

wissenswert



LZM – Bericht 2024-2025
Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische
Parameter hochalpiner Seen

Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

WICKHAM, S.A., PETERMANN, J.S., BERNINGER, U.-G. / UNIVERSITÄT SALZBURG

Nationalparkrat Hohe Tauern, Kirchplatz 2, 9971 Matri i.O.

Projektleitung: WICKHAM, S.A., PETERMANN, J.S., BERNINGER, U.-G.

Fotos: © Stephen Wickham, Jana Petermann, Eva Piberger, Florian Hohenberger

Titelbild: Geländearbeit, © Team Uni Salzburg

Zitiervorschlag: konsistent mit den Endberichten der anderen Module. Autoren/innen-Reihenfolge wie im Impressum (s.o.)

Salzburg, 31.07.2025



Inhaltsverzeichnis

<u>EINLEITUNG.....</u>	<u>3</u>
a. Ausgangssituation, Fragestellung.....	3
b. Zielsetzung.....	2
c. Projektpartner.....	3
 <u>METHODIK.....</u>	 <u>3</u>
a. Untersuchungssysteme	3
b. Geländearbeit	6
c. Abiotische Faktoren.....	7
d. Probenentnahme.....	8
e. Laboranalysen Lebensgemeinschaften	9
f. Datenanalyse.....	9
 <u>ERGEBNISSE UND DISKUSSION</u>	 <u>9</u>
a. Untersuchungssysteme, Anmerkungen zur Geländearbeit.....	9
b. Abiotische Faktoren.....	10
c. Zooplankton der Wassersäule	14
 <u>FAZIT UND AUSBLICK</u>	 <u>17</u>
 <u>DANKSAGUNG.....</u>	 <u>18</u>
 <u>LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS.....</u>	 <u>19</u>

Einleitung

a. Ausgangssituation, Fragestellung

Wie auch in den vergangenen Projektjahren hat sich bezüglich der Ausgangssituation bzw. der wissenschaftlichen Fragestellung, die das Projekt bestimmt, seit Beginn des Förderzeitraums nichts geändert: Vor dem Hintergrund des Selbstverständnisses und der Aufgabenstellung österreichischer Nationalparks, kombiniert mit den aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen durch die Klimawandelfolgen, wurde im Jahr 2015 ein interdisziplinäres und integratives Monitoring- und Forschungsprogramm im Nationalpark Hohe Tauern initiiert. Der Fokus dieses Projektes liegt auf hochalpinen Ökosystemen, die sich besonders für entsprechend ausgerichtete Untersuchungen eignen, da sie lang- und kurzfristige Klimaveränderungen deutlich aufzeigen. Anhand von messbaren Größen (z.B. Abundanzen, Biodiversität, abiotische Parameter, Ausdehnung) werden in jährlich wiederkehrenden Langzeituntersuchungen alle relevanten „Teil-Ökosysteme“ inkl. ihrer Lebensgemeinschaften (Böden, fließende und stehende Gewässer, Großherbivore, terrestrische Vegetationsbestände, sowie abiotische Faktoren der Kryosphäre) analysiert und daraufhin untersucht, ob und ggf. wie diese sich über kurze und lange Zeiträume verändern. Perspektivisch werden alle

Einzelergebnisse und Teilprojekte zusammengeführt, um zu belastbaren Prognosen hinsichtlich der Klimawandelfolgen zu kommen. Als gemeinsames Untersuchungsgebiet wurden drei repräsentative Täler im NPHT (Sulzbachtäler im Land Salzburg, Innerschlöß in Tirol und Seebachtal in Kärnten) ausgewählt.

Im Synthesebericht der sog. „Pilotphase“ (2016 – 2019; Wickham, et al. 2019) wurden Fragestellung, Herangehensweise und erste Ergebnisse bereits ausführlich beschrieben. Ein begleitendes „Methodenhandbuch“ wurde im Jahr 2025 von allen Projektteilnehmer/innen überarbeitet (Wickham et al. 2019 / 2025). Die sich andeutenden Trends und die große Relevanz der erhobenen Daten führten dazu, dass die Finanzierung des gesamten Projektes stückweise bis zum Jahr 2026 für jährliche Untersuchungen fortgesetzt wurde bzw. wird. Hier vorliegend werden die Ergebnisse des Moduls 08 – Seen-Zooplanktongemeinschaften und abiotischen Parameter hochalpiner Seen“ aus der Probenentnahmekampagne 2024 zusammengefasst und in den Kontext der in den Jahren zuvor (2017 – 2023) ermittelten Daten, insbesondere hinsichtlich der Veränderungen bzw. Kontinuität im Vergleich zum Jahr 2023, gestellt.

b. Zielsetzung

Auch hier hat sich naturgemäß nichts verändert: Nach wie vor besteht das übergeordnete Ziel des Monitoring-Programms darin, Prognosen über die zeitlichen Veränderungen der hochalpinen Lebensräume zu erstellen und dadurch in der Lage zu sein, Maßnahmen zum wirksamen Schutz bzw. dem Erhalt dieser fragilen und wichtigen Ökosysteme zu entwickeln. Insbesondere sollen belastbare Aussagen darüber getroffen werden, ob die Veränderungen (z.B. Temperaturamplitude, Niederschlagsmenge, Einsetzen und Länge distinkter Jahreszeiten, Vorkommen an bestimmte abiotische Bedingungen angepasster Organismengruppen) in direktem Zusammenhang mit dem Klimawandel stehen oder (wie z.B. Eutrophierung, zunehmende landwirtschaftliche Nutzung, Einschleppung invasiver Arten, Zerstörung von Ökosystemen durch deren physische Nutzung) eher durch anthropogene Aktivitäten hervorgerufen werden. In direkter Fortsetzung der Pilotphase wurden auch im Folgezeitraum die Veränderungen im Detail beschrieben, quantitativ und qualitativ ausgewertet und versucht, Beziehungen mit Klimaveränderungen bzw. anthropogenen Einflüssen aufzuzeigen.

Ein besonderes Charakteristikum des NPHT-LZM ist, dass nicht nur terrestrische Ökosysteme und deren Lebensgemeinschaften und Fließgewässer untersucht werden, sondern auch hochalpine Seen, die aufgrund langfristiger Klimaveränderungen sowie durch kurzfristige Prozesse (Eutrophierung, Landnutzungsänderungen und die Ansiedelung von Fischen) zu den am stärksten gefährdeten Ökosystemen der Erde gehören, mit eingeschlossen wurden (Psenner and Schmidt 1992; Koinig et al. 1998; s. auch IPCC 2001; Nogués-Bravo et al. 2007). Die Bedeutung der Zunahme von Seen wurde bereits im Synthesebericht beschrieben. Grundsätzlich geht man davon aus, dass die Biodiversität planktischer Gemeinschaften mit steigender Höhenlage (u.a. wg. niedrigerer Wassertemperaturen, kürzeren eisfreien Perioden etc.) abnimmt. Im Zuge des Klimawandels ist es aber möglich, dass genau das Gegenteil eintritt, nämlich die Biodiversität hochalpiner Seen in der Zukunft eher ansteigen wird (Winder et al. 2001; Manca and Armiraglio 2002; Rosset et al. 2010). Besonders interessant ist es in diesem Fall, das Erscheinen einzelner Arten (z.B. Daphnien) zu verfolgen (Winder et al. 2001; Kamenik et al. 2007). Es ist anzunehmen, dass sich mögliche Veränderungen der Verbreitungsraten einzelner Zooplanktongruppen auf die gesamte Gemeinschaftszusammensetzung in den Systemen auswirken (Altermatt et al. 2008). Neben direkten Effekten wie Temperaturerhöhung müssen auch indirekte Effekte, z.B. höhere Frequentierung der Regionen / Seen durch Wanderer, freilaufende Tiere etc. berücksichtigt werden (Waterkeyn et al. 2010). Zusätzlich können auch lokale Faktoren wie hydrologische Veränderungen durch den Gletscherschwund, höhere Schmelzraten, Eutrophierung der Seen, Fischbesatz und ähnliches eine Rolle spielen (Latta et al. 2007). Insgesamt ist im Zuge der direkten und indirekten Klimawandelfolgen eine Veränderung der Gesamtökosysteme und ihrer Lebensgemeinschaften nicht unwahrscheinlich (Shurin et al. 2012; Thackeray 2012). Aus den oben aufgeführten Gründen wurden die hochalpinen Seen mit in das Gesamtprojekt aufgenommen. Im Zuge der Beprobungen der Jahre 2017 und 2018 wurden die genauen Untersuchungssysteme identifiziert (s. Methodik). Durch ihre Lage wird langfristig ein einzigartiger, hochrelevanter Vergleich der Langzeitveränderungen terrestrischer und aquatischer Systeme möglich sein. Entsprechend wurden im Modul 08 (Seen) die Abundanz, Diversität und Gemeinschaftszusammensetzung des Zooplanktons in insgesamt 18 Seen (sechs pro Tal) aufgenommen. Am Fuße des Schlatenkees (Innerschlöß) bildet sich im Zuge des Rückgangs des Gletschers ein neuer See, den wir bei unseren Geländearbeiten mit beobachten. Die Seen liegen größtenteils in der Nähe der terrestrischen Plots sowie der untersuchten Fließgewässer. Die Ziele der Seen-Untersuchungen umfassen (s. auch Synthesebericht):



1. Die Analyse der planktischen Metazoen-Gemeinschaften (Rotatoria, Cladocera, Copepoda) von sechs Seen pro Tal (Obersulzbachtal, Innerschlöß, Seebachtal), insbes. der Zusammenhang zwischen abiotischen Faktoren und der Artenzusammensetzung. Die ausgewählten Seen liegen entlang eines Höhengradienten. Die taxonomische Einordnung der Organismen erfolgt mittels mikroskopischer und molekularbiologischer Methoden.
2. Die Veränderung der biotischen und abiotischen Parameter über die Zeit, Identifizierung der ursächlichen Faktoren für die Gemeinschaftsveränderung.
3. Beurteilung der Relevanz von Metagemeinschafts- und Metapopulationsdynamiken für die Zusammensetzung der gesamten planktischen Gemeinschaften.

c. Projektpartner

Das Modul 08 (Seen) wird im Fachbereich Umwelt und Biodiversität an der Paris-Lodron-Universität Salzburg durch die Projektleiter/innen durchgeführt.

