



Langfristige Ökosystembeobachtung - Endbericht

Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen

Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union

Ökologie und Evolution



Ecology and Evolution

Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

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

Nationalpark Hohe Tauern, Kirchplatz 2, 9971 Matrei i.O.

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

Fotos: © Stephen Wickham, Jana Petermann

Titelbild: Dominik Ankel und Stephen Wickham bei der Datenaufnahme auf dem Eis-Seele, Innergschloß

WICKHAM S. A., PETERMANN J.S., BERNINGER U.-G. (2019) Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016-2019. Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen. Endbericht. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern.
http://www.parcs.at/nphnt/mmd_fullentry.php?docu_id=38596

Salzburg, Juni 2019

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
a. Ausgangssituation, Fragestellung.....	1
b. Zielsetzung.....	1
c. Projektpartner	3
Methodik.....	3
a. Untersuchungssysteme	3
b. Geländearbeit	7
c. Abiotische Faktoren.....	9
d. Probenentnahme	10
e. Laboranalysen Lebensgemeinschaften	11
f. Datenanalyse.....	11
Ergebnisse	12
a. Untersuchungssysteme, Anmerkungen zur Geländearbeit.....	12
b. Abiotische Faktoren.....	12
c. Zooplankton der Wassersäule	26
d. Organismen (-spuren) im Sediment.....	29
Interpretation und Diskussion	29
a. Eignung der ausgewählten Probenstellen als Dauerbeobachtungsflächen	29
b. Eignung der angewandten Methoden	30
c. Eignung der ermittelten Ergebnisses für die Ziele des Projektes.....	30
d. Analyse der ermittelten Daten, Vergleich der Aufnahmen von 2017 und 2018.....	30
Ausblick.....	32
a. Aussagewert für das Testgebiet und Aussagewert für das gesamte Schutzgebiet	32
b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke	35
Kosten-Analyse	36
Danksagung.....	38
Abbildungsverzeichnis	38
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	40



Einleitung

a. Ausgangssituation, Fragestellung

Nicht nur in naturwissenschaftlich ausgerichteten Diskussionen, sondern vermehrt auch im Kontext der (Gesellschafts-) Politik und der Ökonomie nehmen Themen, die sich mit der „Echtheit“, den bereits momentan sichtbaren Auswirkungen und Folgen sowie den prognostizierten kurz- und langfristigen Konsequenzen für Ökosysteme und die menschliche „Zivilisation“ (i.w.S.) einen immer größer werdenden Raum ein. Meist sind diese Diskussionen wissenschaftlich fundiert, teilweise sind sie aber auch sehr emotional geprägt und fußen nicht zwangsläufig auf nachprüfbareren Fakten. Die Tatsache, dass es auch unter den politischen Entscheidungsträger/innen vereinzelt sog. „Klimawandel-Leugner“ gibt, und dass nicht alle in den Argumentationen herangezogenen wissenschaftlichen Untersuchungen mit der angemessenen Sorgfalt durchgeführt werden, kommt erschwerend hinzu. Vor diesem Hintergrund ist es außerordentlich wichtig, wissenschaftliche Studien durchzuführen, die objektiv, replizierbar, methodisch einwandfrei und damit unanfechtbar und natürlich auch inhaltlich relevant sind. Das durch den Nationalpark Hohe Tauern (NPHT) initiierte und (mit Hilfe weiterer Institutionen) finanzierte „Langzeitmonitoring“ bietet eine ideale Plattform, diese Ansprüche zu erfüllen.

Hochalpine Ökosysteme bieten sich besonders für entsprechend ausgerichtete Untersuchungen an. Sie zeigen lang- und kurzfristige Klimaveränderungen deutlich auf und sind – insbesondere wenn sie in Nationalparks liegen und dadurch besonders geschützt sind – vergleichsweise unberührt von menschlichen Einflüssen. Basierend auf diesen Überlegungen wurde in den Jahren 2015 und 2016 ein interdisziplinäres und integratives Monitoring- und Forschungsprogramm des NPHT konzipiert. Ziel war und ist es, durch Langzeituntersuchungen (anvisiert wurden mind. 14 Jahre) an der gesamten Breite der relevanten „Teil-Ökosysteme“ inkl. ihrer Lebensgemeinschaften festzustellen, ob und ggf. wie diese sich hinsichtlich messbarer Größen (z.B. Abundanzen, Biodiversität, abiotische Parameter, Ausdehnung) über kurze und lange Zeiträume verändern. Die unterschiedlichen „Module“, also Teilprojekte, befassen sich mit den Organismengemeinschaften der Böden, fließenden und stehenden Gewässer, mit den Großherbivoren, den terrestrischen Vegetationsbeständen, sowie den abiotischen Faktoren der Kryosphäre. Die Analyse der Einzelergebnisse und vor allem dann die Synthese aller Ergebnisse und Teilprojekte zusammen genommen wird dabei helfen vorherzusagen, inwieweit unsere Umwelt von globalen Veränderungen betroffen ist, welche weiteren Veränderungen prognostiziert werden können und welche Konsequenzen dies für die Ökosysteme und alle darin lebenden Organismengemeinschaften (inkl. des Menschen) hat. Als gemeinsames Untersuchungsgebiet wurden drei Täler im NPHT ausgewählt, die sowohl die politische Differenzierung innerhalb des Nationalparks abbilden (Sulzbachtäler im Land Salzburg, Innerschloß in Tirol und Seebachtal in Kärnten), als auch die konzeptionelle Anforderungen (Erreichbarkeit, Abdeckung eines beträchtlichen Höhengradienten, Lage teilweise in der Kernzone des NP, Vorhandensein der o.g. unterschiedlichen „Teil-Ökosysteme“) erfüllen.

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

b. Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel des Monitoring-Programms liegt 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 doch so wichtigen Ökosysteme zu entwickeln (s. auch Präambel zur Projektbeschreibung bzw. Syntheseberichte). Einige der Veränderungen (Temperaturamplitude, Niederschlagsmenge, Einsetzen und Länge distinkter Jahreszeiten, Vorkommen an bestimmte abiotische Bedingungen angepasster Organismengruppen) stehen wahrscheinlich in direktem Zusammenhang mit dem Klimawandel. Andere – ebenso messbare – Veränderungen werden eher durch direkte anthropogene Aktivitäten hervorgerufen. Hierzu zählen Eutrophierung, zunehmende landwirtschaftliche Nutzung, Einschleppung invasiver Arten, Zerstörung von Ökosystemen durch deren physische Nutzung (sei es nur durch Betreten oder durch Bebauungsmaßnahmen). Ziel des vorliegenden Projektes ist es, die Veränderungen im Detail zu beschreiben, quantitativ und qualitativ auszuwerten und Beziehungen mit Klimaveränderungen bzw. anthropogenen Einflüssen aufzuzeigen. Der Zusammenführung der Daten und Schlüsselerkenntnisse aller Teilprojekte kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.



Traditionell werden in vergleichbaren Studien vorwiegend terrestrische Ökosysteme und deren Lebensgemeinschaften untersucht. Dort, wo aquatische Lebensräume mit berücksichtigt werden, beschränkt sich dies meist auf Fließgewässer. Das ist einerseits nachvollziehbar, da Fließgewässer durch ihre enge Verbindung mit den sie umgebenden terrestrischen Systemen sowie die oft großen Umweltgradienten, die sie durchfließen, gute Anzeiger für biotische und abiotische Veränderungen sind. Allerdings wurde bei der Konzeption des NPHT-Lanzzeitmonitorings das Auslassen von stehenden hochalpinen Gewässern und deren Lebensgemeinschaften als gravierende inhaltliche Lücke identifiziert. Hochalpine Seen zählen aufgrund langfristiger Klimaveränderungen sowie durch kurzfristige Prozesse (Eutrophierung, Landnutzungsänderungen und die Ansiedelung von Fischen) zu den am stärksten gefährdeten Ökosystemen der Erde. Die fortschreitende Klimaerwärmung hat in einigen Seen der Alpen aufgrund längerer eisfreier Zeiten und verstärkter Erosion bereits zu erhöhter Primärproduktion und erhöhten pH-Werten geführt (Psenner and Schmidt 1992; Koinig et al. 1998). Es ist nicht nur zu erwarten, dass alpine Bereiche sich schneller als tiefer liegende Bereiche erwärmen werden, sondern auch, dass die Erwärmung im Sommer stärker als im Winter sein wird (IPCC 2001; Nogués-Bravo et al. 2007). Da die Biodiversität planktischer Gemeinschaften mit steigender Höhenlage typischerweise sinkt, ist des Weiteren zu erwarten, dass die Biodiversität hochalpiner Seen in der Zukunft ansteigen wird (Winder et al. 2001; Manca and Armiraglio 2002; Rosset et al. 2010). Allerdings ist es möglich, dass Arten aus tiefer liegenden Seen die derzeitigen Arten zumindest teilweise verdrängen werden. Daphnien (Wasserflöhe) sind die dominante Plankton-Gruppe vieler Seen. Allerdings sind sie im Moment selten in hochalpinen Seen zu finden. So fanden Studien in hochalpinen Seen unweit des vorgeschlagenen Untersuchungsgebiets nur wenige Daphnien (Winder et al. 2001; Kamenik et al. 2007). Welche Gemeinschaften wir in Zukunft in hochalpinen Seen vorfinden werden, ist nicht nur abhängig von direkten Einflüssen der Klimaveränderung (längere eisfreie Zeit, höhere Wassertemperaturen im Sommer) sondern auch von indirekten Effekten. Zum Beispiel sind Wanderschuhe durch ihr tiefes Profil effektive Dispersionsmittel für aquatische Organismen mit Dauerstadien (Waterkeyn et al. 2010) und höhere Temperaturen könnten höhere Besucherzahlen mit sich bringen. Veränderungen der Verbreitungsraten des Zooplanktons zwischen Seen könnten im Sinne der Metagemeinschafts- und Metapopulationstheorie deutliche Auswirkungen auf deren Gemeinschaftszusammensetzung haben (Altermatt et al. 2008). Die regionale Wirkung der Erwärmung wird aber wohl auch stark von lokalen Faktoren geprägt sein. Zum Beispiel werden die Effekte hydrologischer Veränderungen durch Gletscherschwund und höhere Schmelzraten im Sommer sowie auch die Eutrophierung durch neue Weideflächen von See zu See verschieden sein. Ob Fische in die Seen eingesetzt wurden hat höchstwahrscheinlich ebenfalls starke Auswirkungen auf planktische Gemeinschaften (Latta et al. 2007). Diese lokalen abiotischen und biotischen Einflüsse und die Effekte der Klimaerwärmung werden möglicherweise interagieren und so zu unerwarteten (z.B. verstärkten) Auswirkungen auf die Planktongemeinschaften hochalpiner Seen führen. Veränderungen im Gefüge des Planktons könnten dann weitere Veränderungen im Ökosystem der hochalpinen Seen - z.B. ihrer Nahrungsnetze (Shurin et al. 2012; Thackeray 2012) - sowie in ihrer Umgebung und in Gewässern tieferer Lagen bewirken.

Aus den oben aufgeführten Gründen wurden die hochalpinen Seen mit in das Gesamtprojekt aufgenommen. Im Zuge der Beprobungen der Jahre 2017 und 2018 wurden insgesamt 18 Seen (sechs pro Tal) als Untersuchungssysteme identifiziert (s. Methodik). Durch ihre Lage größtenteils in der Nähe der terrestrischen Plots sowie der untersuchten Fließgewässer wird langfristig ein einzigartiger, hochrelevanter Vergleich der Langzeitveränderungen terrestrischer und aquatischer Systeme möglich sein. Vergleichbar mit dem Gesundheitszustand eines Menschen, über den auch nur dann verlässliche Aussagen getroffen werden können, wenn alle Organsysteme berücksichtigt werden, wird nur über die Analyse der zu allen Modulen im NPHT gesammelten Daten (und deren Berknüpfung) langfristig eine Beurteilung des Gesamtökosystems „Hochalpiner Lebensraum im NPHT“ möglich sein.

Im Modul (8) „Seen“ werden die Abundanz, Diversität und Gemeinschaftszusammensetzung des Zooplanktons hochalpiner Seen aufgenommen und ihre Abhängigkeit von relevanten Umweltparametern analysiert. Im Detail beinhaltet dies die folgenden Ziele:

1. Die planktischen Metazoen-Gemeinschaften (Rotatoria, Cladocera, Copepoda) von sechs Seen pro Tal (Obersulzbachtal, Innergschlöß, Seebachtal) werden aufgenommen. Der Zusammenhang zwischen abiotischen Faktoren und der Artenzusammensetzung wird hierbei besonders untersucht. Um den Einfluss der Höhenlage und die Effekte derzeitiger und zukünftiger Temperaturen zu messen, liegen die ausgewählten Seen auf einem Höhengradienten. Die Organismen werden über mikroskopische sowie molekularbiologische Methoden taxonomisch eingeordnet.



2. Es wird untersucht, wie die biotischen und abiotischen Parameter sich über die Zeit (gesamte Projektdauer von 12-14 Jahren, hier: 2017 und 2018) ändern und welche Faktoren die Hauptursachen dafür darstellen.
3. Die Relevanz von Metagemeinschafts- und Metapopulationsdynamiken für die Zusammensetzung der planktischen Gemeinschaften wird beurteilt.
4. Die Langzeit-Entwicklung (Dekaden bis Jahrhunderte) von Gemeinschaften der berücksichtigten Metazoen in der Vergangenheit wird mithilfe von Sedimentkernen, in denen sich Dauerstadien der Organismen befinden, untersucht.

Weitere inhaltliche Aspekte, die nicht im ursprünglichen Projektantrag vorgesehen waren, wurden bereits in den ersten beiden Jahren des Programms mit eingeflochten (s.u.), Vergleichbares ist auch für die Zukunft vorgesehen.

c. Projektpartner

Das Modul 08 ("Seen") wurde primär an der Paris-Lodron-Universität Salzburg durch die o.g. Projektleiter/innen durchgeführt. Im zweiten Jahr der Pilotphase wurden zwei weiterführende inhaltliche Aspekte mit in die Untersuchungen aufgenommen, die nicht im Projektantrag beschrieben waren und entsprechend auch nicht über das Monitoringprojekt finanziert wurden. Hierzu wurden Stipendien seitens des AG vergeben, die es auf eine schnelle und unbürokratische Weise ermöglichten, diese Erweiterungen zu integrieren. Der Fokus dieser Untersuchungen lag auf der

- „Abundanz und Biodiversität des Makrozoobenthos im Litoral der Seen“ sowie der
- „Abundanz und Biodiversität einzelliger Algen in der Wassersäule der Seen“.

Beide Themen wurden im Rahmen von Masterarbeiten (Anne Bartels - Makrozoobenthos, Florian Hohenberger - Algen) untersucht.

Zur Durchführung sog. „e-DNA Analysen der Organismengemeinschaft“ wurde eine Kooperation mit Kollegen/innen des „WasserCluster Lunz“ (Österreich) eingegangen.

