



forschungsraum

## Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen

Modul 08 – Seen  
Zwischenbericht 2022

## IMPRESSUM

### **forschungsraum**

Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen, Zwischenbericht 2022  
Modul 8 - Seen

### **Projektleitung und Koordination:**

Stephen A. Wickham, Jana S. Petermann, Ulrike-G. Berninger, Paris-Lodron Universität  
Salzburg

### **Für den Inhalt verantwortlich:**

Stephen A. Wickham, Jana S. Petermann, Ulrike-G. Berninger, Paris-Lodron Universität  
Salzburg

**Titelbild:** Kleiner Tauernsee, Seebachtal, 2022 © Eva Maria Piberger

Trotz gebotener Sorgfalt können Satz- und Druckfehler nicht ausgeschlossen werden.

Zitiervorschlag: Wickham S. A., Petermann J. S., Berninger U.-G. (2022):  
Zwischenbericht 2022 im Modul 08 - Seen - im Rahmen des Langzeitmonitorings von  
Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern (Version 10/22). forschungsraum  
(unpubliziert).

**Weblink:** [http://www.parc.at/npht/mmd\\_fullentry.php?docu\\_id=51519](http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=51519)

Salzburg, im Oktober 2022

# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Methoden.....	1
2.1	Untersuchungssysteme.....	1
2.2	Geländearbeiten.....	2
2.3	Laborarbeiten und Auswertung.....	3
3	Ergebnisse und Diskussion.....	4
3.1	Untersuchungssysteme.....	4
3.2	Abiotische Parameter - Langzeit-Temperaturmessungen.....	4
3.3	Abiotische Parameter - Messungen während der Geländekampagne .....	6
3.4	Zooplankton.....	9
4	Ausblick .....	10
5	Literatur.....	10
6	Danksagung.....	11

# 1 Einleitung

Im hier dargestellten Modul des Langzeitmonitoring-Programms (LZM) im (Modul 8, „Seen“) im Nationalpark Hohe Tauern werden Erhebungen zu biotischen und abiotischen Parametern ausgewählter Seen sowie deren Besiedlung durch Planktonorganismen herangezogen. Dadurch sollen mögliche Veränderungen der Ökosysteme und ihrer Lebensgemeinschaften dokumentiert und perspektivisch mit Klimawandelprozessen in Zusammenhang gebracht werden, um *„anhand von Untersuchungen der Zooplanktongemeinschaft in Seen entlang eines Höhengradienten den Zusammenhang zwischen abiotischen Faktoren (z.B. Temperatur) und der Artenzusammensetzung, der Metagemeinschaftsdynamik und der Langzeit-Entwicklung der Gemeinschaften zu beleuchten. Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf die Reaktion natürlicher Ökosysteme auf Klimaveränderungen.“* (Körner et al. 2020). Der bereits aus den Jahren 2017, 2018, 2019, 2020 und 2021 resultierende Datensatz konnte durch die Geländekampagne 2022 weiter ergänzt werden. Es wurden von uns auch im Jahr 2022 dieselben 18 Seen in NPHT wie in den vorangegangenen Jahren untersucht.

Gemeinsam mit den umfangreichen Daten, die in den anderen Modulen des LZM erhoben werden, kristallisiert sich ein sukzessive klarer werdendes Bild der zeitlichen und räumlichen Dynamik hochalpiner Ökosysteme heraus. Mit jedem weiteren Jahr der Untersuchung wird allerdings auch deutlich, dass es einer erheblichen Zeitspanne und einer großen Anzahl an Replikaten bedarf, um einen objektiv auswertbaren Datensatz zu generieren. Wenngleich die Daten der vergangenen Jahre bereits teilweise Hinweise auf mögliche Langzeittrends geben, zeigen sie auch, dass die Systeme sehr dynamisch sind und es große zeitliche und räumliche Schwankungen gibt. Wir können davon ausgehen, dass es uns durch die langfristige Fortsetzung der Erhebungen möglich wird, klare Langzeit-Trends von kleinskaligen Schwankungen zu unterscheiden und so zu glaubwürdigen und belastbaren Aussagen zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels zu kommen. Die Relevanz des gesamten Projektes und sein Potenzial, langfristig die erhofften Antworten zu geben, wurden von Körner et al. (2022) dokumentiert. Tatsächlich scheinen die 2022 erhobenen Daten erste Hinweise auf die stetige Erwärmung der Seen bzw. die Verkürzung der Eisperioden zu zeigen, wobei diese Interpretation noch mit sehr viel Vorsicht geäußert werden muss. Auch extreme Wetterereignisse hatten einen Einfluss auf unsere Untersuchungen. So waren im Jahr 2022 die Wetterbedingungen ungewöhnlich schwierig, im Obersulzbachtal wurde unser Team für einen Tag durch einen Murenabgang an der Ausfahrt gehindert und musste dieses Gebiet ein zweites Mal zu einem späteren Zeitpunkt aufsuchen.

## 2 Methoden

### 2.1 Untersuchungssysteme

Wie auch in den vergangenen Jahren wurden die Untersuchungssysteme (18 Seen in den drei Tälern Innergschloß, Sulzbachtal und Seebachtal entlang von Höhengradienten), die in der Pilotphase des LZM-Projektes als geeignet und repräsentativ für die langfristige Datenaufnahme identifiziert wurden, beibehalten (Tab. 1). Alle Seen erfüllen die folgenden Kriterien: (1) Erwartete permanente Wasserführung der Seen über viele Jahre, (2) Möglichkeit der Messung abiotischer Faktoren sowie der Beprobung und Installation von Dataloggern, (3) möglichst größte Nähe zu den Untersuchungsgebieten der anderen projektbeteiligten Gruppen, (4) Erreichbarkeit der Seen und (5) Lage der Seen entlang eines Höhengradienten (Wickham et al. 2019).