Methodik

a. Untersuchungssysteme

Die 2017 für die Pilotphase ausgewählten 18 Seen wurden in den Folgezeiträumen bis einschl. 2024 standardmäßig übernommen (Tab. 1). Ausschlaggebend dafür war die Beibehaltung der bereits 2017 festgelegten Kriterien:

- Lage der Seen entlang eines Höhengradienten
- Erreichbarkeit der Seen (Fußwanderung inkl. Materialtransport möglich, Entfernung von Unterkunft max. 5 Stunden)
- Erwartete permanente Wasserführung des Sees 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
Obersulzbachtal	Seebachsee	2083	47°10'53"99"N	12°13'43"04"E
	Kleiner Seebachsee	2083	47°10'48"55"N	12°13'34"97"E
	Foißkarsee	2132	47°10'24"50"N	12°14'31"69"E
	Sulzbachsee	2193	47° 7'6"62"N	12°17'40"15"E
	„Untervorderjaidbachsee“	2274	47° 9'10"74"N	12°14'28"15"E
	„Obervorderjaidbachsee“	2412	47° 8'37"00"N	12°14'9"87"E
Innerschlöß	Salzbodensee	2138	47° 6'55"85"N	12°25'33"29"E
	„Innerschlöß See 2“ (Eisseele)	2550	47° 7'25"88"N	12°23'52"89"E
	„Innerschlöß See 3 (in Loche, Prager Hütte 2)“	2520	47° 7'17"69"N	12°23'51"78"E
	„Gletscherplateau (NPH 3)“	2235	47° 6'58"73"N	12°24'46"63"E
	Löbensee	2226	47° 6'23"34"N	12°28'36"87"E
	„See nahe Löbensee“	2233	47° 6'13"80"N	12°28'41"38"E
Seebachtal	Grüneckersee	2307	47° 2'8"11"N	13°10'32"19"E
	Kl. Tauernsee	2310	47° 2'24"38"N	13°10'55"48"E
	„See oberh. Mindener Hütte (Schneefelds“e)“	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

Tab. 1: Liste der im Rahmen des Moduls „hochalpine Seen“ seit 2017 (bis einschl. 2023) untersuchten Seen.

Im Folgenden befindet sich die Photodokumentation aller beprobten Seen, die sich hinsichtlich der o.g. Kriterien nicht verändert hatten und somit als unsere Standard-Untersuchungssysteme identifiziert bleiben. Zu Zwecken der





Wiedererkennung werden hier dieselben Abbildungen gezeigt wie bereits im Synthesebericht bzw. Methodenhandbuch (Wickham, et al. 2019a; Wickham, et al. 2019b) sowie in den individuellen technischen Zwischenberichten zu den einzelnen Kampagnenjahren.



Abbildung 1: Seebachsee, Obersulzbachtal



Abbildung 2: Kleiner Seebachsee, Obersulzbachtal



Abbildung 3: Foißkarsee, Obersulzbachtal



Abbildung 4: „Obervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal



Abbildung 5: „Untervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal



Abbildung 6: Sulzbachsee, Obersulzbachtal





Abbildung 7: Salzbodensee, Innernschlöß



Abbildung 8: „Innernschlöß See 2“ (Eisseele), Innernschlöß



Abbildung 9: „Innernschlöß See 3 (in Loche, Prager Hütte 2)“, Innernschlöß



Abbildung 10: Löbensee, Innernschlöß



Abbildung 11: „Gletscherplateau (NPH 3)“, Innernschlöß



Abbildung 12: „See nahe Löbensee“, Innernschlöß



Abbildung 13: Grüneckersee, Seebachtal



Abbildung 14: Kl. Tauernsee, Seebachtal



Abbildung 15: „See oberhalb Mindener Hütte (Schneefeldsee)“, Seebachtal



Abbildung 16: „See 2 oberhalb Mindener Hütte (Plattensee)“, Seebachtal



Abbildung 17: „Kleines Elend“, Seebachtal



Abbildung 18: „Großes Elend“, Seebachtal

Alle beprobten Seen erfüllen die oben genannten Auswahlkriterien, wenngleich sie sich in einigen hydrologischen, biotischen und abiotischen Parametern unterscheiden (unterschiedliche Höhenstufen, unterschiedliche Ufer- bzw. Untergrundstrukturen, unterschiedliche Flächen, unterschiedliche maximale Wassertiefe und unterschiedliche anthropogen oder landwirtschaftlich bedingte Einflüsse und Ausdehnung ihres Einzugsgebietes).

b. Geländearbeit

Die Pilotphase diente dazu, die konkreten Untersuchungssysteme auszuwählen, sowie die anzuwendenden Methoden zu testen und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für die Fragestellung zu evaluieren. Alle Ansätze wurden auch in den Folgezeiträumen beibehalten. Daher werden die textlichen Beschreibungen aus dem Synthesebericht (Wickham, et al. 2019a) hier zum Teil übernommen. Die Feldteams sind sehr gut eingearbeitet, jedes Jahr werden neue Personen

(Studierende oder Angestellte der PLUS) neu rekrutiert (Abb. 19). Alle Untersuchungssysteme werden nach wie vor zu Fuß erreicht, die komplette Ausrüstung wird in Rucksäcken transportiert. Um Kontaminationen der Seen untereinander zu vermeiden, bzw. dem natürlichen Prozess der Verbreitung der Organismen zu folgen, wird von „oben nach unten“ (also beginnend mit der jeweilig höheren Höhenstufe) die Beprobung durchgeführt. Außerdem wird nach jeder Probenentnahme das gesamte Equipment (inkl. der Wanderstiefel und Hände des Teams) mit filtriertem Wasser und einer niedrig konzentrierten Chlorklösung gereinigt. Die Größe der jeweiligen Seen wurde mit einer Kombination aus Kartenmaterial (z.B. aus GoogleMaps oder relevanten GIS-Programmen, s. auch Veits 2015) und der im Jahr 2017 durchgeführten Längen- und Breitenmessung ermittelt. Die Wasserproben werden an oder nahe der tiefsten Stelle des jeweiligen Sees entnommen (je nach Größe und Lage der Seen bzw. vorhandener Infrastruktur vom Ufer aus, per Schlauchboot (Abb. 20) oder z.B. mit dem Boot der Bergrettung am Sulzsee.



Abb. 19: Geländeteam der PLUS bei der Beprobung vom „Kleinen Elend“ (Seebachtal). © David Zezula



Abb. 20: Beprobung auf dem „Oberen Vorderjaidbachsee“ (Obersulzbachtal) vom Schlauchboot aus, © Stephen Wickham

Bei jeder Beprobung wird in derselben Reihenfolge vorgegangen:

1. Ggf. Beladen des Bootes, 2. (Hinausrudern und) Ausbringen (bzw. Auffinden und Auslesen) der Datalogger (s.u.), 3. Bestimmen der tiefsten Stelle des Sees (mithilfe eines transportablen Echolots), 4. Durchführung der Messung der abiotischen Faktoren (Multisonde, s.u.), 5. Entnahme der Gesamtwasserprobe(n) (Wasserschöpfer, s.u.), 6. Entnahme der Zooplanktonproben (Planktonnetz, s.u., sofortige chemische Fixierung, s.u.).