Methodik

a. Untersuchungssysteme

Im Jahr 2017 wurden insgesamt 24 Seen besucht mit dem Ziel, für die endgültige Auswahl 18 davon als Dauer-Probengebiete zu identifizieren (Tab. 1a und 1b, Abb. 1 bis 18, Abb. 34 bis 37). Dafür wurden die folgenden Kriterien angelegt:

- 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
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
Innergenschlöß	Salzbodensee	2138	47° 6'55.85"N	12°25'33.29"E
	„Innergenschlöß See 2“ (Eisseele)	2550	47° 7'25.88"N	12°23'52.89"E
	„Innergenschlöß 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. 1a: Liste der im Rahmen des Moduls „hochalpine Seen“ in den Jahren 2017 und 2018 berücksichtigten und für das weitere Langzeitmonitoring (2019 ff) vorgesehenen 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)
Innergenschlöss	Salzbodensee	5.1	2065	Buckel & Otto (2018)
	„Innergenschlöß See 2“ (Eisseele)	7.1	9121	Buckel & Otto (2018)
	„Innergenschlöß 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. 1b: Liste der im Rahmen des Moduls „hochalpine Seen“ in den Jahren 2017 und 2018 berücksichtigten und für das weitere Langzeitmonitoring (2019 ff) vorgesehenen Seen (EPSG:4326) mit Angabe der maximalen Tiefe und der Fläche.

Alle im Jahr 2017 beprobten Seen waren auch 2018 noch vorhanden und erreichbar, d.h. keiner der Wasserkörper war zwischenzeitig verlandet, verschüttet oder ausgetrocknet. Damit erscheint realistisch, dass sie auch für die anvisierte Fortsetzung des Langzeit-Monitorings als Standard-Untersuchungssysteme erhalten bleiben.

Von allen Untersuchungsgebieten wurde eine Photodokumentation vorgenommen. Dies dient nicht nur der Wiederauffindbarkeit der einzelnen Seen (zusätzlich zu den aufgenommenen GPS-Koordinaten), sondern auch der Dokumentation von möglichen Veränderungen des Areals (Größe) der Seen bzw. der Veränderung der Uferstruktur und/oder der Ufervegetation, zusätzlich zu vergleichenden Geländemodellen und Orthofotos. Die unten aufgeführten Fotos der einzelnen Seen stammen aus dem Jahr 2017, es waren im Jahr 2018 keine deutlichen Veränderungen aufgetreten.



Abbildung 1: Grüneckersee, Seebachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 2: Kl. Tauernsee, Seebachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 3: „See oberhalb Mindener Hütte (Schneefeldsee)“, Seebachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 4: „See 2 oberhalb Mindener Hütte (Plattensee)“, Seebachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 5: „Kleines Elend“, Seebachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 6: „Großes Elend“, Seebachtal, Jul/Aug 2017





Abbildung 7: Seebachsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 8: „See neben Seebachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 9: Föiðkarsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 10: „Obervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 11: „Untervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017



Abbildung 12: Sulzsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017





Abbildung 13: Salzbodensee, Innerschlöß, Jul/Aug 2017



Abbildung 14: „Innerschlöß See2“ (Eisseele), Innerschlöß, Jul/Aug 2017



Abbildung 15: „Innerschlöß See3“ (In Loche), Innerschlöß, Jul/Aug 2017



Abbildung 16: Löbbensee, Innerschlöß, Jul/Aug 2017



Abbildung 17: „Gletscherplateau (NPH 3)“, Innerschlöß, Jul/Aug 2017



Abbildung 18: „See nahe Löbbensee“, Innerschlöß, Jul/Aug 2017

Auch wenn die beprobten Seen alle oben aufgeführten Kriterien erfüllen, so unterscheiden sie sich doch in vielen hydrologischen - und dadurch bedingt auch abiotischen und biotischen - Parametern. Die Systeme liegen auf unterschiedlichen Höhenstufen (2080 - 2600m), haben unterschiedliche Ufer- bzw. Untergrundstrukturen (weiches Sediment, Vegetation am Ufer, Granitboden), nehmen unterschiedlichen Flächen (350m² - 180 000 m²) ein und sind unterschiedlich tief (1 - 42 m). Darüber hinaus variieren sie im Hinblick auf anthropogene oder landwirtschaftlich bedingte Einflüsse sowie in der Ausdehnung ihres Einzugsgebietes (s. auch Ergebnisse und Diskussion).

b. Geländearbeit

Die Geländekampagnen sind in jedem Untersuchungsjahr in den Monaten Juli / August, zur weitgehend eisfreien Zeit durchgeführt worden. Die Personen der Feldteams wurden in der Vorbereitungsphase detailliert angeleitet und brachten die körperlichen Fähigkeiten zur Durchführung der Probenkampagne mit. Alle Untersuchungssysteme wurden zu Fuß erreicht, die komplette Ausrüstung wurde in Rucksäcken transportiert. Um Kontaminationen der Seen untereinander zu vermeiden, bzw. dem natürlichen Prozess der Verbreitung der Organismen zu folgen, wurde von „oben nach unten“ (also beginnend mit der jeweilig höheren Höhenstufe) die Beprobung begonnen. Außerdem wurde nach jeder Probenentnahme das gesamte Equipment (inkl. der Wanderstiefel und Hände des Teams) mit filtriertem Wasser und einer niedrig konzentrierten Chlorlösung gereinigt.

Die Größe der jeweiligen Seen wurde mittels Kartenmaterial (z.B. aus GoogleMaps oder relevanten GIS-Programme bestimmt, auch Veits 2015), und mit der einmalig im Jahr 2017 durchgeführten Längen- und Breitenmessung während der Beprobung verglichen. Ziel der Untersuchungen war es, die Wasser- und auch Sedimentproben von oder nahe der tiefsten Stelle des jeweiligen Sees zu entnehmen. Um diese zu erreichen, wurde in den meisten Fällen ein tragbares Schlauchboot (Abb. 19) verwendet, gelegentlich standen am See vorhandene Boote zur Verfügung (z.B. Boot der Bergrettung am „See neben Seebachsee“, Abb. 20), oder die Seen waren so klein / flach, dass die Beprobung vom Ufer aus durchgeführt wurde. Bei den Beprobungen wurde standardmäßig die selbe Reihenfolge eingehalten:

- Beladen des Bootes
- Hinausrudern und Ausbringen (bzw. ab 2018 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.)
- 2018: Entnahme einer Gesamtwasserprobe (Wasserschöpfer, s.u.)
- Entnahme der Zooplanktonproben (Planktonnetz, s.u., sofortige chemische Fixierung, s.u.)
- 2018: Entnahme einer Sedimentprobe (Multicorer, s.u.)

Alle Feldmessungen sowie mögliche Besonderheiten (z.B. Umgebungsparameter wie Anzeichen von Beweidung, Verlust von Dataloggern) wurden in Standardprotokollen festgehalten. Durch mehrfach redundante Datenspeicherung sowie eine Reihe von Kontrollmechanismen (Feldbuch, digitale Medien, abendliche Übertragung der Daten auf Computer, Datencheck auf Plausibilität während der Aufnahme, etc.) wurde sichergestellt, dass keine Daten verloren gingen und alle Daten später zugeordnet werden können.

Die angewandten Methoden bzw. die Oberbegriffe der erhobenen Parameter sowie Aufnahmezyklus (bisherig plus Empfehlung für die Fortsetzung des Projekts), Aufnahmetiefe und Zeitpunkt sind in Tabelle 2 zusammengefasst:



Abbildung 19: Tragbares Schlauchboot während der Beprobung, hier Entnahme eines Sedimentkerns mit dem sog. Sediment Corer („Großes Elend“ Seebachtal).



Abbildung 20: Boot der Bergrettung am „See neben Seebachsee“ (Obersulzbachtal). Erkennbar die „Multisonde“ (blau) sowie der Wasserschöpfer für die Gesamtwasserproben.



Methoden	Aufnahmezyklus	Aufnahmetiefe	Zeitpunkt
Zooplanktonuntersuchungen: morphologisch	Jährlich	Über die gesamte Tiefe	Ende Juli/Anfang August (Gewässer mind. mehrere Wochen eisfrei)
Molekularbiologische Analysen	Alle 5 Jahre	1 m Tiefe	Ende Juli/Anfang August
Sedimentuntersuchungen	Einmalig	An tiefster Stelle	
Wassertemperatur	Alle 6 Stunden	1 m Tiefe	Ab Einsetztag 18Uhr
Sonstige Umweltparameter (z.B. N, Chlorophyll <i>a</i>)	Jährlich	Über die gesamte Tiefe (bis 15m)	Ende Juli/Anfang August

Tabelle 2: Methodenübersicht mit empfohlenem Aufnahmezyklus, der Aufnahmetiefe und dem Aufnahmezeitpunkt

c. Abiotische Faktoren

Die maximale Tiefe jeden Sees wurde mithilfe eines Echolots (LTC Fish Finder) bestimmt. Zur Messung der relevanten Wasserparameter wie Wassertemperatur (°C), Luftdruck (mm Hg), gelöstem Sauerstoff (% Sättigung), spezifischer 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 $\mu\text{g}/\text{l}$) wurde eine Multisonde (EXO2 YSI, Abb. 20) benutzt. Die Messungen wurden über die vertikale Ausdehnung der Wassersäule (maximal bis zur kompletten Sondenreichweite, d.h. Kabellänge von 15 m) durchgeführt. Ein längeres Kabel zu benutzen ist nicht möglich, da die Kabelrolle zu schwer für den Transport zu den Seen wäre. Gelegentlich fehlende Daten (z.B. Nitrat in den Seen des Innerschlöß 2017) sind technischen Problemen mit der Sonde geschuldet, die erst am nächsten Tag gelöst werden konnten).

Zur Durchführung von Langzeit-Temperaturmessungen wurden in jedem See auf der selben Wassertiefe zwei Datalogger (tempmate.@-B2) installiert (Abb. 21 & 22). 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. 2018 konnten fast alle der ausgebrachten Datalogger wieder aufgefunden werden. Nur im Sulzsee (Obersulzbachtal) gingen beide Temperaturlogger verloren, der Grund hierfür ist nicht bekannt. Die Speichermedien wurden während der Probennahme entnommen, elektronisch ausgelesen und wieder eingesetzt. Lt. Hersteller beträgt die Batterielaufzeit der Datalogger gut 2 Jahre, d.h. vom Jahr 2019 an müssen die Speichermedien regelmäßig ausgetauscht werden.



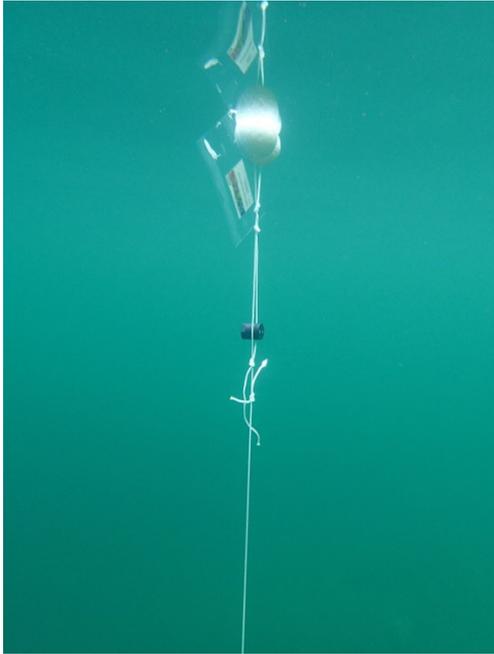


Abbildung 21:
Temperaturdatenlogger in wasserdichtem Gehäuse (schwarze Kapsel) in der Wassersäule hängend. Oben sorgen 2 Styroporkugeln für Auftrieb und Sichtbarkeit an der Wasseroberfläche.



Abbildung 22:
Temperaturdatenlogger mit Styroporkugeln für Auftrieb und Sichtbarkeit und mit Steinen in Netzbehälter als Anker.

d. Probenentnahme

Zooplankton (Wasserproben)

Zur Beprobung des Metazooplanktons wurde ein Planktonnetz mit 30 µm Maschenweite und 29 cm Durchmesser der Öffnung benutzt (Abb. 23). 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, „Innerschlöß See 3“, Untervorderjaidbachsee) wurden horizontale Proben genommen.

Zooplankton (Sedimentproben)

Erstmals im Jahr 2018 wurde in den Seen, die ein weiches Sediment aufweisen, Sedimentkerne mit einem Sediment Corer (UWITEC) entnommen (Abb. 24), um Dauerstadien einzelner Zooplanktonarten aus den Sedimentablagerungen zu gewinnen und Rückschlüsse auf frühere Artengemeinschaften ziehen zu können (See nahe Löbbensee, Löbbensee, Großes Elend, Salzbodensee, See neben Seebachsee, Foißkarsee, Sulzsee). Hierzu wurden Stellen mit stärkerer Sedimententwicklung am Seegrund mit dem Boot angefahren und mit dem reinen Gravitationscorer Kerne von bis zu 20cm Länge entnommen. In flachen Seen wurde der Corer mit einer Stange ins Sediment gedrückt. Das Sediment wurde in PVC-Kernröhren ins Labor transportiert und dunkel und im Kühlschrank gelagert.



Abbildung 23:
Entnahme der Zooplanktonprobe mit dem Planktonnetz.



Abbildung 24:
Überführung der Sedimentproben in PVC-Röhren zum Transport bzw. Aufbewahrung der Probe

e-DNA-Proben

Für eine umfassende Analyse aller vorkommenden Arten bzw. "taxonomischen Einheiten" in den Seen wurden im Jahr 2018 sog. e-DNA Proben entnommen. Hierfür wurden pro See mittels eines Wasserschöpfers (Abb. 20) ca. 640 ml Wasser aus ca. 1 m Wassertiefe entnommen und das gesamte Volumen nach Rückkehr zur Unterkunft auf Filtern mit einer 0,2 µm Porengröße konzentriert. Die Filter wurden anschließend sofort in flüssigem Stickstoff eingefroren, so ins Labor transportiert und bis zur weiteren Analyse im Tiefkühler (-80 °C) eingelagert.

e. Laboranalysen Lebensgemeinschaften

Zooplankton (Wasserproben)

Die Zooplanktonproben wurden 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).

Zooplankton (Sedimentproben)

Im Labor werden die Kerne mit einem Kernschneider geschnitten, um mittels einer Siebanlage die Dauerstadien und Exuvien aus dem Sediment zu isolieren. Diese werden dann morphologisch bestimmt und ggf. später molekularbiologisch analysiert. Bei den Dauerstadien / Dauereiern ist es prinzipiell möglich, sie in Kulturmedien zu halten und ggf. zum Schlüpfen zu bringen. Dann kann eine weitere taxonomische Einordnung erfolgen.

e-DNA-Proben

Vom externen Kooperationspartner (Wassercluster Lunz, s.o.) werden die tiefgefrorenen Filter weiter verarbeitet. Es wird die DNA mit einem DNeasy PowerSoil kit extrahiert und mithilfe von Primer Paaren für die V7 Region des 18S rRNA Gen amplifiziert.

f. Datenanalyse

Ultimatives Ziel der Untersuchungen ist es, mit den erhobenen Daten Zeitreihen zu erstellen, die mögliche Veränderungen der Systeme aufzeigen bzw. perspektivisch Vorhersagen für die Entwicklung der abiotischen und biotischen Parameter der Seen erlauben. Ferner sollen die unterschiedlichen Seen miteinander verglichen werden.

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. Die Analysen der Sedimentproben können dazu genutzt werden, Aussagen über historische Besiedlungsmuster der Seen zu treffen.

Alle erhobenen Daten werden mit statistischen Methoden (z.B. multivariaten 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 sichtbar zu machen. Da für aussagekräftige Ergebnisse dieser Ansätze Datensätze aus mehr als zwei Jahren herangezogen werden sollten, ist die statistische Auswertung der unten aufgeführten Ergebnisse der ersten beiden Jahre (2017/2018) noch nicht abgeschlossen.