Tab. 1: Liste der im Rahmen des Moduls 08 in den Jahren 2017- 2022 beprobten Seen mit Angabe der Höhenlage und der geografischen Koordinaten. Namen in Anführungszeichen sind keine offiziellen Namen sondern Arbeitstitel.

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 oberhalb 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
Innergshlöß	Salzbodensee	2138	47° 6'55.85"N	12°25'33.29"E
	„Innergshlöß See 2“ (Eisseele)	2550	47° 7'25.88"N	12°23'52.89"E
	„Innergshlöß See 3“ (In Loche)	2520	47° 7'17.69"N	12°23'51.78"E
	Löbensee	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 Löbensee“	2233	47° 6'13.80"N	12°28'41.38"E

Diese Untersuchungsflächen bilden in Größe, geologischem Alter, abiotischen Faktoren und Lebensgemeinschaften das gesamte Spektrum der Seen im Nationalpark Hohe Tauern ab und können in ihrer Breite als „typische“ Seen des Nationalparks gesehen werden. Im Rahmen der Kampagne 2022 war es möglich, im August alle Seen aufzusuchen und das vollständige Untersuchungsprogramm durchzuführen.

## 2.2 Geländearbeiten

Ziel des Projektes ist es, einen Datensatz zu generieren, mit dessen Hilfe mögliche Veränderungen über einen langen Zeitraum verfolgt werden können. Um die Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen, erfolgt die Geländekampagne jedes Jahr zu möglichst gleichen Bedingungen: Feldarbeit Ende Juli/August (Zeitraum 2022: 30.7. bis 14.8.22) zur weitgehend (s.u.) eisfreien Zeit, Durchführung der Messungen bzw. Probenentnahme bei den kleineren Seen vom Ufer aus, bei den größeren Seen von einem Schlauchboot an der etwa tiefsten Stelle des Sees. Eine genaue Beschreibung der angewandten Methoden findet sich im „Methodenhandbuch“ (Wickham et al. 2019).

**Organismen:** Die Beprobung unserer Zielorganismen, des Metazooplanktons, erfolgte mit einem Planktonnetz (30 µm Maschenweite und 29 cm Durchmesser der Öffnung). Direkt nach der Entnahme der Proben werden die Tiere in Succrose-Formol (Endkonzentration ca. 5%) chemisch fixiert. Darüber hinaus wurden zum insgesamt zweiten Mal (davor in der Kampagne 2018) Gesamtwasserproben genommen, um in Zusammenarbeit mit Kollegen/innen vom Wassercluster Lunz (Prof. Robert Ptacnik) die molekulare Diversität der Planktonorganismen zu bestimmen. Die gesamte integrierte Wassersäule wurde mit einem sog. „tube sampler“ beprobt (Probenvolumen von mind. 500 ml pro See), auf eine Filtermembran (Porengröße 0,2 µm) aufgebracht und anschließend mit flüssigem Stickstoff bis zur weiteren Analyse eingefroren.

**Abiotische Parameter:** Mithilfe einer Multiparametersonde wurden in allen untersuchten Seen die folgenden Parameter bestimmt: 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 (relative Fluoreszenzeinheiten und µg/l). Die Messungen wurden jeweils in der Wassersäule über die komplette Tiefe der Seen bzw. bis zu einer maximalen Sondenreichweite von 15 m durchgeführt.

Den kontinuierlichen Langzeitmessungen der Temperatur in den Seen kommt eine besondere Bedeutung zu. Seit Beginn des Projekts (2017) sind in jedem See auf ca. 0,4 - 1 m Wassertiefe zwei Datalogger (tempmate.®-B2) installiert. Sofern die Datalogger bei der Beprobung im Folgejahr noch auffindbar sind (was fast jedes Jahr der Fall war), werden die Daten der zurückliegenden ca. 12 Monate ausgelesen und die Logger ggf. erneuert. Details zu 2022 aufgefundenen Dataloggern finden sich unter 3.2.

**Begleitung durch Filmcrew:** Vor Beginn der 2022-er Kampagne wurde über die Nationalparkverwaltung ein Kontakt zum Filmteam „Gernot Stadler GS-Film“ hergestellt, die im Laufe des Sommers 2022 die Fernseh-Dokumentation „Juwale der Alpen – Bergseen in Kärnten“ für den Sender 3sat angefertigt haben. Das Filmteam

begleitete unser Geländeteam im Seebachtal (Abb. 1), insbesondere bei der Beprobung des Sees „Großes Elend“. In der resultierenden Dokumentation befindet sich eine ausführliche Sequenz mit Aufnahmen, Interviews und Informationen zu unserem Projekt. Die komplette Sendung wurde am 31.10.22 (20:15 Uhr) im 3sat ausgestrahlt.



Abb. 1: Filmcrew (GS-Film) und Geländeteam der PLUS (von links: David Zezula, Stefan Lienbacher, Dominik Ankel, Gerin Stadler, Gernot Stadler, Stephen Wickham, Eva Maria Piberger) im Seebachtal (Kärnten), Aug. 2022. © Selina Nuart.

### 2.3 Laborarbeiten und Auswertung

Auch die Laborarbeiten und Auswertungen folgten demselben Protokoll der vorangegangenen Projektjahre: d.h. Transport der chemisch fixierten und konzentrierten Zooplanktonproben zum Labor an der Paris-Lodron Universität Salzburg und dortige Lagerung (in Dunkelheit bei Raumtemperatur), Auswertung über die Wintermonate. Die mikroskopische Auszählung und taxonomische Einordnung der Organismen haben bereits begonnen, sind aber noch nicht abgeschlossen. Die Proben werden in eine spezialisierte Zooplankton-Zählkammer überführt, die Organismen unter einem Olympus SZX9 Stereomikroskop betrachtet und quantifiziert. Zur genaueren Betrachtung werden Individuen unter ein Nikon Eclipse E800 Mikroskop transferiert und mithilfe einer DS Ri1 Kamera taxonomisch (unter Nutzung standardmäßiger Bestimmungsliteratur sowie vorhandener Artenlisten der beprobten Gebiete) bestimmt.