Die Datenaufnahme inkl. allfälliger Beobachtungen werden in Standardprotokollen festgehalten und durch mehrfach redundante Datenspeicherung und diverse Kontrollmechanismen (Feldbuch, digitale Medien, abendliche Übertragung der Daten auf Computer, Datencheck auf Plausibilität während der Aufnahme, etc.) gesichert.

c. Abiotische Faktoren

Die Messungen der Wassertemperatur wird mit zwei in jedem See installierten Dataloggern (tempmate.@-B2) durchgeführt (Abb. 21 & 22). Durch eine Datenaufzeichnung in 6-stündigen Intervallen werden Langzeitentwicklung der Wassertemperatur sowie tageszeitliche und saisonale Temperaturunterschiede dokumentiert. In den meisten Jahren konnten fast alle der ausgebrachten Datalogger wieder aufgefunden werden, der gelegentliche Verlust von Temperaturloggern hat zu keinen kritischen Lücken in der Datenaufzeichnung geführt. Die Speichermedien werden während der Probenentnahme entnommen, elektronisch ausgelesen und wieder eingesetzt bzw. ausgetauscht. Da die in den ersten Kampagnen Jahren benutzten tempmate-Temperatur-Datenlogger nicht mehr verfügbar sind, werden sie sukzessive durch die Typen „HOBO TidbiT MX Temp400“ ersetzt. Letztere haben den Vorteil, dass man die Batterien austauschen kann und die Daten über Bluetooth ausgelesen werden können. In einigen Seen kommen derzeit beide Typen zum Einsatz, was eine gegenseitige Kalibrierung ermöglicht.



Abbildung 21: Temperaturdatenlogger (tempmate) in wasserdichtem Gehäuse (schwarze Kapsel) in der Wassersäule hängend. An der Wasseroberfläche sorgen zwei Styroporkugeln für Auftrieb und Sichtbarkeit.



Abbildung 22: Temperaturdatenlogger (tempmate) mit Styroporkugeln für Auftrieb und Sichtbarkeit und mit Steinen in Netzbehältnis als Anker.

Die Bestimmung der maximale Tiefe jeden Sees erfolgt mithilfe eines Echolots. Mit einer Multisonde (EXO2 YSI, Abb. 23) werden die relevanten Wasserparameter über die vertikale Ausdehnung der Wassersäule (bis max. 15 m Tiefe) ermittelt: Wassertemperatur (°C), Luftdruck (mm Hg), gelöster Sauerstoff (% Sättigung), spezifische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, Nitratgehalt (mg/l), Trübheit (FNU), Pycocyanin der Blau-Grünen Algen (relative Fluoreszenzeinheiten und $\mu\text{g}/\text{l}$) und Chlorophyll a Konzentration (relative Fluoreszenzeinheiten und $\mu\text{g}/\text{l}$). Seit 2024 wird zusätzlich eine optische Nitratsonde (höhere Genauigkeit bei niedrigen Werten und stabilere Messungen) verwendet, die Messungen mit den unterschiedlichen Geräten werden gegeneinander kalibriert. Die 2022 erstmalig durchgeführte Bestimmung der Konzentration an Gesamtphosphor im Wasser wurde auch 2024 fortgesetzt. TP („total phosphorus“) ist einer der wichtigsten Nährstoffe von Primärproduzenten (Algen, Pflanzen) und ein Anzeiger für Eutrophierungsereignisse in aquatischen Lebensräumen. Es wurde hier eine spektrophotometrische Standardmethode (nach EPA 365.3) angewandt, wegen der geringen zu erwartenden Konzentrationen wurde eine 10 cm Küvette benutzt (EPA 1978).

d. Probenentnahme

Zooplankton (Wasserproben)

Das Metazooplankton wird mithilfe eines Planktonnetzes (30 μm Maschenweite und 29 cm Durchmesser der Öffnung) beprobt (Abb. 24), je nach Tiefe des Sees und erwarteter Abundanz der Organismen aus unterschiedlichen Wasservolumina (200 bis 2000 Liter). Die Organismen werden konzentriert, zu einer einzigen Probe (pro See) kombiniert und noch im Gelände in Succrose-Formol (Endkonzentration ca. 5%) fixiert. Meist wurden Vertikalproben entnommen, war dies nicht möglich (in den sehr flachen Seen), wurde horizontal beprobt.



Abbildung 19: Schlauchboot mit Planktonnetz und Multisonde



Abbildung 24: Entnahme der Zooplanktonprobe mit dem Planktonnetz



e. Laboranalysen Lebensgemeinschaften

Zooplankton (Wasserproben)

Für die taxonomische Bestimmung der Organismen wurden die Zooplanktonproben in eine Zooplankton-Zählkammer überführt und mit einem Olympus SZX9 Stereomikroskop bzw. einem Nikon Eclipse E800 Mikroskop und einer DS Ri1 Kamera ausgewertet (Koste 1978, Pontin 1978, Einsle 1993, Jersabek 1996, Gaviria 1998, Flößner 2000, Jersabek et al. 2001, Gaviria-Melo et al. 2005).

f. Datenanalyse

Auch in den auf die Pilotphase folgenden Projektperioden 2020 bis 2024 wurde an dem ultimativen Ziel der Untersuchungen festgehalten, nämlich mit den erhobenen Daten Zeitreihen zu erstellen und die unterschiedlichen Seen miteinander zu vergleichen. Die Daten sollen mögliche Veränderungen der Systeme aufzeigen bzw. es ermöglichen, perspektivisch Vorhersagen für die Entwicklung der abiotischen und biotischen Parameter der Seen zu erstellen.

Die mit der Multisonde erhobenen Daten werden zur Erstellung von Vertikalprofilen der abiotischen Faktoren in den einzelnen Seen verwendet und die Situationen der einzelnen Jahre miteinander verglichen. Die Langzeit-Temperaturmessungen werden in kontinuierlichen Charts abgebildet und erlauben Aussagen zu tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen, zum Beginn und Ende der eisfreien Zeit sowie zu zeitlichen Veränderungen der Temperaturbedingungen bzw. -muster. Die Auswertung der Zooplanktonproben aus der Wassersäule dient dazu, Vorkommen und Abundanzen (Individuen pro Liter) unterschiedlicher Taxa in den beprobten Seen zu dokumentieren und räumliche (zwischen Seen) und zeitliche (unterschiedliche Jahre) Vergleiche ziehen zu können. Alle erhobenen Daten werden mit statistischen Methoden (z.B. multivariate Analysen, lineare und generalisierte lineare Modelle, bei Mehrfachmessungen pro See auch gemischte Modelle) ausgewertet, um mögliche Korrelationen zwischen einzelnen Faktoren auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen herauszustellen.

Ergebnisse und Diskussion

a. Untersuchungssysteme, Anmerkungen zur Geländearbeit

Für aussagekräftige Ergebnisse des Langzeitmonitorings ist es unbedingt notwendig, Daten aus möglichst vielen Jahren heranzuziehen. In jedem abgeschlossenen Untersuchungsjahr werden daher die erhobenen Daten denen aus den vorangegangenen Jahren hinzugefügt. So können wir mittlerweile einen Datensatz präsentieren, der die Jahre 2017 bis einschl. 2024 umfasst. Auch wenn man mit Interpretationen natürlich nach wie vor sehr vorsichtig sein muss, können wir mittlerweile doch festhalten, dass sich nach einer Periode von 8 Jahren einige Trends zeigen. Beispielhaft werden hier entsprechend die Datensätze für einige ausgewählte Parameter aus allen bisher abgeschlossenen Untersuchungsjahren gezeigt. Die Gesamtanalyse aller Daten ist noch nicht abgeschlossen.

Bereits im zweiten Jahr der Untersuchungen konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich die ausgewählten Probenentnahmesysteme perfekt für die Durchführung der (damals noch „potenziellen“) Langzeitstudie eignen. Diese Einschätzung hat sich auch einschl. des Jahres 2024 bestätigt.

Wie in den vorangegangenen Jahren konnten die Geländearbeiten auch im Jahr 2024 während der eisfreien Zeit durchgeführt werden. Aufgrund von Schlechtwetterperioden wurden die Termine teilweise geringfügig angepasst.

Die konkreten Geländetermine 2024 waren:

Obersulzbachtal: 11.07. - 12.07.24

Innergschloß: 25.07. - 26.07.24

Seebachtal: 03.08. – 05.08.24



b. Abiotische Faktoren

Langzeit-Temperaturmessungen

Das Hauptziel des Datenloggereinsatzes war und ist es, die langfristige Temperaturentwicklung der untersuchten Seen zu messen. Nach nun insgesamt 8 Untersuchungsjahren beginnen Trends in der Temperaturentwicklung sichtbar zu werden. Zwar müssen zur Bestätigung dieser Einschätzung noch entsprechende statistische Verfahren angewandt werden, die Unterschiede lassen sich aber bereits herausstellen. So unterscheiden sich die Seen sowohl innerhalb eines Tals als auch zwischen den Tälern im Hinblick auf

- die absolute Höchsttemperatur,
- die Temperaturamplitude und die Steilheit des Temperaturanstiegs im (Früh-) Sommer bzw. des Temperaturabfalls im Herbst / Winter,
- das Auftreten bzw. Fehlen von Eisbedeckung im Winter,
- den zeitlichen Beginn der Eisbedeckung, deren Dauer und das Ende der Eisbedeckung sowie
- die aus den Temperaturdaten zu schließenden Schichtungsverhältnisse in den Seen.

