprobungssystemen des Seebachtal (Plattensee und Schneefeldsee). Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen <2°C sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von 0°C zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.

Die Daten zeigen, dass die annuellen Temperaturentwicklungen sich von Jahr zu Jahr sehr ähneln. Die absoluten Unterschiede zwischen dem Gletscherplateausee und dem Salzbodensee (Abb. 6) sind sehr stabil, und die Maximaltemperaturen bewegen sich in der selben Größenordnung (20-22 °C). Die Dauer der Eisbedeckung unterscheidet sich jedoch um ca. 2 Wochen zwischen den Seen. Die Beispiele für Seen im Seebachtal (Abb. 7) unterscheiden sich etwas mehr. So erreicht der Plattensee höhere Maximaltemperaturen als der Schneefeldsee, und die Erwärmung des Schneefeldsee erfolgt später im Sommer. Ein Vergleich der Jahre 2017, 2018 und 2019 zeigt aber auch hier keine signifikanten Unterschiede.

Organismen: Zooplankton

Aufgrund des hohen Probenaufkommens, der tweilweise großen Abundanzen in den einzelnen Proben der Organismen sowie ihrer hohen taxonomischen Diversität ist die mikroskopische Auswertung der Zooplanktonproben noch nicht abgeschlossen. Belastbare Daten können daher hier noch nicht präsentiert werden.

## Interpretation / Diskussion

Die endgültige Auswertung der Proben und die Analyse der Daten wird Anfang 2020 erfolgen. Bereits jetzt können aber wichtige Aspekte hervorgehoben werden:

- Wie bereits in den Jahren 2017 und 2018 erwiesen sich die Probenentnahmesysteme als geeignete Auswahl (hinsichtlich Wieder-Auffindbarkeit, Lage, Lebensgemeinschaft, Aussagekraft etc.)

- Das spätere Abschmelzen der Eisbedeckung auf einigen der Seen schuf zwar eine weitere logistische Herausforderung, ist aber rein wissenschaftlich betrachtet durchaus interessant. So konnte z.B. gezeigt werden, dass sich die längere Dauer der Eisbedeckung nicht oder nur in sehr geringem Maße auf die nach „ice-out“ gemessene Wassertemperatur auswirkte (Abb. 4 und 5). Dies impliziert, dass die Seen sich sehr schnell erwärmen können, was auch die mit den Dataloggern ermittelten Langzeitdaten zeigen.

- Die abiotischen Daten aus den beprobten Seen zeigen eine Fortsetzung der auch in den vorherigen Jahren beobachteten Trends.

    - So bestätigt sich der Eindruck aus den Jahren 2017 und 2018, dass sowohl die Werte für (potenzielle) Pflanzennährstoffe (wie Nitrat) als auch die damit gekoppelten Mengen der planktischen Algen (hier dargestellt über den Massenparameter Chlorophyll *a*) großen Schwankungen unterliegen. Insbesondere die teilweise stark erhöhten Nitratwerte nahe der Wasseroberfläche lassen auf atmosphärische Eintragswege bzw. auf im weiteren Sinne anthropogene Faktoren (Eintrag durch Wanderer bzw. durch in der Nähe der Seen weidende Tiere) schließen.

- Als sehr wertvoll stellt sich der Ansatz heraus, chemisch-physikalische Parameter nicht nur an der Wasseroberfläche sondern über die gesamte vertikale Wassersäule zu messen. Dies wird besonders deutlich beim Betrachten der Chlorophyll *a*-Profile (Abb. 4 und 5): In beiden hier exemplarisch besprochenen Seen (Seebachsee und Löbbensee) sind die Chlorophyll-Konzentrationen in den oberen Wasserschichten (bis auf mind. 5 m Wassertiefe) sehr niedrig (< 1 µg $L^{-1}$). In einigen (aber nicht in allen!) Fällen befindet sich in den darunter liegenden Wasserschichten (auf ca. 6-10 m Wassertiefe) ein teilweise sehr stark ausgeprägtes Tiefenchlorophyllmaximum, also ein erhöhtes Algenwachstum, welches auf den erhöhten (anthropogen verursachten?) Nährstoffeintrag deutet. Hätte man sich auf die Messung der entsprechenden Parameter nur nahe der Wasseroberfläche beschränkt, wäre dieses Phänomen unentdeckt geblieben, und die Situation in den Seen wäre inkorrekt interpretiert worden.

- Die Beispiele für Langzeittemperaturmessungen (Abb. 6 und 7) zeigen, dass Unterschiede teilweise auf das spezifische Mikroklima, dem ein bestimmter See ausgesetzt ist, zurückzuführen sind. Oft beruhen die beobachteten Unterschiede aber zusätzlich (oder ausschließlich) auf hydromorphologischen Eigenschaften der Untersuchungssysteme. So ist der Gletscherplateausee viel kleiner und flacher als der Salzbodensee (Abb. 6), liegt aber nur ca. 100 m höher entlang des Tals. Beide Seen frieren etwa gleichzeitig zu, das Auftauen erfolgt jedoch beim Gletscherplateausee jedes Jahr deutlich (ca. 2 Wochen) später als im Salzbodensee, was auf unterschiedliche Mikroklima-Einflüsse zurückzuführen ist. Die beiden miteinander direkt verglichenen Seen des Seebachtals (Schneefeldsee und Plattensee, Abb. 7) liegen auf etwa der gleichen Meereshöhe und nur ca. 500 m voneinander entfernt. Ein unterschiedliches Mikroklima kann hier nicht angenommen werden, die beobachteten Abweichungen (späteres „ice-out“ und niedrigere Maximaltemperaturen im Schneefeldsee) sind darauf zurückzuführen, dass dieser See deutlich größer und tiefer ist als der Plattensee. Bemerkenswert für alle untersuchten Seen ist die Beobachtung, wie schnell die Wassertemperatur nach dem Wegtauen der Eisbedeckung sich erwärmt (in fast allen Untersuchungssystemen über nur wenige Wochen) und welch hohe Werte die Wassertemperatur erreichen kann. Mehr als 20°C sind für so hoch gelegene Systeme, die nur eine vergleichsweise kurze „Sommerphase“ erleben, erstaunlich.