Die eingefrorenen Proben zur Bestimmung der molekularen Diversität des Planktons sind noch nicht ausgewertet. Die Analyse wird im Wassercluster Lunz von den Kollegen/innen der AG Prof. Robert Ptacnik durchgeführt.

Zur Dokumentation und Sicherung werden alle Arbeitsschritte in Standardprotokollen festgehalten und die Daten mehrfach redundant gespeichert. Alle Daten wurden bzw. werden mithilfe von Statistikprogrammen in einer kontinuierlichen Zeitreihe (2017 ff) hinsichtlich der Veränderung der Gemeinschaftsstruktur (Abundanz, Diversität, Artenzusammensetzung) und den relevanten Umwelteinflüssen ausgewertet. Ziel der Analysen ist es, eine Datenbasis zu erarbeiten, um mögliche Auswirkungen des Klimawandels aufzuzeigen.



## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Untersuchungssysteme

Trotz sehr schwieriger Wetterbedingungen im Jahr 2022 konnten alle Seen aufgesucht werden. Die erste Probenentnahmekampagne im Obersulzbachtal musste abgebrochen werden, da unser Team durch einen Murenabgang für einen Tag im Tal eingeschlossen war.

Für den Zugang zu den Seen wurden dieselben Wanderwege wie in den vergangenen Jahren gewählt, teilweise mussten andere Anfahrtsrouten benutzt werden. Das Obersulzbachtal wurde ein zweites Mal besucht. Keiner der Seen hatte sich elementar durch Verlandung, Verschüttung, Austrocknung o.ä. verändert.

Die Untersuchungssysteme wurden zu folgenden Daten aufgesucht:

- Seebachtal: 30.7. bis 1.8.22
- Obersulzbachtal: 5.8. und 6.8.22 sowie 14.8.22 (aufgrund einer Mure war das Geländeteam eingeschlossen, der dritte Beprobungstag wurde am 14.8.22 nachgeholt)
- Innerschlöß: 12.8. und 13.8.22

Die Probenentnahmeperiode wird jedes Jahr auf Juli / August gelegt, weil in diesem Zeitraum die größte Wahrscheinlichkeit besteht, dass alle Seen eisfrei sind. Im Jahr 2021 hielt diese Annahme nicht, das Eisseele (unterhalb der Neuen Prager Hütte, Innerschlöß) war im August 2021 noch zu etwa 30% vereist. Solche Vorkommnisse gab es im Jahr 2022 nicht, alle Seen waren eisfrei und das komplette Beprobungs- und Messprogramm konnte durchgeführt werden.

### 3.2 Abiotische Parameter - Langzeit-Temperaturmessungen

Ein zentraler Teil des Monitoring-Projekts ist es, kontinuierliche Temperaturlaufzeichnungen zu sammeln. Dazu werden pro See zwei Datalogger auf ca. 0,4 m Wassertiefe installiert, die über das ganze Jahr im 6 Stunden-Intervall die Temperatur messen und die Daten speichern.

Ein im Jahr 2021 im Schneefeldsee, Seebachtal, installierter Logger konnte aufgrund einer nicht behebbaren technischen Störung (leerer Akku) nicht ausgelesen werden. Zudem war es nicht möglich, die beiden Logger vom „Im Loche“, Seebachtal auszulesen, da auch diese technische Fehler aufwiesen und die Messpunkte nicht speichern konnten. Im Grüneckersee (Seebachtal) wurde dieses Jahr jeweils einer der beiden Logger nicht in der Wassersäule, sondern unter einem großen, flachen Stein im Wasser gefunden, was auf eine starke Bodenverfrachtung von der benachbarten Gamskarlspitze hindeutet. Inwiefern dadurch die Messergebnisse beeinflusst wurden, wird sich im Vergleich der Messdaten mit dem zweiten Logger zeigen. Im letzten Jahr konnten im Eisseele (Innerschlöß) die beiden 2020 installierten Logger aufgrund der noch vorhandenen Eisdecke nicht entfernt und ausgelesen werden. Hier wurde 2021 ein zusätzlicher Logger eingesetzt, um die Sicherstellung der Temperaturmessung für die kommenden 12 Monate zu gewährleisten. Daher wurden bei der diesjährigen Geländekampagne insgesamt drei Logger aus dem Eisseele entfernt und liefern (nachträglich) die Messdaten ab 2020/21.

Die im jeweiligen Kampagnen-Jahr aktuell aus den Loggern ausgelesenen Temperaturdaten werden jedes Mal den Daten aus den vorherigen Jahren hinzugefügt und geben so die komplette Temperaturentwicklung seit Beginn des Projektes wieder, also nunmehr vom Juli 2017 bis August 2022. Beispielhaft zeigen die Abbildungen 2 bis 4 die Temperaturentwicklung in jeweils zwei Seen in den drei Tälern.