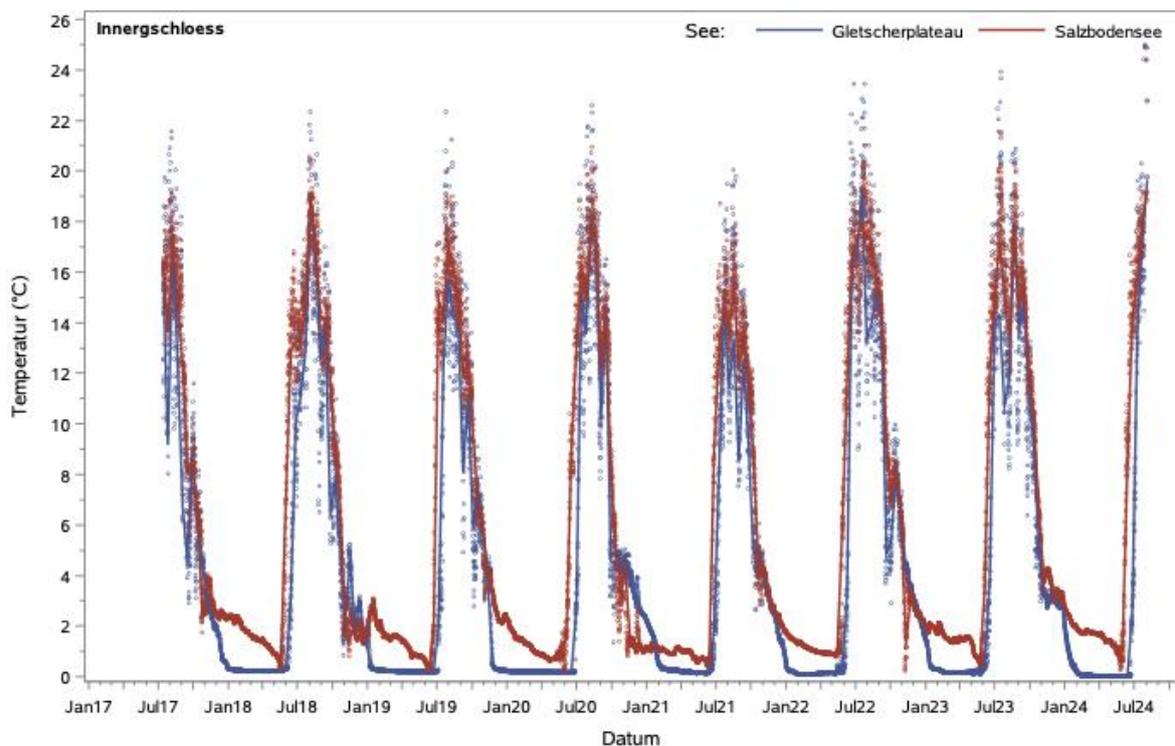


Abbildung 20: Wassertemperatur (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) Gletscherplateau (blau) und Salzbodensee (rot) des Innerschloß. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits 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.

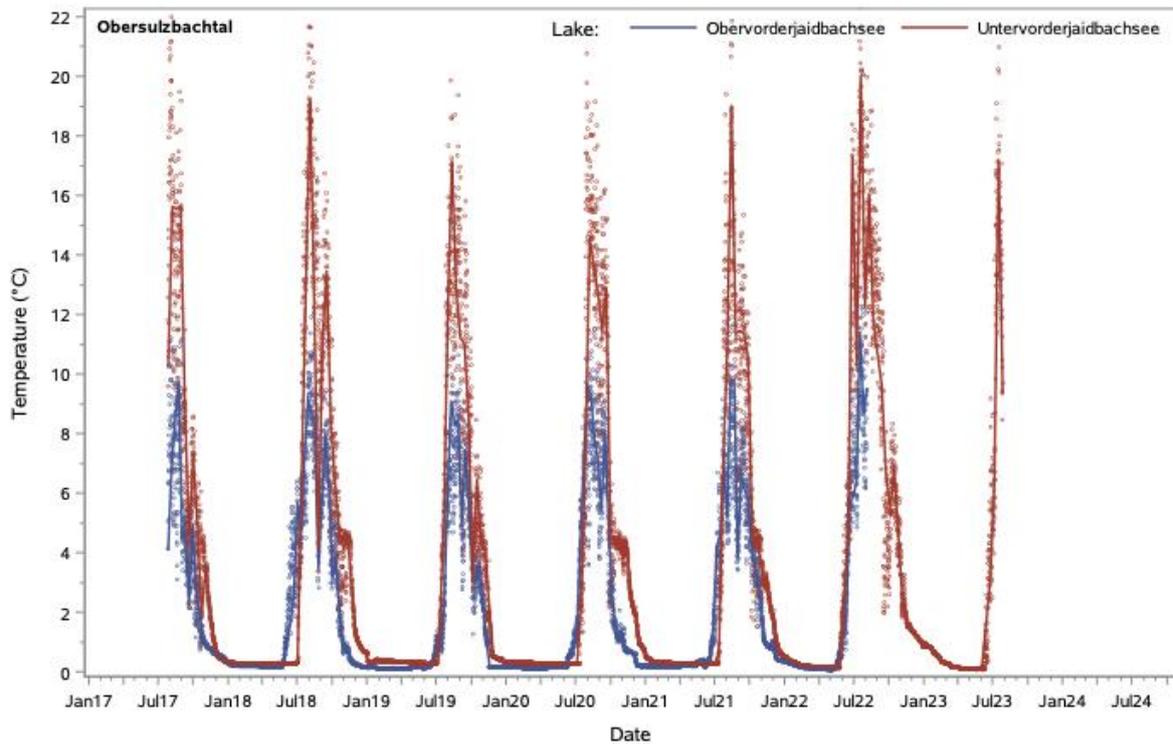


Abbildung 21: Wassertemperatur (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) Obervorderjaidbachsee (rot) und Untervorderjaidbachsee (blau) des Obersulzbachtal. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits 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.

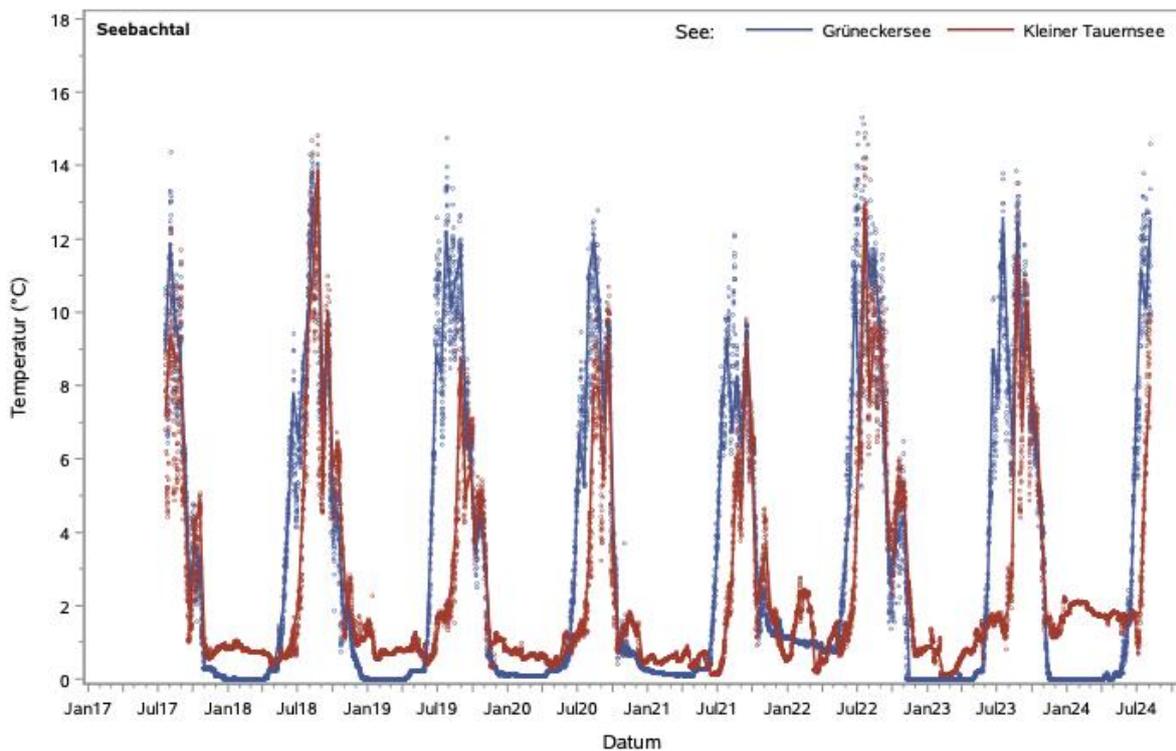


Abbildung 22: Wassertemperatur (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) im Grüneckersee (blau) und Kleiner Tauernsee (rot) des Seebachtal. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits 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.