Ergebnisse

a. Untersuchungssysteme, Anmerkungen zur Geländearbeit

Bereits im zweiten Jahr der Untersuchungen konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich die ausgewählten Probenentnahmesysteme perfekt für die Durchführung der (potenziellen) Langzeitstudie eignen. Die ausgewählten Seen entsprechen alle den in der Einleitung aufgelisteten Anforderungskriterien. Alle Gewässer waren noch auffindbar, es hatten sich keine gravierenden Unterschiede in Größe und/oder Hydrologie ergeben und es waren keine Anzeichen vorhanden, dass die Seen in den Folgejahren womöglich verlanden oder austrocknen würden oder durch Geröllstürze u.ä. verschüttet werden könnten. Keines der Gewässer war verlandet, verschüttet oder ausgetrocknet, Szenarien, die durchaus möglich gewesen wären.

Die Bestätigung der Auswahl der Probensysteme dieses Teils des Monitoringprojektes ist auch deshalb so wichtig, weil die stehenden Gewässer zwar auch als separate Biotope relevante Aussagen liefern, aber grundsätzlich nicht nur als losgelöste Einzelteile zu betrachten sind, sondern sich als Mosaiksteinchen in das Gesamtökosystem einfügen. Abgesehen von den Seen im Sulzbachtal (im Untersulzbachtal existieren keine erreichbaren Seen, daher wurden Seen im Obersulzbachtal beprobt) liegen einige der untersuchten Seen, z.B. Salzbodensee im Innergschloß und Kleiner Tauernsee im Seebachtal, in unmittelbarer Nähe der terrestrischen Beobachtungs- bzw. Untersuchungsflächen sowie der Einzugsgebiete der ebenfalls berücksichtigten Fließgewässer. Im Hinblick auf die Gesamtsynthese des Projektes ist dies höchst relevant (s.u.).

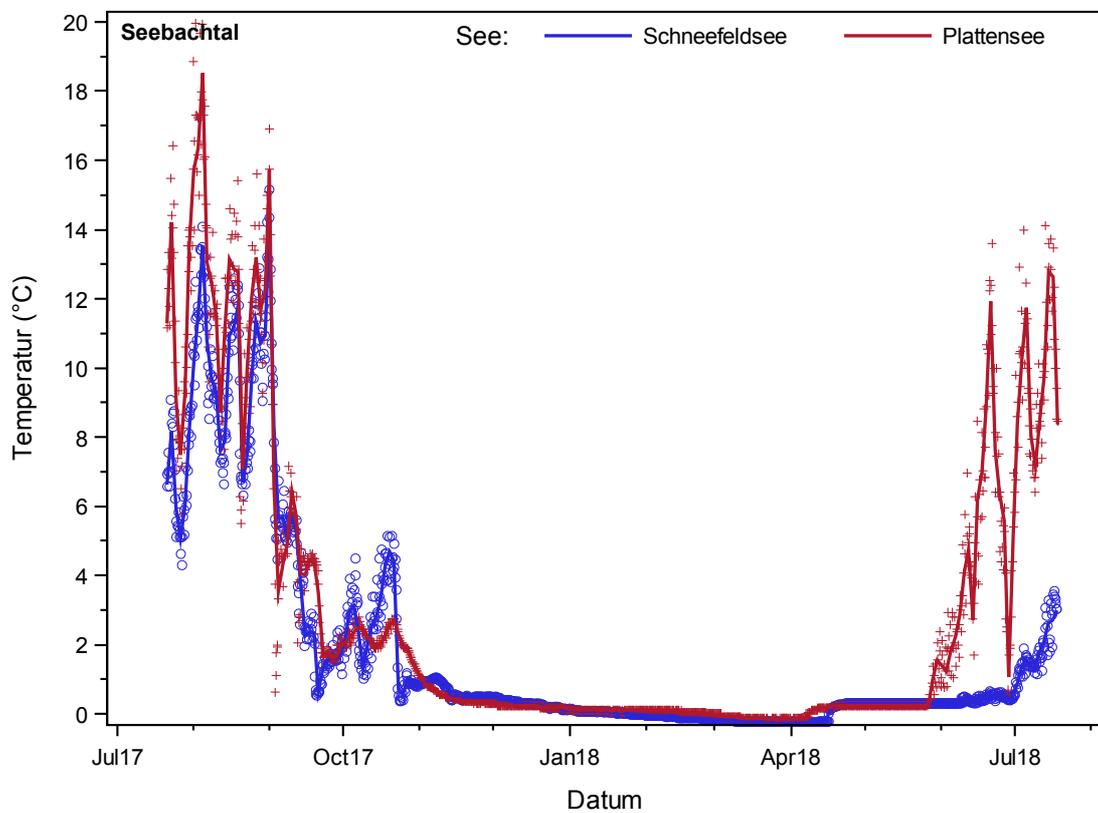
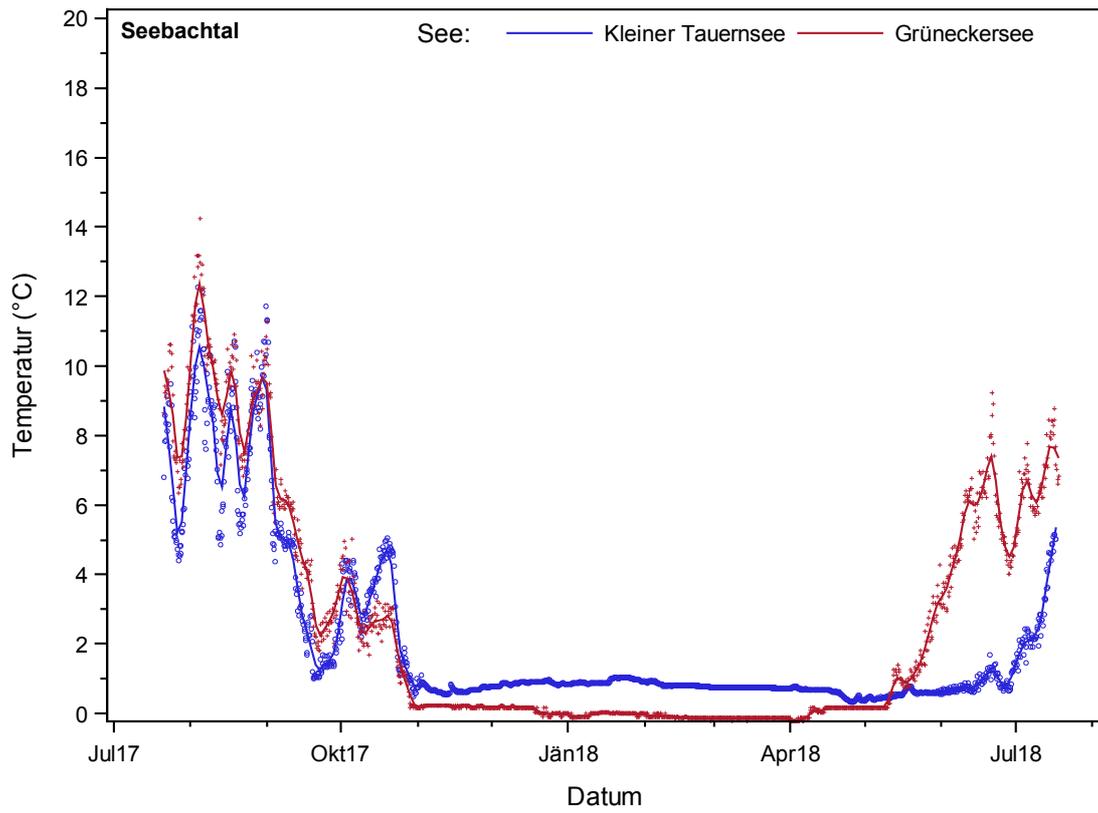
b. Abiotische Faktoren

Langzeit-Temperaturmessungen

Das Hauptziel des Datenloggereinsatzes war es, die langfristige Temperaturentwicklung der untersuchten Seen zu messen. Nach dem einmaligen Auslesen der Temperaturlogger im Jahr 2018 kann dazu natürlich noch keine Aussage gemacht werden. Trotzdem zeigen die Ergebnisse (Abb. 25-27) auch jetzt schon interessante Aspekte für den Zeitraum Juli 2017 bis Juli 2018. 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 und
- die aus den Temperaturdaten zu schließenden Schichtungsverhältnisse in den Seen.

Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Profile von jeweils zwei Seen (des selben Tals) auf einer Abbildung zusammen gestellt (Abb. 25-27).



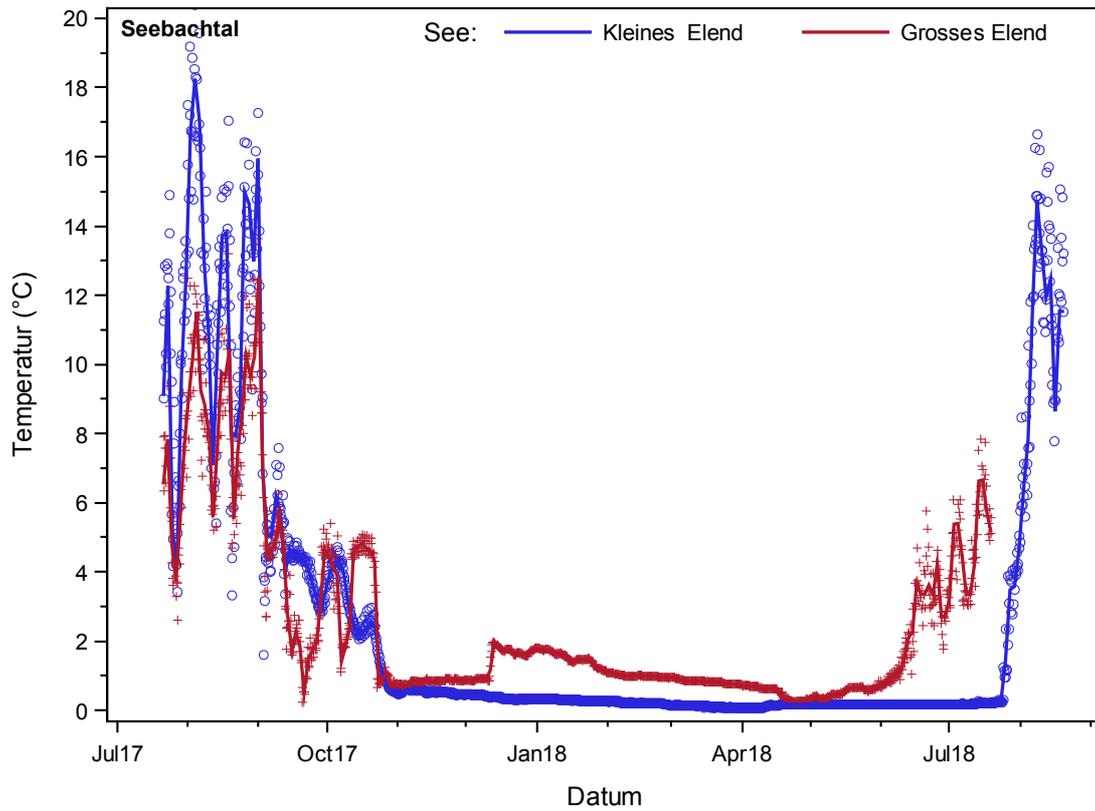
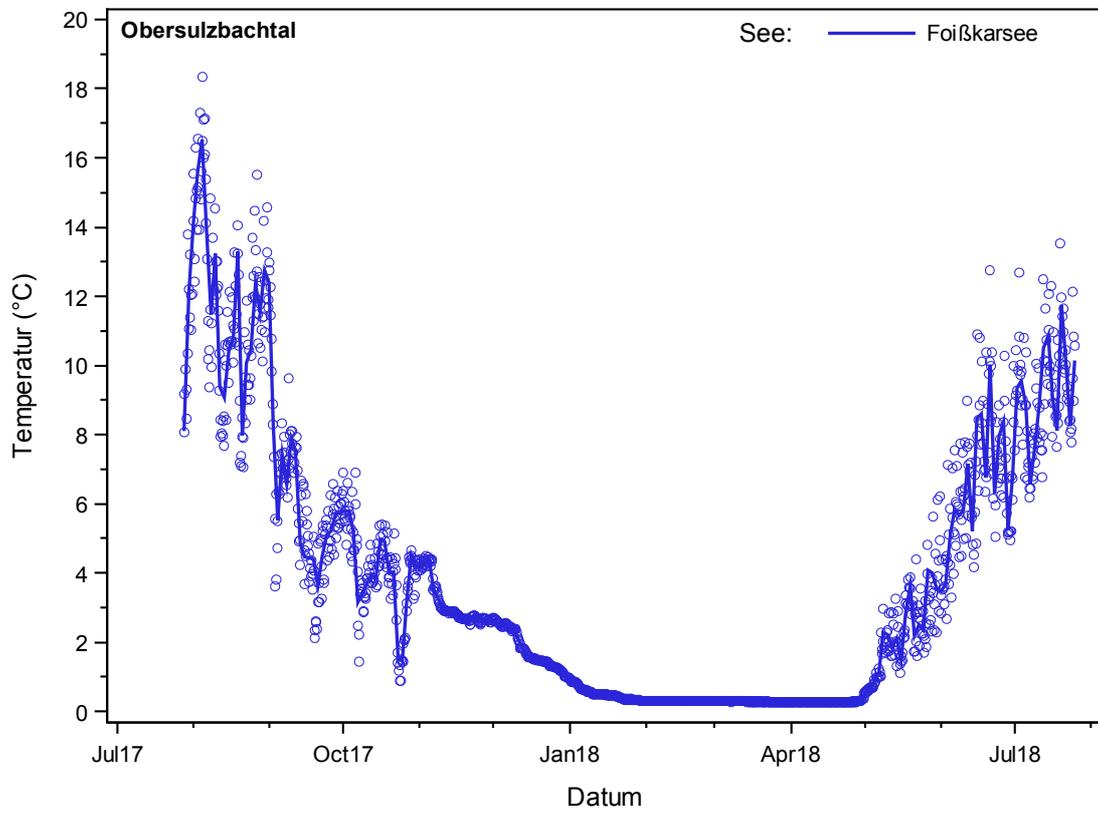
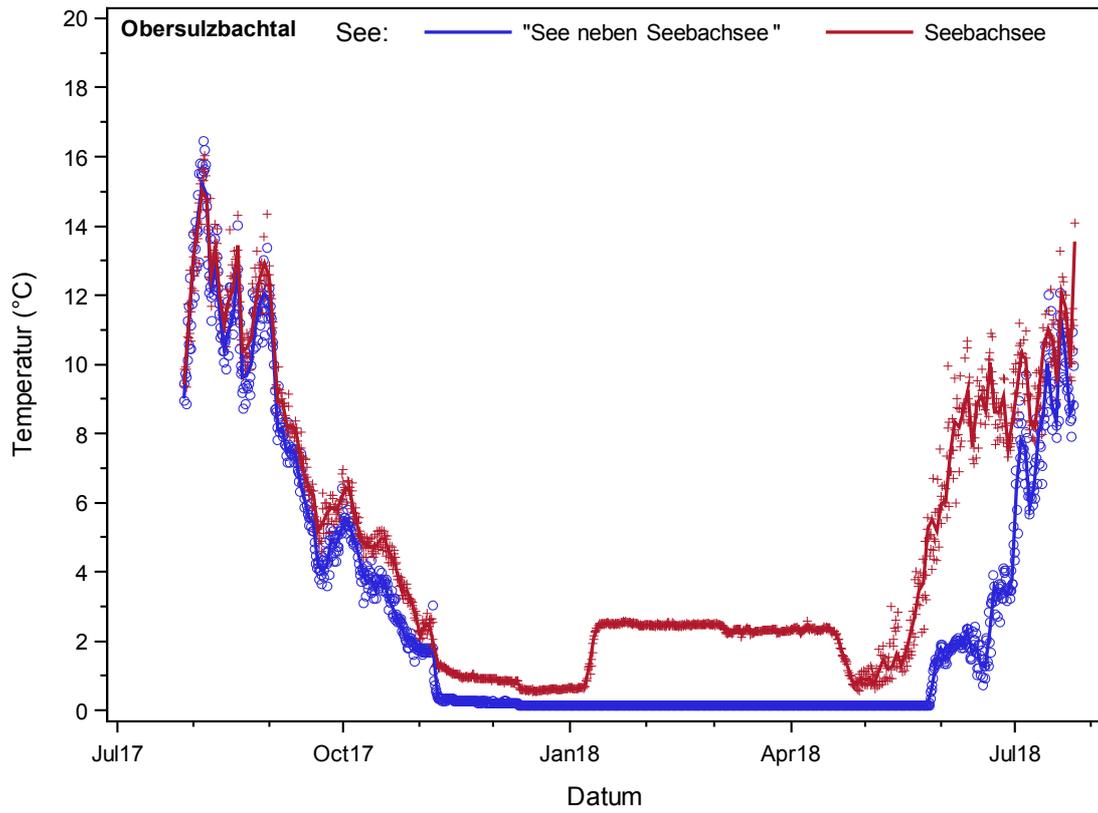


Abbildung 25: Wassertemperatur von Juli 2017 bis Juli 2018 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in den sechs Beprobungssystemen des Seebachtals. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen $<2^{\circ}\text{C}$ sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von 0°C zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.