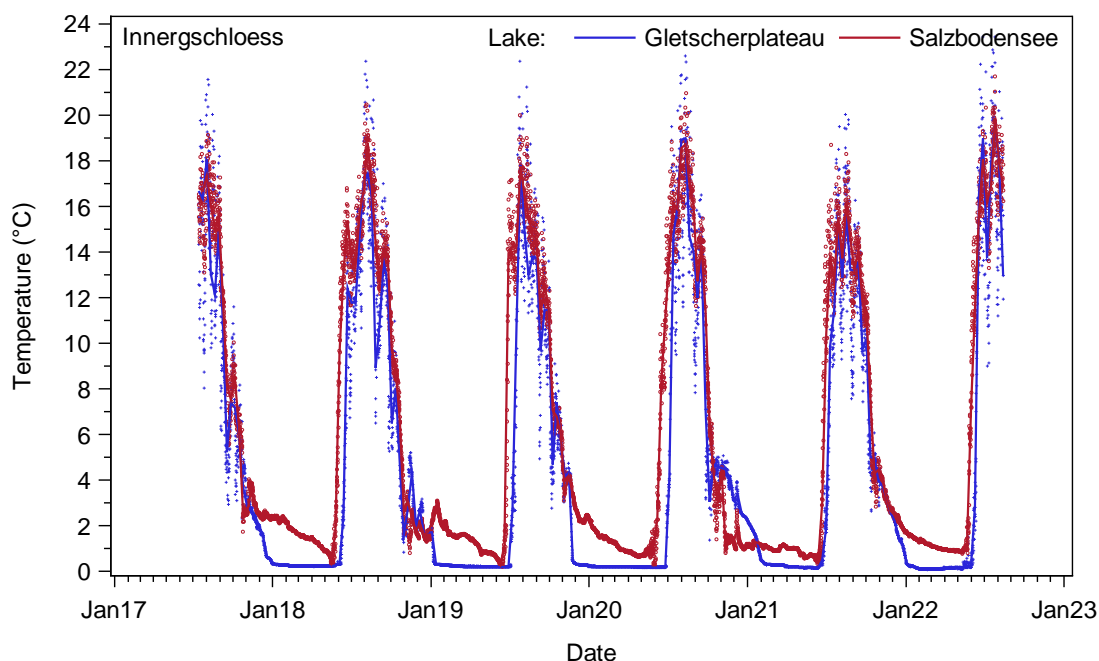


Abb. 2: Wassertemperatur von Juli 2017 bis August 2022 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in zwei Beprobungssystemen des Innerschloß (Gletscherplateausee und Salzbodensee). Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen  $<4^{\circ}\text{C}$  sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von  $0^{\circ}\text{C}$  zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.

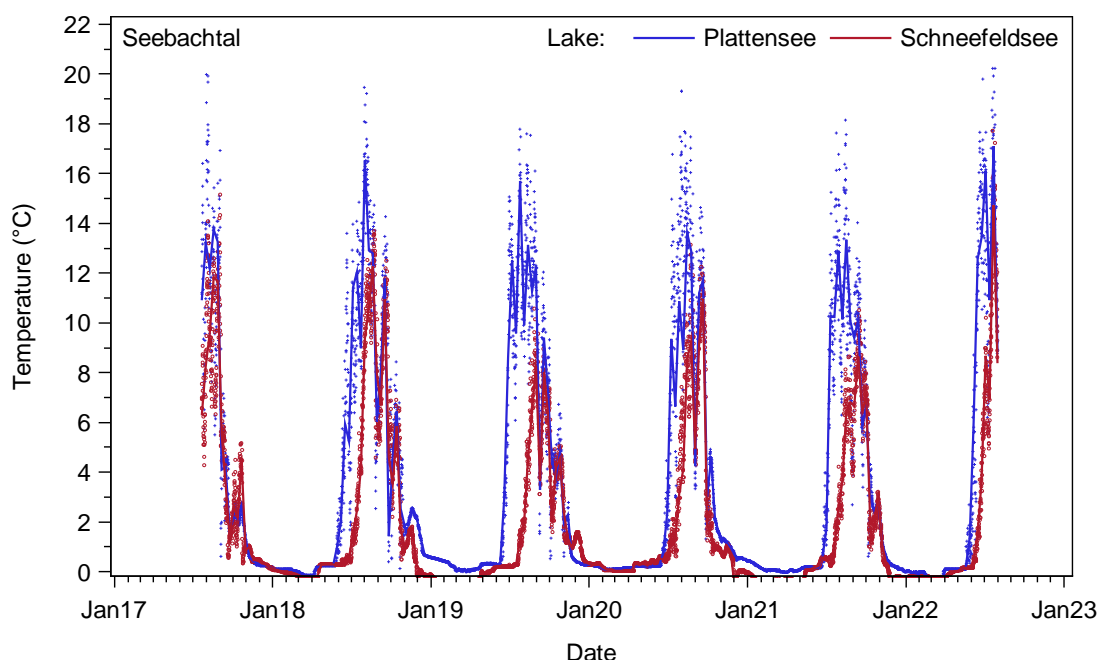


Abb. 3: Wassertemperatur von Juli 2017 bis August 2022 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in zwei Beprobungssystemen des Seebachtals (Plattensee und Schneefeldsee). Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen  $<4^{\circ}\text{C}$  sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von  $0^{\circ}\text{C}$  zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.