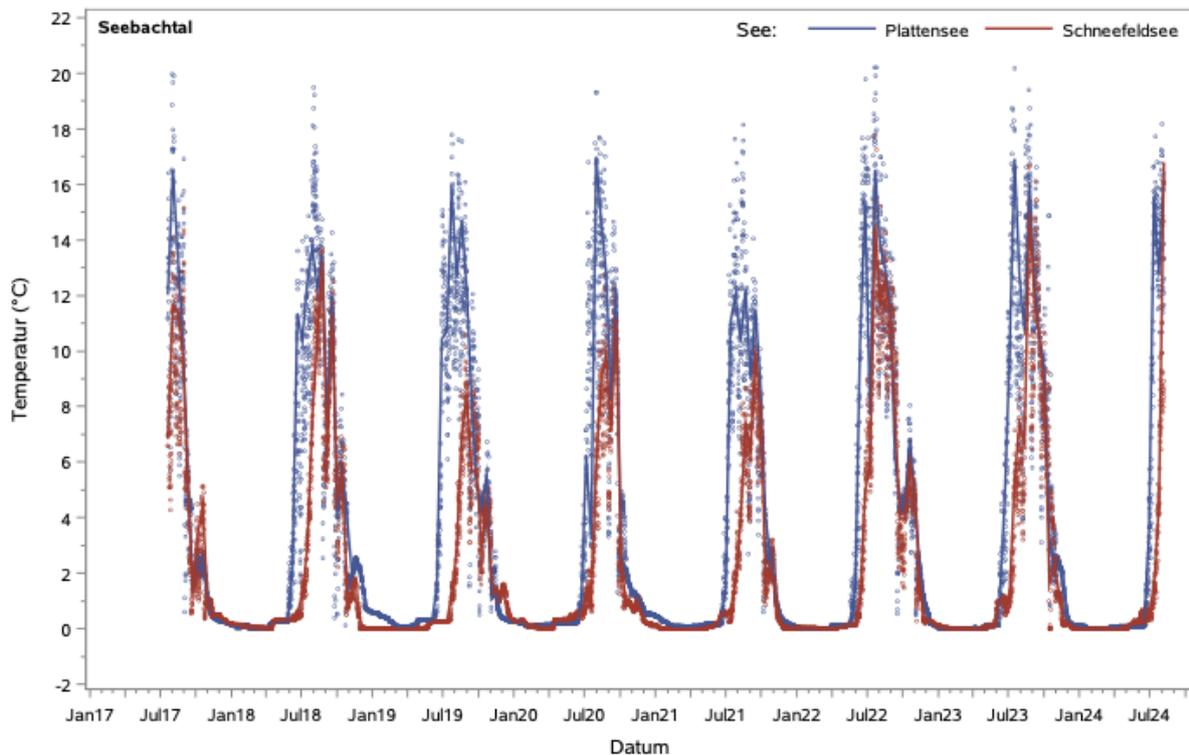


Abbildung 23: Wassertemperatur (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) im Plattensee (blau) und Schneefeldsee (rot) des Seebachtal. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits 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.

Bereits die Daten der ersten Jahre der kontinuierlichen Temperaturmessungen haben interessante Ergebnisse hervorgebracht. Aus den Temperaturdaten lässt sich schließen, dass alle beprobten Seen im Winter von einer Eisschicht bedeckt waren: Die Logger hängen auf einer Wassertiefe von ca. 0,4 m, wenn sie eine geringere Temperatur als 4°C zeigen, impliziert dies das Vorhandensein von Eis an der Gewässeroberfläche und die Ausbildung einer sog. „inversen Schichtung“ (durch die Dichteanomalie des Wassers ist hier kälteres Wasser näher an der Oberfläche). Viele der Seen weisen eine Höchsttemperatur im Sommer von 15 - 20°C auf, drei regelmäßige Ausnahmen bilden die sehr trüben Seen „Sulzsee“ und „Obervorderjaidbachsee“ sowie der klare „Kleine Tauernsee“, der wegen seiner Lage eine sehr kurze eisfreie Zeit aufweist,

Die hier beispielhaft gezeigten Daten (Abb. 25 bis 28) beinhalten erste Hinweise auf ansteigende Wassertemperaturen im Sommer und ein früher eintretendes Abschmelzen der Eisbedeckung: In einer Regressionsanalyse, mit Höhenlage und Jahr als fixiertem Parameter und einem zufälligen Abschnitt (s. Preston, et al. 2016) konnte gezeigt werden, dass die mittlere Sommertemperatur der eisfreien Zeit bis zum Jahr 2024 um 0,15 °C pro Jahr angestiegen ist (P=0.006). Die Daten von 2024 zeigen, dass diese statistisch nachweisbaren Temperaturerhöhungen nicht nur von den ungewöhnlich hohen Lufttemperaturen des Jahres 2023 getrieben werden, denn der Trend hat sich fortgesetzt, obwohl im Jahr 2024 die Lufttemperaturen etwas niedriger waren.

Die Tendenz, dass die Eisschmelze im Laufe der Jahre immer früher eintritt, setzte sich auch 2024 fort und ist (marginal) statistisch signifikant (P=0,08). Korrigiert für die Höhenlage der einzelnen Seen verzeichnen wir über die bisherige Untersuchungsperiode ein „ice-out“, das 1,2 Tage im Jahr früher gemessen wird als 2017. Nach der Datenaufnahme über mittlerweile neun Jahre werden die allgemeinen Trends langsam deutlich, aber zur Feststellung der genauen Werte benötigen wir weitere Untersuchungsjahre. Mikroklimatische Einflüsse sind nach wie vor dominant (z.B. die niedrigen Sommer-Wassertemperaturen „im Kleinen Tauernsee“ im Vergleich mit dem benachbarten – und deutlich größeren – „Grüneckersee“ (Abb. 27).



Multisonden-Messungen während der Probenentnahme

Auf der folgenden Abb. (29) sind die Tiefenprofile der mit der Multisonde aufgenommenen Daten für Chlorophyll *a* Konzentration ($\mu\text{g l}^{-1}$) beispielhaft für eines unserer Untersuchungssysteme (Löbensee) aufgeführt. Zusätzlich liegen die Daten für Nitrat (mg l^{-1}), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und weitere Parameter (s.o.) vor, wir beschränken uns hier jedoch auf die Präsentation dieser biologisch relevantesten Messgröße. Die detaillierte Analyse aller Daten befindet sich in Vorbereitung und wird – gemeinsam mit den zukünftig erhobenen Daten – an anderer Stelle präsentiert. Die Messungen wurden in vertikalen 1 m Intervallen an der tiefsten Stelle des Sees durchgeführt, entsprechend gibt jeder Datenpunkt den über 1 m integrierten Mittelwert (\pm SD) wieder. Die y-Achse zeigt die maximale Tiefe des Sees an, wobei darauf geachtet wurde, dass der Sondenkopf das Seesediment nicht berührte. Für sehr flache Seen liegen nur wenige Datenpunkte vor, in den tieferen Seen (z.B. Löbensee, Grüneckersee, Seebachsee) konnten ausgiebige Vertikalprofile aufgenommen werden. Die Grafik (Abb. 29) beinhaltet die Chlorophyll-Daten aus allen Untersuchungsjahren (2017 – 2024).

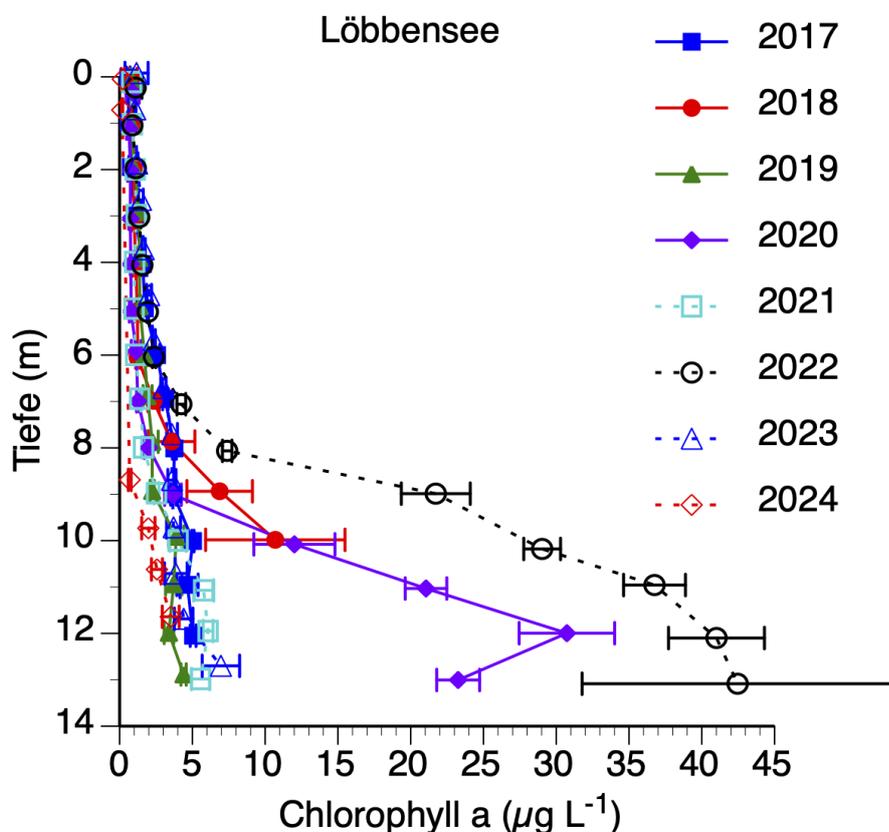


Abbildung 29: Vertikalprofile von Chlorophyll *a*-Konzentration ($\mu\text{g L}^{-1}$) in der Wassersäule des Löbensees, Innerschlöß. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die Ergebnisse der Messungen aus den sechs Jahren (2017 bis 2024, jeweils Juli/August) sind nebeneinander aufgeführt. Im Jahr 2018 musste die Messung des Profils wegen eines Schlechtwettereinbruchs abgekürzt werden.