- Daten zu den Zooplanktongemeinschaften (Ciliaten, Rotatorien, Crustaceen) in den Seen liegen noch nicht vor und können daher hier nicht berücksichtigt werden.

**Ausblick**

Wie bereits in den Berichten aus den Jahren 2017 - 2018 dargelegt wurde, hat die sogenannte Pilotphase des Monitoringprojekts alle Erwartungen erfüllt. Es konnte etabliert werden, dass

Unterschiede in den abiotischen Faktoren und den Organismen (Abundanzen, Biodiversität etc.) entlang der Höhengradienten als ein Modell für die Anpassungen von Lebensgemeinschaften an veränderte Umweltfaktoren dienen können. Die in den ersten drei Untersuchungsjahren sich herauskristallisierenden Trends dürfen zwar nicht über-interpretiert werden, zeigen aber bereits jetzt eindrucksvoll, dass ein Langzeitmonitoring wie das hier begonnene höchsten wissenschaftlichen Wert besitzt. In einer Zeit in der die Effekte des Klimawandels immer deutlicher werden und immer stärkeren Einfluss auf (gesellschafts-) politische Entscheidungen haben (sollten!), muss es für einen Nationalpark eine Selbstverständlichkeit sein, entsprechende Projekte zu unterstützen und so den wissenschaftlichen, naturschutzrelevanten und gesellschaftspolitischen Ansprüchen, denen er sich verschrieben hat, zu entsprechen.

## Danksagung

Das Projekt wird aus Nationalparkmitteln des Bundes finanziert und von der Universität Salzburg unterstützt. Für die kompetente Mitwirkung bei der Planung und Umsetzung des Projektes danken wir den Mitarbeiter/innen des NPHT, insbesondere Elisabeth Hainzer. Für administrative und praktische Hilfe an der Universität Salzburg danken wir Dr. Eva Herzog sowie Claudia Mader sehr herzlich.

## Literatur

Einsle U (1993) Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. Su ̈ßwasserfauna von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Suttgart/Jena/New York

Flößner D (2000) Die Haplopoda und Cladocera Mitteleuropas. Backhuys Publishers, Leiden

Frisch D et al. (2014) A millennial-scale chronicle of evolutionary responses to cultural eutrophication in Daphnia. Ecology Letters 17:360-368

Gaviria S (1998) Checklist and distribution of the free-living copepods (Arthropoda: Crustacea) from Austria. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie B für Botanik und Zoologie:539-594

Gaviria-Melo S, Forró L, Jersabek CD, Schabetsberger R (2005) Checklist and distribution of cladocerans and leptodorans (Crustacea: Branchiopoda) from Austria. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie B für Botanik und Zoologie:145-216

Hofmann W (2003) The long-term succession of high-altitude cladoceran assemblages: a 9000-year record from Sägistalsee (Swiss Alps). Journal of Paleolimnology 30:291-296

Jersabek CD (1996) Verbretung, Ökologie und Taxonomie von Rädertieren (Rotifera) in alpnen Gewässern der Hohen Tauern und der nördlichen Kalkalpen. Ber. nat.-med. Ver. Salzburg 11:76-145

Jersabek CD, Brancelj A, Stoch F, Schabetsberger R (2001) Distribution and ecology of copepods in mountainous regions of the Eastern Alps. Hydrobiologia 453:309-324

Koinig KA, Schmidt R, Sommaruga-Wögrath S, Tessadri R, Psenner R (1998) Climate change as the primary cause for pH shifts in a high alpine lake. Water, Air, and Soil Pollution 104:167-180

KopciCek J, Prochdzkovci L, Stuchlik E, Bla2ka P (1995) The nitrogen phosphorus relationship in mountain lakes: Influence of atmospheric input, watershed, and pH. Limnology and Oceanography 40:930-937
Koste W (1978) Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart
Morales-Baquero R, Pulido-Villena E, Reche I (2006) Atmospheric inputs of phosphorus and nitrogen to the southwest Mediterranean region: Biogeochemical responses of high mountain lakes. Limnology and Oceanography 51:830-837
Nevalainen L et al. (2014) Zooplankton (Cladocera) species turnover and long-term decline of Daphnia in two high mountain lakes in the Austrian Alps. Hydrobiologia 722:75-91
Nogués-Bravo D, Araújo MB, Errea MP, Martinez-Rica JP (2007) Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. Global Environmental Change 17:420-428
Pontin RM (1978) A Key to the Freshwater Planktonic and Semi-Planktonic Rotifera of the British Isles. Freshwater Biological Association
Rosset V, Lehmann A, Oertli B (2010) Warmer and richer? Predicting the impact of climate warming on species richness in small temperate waterbodies. Global Change Biology 16:2376-2387
Saros JE, Interlandi SJ, Doyle S, Michel TJ, Williamson CE (2005) Are the Deep Chlorophyll Maxima in Alpine Lakes Primarily Inducedby Nutrient Availability, not UV Avoidance? Arctic, Antarctic, and Alpine Research 37:557-563
Veits M (2015) Salzburgs Seen. Natur - Geschichte - Kultur. Verein "Freunde der Salzburger Geschichte"