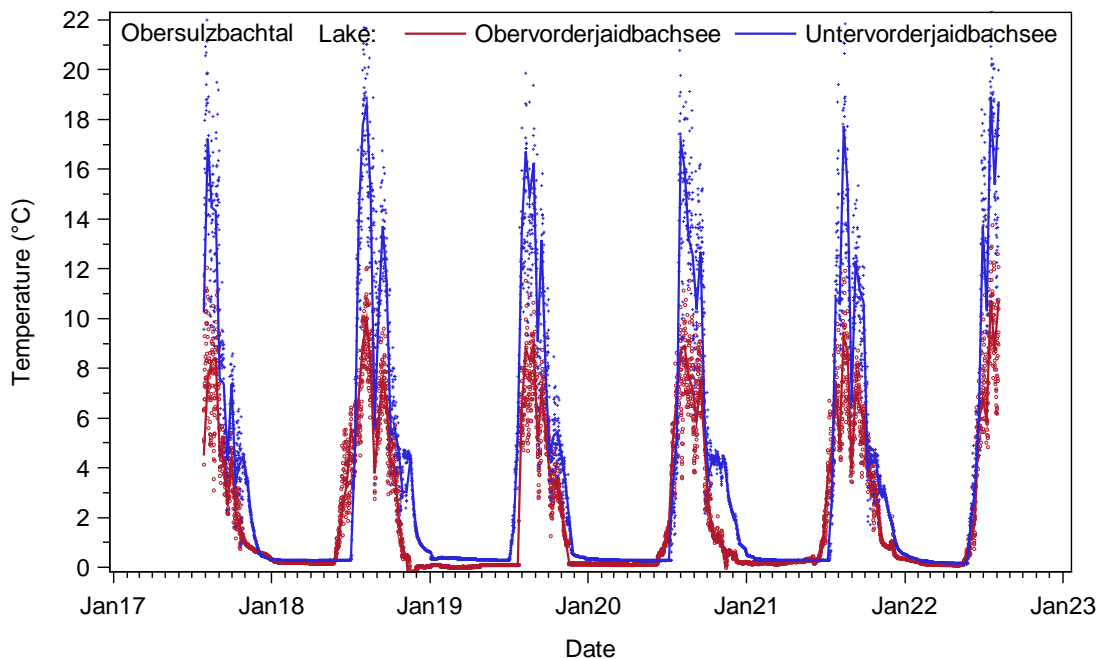


Abb. 4: Wassertemperatur von Juli 2017 bis August 2022 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in zwei Beprobungssystemen des Obersulzbachtal (Obervorderjaidbachsee und Untervorderjaidbachsee). Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen <4°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.

Auch die Kampagne 2022 bestätigte die grundsätzlichen Beobachtungen an unseren Untersuchungssystemen und verstärkt den Hinweis auf die Notwendigkeit, Messungen, die sich auf etwaige Klimawandelprozesse beziehen, in möglichst langen Zeitreihen durchzuführen. In diesem Jahr wurden Tendenzen zur langsamen Erwärmung der Seen das erste Mal sichtbar. Zum Beispiel zeigen die mittleren Sommertemperaturen (Juli – September) gemittelt über alle Seen und korrigiert für die unterschiedlichen Höhenlagen einen Anstieg von 0,3 °C pro Jahr ( $P = 0,032$ ). Diese Tendenz wird allerdings sehr stark vom Jahr 2022 beeinflusst (z.B. im Plattensee oder Gletscherplateausee, Abb. 2 und 3). Auch hat sich der Beginn der eisfreien Zeit („ice-out“) nahezu signifikant (um 3,1 Tage pro Jahr,  $P = 0,059$ ) nach vorne verschoben. Beide Tendenzen benötigen selbstverständlich mehr Daten weiterer Jahre, bis wir sie als robust bezeichnen können und die Steigungskoeffizienten zuverlässig sind. Sie bestätigen aber insgesamt unsere Hypothesen. Wie auch bereits aus den vorangegangenen Jahren dokumentiert, können die Unterschiede zwischen der jährlichen Maximal- und Minimaltemperatur extrem groß sein. Tatsächlich lagen die gemessenen Maximaltemperaturen kurzfristig bei über 20°C (s. Abb. 2, 3 und 4). Ferner ist der sehr schnelle und steile Anstieg der Wassertemperatur nach dem „ice-out“ bemerkenswert. Das Wasser erwärmt sich teilweise um deutlich mehr als 1°C pro Tag in den ersten beiden Wochen nach der Eisschmelze (s. Abb. 2, 3 und 4).

### 3.3 Abiotische Parameter - Messungen während der Geländekampagne

In Abb. 6 und 8 präsentieren wir die Chlorophyll *a* -Konzentrationen aus dem Kleinen Tauernsee (Seebachtal, Abb. 5 und Abb. 6) und aus dem Löbensee (Innerschlöß, Abb. 7 und Abb. 8), die sehr gut demonstrieren, wie groß die interannuelle Varianz sein kann. Die Profile wurden um die 2022 ermittelten Daten ergänzt, wodurch die Abbildungen die Werte der gesamten Dauer des Monitorings (2017 - 2022) zeigen. Chlorophyll als Massenparameter gibt Hinweise auf das quantitative Vorkommen von Algen in der Wassersäule, allerdings ohne Hinweise auf die taxonomische Vielfalt und/oder Größe oder Verteilung der Biomasse der Primärproduzenten.

In den beiden dargestellten Seen zeigt sich, dass in drei der bisher sechs untersuchten Jahre (aber nicht unbedingt in denselben Jahren) deutliche Tiefenchlorophyllmaxima (DCM, *deep chlorophyll maxima*) auftreten. Im Löbensee

(Abb. 8) wurden heuer die höchsten Chlorophyllwerte über die bisherige Gesamtdauer des Projekts gemessen ( $\geq 40 \mu\text{g Chl. } a \text{ L}^{-1}$ ). Die Ursachen hierfür können wir noch nicht verlässlich benennen, dazu benötigen wir weitere Daten. Der große Fehlerbalken im Kleinen Tauernsee auf der Wassertiefe von 2 m (Abb. 6) zeigt, dass das DCM eine sehr geringe vertikale Ausdehnung hat. Der gezeigte Wert wird über eine Vertikaldistanz von 1 m gemittelt, das DCM erstreckt sich aber offenbar nur über einen Bruchteil davon. Die Werte, mit denen der Mittelwert berechnet wird, liegen im Zentrum des DCM (hohe Werte) aber auch darüber und darunter (geringe Werte). Da die Seen alle zur etwa gleichen Jahreszeit beprobt werden, liegen die gemessenen großen Unterschiede offenbar nicht in einer Saisonalität begründet, stattdessen scheinen See-spezifische Faktoren die dominierende Rolle zu spielen.