Die Chlorophyll *a* -Konzentrationen aus dem Löbensee (Innerschlöß) demonstrieren sehr gut, wie groß die interannuelle Varianz sein kann. Die Profile wurden um die 2024 ermittelten Daten ergänzt, wodurch die Abbildung die Werte der gesamten Dauer des Monitorings (2017 - 2024) 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.

Die im Jahr 2024 gemessenen Chlorophyll-Daten im Löbensee liegen im oberen Bereich dessen, was man für einen hochalpinen See erwartet. Die extrem hohen Konzentrationen der Tiefenchlorophyllmaxima der Jahre 2020 und 2022 wurden jedoch bisher nicht wieder erreicht. 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.





2022 wurden zum ersten Mal zusätzlich zu den anderen Analysen Gesamtphosphor (TP)-Messungen durchgeführt, um ein Maß für mögliche Eutrophierungsereignisse zu erhalten. Um dazu in der Lage zu sein, weitreichendere Schlussfolgerungen aus diesen Daten zu ziehen, wurden die Messungen 2023 und auch 2024 wiederholt. Wie im letzten Jahr lagen auch 2024 die meisten Werte im oligotrophen Bereich ($4 - 10 \mu\text{g P L}^{-1}$), erwartbar für hochalpine Seen. Die Daten des Sulzsees weichen davon ab, 2022 waren sie deutlich höher ($134 \mu\text{g P L}^{-1}$) als in den anderen Seen, und auch 2024 übertrafen die Konzentrationen die in den anderen Untersuchungssystemen deutlich, wenngleich die absoluten Werte „nur“ noch bei ca. $34 \mu\text{g P L}^{-1}$ lagen. Wir gehen davon aus, dass diese (im Vergleich) höheren Werte daran liegen, dass viel PO_4 an Sedimentpartikel gebunden ist, die im Wasserkörper suspendiert sind (der Sulzsee ist sehr trüb). Unbeabsichtigte Messung von Sediment-gebundenem Phosphor in den Wasserproben kann auch als Artefakt in sehr flachen Seen auftreten, was eine größere interannuelle Variation in flachen, verglichen mit tieferen Seen erklären kann. Grundsätzlich kann man aber festhalten, dass die Errechnung der Mittelwerte der P-Konzentrationen jeden einzelnen Sees über die beiden Untersuchungsjahre die quantitativen Unterschiede zwischen den Seen verringert, was die Bedeutung der Messung über mehrere, aufeinanderfolgende Jahre hervorhebt. In den Jahren 2022 und 2023 konnten wir keine Korrelation zwischen dem Chlorophyll a-Gehalt, Nitrat und Gesamtphosphor beobachten. Im dritten Jahr der Phosphor-Messungen beginnen sich nun aber schwache Korrelationen herauszukristallisieren.

c. Zooplankton der Wassersäule

Der Fokus unserer Analysen liegt auf der quantitativen und qualitativen Analyse des heterotrophen Planktons in den Untersuchungssystemen. Die Organismen konnten den Großgruppen Crustaceen (Cladoceren und/oder Copepoden), Rotatorien und Ciliaten (z.B. *Bursaridium*) zugeordnet werden. Über alle Untersuchungssysteme hinweg zeigen sich große Unterschiede im Hinblick auf die absoluten Abundanzen der einzelnen Gruppen (Individuen L^{-1}) sowie auf die Menge der vorhandenen Arten („Artenanzahl“).

Die Ergebnisse der Quantifizierungen und taxonomischen Einordnungen des Zooplanktons im beispielhaft ausgewählten Gletscherplateausee (Innerschlöß) illustriert die Abbildung 30. Um die - stark variierenden - Abundanzen optisch auf den Grafiken vergleichen zu können, wurde eine logarithmische Darstellungsweise gewählt. Die Standardabweichungen sind entsprechend groß und wurden nicht mitabgebildet. Die hier gezeigten Daten schließen nur Organismen ein, die tatsächlich mit einem Planktonnetz der Maschenweite $30 \mu\text{m}$ gefangen werden konnten. Gelegentlich gefundene Wassermilben oder Insektenlarven wurden nicht mitberücksichtigt, da sie nicht zum Plankton gezählt werden. Um kleineres Plankton (Ciliaten, Flagellaten) verlässlich zu quantifizieren und taxonomisch einzuordnen, müssten andere Methoden herangezogen werden (Gesamtwasserproben und z.B. mikroskopische Analysen nach Utermöhl).



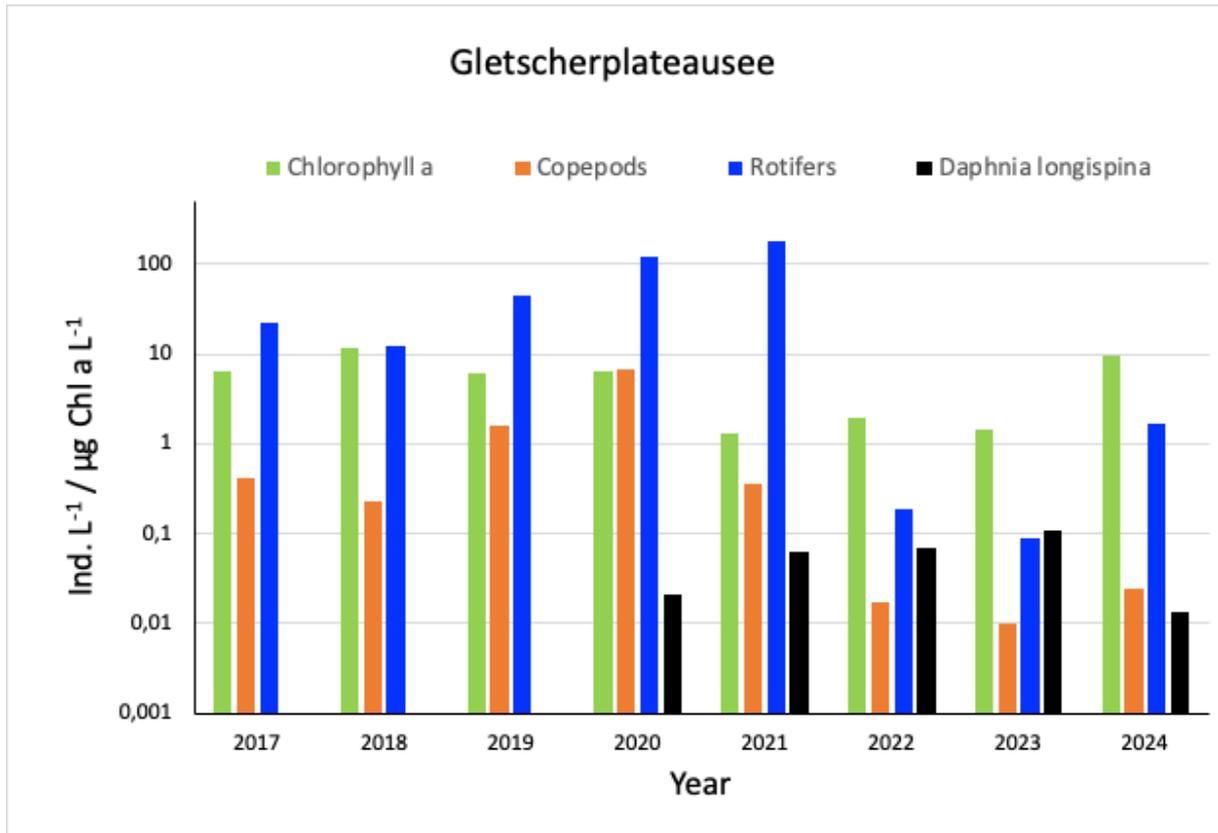


Abbildung 30: Abundanzen (log Individuen L⁻¹) der Zooplanktongemeinschaft sowie ein Maß für die verfügbare Nahrung (Chlorophyll *a* als Massenparameter) des Gletscherplateausees im Innergeschloß. Die Zahlen geben die Werte aus allen bisherigen Untersuchungsjahren (2017 bis 2024) wieder. Die Standardabweichungen wurden nicht mit aufgeführt. x-Achsenkategorie: Jahr. Symbolerklärung: grüne Balken: Chlorophyll *a*, rot: Copepoden, blau: Rotatorien, schwarz: *Daphnia longispina*.