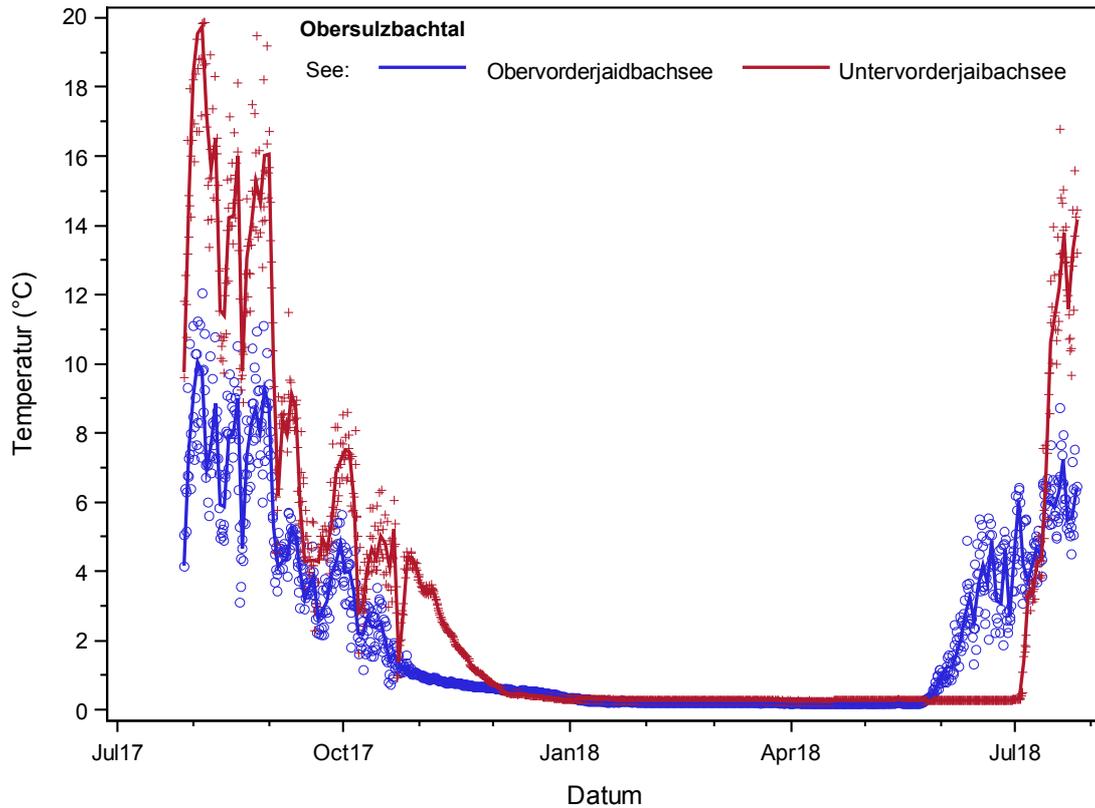
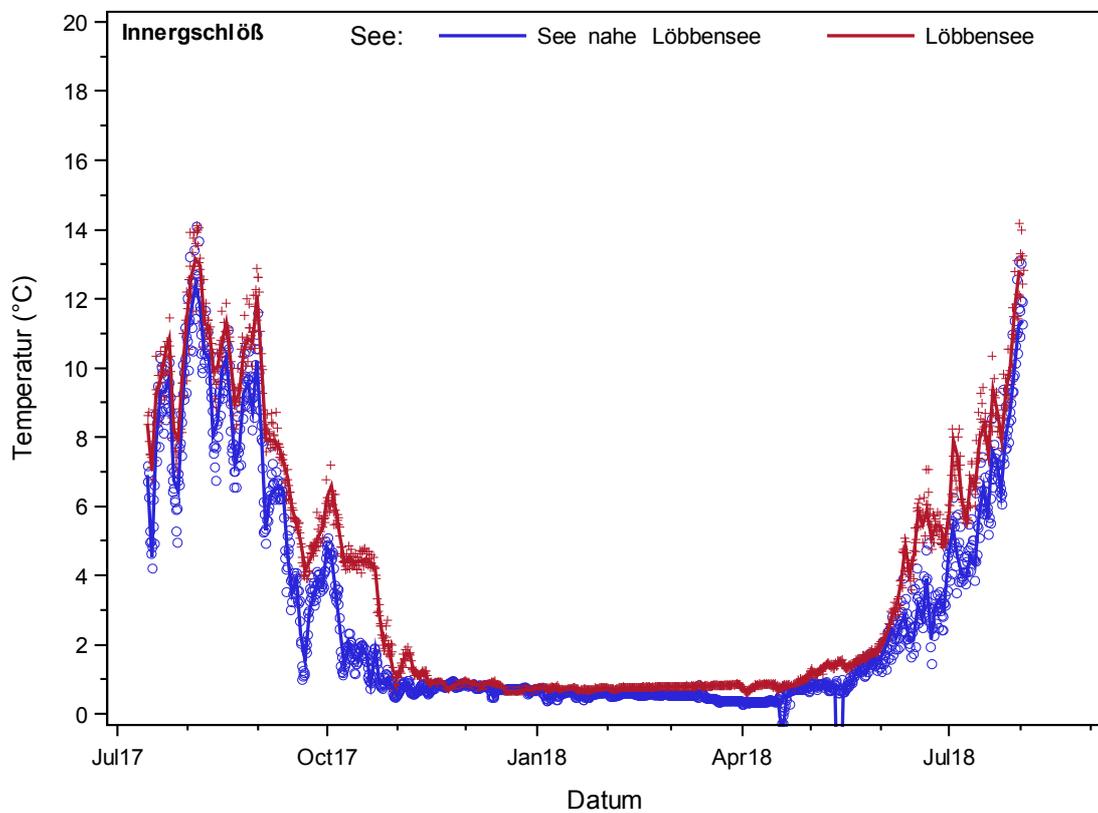
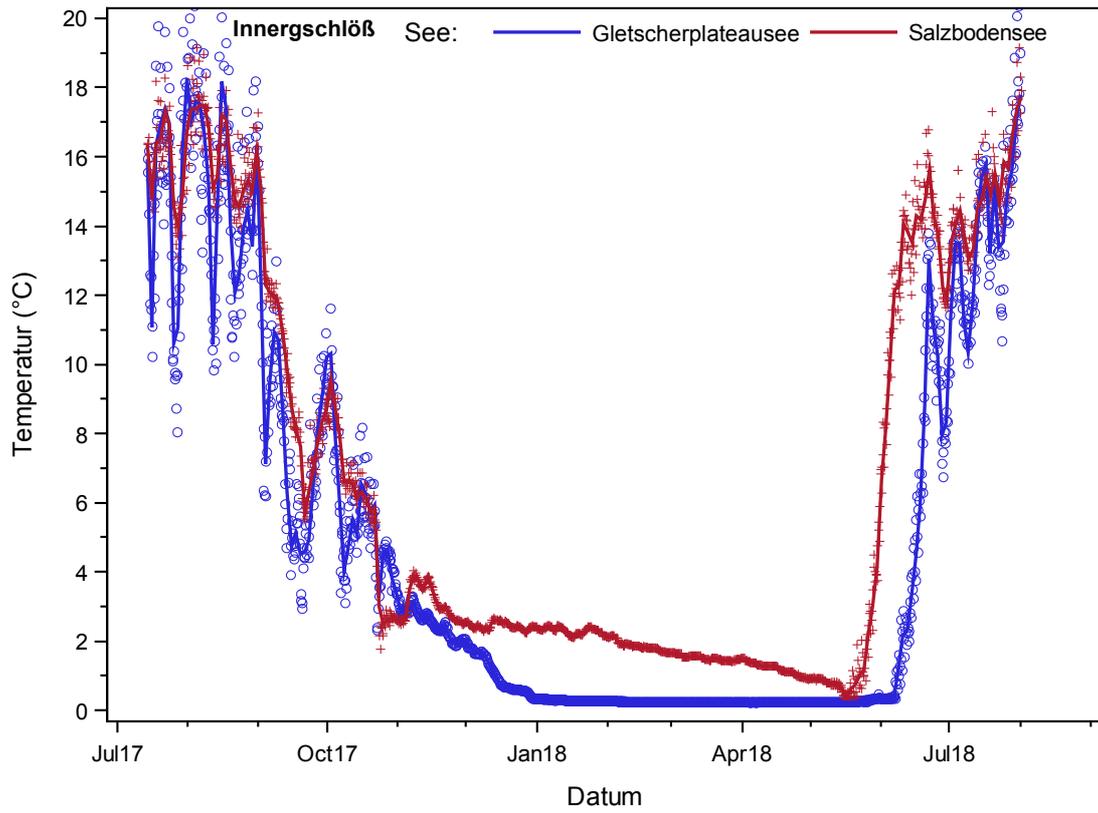


Abbildung 26:

Wassertemperatur von Juli 2017 bis Juli 2018 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in den fünf der sechs Beprobungssystemen des Obersulzbachtals. Für den Suzsee liegen keine Temperaturdaten vor, da beide Logger verloren gingen. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen $<2^{\circ}\text{C}$ sind Zeiger einer umgekehrten Schichtung und somit einer Eisschicht auf dem See. Temperaturen von 0°C zeigen, dass die Logger im See eingefroren waren.



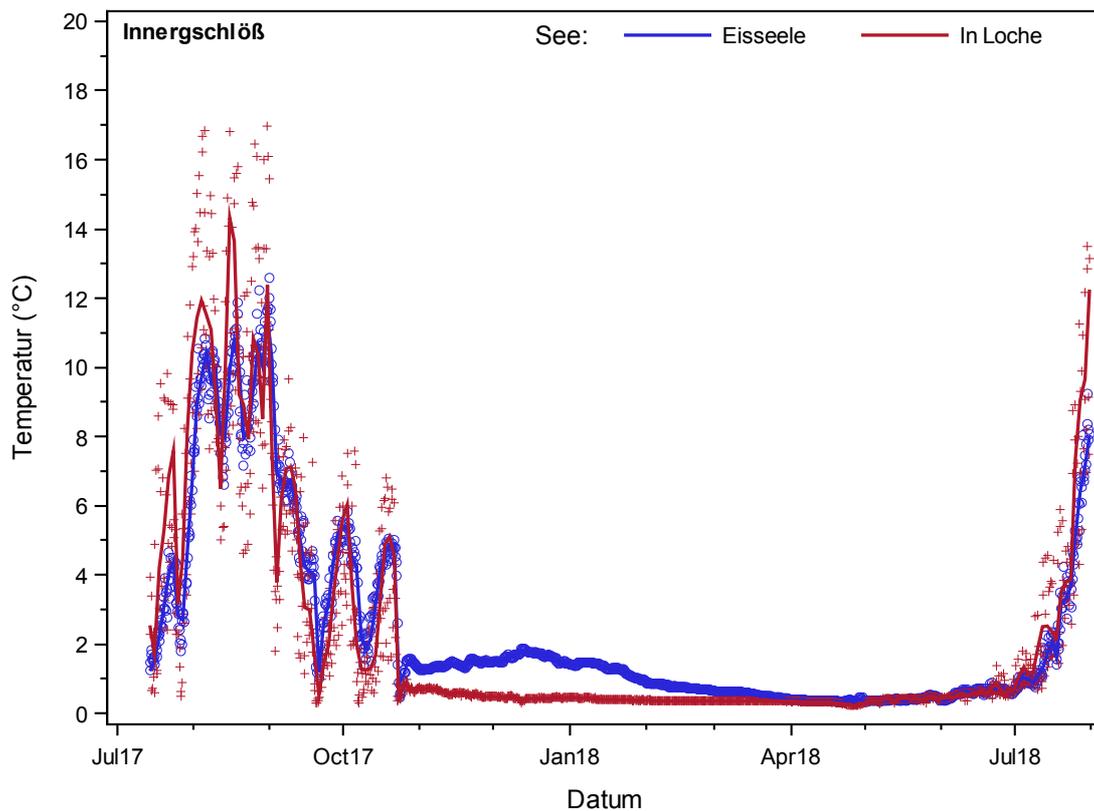


Abbildung 27: Wassertemperatur von Juli 2017 bis Juli 2018 (°C, in ca. 0,4 m Wassertiefe, kontinuierlich gemessen mit Temperatur-Dataloggern in 6-Stunden Intervallen) in den sechs Beprobungssystemen des Innerschlöß. Die Datenpunkte sind Mittelwerte der Aufzeichnungen von zwei Loggern pro See. Linien sind Loess-Fits (locally weighted scatterplot smoothing) der Daten. Temperaturen $<2^{\circ}\text{C}$ 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 des ersten Jahres 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 in jedem der Seen 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). Fast alle der Seen weisen eine Höchsttemperatur im Sommer von 15 bis 20°C auf, Ausnahmen bilden z.B. das Eisseele, der Obervorderjaidbachsee und der Kleine Tauernsee. Im Jahr 2017 wurden die Höchsttemperaturen erst nach der Beprobung erreicht, entsprechend ist zu erwarten, dass die 2018 während der Beprobung ausgelesenen Temperaturen noch nicht die annualen Maximalwerte anzeigen.

Die Temperaturamplitude und die Häufigkeit von signifikanten Temperaturschwankungen lassen Rückschlüsse auf die Schichtungsverhältnisse in den Seen zu. Es fällt auf, dass in den meisten Seen Temperaturunterschiede von 4-5 oder sogar noch mehr $^{\circ}\text{C}$ innerhalb weniger Tage auftreten (Gletscherplateau, Foisskarsee, Schneefeldsee), was impliziert, dass in den betreffenden Gewässern kein stabiler Aufbau distinkter Wasserschichten vorliegt, sondern die Schichtung sehr instabil ist. In einigen der Seen erfolgt nach dem Ende des Winters ein vergleichsweise gradueller Temperaturanstieg (z.B. Foisskarsee), in anderen hingegen erfolgt quasi ein Temperatursprung von 15°C oder mehr über Zeiträume von nur ca. 2 Wochen (z.B. Salzbodensee, Kleines Elend, Untervorderjaidbachsee, Gletscherplateau). Bei den kleinen, flachen Seen (z.B. Plattensee, Kleines Elend) sind diese starken Schwankungen wegen des geringen Wasservolumens wenig überraschend und zeigen, dass solch kleine Gewässer eindeutig Extremhabitate sind. Neu ist, dass die größeren Seen (z.B. Salzbodensee, Schneefeldsee) auch solche kurzfristigen Schwankungen zeigen, obgleich in gedämpfter Form.