Abb. 5: Kleiner Tauernsee, Seebachtal, © Eva Maria Piberger

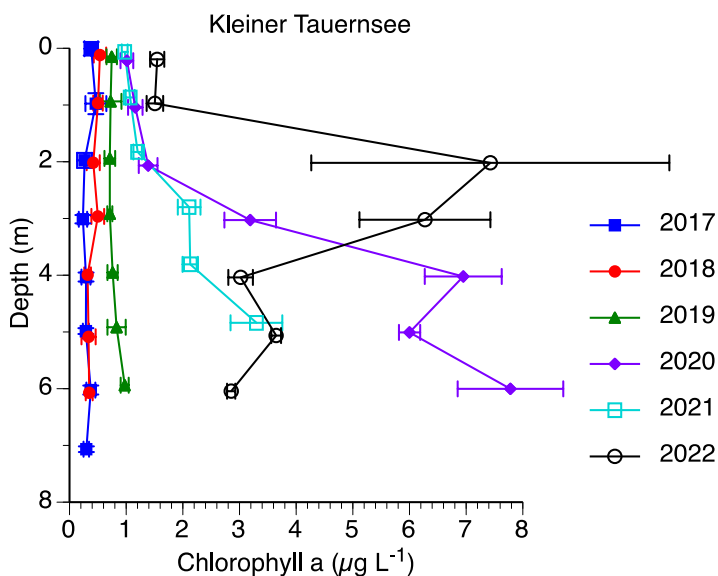


Abb. 6: Vertikalprofile von Chlorophyll  $a$ -Konzentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) in der Wassersäule des Kleinen Tauernsees, Seebachtal. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die Ergebnisse der Messungen aus den sechs Jahren (2017 bis 2022, jeweils Juli/August) sind nebeneinander aufgeführt.



Abb. 7: Löbbensee, Innernschlöß © David Zezula

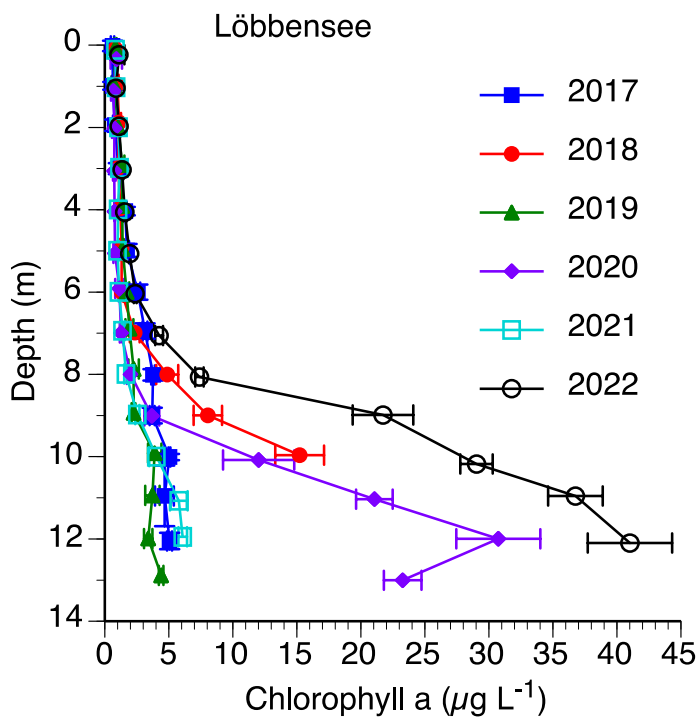


Abb. 8: Vertikalprofile von Chlorophyll  $a$ -Konzentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) in der Wassersäule des Löbbensees, Innernschlöß. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die Ergebnisse der Messungen aus den sechs Jahren (2017 bis 2022, jeweils Juli/August) sind nebeneinander aufgeführt. Im Jahr 2018 musste die Messung des Profils wegen eines Wettereinbruchs abgekürzt werden.

2022 wurden zum ersten Mal Gesamtphosphor (TP)-Messungen durchgeführt. TP („total phosphorus“) ist einer der wichtigsten Nährstoffe von Primärproduzenten (Algen, Pflanzen) und ein Anzeiger für Eutrophierungsereignisse in aquatischen Lebensräumen. Die meisten der gemessenen Werte liegen im Bereich, den man von oligotrophen hochalpinen Gewässern erwarten würde ( $4 - 10 \mu\text{g P L}^{-1}$ ). Allerdings gab es ein paar deutliche Ausreißer, die wahrscheinlich unterschiedliche Ursachen haben. Z.B. wurde der allerhöchste Wert ( $134 \mu\text{g P L}^{-1}$ ) im Sulzsee gemessen, in dem die Produktivität sehr gering ist ( $\text{Chl. } a < 1 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Die Messung ist in diesem sehr trüben See wahrscheinlich auf eingetragene Gletschermilch und an Partikel gebundenen Phosphor zurückzuführen. Dies trifft

höchstwahrscheinlich auch auf einen weiteren sehr trüben See, den Obervorderjaibachsee, zu, in dem P-Werte von  $18,8 \mu\text{g P L}^{-1}$  bei einer Chlorophyll-Konzentration von  $< 1 \mu\text{g L}^{-1}$  gemessen wurden. Im Gegensatz dazu wurden im „Kleinen Elend“ unerwartet hohe Chlorophyll-Werte (ca.  $24 \mu\text{g L}^{-1}$ ), aber auch hohe P-Werte ( $28,4 \mu\text{g L}^{-1}$ ) gemessen. Diese Beispiele zeigen die große Heterogenität der beprobten Seen: Aufgrund sehr unterschiedlicher Dynamiken sind die Korrelationen zwischen Chlorophyll *a*, TP und auch Stickstoff sehr schwach.