Der Gletscherplateausee ist ein gutes Beispiel zu zeigen, dass die Einwanderung bzw. das Auftauchen neuer Arten die gesamte Lebensgemeinschaft und die Ökosystem-Funktion verändern kann. Die Cladocerenart *Daphnia longispina* (Abb. 31) erschien erstmals im Jahr 2020 in diesem See und die Population scheint sich dort etabliert zu haben. *D. longispina* wurde bisher lediglich im Salzbodensee nachgewiesen, und taucht nun also dauerhaft in einem zweiten Gewässer auf. Seit der Erstbesiedlung im Gletscherplateausee stiegen die Abundanzen über die Folgejahre kontinuierlich an, und *D. longispina* konkurriert um die dominierende Position (im Hinblick auf Abundanz) mit den Rotatorien. Parallel zum Anstieg der Daphnien-Zahlen verringerte sich die Chlorophyll-Konzentration drastisch und die Abundanzen der Copepoden sowie der Rotatorien (dominierende Art *Polyarthra dolichoptera*) nahmen stark ab. Der ansteigende Trend in den Daphnia-Abundanzen setzte sich aber im Jahr 2024 nicht fort, parallel dazu sahen wir wieder höhere Werte für Rotatorienabundanzen und Chlorophyll-Konzentrationen. Es ist deutlich zu früh zu sagen, ob der bisherige Trend rückläufig oder sogar umgekehrt ist, oder ob 2024 lediglich eine Ausnahme darstellt.



Abb. 31: Mikrograph von *Daphnia longispina* (rechts) eines seit 2020 im Gletscherplateau-See aufgetretenen Zooplanktonvertreters

Um die Biodiversität der beprobten Seen miteinander zu vergleichen haben wir die Methode der Erstellung einer sog. „Jaccard heat map“ gewählt. Der Jaccard Index gibt die Proportion der Arten an, die in den unterschiedlichen Seen zu finden sind, und die Gemeinschaften können paarweise miteinander verglichen werden. Damit geht diese Art der Analyse über unspezifische Anzahlen von Arten oder allgemeine Diversitäts-Indizes hinaus. Interessante Beispiele liefern dann Seenpaare, die z.B. dicht aneinander liegen und trotzdem sehr unterschiedliche Biodiversitäten aufweisen, oder solche, die sehr weit voneinander entfernt sind, aber ähnliche Lebensgemeinschaften beherbergen. Auf den Abbildungen 32 bis 34 präsentieren wir entsprechenden Daten unserer Untersuchungssysteme.

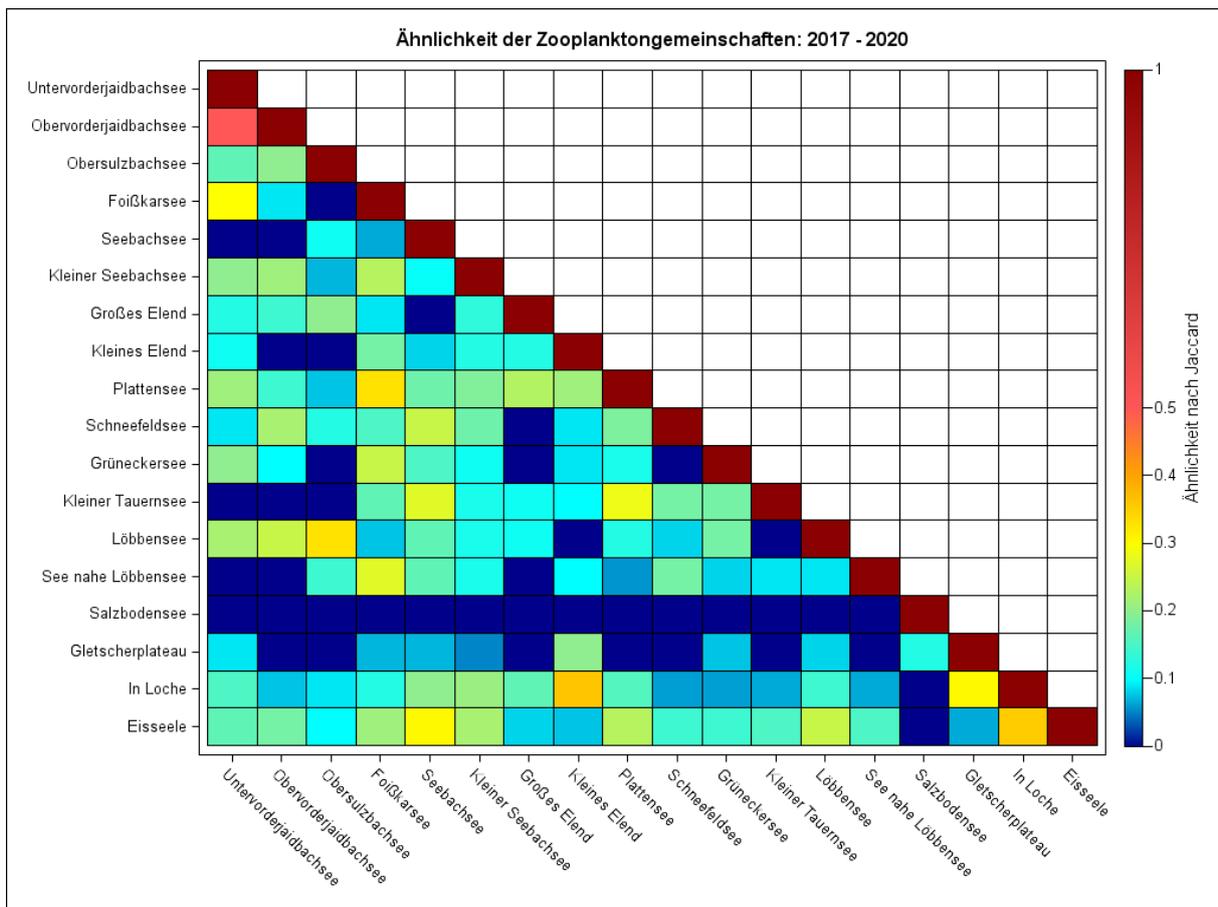


Abbildung 242: Jaccard Index zur Verdeutlichung der Ähnlichkeit bzw. der Unterschiede in der Artenzusammensetzung des Zooplanktons der beprobten Seen für die ersten vier Jahre der Messungen. Alle Seen sind sowohl auf der x- als auch auf der y-Achse aufgeführt und werden paarweise miteinander verglichen. Die Namen der Seen des Innerschlöß sind kursiv geschrieben,

die des Obersulzbachtals im Fettdruck, die des Seebachtals in normaler Formatierung. Die Diagonale der roten Quadrate impliziert 100% gemeinsame Arten, der Farbgradient von rot über orange, gelb, grün und türkis ist ein Maß für die geringer werdende Überlappung. Blaue Quadrate besagen, dass die beiden verglichenen Seen überhaupt keine gemeinsamen Arten aufweisen. Hier Daten vor 2021 (aus den Jahren 2017 – 2020).