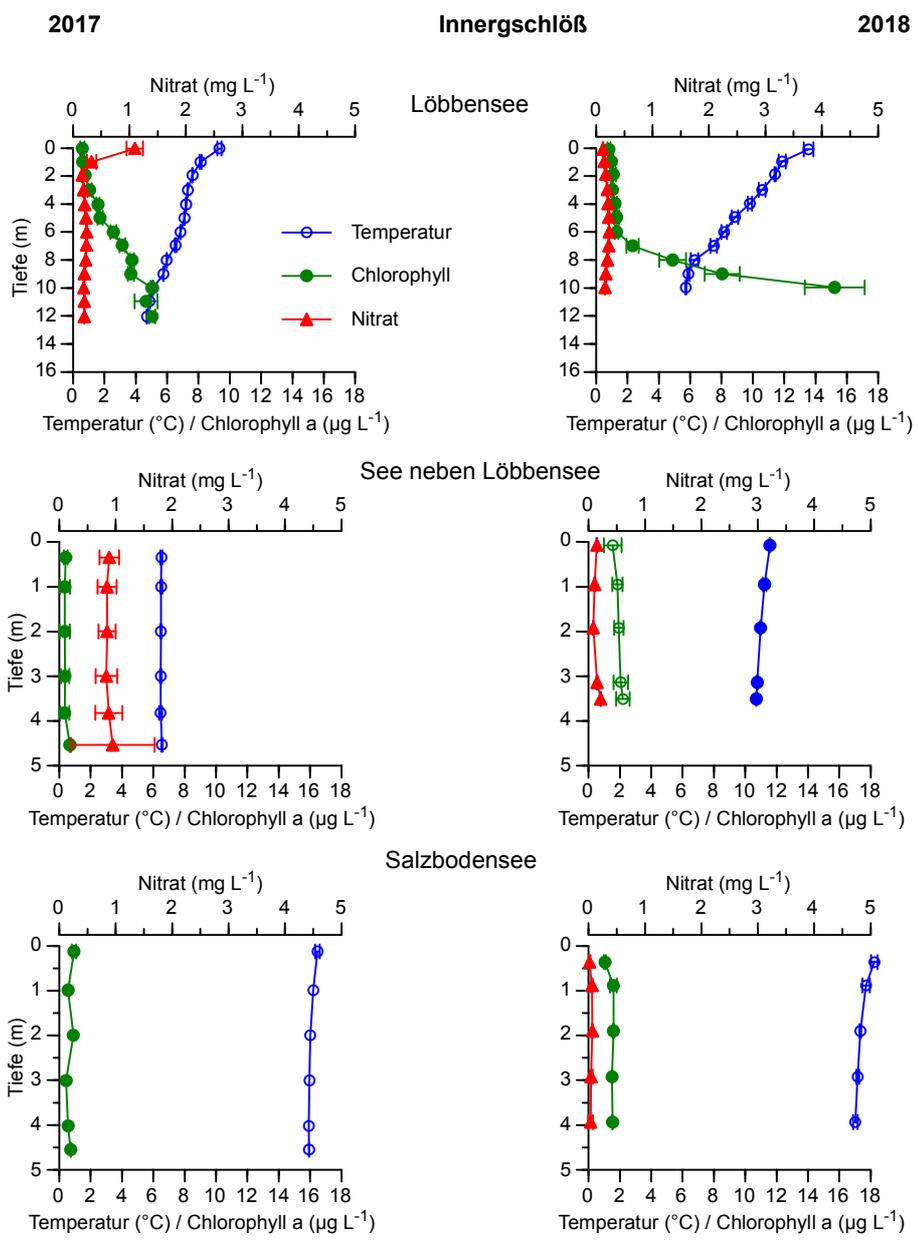


Weder der Beginn noch das Ende der Eisbedeckung der Seen lässt sich deutlich mit der maximalen Tiefe (also dem Gesamtvolumen) oder der Höhenlage in Verbindung bringen. Dies lässt sich am Beispiel des Schneefeldsees und des Plattensees gut illustrieren (Abb. 27). Die zwei Seen liegen auf fast derselben Höhe, nur ein paar hundert Meter von einander entfernt. Der Plattensee, mit einer maximalen Tiefe von 1,9 m, taut aber ca. 6 Wochen früher auf als der Schneefeldsee (maximale Tiefe 7,6 m) auf. Die Rolle des Mikroklimas ist aber z.B. auch im Kleinen Tauernsee und im Grüneckersee im Seebachtal klar zu sehen (Abb. 27). In beiden Gewässern ist zwischen November und Mai von den Temperaturwerten her klar auf eine Eisschicht zu schließen. Die beiden Seen liegen ca. 600 m voneinander entfernt, und befinden sich auf fast derselben Höhenlage. Der Grüneckersee ist deutlich größer und tiefer als der Kleine Tauernsee (Grüneckersee: ca. 3,2 ha, max. Tiefe 20 m; Kl. Tauernsee: ca. 0,75 ha, max. Tiefe 9 m) und es wäre zu erwarten, dass das größere Volumen des Grüneckersees ein späteres Einfrieren und Abtauen verursachen würde. Stattdessen frieren die beiden Seen Ende November fast gleichzeitig endgültig ein, und die eisfreie Zeit und der Temperaturanstieg fangen im größeren Grüneckersee ca. 6 Wochen früher an als im Kleinen Tauernsee.

Die hier punktuell herausgegriffenen Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Untersuchungssysteme eine große Dynamik ihrer abiotischen Parameter aufweisen und stark variierenden Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Inwieweit diese aber tatsächlich mit Klimawandelszenarien in Verbindung gebracht werden können, oder eher Ausdruck von individuellem Mikroklima sind (s. Diskussion), kann schlüssig erst nach einer mehrjährigen Datenaufnahme beantwortet werden.

Multisonden-Messungen während der Probenentnahme

Auf den folgenden Abbildungen (Abb. 28-30) sind die Tiefenprofile der mit der Multisonde aufgenommenen Daten für Nitrat (mg l^{-1}), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und Chlorophyll *a* Konzentration ($\mu\text{g l}^{-1}$) in jedem einzelnen der untersuchten Seen der drei Täler aufgeführt. Die Multisonde misst noch weitere Parameter (s.o.), wir beschränken uns hier jedoch auf die Präsentation der o.g. Parameter, da sie biologisch am relevantesten sind und miteinander in Verbindung gebracht werden können (Temperatur als „Antreiber“ physiologischer Prozesse, Nitrat als wichtiger Pflanzennährstoff, Chlorophyll *a* als Massenparameter für die autotrophe Biomasse). Die Messungen wurden in 1 m vertikalen Intervallen an der tiefsten Stelle des Sees durchgeführt, entsprechend gibt jeder Datenpunkt den über 1 m integrierten Mittelwert (+/- SD) wieder. Dies erklärt die teilweise recht hohen Standardabweichungen, insbesondere beim obersten Messwert für Stickstoff, der die sprunghaften Veränderungen mit ansteigender Wassertiefe verdeutlicht. Die y-Achse zeigt die maximale Tiefe des jeweiligen Sees an, wobei darauf geachtet wurde, dass der Sondenkopf das Seesediment nicht berührte. Für sehr flache Seen (z.B. In Loche, Kleines Elend, Föiðkarsee) liegen entsprechend nur wenige Datenpunkte vor, in den tieferen Seen (z.B. Löbbensee, Grüneckersee, Seebachsee) konnten ausgiebige Vertikalprofile aufgenommen werden. In einigen Fällen führte Wind dazu, dass das Boot, von dem aus die Messungen durchgeführt wurden, während der Datenaufnahme etwas verdriftet wurde. Der Eisseeele war während der Geländekampagne noch größtenteils zugefroren, die Messungen konnten daher nur an einer relativ flachen Stelle durchgeführt werden. Der Sulzsee hat eine maximale Tiefe von ca. 42 m, da das Kabel an der verwendeten Multisonde aber nur 15 m lang ist, konnten keine tieferen Wasserschichten gemessen werden. Zur Vergleichbarkeit der Daten sind x-Achsen (i.e. Werte für Nitrat, Temperatur und Chlorophyll *a*) identisch. Die Daten aus den beiden Untersuchungsjahren (2017 / 2018) sind jeweils gegenüber gestellt.



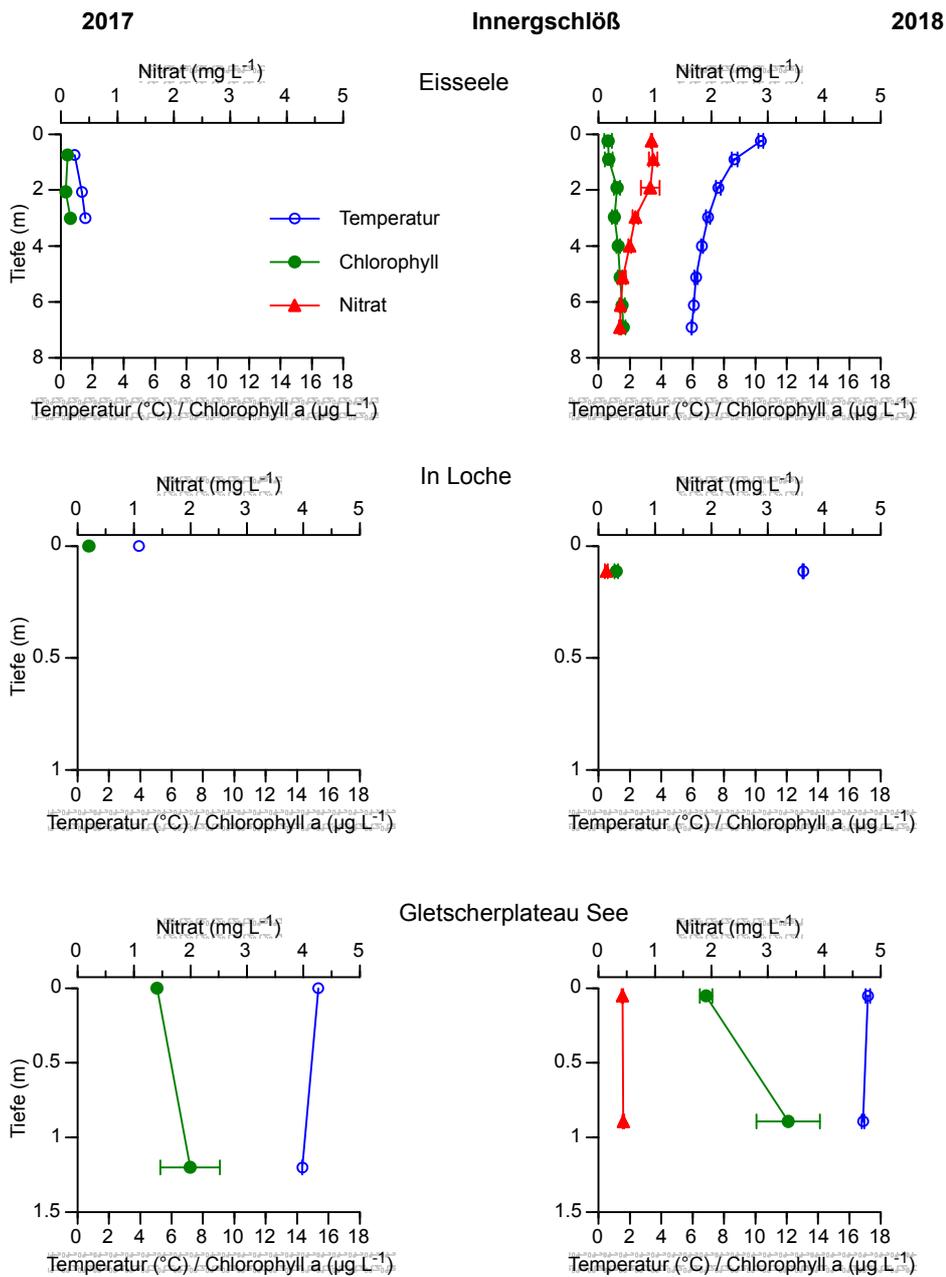


Abbildung 28:

Vertikalprofile von Nitrat (mg L⁻¹, rote Dreiecke), Temperatur (°C, blaue Kreise) und Chlorophyll a-Konzentration (µg L⁻¹, grüne Kreise) in der Wassersäule aller sechs beprobten Seen des Innertschlöß. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die x-Achsen weisen für alle Seen die selbe Skala auf. Die Ergebnisse der Messungen aus den beiden unterschiedlichen Jahren (2017, 2018, jeweils Juli / August) sind nebeneinander aufgeführt.

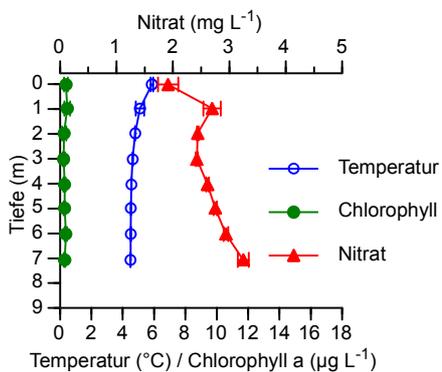




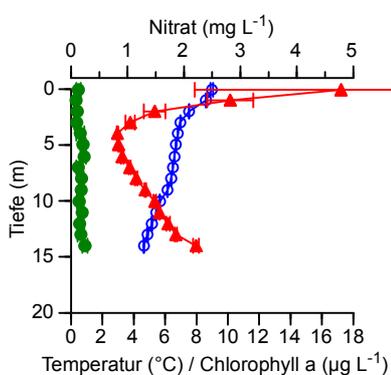
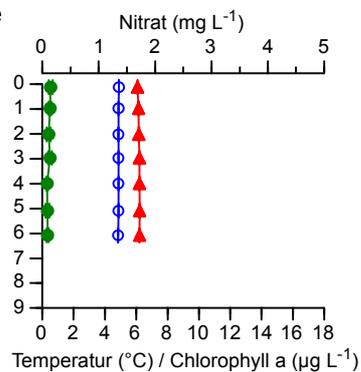
2017

Seebachtal

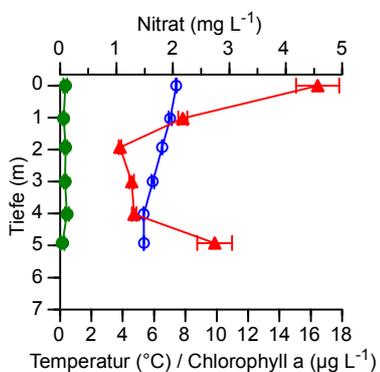
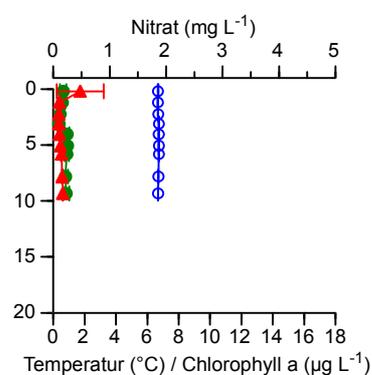
2018