### 3.4 Zooplankton (und weitere Untersuchungsorganismen)

Ein erster Blick in die Zooplankton-Proben vermittelt den Eindruck, dass die Abundanzen im Jahr 2022 außergewöhnlich hoch waren. Da allerdings die detaillierte Auswertung der Proben, wie auch in den vergangenen Jahren erst in den Wintermonaten stattfindet, kann dieser Eindruck noch nicht bestätigt werden. Für den Endbericht zum Projekt werden die genauen Daten vorliegen. Die bisher ausgewerteten Zooplankton-Daten der vorangegangenen fünf Jahre lassen aber den Rückschluss zu, dass sich auch hier langfristige Trends vorsichtig herauskristallisieren. Z.B. sehen wir im Gletscherplateausee (Abb. 9), dass die Chlorophyll-Konzentrationen sukzessive abnahmen (im Jahr 2021 wurden nur noch ungefähr 20% der Werte der ersten Kampagnen-Jahre erreicht), die Rotatorien-Abundanzen 2021 aber fast 10x so hoch wie in den ersten Projektjahren waren. Dieser Trend setzt sich unserem ersten Eindruck nach auch in diesem Jahr fort. Im Gegensatz dazu zeigt die Entwicklung der Copepodenabundanzen keine Tendenz.

Hochinteressant ist ferner das Erscheinen der Cladocerenart *Daphnia longispina* in diesem See (Gletscherplateausee) mit einer ansteigenden Tendenz. *D. longispina* wurde bisher lediglich im Salzbodensee nachgewiesen, und taucht nun also in einem zweiten Gewässer auf. Dies ist unsere erste Dokumentation des wahrscheinlich aktiven Eintrags einer Zooplankton-Art in einen See, in dem sie vorher nicht beobachtet wurde, und der keine direkte Verbindung zu dem Gewässer hat, in dem diese Art bereits in den Vorjahren präsent war. Als Übertragungswege kommen hier z.B. Wanderer, Weidevieh oder auch Wasservögel infrage. Die detaillierte Beantwortung der Fragen nach einem mögliche Eintragsmechanismus wird Inhalt eines neuen Forschungsprojektes sein (ÖAW-gefördertes Projekt im Rahmen von „Earth System Science“, High Alpine Lake Biodiversity and Climate Change - A Transdisciplinary Approach - AlpLake-Change -, Wickham, Berninger, Petermann, Hillberg, Otto, Shinozaki). Unsere Beobachtung stellt u.a. die Frage, ob die hohe *beta*-Diversität der Seen mit der Zeit sinken wird. Die Daten aus dem Gletscherplateausee zeigen darüber hinaus, dass manche – aber sicher nicht alle – Parameter eine große Jahr-zu-Jahr Varianz aufweisen.

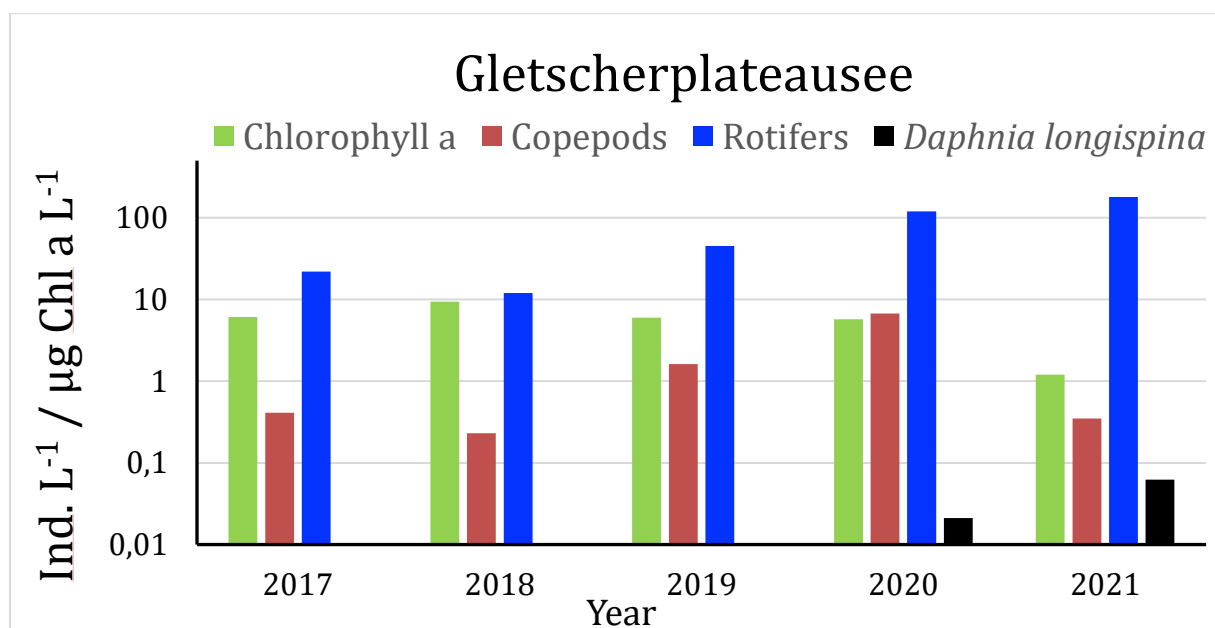


Abb. 9: Chlorophyll *a*-Konzentrationen und Abundanzen von drei Zooplanktongruppen (Copepoden, Rotatorien, *Daphnia longispina*) von 2017 bis 2021 im Gletscherplateausee. Die Konzentrationen bzw. Abundanzen sind auf einer logarithmierten Skala abgebildet.