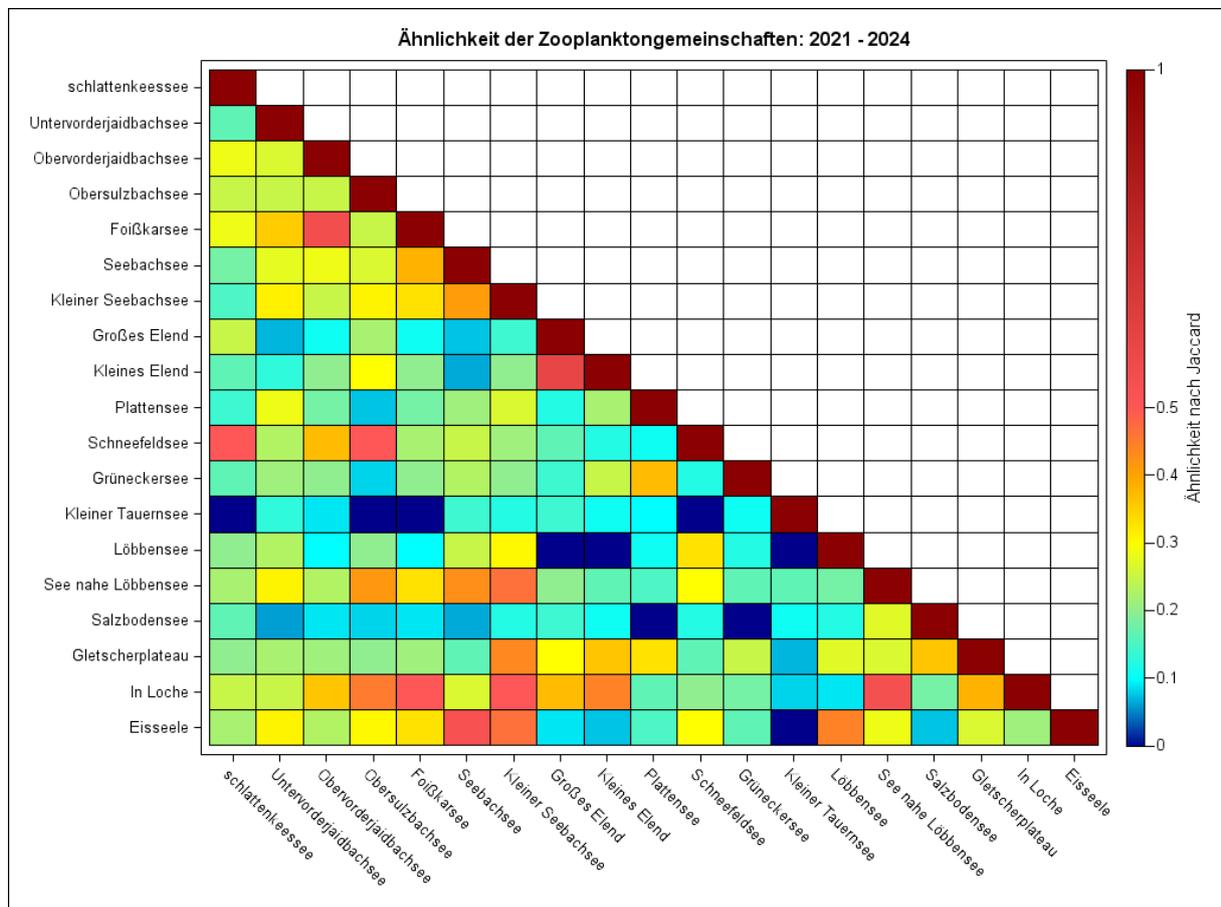


Abbildung 33: Jaccard Index zur Verdeutlichung der Ähnlichkeit bzw. der Unterschiede in der Artenzusammensetzung des Zooplanktons der beprobten Seen für die letzten vier Untersuchungsjahre (2021 – 2024). Die Darstellung der Daten entspricht der Abb. 32. Die wärmeren Farben im Vergleich mit den Daten aus der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums machen klar, dass die Zooplankton-Gemeinschaften der Seen ähnlicher geworden sind.

Wir präsentieren hier zwei unterschiedliche Heatmaps für die erste und die zweite Hälfte der Untersuchungsperiode, (2017 – 2020, Abb. 32, sowie 2021 – 2024, Die Skala auf den Abbildungen geht von 0 (keine Arten treten in beiden Seen eines Seenpaars auf; dies ist durch "kältere" Farben, Blautöne, verdeutlicht) bis 1 (die Proportion der gemeinsamen Arten liegt bei 100%; hier werden „wärmere“ Farben, gelb – orange – rot genutzt). Die Abbildungen zeigen eindrucksvoll, dass sich die Zooplanktongemeinschaften in den unterschiedlichen Seen offenbar annähern und ähnlicher werden, über den gesamten Untersuchungszeitraum überwiegen mittlerweile die wärmeren Farbtöne. Antworten dazu, ob wir die Veränderungen auch auf der Ebene der genetischen Diversität sehen können, erwarten wir uns von der molekularbiologischen Analyse unserer Proben, die Ergebnisse werden spätestens Anfang 2026 vorliegen.

Fazit und Ausblick

Das NPHT-Langzeitmonitoring ist mittlerweile gut etabliert und wir konnten zeigen, dass zeitliche (und räumliche) Veränderungen ausgewählter Lebensgemeinschaften bzw. Ökosysteme mit den Klimawandelfolgen in Verbindung zu bringen sind. Die ausgewählten Probenstellen eignen sich perfekt als Dauerbeobachtungsflächen, denn durch ihre Lage entlang von Höhengradienten sind sie unterschiedlichen Temperaturregimen ausgesetzt, und sie repräsentieren damit



Beispielsysteme entlang eines Temperaturgradienten. Darüber hinaus vermitteln die Seen einen realitätsnahen Eindruck der Bandbreite der stehenden Gewässer, die im NPHT zu finden sind. In Summe eignen sie sich als Modellsysteme, um Klimawandelfolgen zu untersuchen. Die Relevanz der Forschungsfragen, mit der diese Studie begonnen wurde, hat sich – „leider“ – in den vergangenen Jahren noch erhöht, da die ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Folgen des Klimawandels immer deutlicher werden. Die bereits begonnenen bzw. geplanten Untersuchungen der Folgejahre 2025 und 2026 werden weitere wichtige Aufschlüsse über die Veränderungen der alpinen Seen geben. Es bleibt abzuwarten, wie eine Gesamtanalyse aller über die ersten 10 Jahre des Monitorings ermittelten Daten bewertet werden kann und ob eine Fortsetzung des Projektes sinnvoll und machbar erscheint.

Danksagung

Die Umsetzung dieses Projekts wäre ohne die konstruktive Unterstützung vieler Institutionen und Personen nicht möglich gewesen. Ihnen möchten wir sehr herzlich danken. Besonders hervorheben möchten wir das Direktorium und die Verwaltung des NPHT für die finanzielle, logistische und organisatorische Unterstützung, die Ranger des NPHT, die unser Team auf einigen der Geländekampagnen sicher begleitet haben, den NPHT, die EU, und das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus für finanzielle Unterstützung. Ausdrücklich erwähnen möchten wir die überaus konstruktive und effiziente Begleitung des Projektes durch die Forschungskordinatorin des NPHT, Dr. Angelika Riegler, die durch ihre Unterstützung viele der logistischen Aspekte für uns optimiert hat. Ferner danken wir der Paris-Lodron-Universität Salzburg (PLUS) für ihre konzeptionelle Unterstützung dieses Projektes, Dominik Ankel, Laura Böll, Stefan Lienbacher, Florian Hohenberger, Eva Piberger, Samuel Unterberger und David Zezula (PLUS) für ihre kompetente Beteiligung an der Geländekampagne 2024, sowie Martina Altmeier, Jens Rüdiger, Claudia Mader und Alexandra Pitt (alle PLUS) für die Mithilfe bei der administrativen und praktischen Umsetzung der Arbeiten.



Literatur- und Quellenverzeichnis

Altermatt F, Pajunen VI, Ebert D (2008) Climate change affects colonization dynamics in a metacommunity of three *Daphnia* species. *Global Change Biol* 14: 1209-1220

Einsle, U. (1993) Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Vol. 8/4-1, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/Jena/New York.

(EPA) EPA (1978) Method 365.3: Phosphorus, all forms (colorimetric, ascorbic acid, two reagent). US EPA Washington, DC

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

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

IPCC (2001) Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

Jersabek CD (1996) Verbreitung, Ökologie und Taxonomie von Rädertieren (Rotifera) in alpinen 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

Kamenik C, Szeroczyńska K, Schmidt R (2007) Relationships among recent Alpine Cladocera remains and their environment: implications for climate-change studies. *Hydrobiologia* 594: 33-46

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

Koinig KA, Schmidt R, Sommaruga-Wöger 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

Koste, W. (1978) Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Vol., Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Latta LC, Bakelar JW, Knapp RA, Pfreder ME (2007) Rapid evolution in response to introduced predators II: the contribution of adaptive plasticity. *BMC Evolutionary Biology* 7: 21

Manca M, Armiraglio M (2002) Zooplankton of 15 lakes in the Southern Central Alps: comparison of recent and past (pre-ca 1850 AD) communities. *J Limnol* 61: 225-231

Nogués-Bravo D, Araújo MB, Errea MP, Martínez-Rica JP (2007) Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change* 17: 420-428

Pontin, R. M. (1978) A Key to the Freshwater Planktonic and Semi-Planktonic Rotifera of the British Isles. Freshwater Biological Association.



Preston DL, Caine N, McKnight DM, Williams MW, Hell K, Miller MP, Hart SJ, Johnson PTJ (2016) Climate regulates alpine lake ice cover phenology and aquatic ecosystem structure. *Geophys Res Lett* 43: 5353-5360

Psenner R, Schmidt R (1992) Climate-driven pH control of remote alpine lakes and effects of acid deposition. *Nature* 356: 781-783

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 Biol* 16: 2376-2387

Shurin JB, Clasen JL, Greig HS, Kratina P, Thompson PL (2012) Warming shifts top-down and bottom-up control of pond food web structure and function. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367: 3008-3017
Thackeray SJ (2012) Mismatch revisited: what is trophic mismatching from the perspective of the plankton? *J Plankton Res*: fbs066

Veits M (2015) *Salzburgs Seen. Natur - Geschichte - Kultur*. Vol. 15, Verein "Freunde der Salzburger Geschichte"

Waterkeyn A, Vanschoenwinkel B, Elsen S, Anton-Pardo M, Grillas P, Brendonck L (2010) Unintentional dispersal of aquatic invertebrates via footwear and motor vehicles in a Mediterranean wetland area. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20: 580-587

Wickham SA, Petermann JS, Berninger U-G (2019a) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Wickham, S. A., J. S. Petermann, and U. G. Berninger (2019b und Überarbeitung 2025) 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_Modul08Whittaker, R. H. (1960) Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, 279-338.

Winder M, Monaghan MT, Spaak P (2001) Have human impacts changed alpine zooplankton diversity over the past 100 years? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*: 467-475





Ökologie und Evolution



Ecology and Evolution



Medininhaber und Herausgeber, Verleger:

Nationalparkrat Hohe Tauern
Kirchplatz 2, 9971 Matri

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