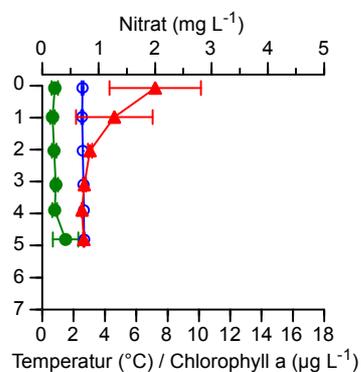
Kleiner Tauernsee



Grüneckersee



Schneefeldsee



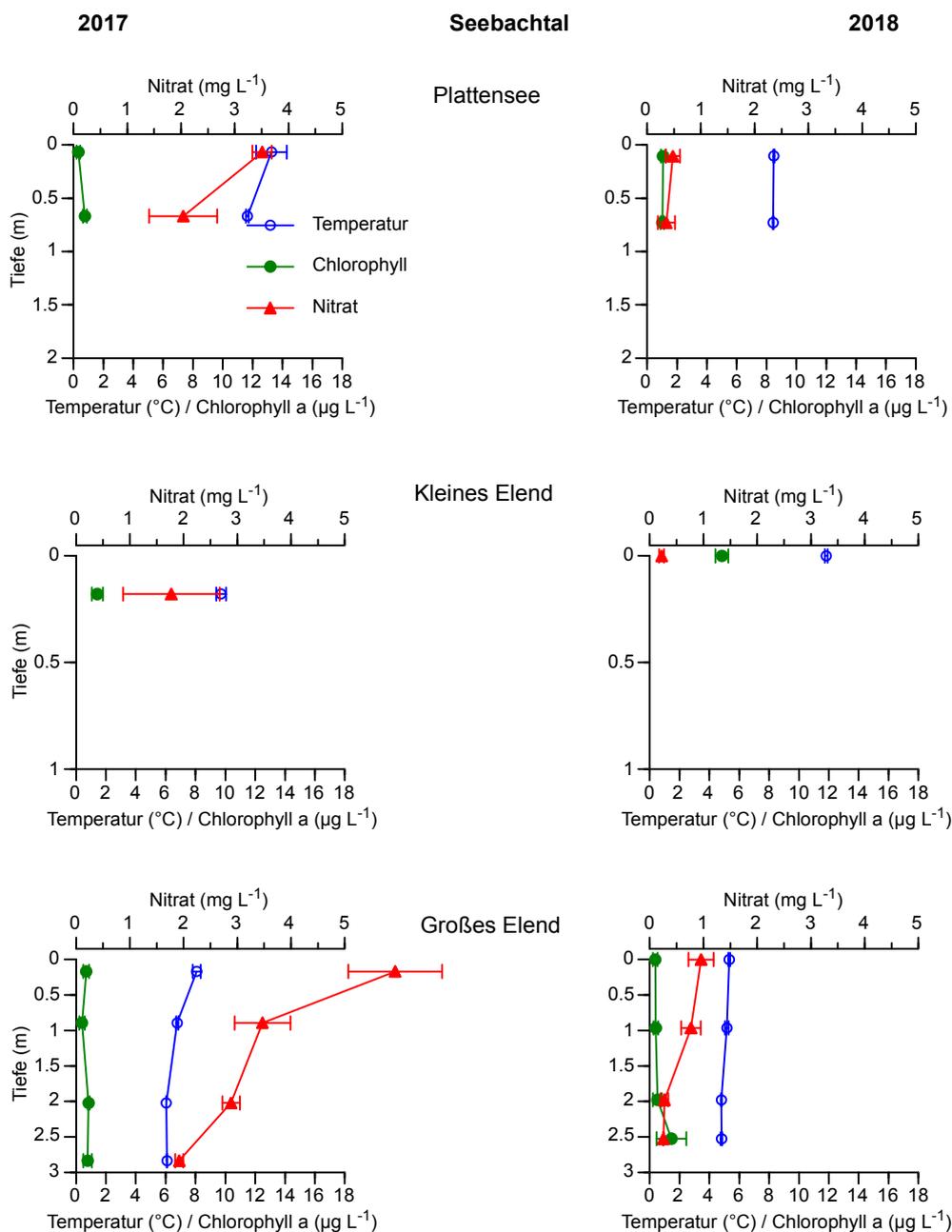
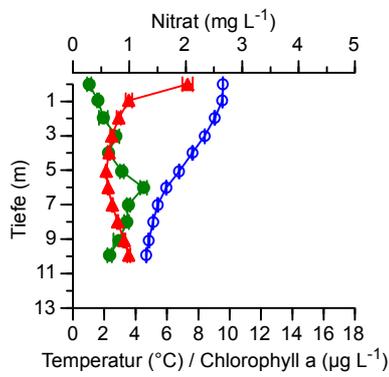
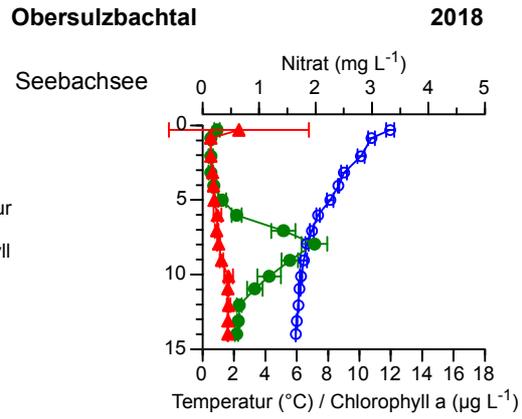
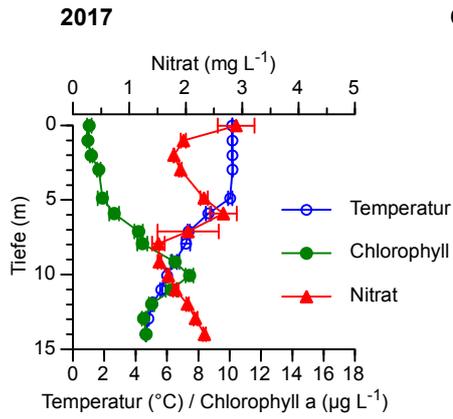


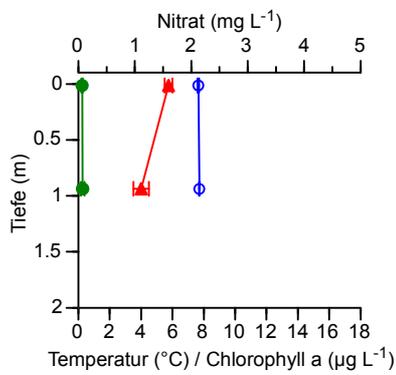
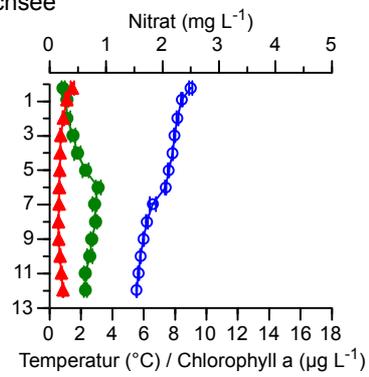
Abbildung 29:

Vertikalprofile von Nitrat (mg L⁻¹, rote Dreiecke), Temperatur (°C, blaue Kreise) und Chlorophyll a-Konzentration (µg L⁻¹, grüne Kreise) in der Wassersäule aller sechs beprobten Seen des Seebachtals. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die x-Achsen weisen für alle Seen die selbe Skala auf. Die Ergebnisse der Messungen aus den beiden unterschiedlichen Jahren (2017, 2018) sind nebeneinander aufgeführt.

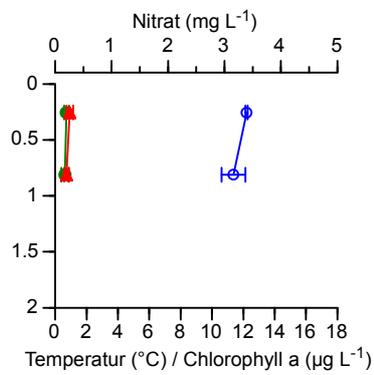




See neben Seebachsee



Foißkarsee



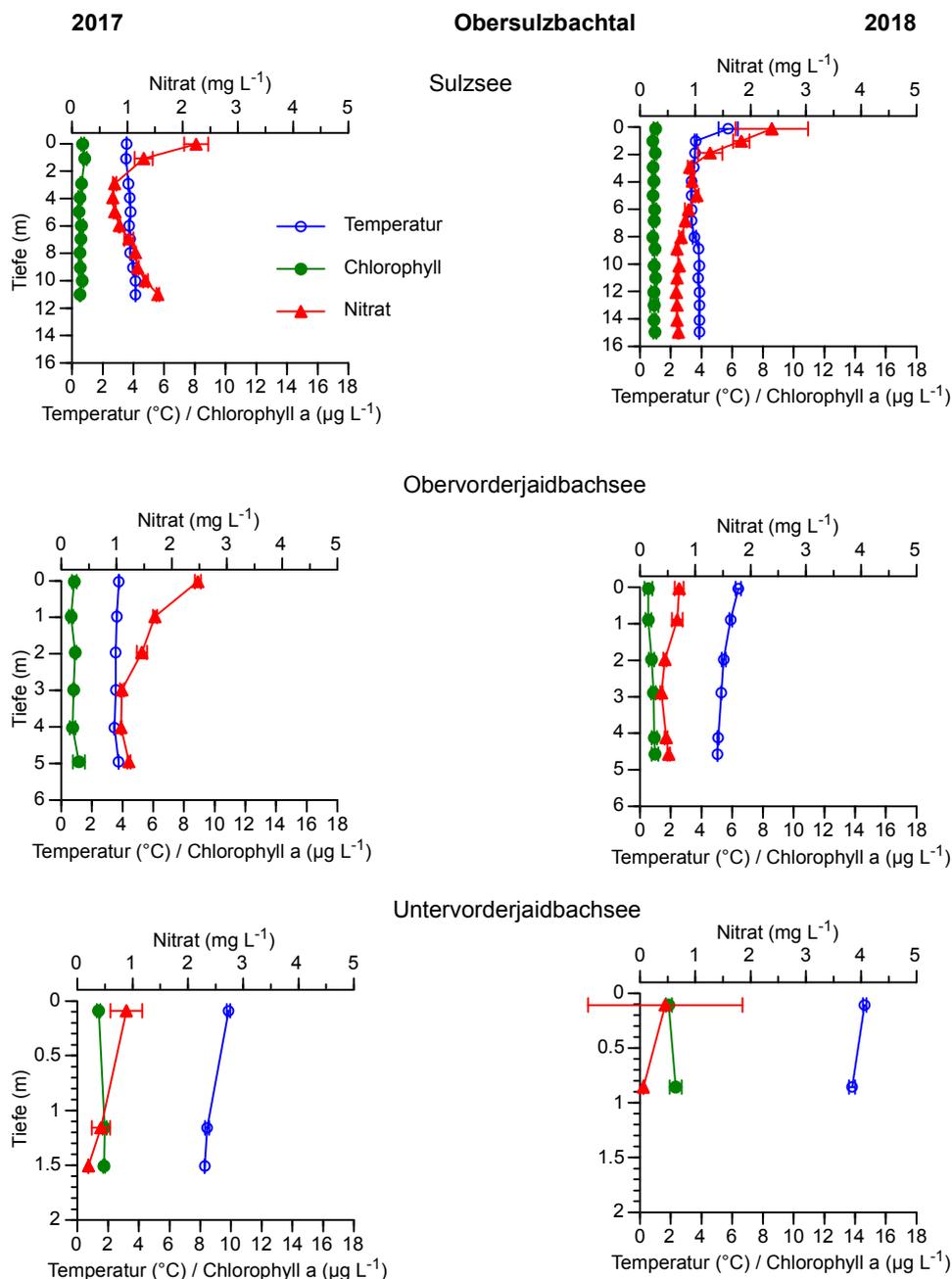


Abbildung 30:

Vertikalprofile von Nitrat (mg L^{-1} , rote Dreiecke), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$, blaue Kreise) und Chlorophyll a-Konzentration ($\mu\text{g L}^{-1}$, grüne Kreise) in der Wassersäule aller sechs beprobten Seen des Obersulzbachtals. Die y-Achse gibt die Gewässertiefe wieder. Die x-Achsen weisen für alle Seen die selbe Skala auf. Die Ergebnisse der Messungen aus den beiden unterschiedlichen Jahren (2017, 2018) sind nebeneinander aufgeführt.

Bereits jetzt zeigen die Daten, wie wertvoll solche Vertikalprofile für die Einordnung der beprobten Seen in das Gesamtkonzept der Studie sein können. Ferner verdeutlichen schon die groben Vergleiche der Werte aus nur zwei Jahren, dass die Daten sehr aussagekräftig für die Beschreibung von Klimaeffekten bzw. für Klimavorhersagen sein können. Die Vertikalprofile weisen sowohl interannuelle Unterschiede der einzelnen Seen als auch deutliche Unterschiede zwischen den Gewässern auf.





Hochalpine, schwer zugängliche Seen werden in der Literatur meist pauschal als (1) kalt und monomiktisch (nur eine Durchmischungsperiode der Wassersäule pro Jahr), als (2) Beispiele von aquatischen Lebensräumen mit sehr geringen Nährstoffkonzentrationen und (3) als Systeme mit sehr wenig Biomasse (z.B. gemessen über den Massenparameter Chlorophyll *a* als Maß für die photoautotrophe Biomasse) beschrieben. Während diese Einschätzung auf einige der beprobten Seen, zumindest in einem der Untersuchungsjahre, zutrifft (z.B. See neben Löbbensee, Großes Elend 2018, Obervorderjaidbachsee 2018) zeigen die Untersuchungen doch auch gravierende Abweichungen von dieser Erwartung. Die Wassertemperaturen vieler der beprobten Seen waren niedrig (deutlich unter 10°C), und gaben keine Hinweise auf eine thermische Schichtung. Doch gab es in einigen Seen klar erkennbare Abweichungen davon. So wurde z.B. im Salzbodensee in beiden Sommern eine Wassertemperatur von 17-18 °C gemessen, und im Löbbensee, im Seebachsee und im See neben Seebachsee zeigte sich eine klare Schichtung der Wassersäule, mit einem wärmeren Epilimnion, einer definierten Sprungschicht (auf ca. 5 bis 8 m Wassertiefe) sowie ein kälteres Hypolimnion. Darüber hinaus verzeichnen die durchschnittlichen Wassertemperaturen in einigen Seen einen Anstieg im Vergleich der Jahre 2017 und 2018 (z.B. See neben Löbbensee, Ober- und Untervorderjaidbachsee).

Besonderheiten weisen auch die Nährstoffkonzentrationen einiger der Untersuchungssysteme auf. Während in manchen Seen die Nitratkonzentrationen tatsächlich sehr niedrig ($< 1 \mu\text{g l}^{-1}$) und stabil über die Wassersäule sind (z.B. See neben Löbbensee, , See neben Seebachsee 2018), weisen andere Gewässer deutlich höhere Mengen ($> 1 - 5 \mu\text{g l}^{-1}$) und vertikale Konzentrationsunterschiede, insbesondere stark erhöhte Konzentrationen an der Wasseroberfläche auf (z.B. Löbbensee, Grüneckersee, Schneefeldsee, Sulzsee und Großes Elend 2018). Die großen Fehlerbalken der Nitratkonzentrationen in den ersten Metern sind konsistent mit einem atmosphärischen Stickstoffeintrag: die gezeigten Werte wurden pro Meter gemittelt und in den ersten Metern unter der Oberfläche zeigte die Nitratkonzentration eine stark abnehmende Tendenz.