## 4 Ausblick

Nach nunmehr sechs Projektjahren beginnen sich in unseren Datensätzen langsam erste Trends herauszukristallisieren, die auf mit dem Klimawandel zusammenhängende Prozesse hinweisen. Dennoch ist es auch jetzt noch viel zu früh, robuste Aussagen zu treffen, denn selbst in hochdynamischen Systemen wie etwa die hier studierten alpinen Seen, sind direkte und indirekte Folgen des Klimawandels nicht über Zeiträume von wenigen Jahren aufzuzeigen und glaubwürdig zu interpretieren. Die Trends, die wir dieses Jahr sehen, bestätigen uns aber in der Annahme, dass die langfristige Fortsetzung der Untersuchungen es erlauben wird, eine glaubwürdige und belastbare Datenbasis für spätere Vergleiche zu generieren, einflussnehmende Faktoren zu identifizieren, Korrelationen zwischen chemischen, physikalischen und biologischen Parametern zu testen und uns so perspektivisch an die Antworten auf die dringenden Fragen der Klimawandelfolgen anzunähern.

Eine der Theorien zu Klimawandelfolgen vermutet, dass Wetterphänomene häufiger auftreten und intensiver werden. Tatsächlich bekam unser Geländeteam im Jahr 2022 einen Eindruck davon, denn die heurige Geländekampagne war logistisch sehr schwer durchzuführen. Extrem wechselhafte Witterungsbedingungen mit ungewöhnlicher Kälte und teilweise sehr starkem Wind an den Beprobungstagen im Seebachtal machten die Beprobung von Schneefeldsee, Plattensee und Grüneckersee deutlich schwieriger als in den vorangegangenen Jahren. Eine Mure, die infolge von extrem starken Regenfällen im Obersulzbachtal abgegangen war, vereitelte den geplanten Beprobungstag in Salzburg und sperrte das Geländeteam für einen Tag im Tal ein. Im starken Kontrast dazu führte die ausgeprägte Trockenheit in Osttirol zur vorzeitigen Schließung der „Neuen Prager Hütte“, der üblichen Unterkunft des Geländeteams im Innergschloß. Durch den Wegfall dieser Unterkunft war das Team zu einem noch anstrengenderen Ablauf gezwungen: Um die standardmäßige Seenreihenfolge für die Beprobung beibehalten zu können, wurden zwei Beprobungstage zusammengelegt und die Seen rund um die Neue Prager Hütte bis zum Salzbodensee an einem Tag beprobt. Solche Ereignisse stellen unbestritten eine zusätzliche Herausforderung für unser Geländeteam dar, sowohl was ihre körperliche Leistungsfähigkeit als auch die emotionale Resilienz betrifft. Diese Aspekte müssen für zukünftige Geländearbeiten stärker mitberücksichtigt werden.

## 5 Literatur

Körner, C., U. Tappeiner, C. Newesely, H. Wittmann, T. Eberl, R. Kaiser, E. Meyer, M. Grube, F. Fernández Mendoza, L. Füreder, G. H. Niedrist, A. Daim, G. Lieb, A. Kellerer-Pirklbauer, S. A. Wickham, J. S. Petermann, and U. G. Berninger. 2020. Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern, Synthese der Startphase 2016-2018. Matri i.O., Austria  
ISBN-Online: 978-3-7001-8748-6, doi: 10.1553/GCP\_LZM\_NPHT\_Synthese

Wickham, S. A., J. S. Petermann, and U. G. Berninger. 2019. Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen. Methoden-Handbuch. Wien  
ISBN-Online: 978-3-7001-8756-1, doi:10.1553/GCP\_LZM\_NPHT\_Modul08

Körner, C., U. G. Berninger, A. Daim, T. Eberl, F. Fernández Mendoza, L. Füreder, M. Grube, E. Hainzer, R. Kaiser, E. Meyer, C. Newesely, G. Niedrist, G. H. Niedrist, J. S. Petermann, J. Seeber, U. Tappeiner, and S. A. Wickham. 2022. Long-term monitoring of high-elevation terrestrial and aquatic ecosystems in the Alps – a five-year synthesis. *eco.mont* 14 (2): 48-69  
ISSN 2073-1558 online version: <http://epub.oeaw.ac.at/eco.mont>  
<https://dx.doi.org/10.1553/eco.mont-14-2s48>



## 6 Danksagung

Das Projekt wird aus Nationalparkmitteln des Bundes (BMK) finanziert und zusätzlich substanziell von der Universität Salzburg finanziell und durch Bereitstellung von Infrastruktur und Personal unterstützt. Für die kompetente Mitwirkung bei der Planung und Umsetzung des Projektes danken wir den Mitarbeiter/innen des NPHT, insbesondere Elisabeth Hainzer und Judith Guggenberger. Für praktische und administrative Hilfe an der Universität Salzburg danken wir Claudia Mader sowie Dr. Eva Herzog und Jens Rüdiger sehr herzlich. Prof. Robert Ptacnik vom WasserCluster Lunz und seinen Mitarbeiter/innen danken wir für die molekularbiologische Untersuchung unserer Planktonproben. Unser „Geländeteam“ wurde heuer durch Eva Maria Piberger, Dominik Ankel, Stefan Lienbacher, Florian Hohenberger und David Zezula unterstützt, vielen Dank dafür. Dem Filmteam GS-Film um Gernot Stadler danken wir für die Einbeziehung unseres Projekts in die 3sat-Dokumentation „Juwel der Alpen – Bergseen in Kärnten“ vom 31.10.22.



Ökologie und Evolution



Ecology and Evolution



Herausgeber:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Mauterndorf

Tel.: +43 (0) 4875 / 5112 | E-Mail: [nationalparkrat@hohetauern.at](mailto:nationalparkrat@hohetauern.at)

[www.hohetauern.at](http://www.hohetauern.at)