Ferner zeigten etliche der Seen (Löbbensee, Gletscherplateausee, Seebachsee, See neben Seebachsee) unerwartet hohe Chlorophyll *a*-Werte auf, insbesondere in Form eines sog. „Tiefenchlorophyll-Maximums“, also deutlich erhöhte Chlorophyll-Konzentrationen mehrere Meter unterhalb der Wasseroberfläche. Es werden dabei Werte bis zu einer Konzentration von ca. 5 oder sogar deutlich über 10 mg l^{-1} erreicht, Werte, die man eher in Seen niedriger Höhenlagen und gemäßigerer Klimazonen findet.

c. Zooplankton der Wassersäule

Die Ergebnisse der Quantifizierungen und taxonomischen Einordnungen des Zooplanktons in allen beprobten Seen illustriert die Abbildung 31. Da erst Daten von zwei Untersuchungsjahren zur Verfügung stehen, was interannuelle Analysen über die Beschreibung von Trends hinaus nicht wirklich zulässt, wurden die Daten der beiden Probenentnahmen 2017 und 2018 zusammengefasst. 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 mit abgebildet. 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 mit berücksichtigt, 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).

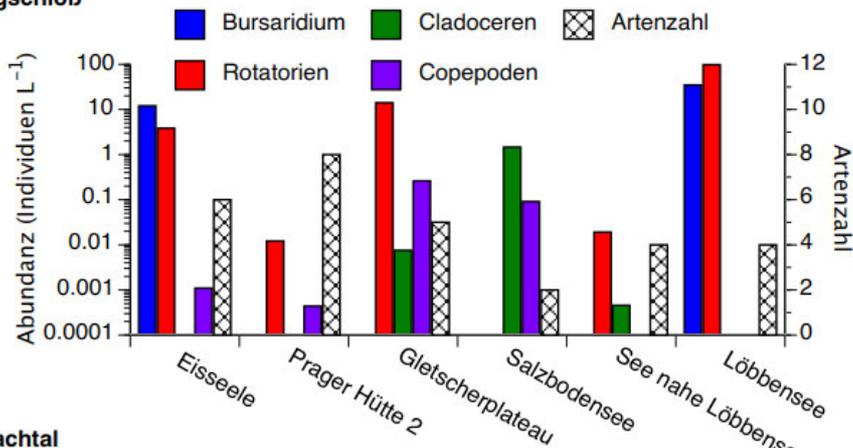
In jedem der Untersuchungssysteme fanden sich heterotrophe Planktonorganismen, diese konnten den Großgruppen Crustaceen (Cladoceren und/oder Copepoden), Rotatorien und Ciliaten (*Bursaridium*) zugeordnet werden. Große Unterschiede zeigten sich im Hinblick auf die absoluten Abundanzen der einzelnen Gruppen (angegeben in Individuen l^{-1}) sowie die Menge der vorhandenen Arten („Artenanzahl“). Erste Ergebnisse für detailliertere taxonomische Einordnungen (bis zum Artniveau) liegen bereits vor, müssen aber noch durch die molekularen Ansätze verifiziert werden, und sind daher diesem Bericht noch nicht als Tabelle beigefügt. Es wurden sehr große räumliche und zeitliche Unterschiede festgestellt, die hier aber nicht im Detail abgebildet sind. Die präsentierten Werte für die Artenanzahl (Abb. 31) sowie die errechneten Diversitätsindices (Abb. 32) beziehen sich allerdings auf die tatsächlich ermittelte Anzahl der unterschiedlichen Arten (und nicht lediglich der o.g. „Großgruppen“).

Auf den ersten Blick fällt auf, dass sich die Zooplanktongemeinschaften der einzelnen Seen klar voneinander unterscheiden, und dass nicht in allen Seen das komplette Spektrum gefunden wurde (s. Abb. 31). Alle vier Großgruppen waren nur in zwei der Seen vertreten (Plattensee und See neben Seebachsee), Rotatorien kamen in fast allen Seen vor (Ausnahmen: Salzbodensee, Großes Elend und Untervorderjaidbachsee), in nur fünf der Seen (Eisseee, Löbbensee, Plattensee, See neben Seebachsee und Untervorderjaidbachsee) konnte der Ciliat *Bursaridium* nachgewiesen werden.

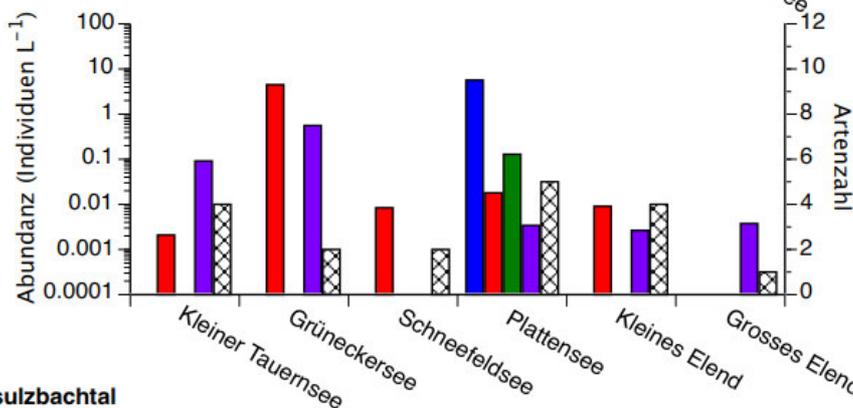


Der Ciliat tauchte erst im Jahr 2018 auf (nicht aus den Abbildungen ersichtlich), dann allerdings gleich in recht hohen Abundanzen. Über die Gründe hierfür lassen sich derzeit keine seriösen Nachweise liefern. Nur die Hälfte der Seen (Gletscherplateau, Salzbodensee, See nahe Löbensee, Plattensee, See neben Seebachsee, Seebachsee, Foisskarsee, Untervorderjaidbachsee) beherbergte Cladoceren, wohingegen Copepoden in zwei Drittel der Seen vorhanden waren (fehlend in See neben Löbensee, Löbensee, Schneefeldsee, Sulzsee, Obervorderjaidbachsee, Untervorderjaidbachsee). Cladoceren und Copepoden gemeinsam wurden in sechs der Seen gefunden (Gletscherplateau, Salzbodensee, Plattensee, See neben Seebachsee, Seebachsee, Foisskarsee). Auch die Anzahl der gefundenen Arten pro See unterschied sich sehr stark. In Extremfällen bestand die gesamte Zooplanktongemeinschaft nur aus einer Art (z.B. Großes Elend), am anderen Ende des Spektrums gab es Gewässer, in denen - aufgeteilt auf drei oder vier der Großgruppen - 11 unterschiedliche Arten präsent waren (See neben Seebachsee).

Innerschlöß



Seebachtal



Obersulzbachtal

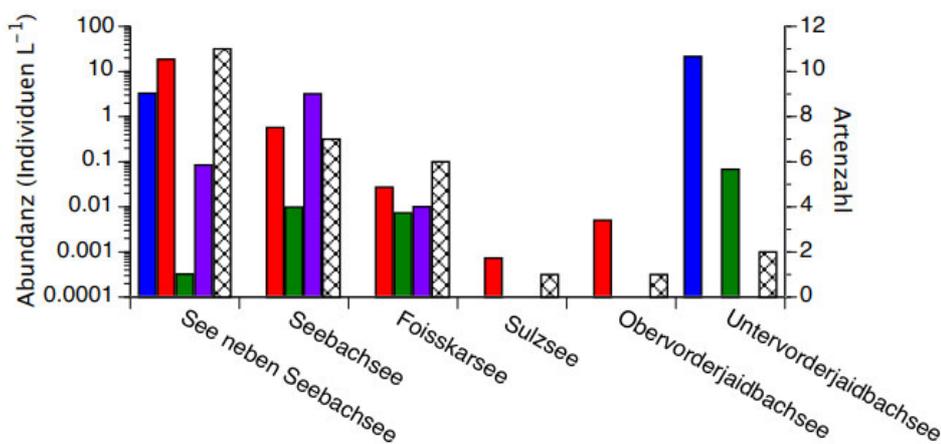


Abbildung 31: Abundanzen (log Individuen l⁻¹) und Artenanzahl der Zooplanktongemeinschaft der 18 beprobten Seen im Innerschlöß, Seebachtal und Obersulzbachtal. Die Zahlen geben die Mittelwerte aus den beiden



Untersuchungsjahren (2017/2018) wider. Die Standardabweichungen wurden nicht mit aufgeführt. x-Achsenkategorie: Name des Sees. Symbolerklärung: blaue Balken: Ciliat Bursaridium, rot: Rotatorien, grün: Cladoceren, violett: Copepoden. Die Artenanzahl (schraffierte Balken) bezieht sich auf die zweite y-Achse.

Insgesamt, also über alle 18 beprobten Seen, konnten in den beiden Untersuchungsjahren 32 unterschiedliche Arten innerhalb der o.g. Großgruppen identifiziert werden (Gamma-Diversität). Für Abb. 32 wurden aus diesen Werten der Shannon-Wiener-Index für jeden einzelnen See errechnet, der ein Maß für die Gleichverteilung der einzelnen Arten innerhalb eines Sees angibt (lokale/Alpha-Diversität). Darüber hinaus wurde auch die Beta-Diversität nach Whittaker (1960) errechnet, also wie unterschiedlich die Seen bezüglich der Artenzusammensetzung sind.

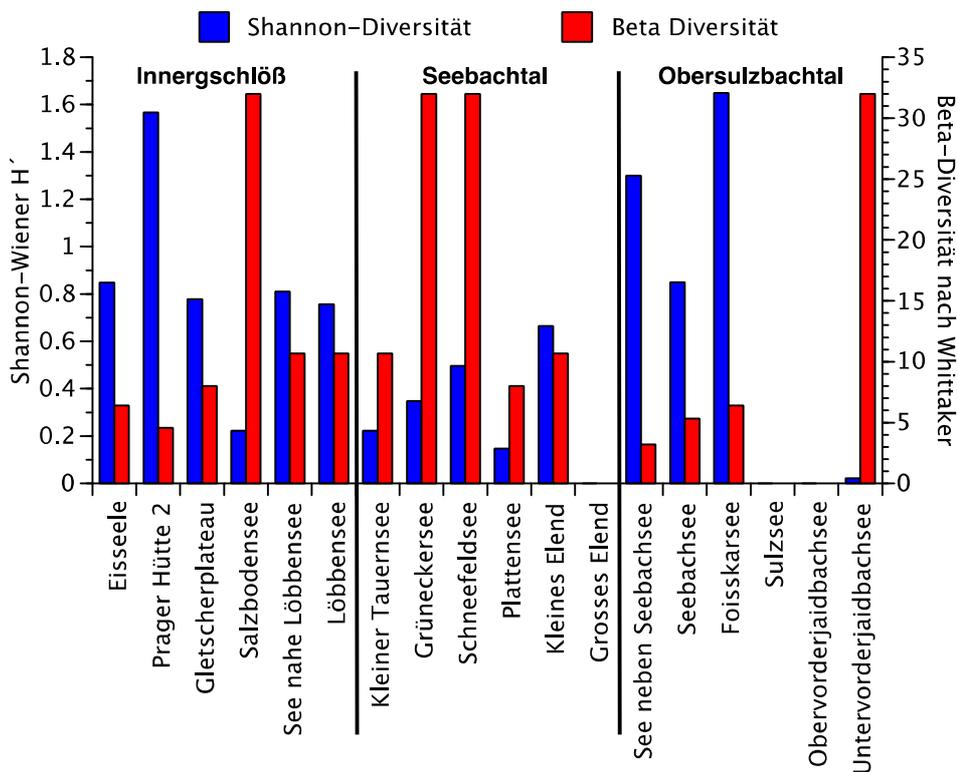


Abbildung 32:

Shannon-Wiener Diversität und Beta-Diversität der Zooplanktongemeinschaft aller 18 beprobten Seen im Innergschlöß, Seebachtal und Obersulzbachtal. Die Werte stellen den Mittelwert der Daten aus den beiden Untersuchungsjahren (2017/2018) dar. Auf der x-Achse sind die einzelnen Seen als Kategorien aufgeführt, Shannon-Wiener Diversität bezieht sich auf die linke y-Achse (blaue Balken), Beta-Diversität auf die rechte (rote Balken).

Die Daten zeigen, dass es große Unterschiede zwischen den Seen gibt, und dass es wichtig ist, die unterschiedlichen Indizes zu errechnen. Die absolute Artenzahl, die in einem See gefunden wurde, sagt wenig über die tatsächliche ökologische Vielfalt der Gemeinschaft aus. So kann eine hohe Artenzahl in einer Gemeinschaft auftreten, die stark von wenigen Arten dominiert wird und nur Vertreter weniger Großgruppen beinhaltet (z.B. In Loche), umgekehrt weist z.B. der Plattensee eine mittelhohe Artenanzahl, eine sehr niedrige Shannon-Diversität aber Vertreter aller gefundenen taxonomischen Großgruppen auf.

Einen noch besseren Eindruck von den Unterschieden bzw. der Ähnlichkeit der Zooplanktongemeinschaften unterschiedlicher Seen kann man über eine sog. „jaccard heat map“ vermitteln. Der Jaccard Index gibt die Proportion der Arten an, die in zwei Seen zu finden sind, geht also über unspezifische Anzahlen von Arten oder allgemeine Diversitäts-Indizes hinaus. Abb. 33 zeigt, dass sich die Seen sehr stark in ihrer Artenzusammensetzung unterscheiden.

Extreme Beispiele von diesem Phänomen liefern der Kleine Tauernsee und der Grüneckersee, die räumlich sehr nah zueinander liegen, aber keine gemeinsamen Arten aufweisen. Auch sonst weisen viele der miteinander verglichenen Seen keine oder nur sehr geringe Gemeinsamkeiten auf. Die Ergebnisse bestärken das Bild, das bereits durch die Errechnung der Beta-Diversität gewonnen wurde, allerdings können über den Jaccard Index jeweils Paare von Seen direkt miteinander verglichen werden.

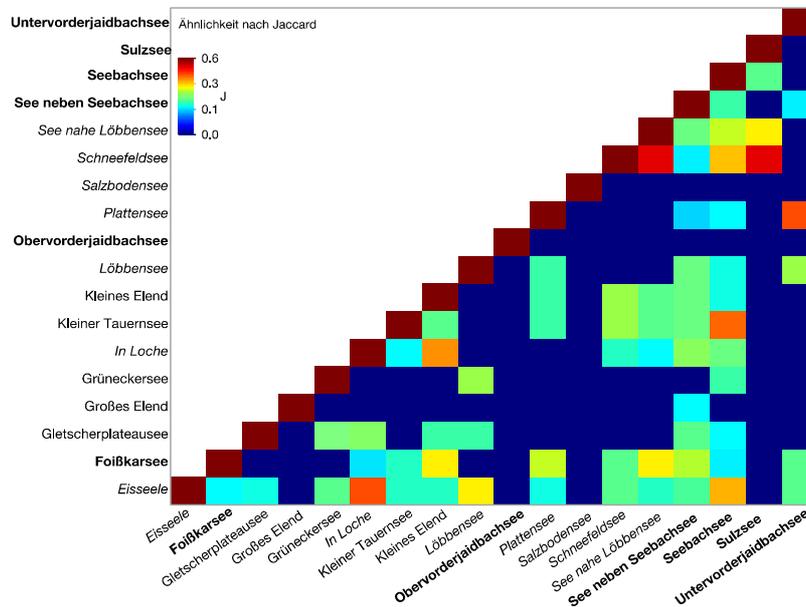


Abbildung 33:

Jaccard Index zur Verdeutlichung der Ähnlichkeit bzw. der Unterschiede in der Artenzusammensetzung des Zooplanktons der beprobten Seen. Alle Seen sind sowohl auf der x- als auch auf der y-Achse aufgeführt und werden paarweise miteinander verglichen. Die Namen der Seen des Innergschlöß sind kursiv geschrieben, die des Obersulzbachtals im Fettdruck, die des Seebachtals in normaler Formatierung. Die Diagonale der roten Quadrate impliziert 100% gemeinsame Arten (See wir mit sich selber verglichen), 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.

Die Ergebnisse der e-DNA Analysen, die ein Bild der gesamten taxonomischen Vielfalt im Pelagial der Seen vermitteln werden, liegen noch nicht vor.

d. Organismen (-spuren) im Sediment

Die Analysen der Sedimentproben, die 2018 genommen wurden, um Hinweise auf die Zusammensetzung der Gemeinschaft in der Vergangenheit zu bekommen, sind noch nicht abgeschlossen.

Interpretation und Diskussion

a. Eignung der ausgewählten Probenstellen als Dauerbeobachtungsflächen

Wie oben bereits erläutert besteht kein Zweifel daran, dass sich die im Jahr 2017 ausgewählten Seen hervorragend als Dauerbeobachtungsflächen eignen. Durch ihre Lage entlang von Höhengradienten sind sie unterschiedlichen Temperaturregimen ausgesetzt, und repräsentieren damit Beispielsysteme entlang eines Temperaturgradienten (s. auch



Tab. 1a und 1b). Dies wiederum erlaubt es, die jeweils ermittelten Daten im Kontext des Klimawandels zu interpretieren. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich bereits über die nächste Dekade die Temperaturbedingungen an den ausgewählten Standorten weiter verändern. Eine kontinuierliche Datenaufnahme wird es ermöglichen, direkte Klimaeinflüsse zu messen.

Darüber hinaus stellen die beprobten Systeme sowohl innerhalb jedes Tals als auch im Vergleich der drei Täler zueinander eine sehr realistische Bandbreite von hochalpinen Seen dar. Sie sind unterschiedlich groß, unterschiedlich tief, unterschiedlich stark von anthropogenen Einflüssen betroffen etc., und bilden dadurch natürliche Lebensräume für eine große Vielfalt von unterschiedlichen Organismengemeinschaften. In Summe repräsentieren sie damit quasi „durchschnittliche Ökosysteme“, deren Veränderungen als beispielhaft für durch den Klimawandel hervorgerufene Effekte betrachtet und so auch für Klimawandelprognosen hergenommen werden können.

Das NPHT-Langzeit-Monitoring-Programm setzt sich zwar aus insgesamt acht separaten Modulen zusammen, ein entscheidendes Ziel der Untersuchungen ist es aber, die Ergebnisse nicht voneinander losgelöst sondern im Kontext des Gesamtökosystems zu betrachten, zu analysieren und entsprechend zu interpretieren. Durch die Lage der Mehrzahl der beprobten Seen in unmittelbarer Nähe zu den in den anderen Modulen berücksichtigten Dauerbeobachtungsflächen ist eine umfassende Synthese der Datensätze möglich und kann zu Aussagen über das Gesamtökosystem führen.

b. Eignung der angewandten Methoden

Während im ersten Beprobungsjahr die angewandten Methoden noch mit einigen Fragezeichen versehen waren, konnte bereits im Jahr 2018 konstatiert werden, dass die gewählten Methoden dauerhaft praktikabel sind und zu den gewünschten Beobachtungen bzw. Ergebnissen führen. Fraglich war vor Beginn der Studie z.B., ob die ausgewählten Untersuchungssysteme die erforderlichen Kriterien erfüllen, ob sie für das Forscher/innen-Team erreichbar waren und alles notwendige Equipment ohne technische Hilfsmittel dort hin transportiert werden konnte. Alle Punkte konnten klar die Anforderungen erfüllen. Auch der Einsatz der Mess- und Probenentnahmegерäte funktionierte einwandfrei und lieferte die erwarteten Daten, ebenso stellte die Beprobung (sowie vom Boot aus als auch vom Ufer) keinerlei Probleme dar. Unsicherheit herrschte dabei, ob die Langzeit-Temperaturlogger solide in den Systemen verankert werden konnten, ob sie verlässliche Daten lieferten und nach ca. 12 Monaten auch wieder auffindbar waren. Auch dies kann bejaht werden, der Verlust von nur vier von insgesamt 36 ausgebrachten Loggern (s.o.) kann dabei vernachlässigt werden.

c. Eignung der ermittelten Ergebnisse für die Ziele des Projektes

Ungeachtet der konkreten wissenschaftlichen Ergebnisse ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass die im Projektantrag formulierten Fragestellungen sich als relevant herausstellten und die ermittelten Ergebnisse dazu herangezogen werden können, Fragen zu den (ökologischen) Auswirkungen des Klimawandels beantworten zu können (s. auch Präambel zum Endbericht sowie Projektbeschreibung). Mit den Daten aus den ersten beiden Untersuchungsjahren können zwar seriös „nur“ Trends aufgezeigt werden, diese zeigen aber bereits deutlich, dass es große Unterschiede zwischen den Gemeinschaften der untersuchten Seen gibt, dass sich diese - zumindest teilweise - mit ebenfalls gemessenen abiotischen und biotischen Parametern in Verbindung bringen lassen und die Organismen Reaktionen auf die unterschiedlichen Umweltbedingungen zeigen, und dass es bereits jetzt Jahr-zu-Jahr Unterschiede gibt, über die man Langzeitprognosen zumindest als Trends formulieren kann. Dies impliziert, dass sich die ermittelten Ergebnisse für die Ziele des Projektes klar eignen und eine Fortsetzung des Programms für einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren sowie eine (zeitlich) lückenlose Datenaufnahme nachdrücklich empfohlen werden kann (s. auch „Ausblick“).

d. Analyse der ermittelten Daten, Vergleich der Aufnahmen von 2017 und 2018

Ziel der hier beschriebenen Studie ist es, anhand von räumlichen (See-zu-See / Tal-zu-Tal) Unterschieden bzw. zeitlichen Veränderungen der Zooplanktongemeinschaft Rückschlüsse auf mögliche Klimawandeleffekte bzw. noch weiter gefaßt auf Effekte des „Global Change“ zu ziehen und so die Zooplanktongemeinschaften als Zeiger für mögliche Klimawandelszenarien zu nutzen. Dafür ist es notwendig, nicht nur Daten zu den Organismen selbst zu erheben



(Abundanzen, Artenspektrum, Diversität etc.), sondern sämtliche Umweltbedingungen, denen die Lebensgemeinschaften ausgesetzt sind, mit in die Analyse einzubeziehen. Dies betrifft sowohl die abiotischen Parameter in den Seen selbst (z.B. Temperatur, Nährstoffkonzentration, etc.) also auch die vom umgebenden (Öko-) System ausgehenden Faktoren (Höhenlage, Beschattung, Verbindung der Seen untereinander etc.) sowie mögliche anthropogene Einflüsse, wie z.B. Fischbesatz (z.B. Seebachsee, Salzbodensee), Beweidung der Uferbereiche (z.B. See neben Löbbensee, Seebachsee, Obervorderjaidbachsee), Belastungen durch Tourismus (insbesondere der Salzbodensee) etc..

Die bisher ermittelten Daten lassen erkennen, dass wir es mit sehr komplexen Systemen zu tun haben und Systemveränderungen nicht pauschal auf einen Faktor bezogen werden können. Stattdessen wird die Diversität offenbar von einer ganzen Reihe von Effekten „getrieben“. Zwar ist durchaus ein Trend zu erkennen, der auf Effekte des Klimawandels schließen lässt (z.B. die instabile thermische Schichtung in vielen der Seen), aber auch andere Faktoren können identifiziert werden. Die absoluten Unterschiede in der Höhenlage der Seen oder ihrer Größe reichen z.B. nicht aus, um Unterschiede zu erklären. Stattdessen ist deutlich erkennbar, dass einzelne Seen spezifischen mikroklimatischen Bedingungen (z.B. durch Hanglage, Beschattung, etc. – siehe z.B. die Temperaturentwicklung im Seebachsee und im See neben Seebachsee, Abb. 27) ausgesetzt sind, die für große Unterschiede in Seen sorgen, in denen eigentlich sehr ähnliche abiotische Bedingungen und Zooplanktongemeinschaften erwartet wurden.

Eine (unerwartet) große Rolle scheinen auch anthropogene Einflüsse zu spielen (s.o.). Dies war für einen Nationalpark und die Lage der Untersuchungssysteme in sogenannten Wildnisgebieten bzw. in der Kernzone überraschend. Viele der Seen werden in den Sommerwochen regelmäßig von Wanderern besucht, die am und im Wasser ihre Spuren hinterlassen. Aber auch landwirtschaftliche Einflüsse werden deutlich. Einige der Seen sind tatsächlich fast unberührt, aber an anderen (See neben Löbbensee, Seebachsee, Obervorderjaidbachsee) wurden weidende Schaf- und Rinderherden bis an das Seeufer heran während der Geländekampagne beobachtet. Dies könnte die teilweise sehr hohen Stickstoffwerte im Wasser, insbesondere an der Wasseroberfläche erklären. Erhöhte Nährstoffkonzentrationen wiederum führen zu stärkerem Wachstum der Planktonorganismen, z.B. der Algen. Die distinkten Tiefen-Chlorophyll-Maxima z.B. im Löbbensee und im Seebachsee sind eine direkte Folge dieses Phänomens. Und auch atmosphärischer Stickstoffeintrag kann nicht ausgeschlossen werden.

Eine weitere Folge der mangelnden „Unberührtheit“ der hochalpinen Seen ist die Tatsache, dass Fische in viele der Seen (z.B. Seebachsee, Sulzsee) durch menschlichen Besatz (teilweise mit dem Ziel der Fischerei, teilweise auch einfach nur aus Unwissenheit und falsch verstandenem Artenschutz) gelangt sind. Pelagische Fische sind visuelle Räuber, die durch ihre Präferenz für gut sichtbares, langsam schwimmendes Zooplankton einen selektiven Einfluss auf die Zooplanktongemeinschaft haben. Auch dies ist in einigen der Seen sichtbar. Dort, wo die Zooplanktongemeinschaft von Cladoceren dominiert wird (z.B. Salzbodensee, Plattensee) kann man davon ausgehen, dass keine Fische vorhanden sind. In Seen ohne die großen von Fischen als Nahrung präferierten Wasserflöhe hingegen, in denen sich das Zooplankton zu großen Teilen aus Copepoden und unterschiedlichen Rotatorienarten zusammensetzt (z.B. im Seebachsee), spielen Fische als Planktonfresser eine große Bedeutung.

Wie im Ergebnisse-Teil bereits angesprochen, dienen die Langzeit-Temperaturaufzeichnungen dazu, Schlussfolgerungen über Veränderungen der absoluten Werte aber auch der unterschiedlichen zeitlichen Phasen im Gewässer zu ziehen. Besonders aussagekräftig sind hier die Temperaturschwankungen und Hinweise auf instabile Schichtungen. Offenbar weichen etliche Seen von dem Paradigma „kalt und monomiktisch“ ab, das eigentlich für hochalpine Seen gilt. Es stellt sich für die Zukunft die Frage, ob mit der Klimaerwärmung die Schichtung der Seen, also das Etablieren definierter vertikaler Wasserzonen mit ähnlichen Temperaturen bzw. Sauerstoff- und Nährstoffkonzentrationen, stabiler wird. Und schon jetzt zeigen sich große zeitliche Unterschiede im Beginn bzw. dem Ende der Eisbedeckung während des Winters, die nicht nur über die (Höhen-) Lage oder die Größe des Gewässers zu erklären sind. Längere eisfreie Perioden und eine Verschiebung der Eisbildung in spätere Jahreszeiten gekoppelt mit einem Abschmelzen der Eisdecke früher als bisher würde sich stark auf die Lebensgemeinschaften in den Seen auswirken.

Trotz aller Anzeichen für Klimawandeleffekte auf die hochalpinen Seen wäre es nicht seriös, Temperaturunterschiede zwischen den Jahren pauschal als Klimaeffekte zu interpretieren. Laut der Wetteraufzeichnungen der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) war 2018 das wärmste Jahr seit Beginn der 252-jährigen



Messgeschichte in Österreich. Damit sind die hohen Wassertemperaturen in einigen der Seen konsistent. Trotzdem muss man berücksichtigen, dass das Wasservolumen eines Sees (Fläche, maximale Tiefe) und das Mikroklima der entsprechenden Untersuchungssysteme (z.B. dadurch beeinflusst wie exponiert ein See liegt, ob es sich um eine Hanglage handelt, ob eine Beschattung vorliegt, ob Eis und Schnee in den See hineinrutschen und ihn so abkühlen können) starke kurzzeitige Effekte haben kann. Nur eine Fortsetzung der Langzeituntersuchungen wird es uns ermöglichen, hier glaubwürdige und belastbare Schlüsse zu ziehen. Querverbindungen zu den Modulen 01 und 07 sind hier besonders interessant.

Um aus den konkreten Zooplanktondaten, die in den ersten beiden Untersuchungsjahren ermittelt wurden, tatsächlich Rückschlüsse auf Klimawandeleffekte ziehen zu können, braucht man sicher deutlich umfassendere Datensätze. Nichtsdestotrotz lassen sich aber einige interessante Beobachtungen schon jetzt herauslesen (z.B. Rückschlüsse auf An- oder Abwesenheit von Fischen), und es können komplexe ökologische Zusammenhänge entwickelt werden. Ein gutes Beispiel dafür liefert der Gletscherplateausee, der sich durch sehr hohe Abundanzen von Rotatorien und eine extrem hohe Algenbiomasse auszeichnet. Letztere können aber nicht durch hohen Nährstoffeintrag vom Ufer erklärt werden. Allerdings wurde an diesem See auch ein sehr hohes Aufkommen von Kaulquappen beobachtet, die durch ihre Ausscheidungen wahrscheinlich das Algenwachstum anregen.

Zusammenfassend kann hervorgehoben werden, dass wir es bei den hochalpinen Seen mit sehr komplexen Ökosystemen zu tun haben. Ihre Lebensgemeinschaften, deren Gewichtung und Zusammensetzung kann man nicht an einem einzelnen Faktor festmachen. Zu den Veränderungen, die schon jetzt augenfällig sind, tragen nicht nur Klimaeffekte bei, sondern ebenso regionale Effekte, das Mikroklima jeden Standorts, und auch sog. „non-climate drivers“ wie die direkten Einflüsse des Menschen (z.B. durch Tourismus), Beweidung und Fischbesatz. Die relative Bedeutung dieser Faktoren abzuwägen und Klimawandel-Effekte von anderen zu unterscheiden, bleibt Ziel der hier begonnenen Untersuchungen. Da die anvisierten Ergebnisse wahrscheinlich über das ausschließliche Erheben von Geländedaten nicht oder nur sehr schwer zu erreichen sein werden, ist geplant, die Feldstudien durch experimentelle Laboruntersuchungen zu komplementieren.

Ausblick

a. **Aussagewert für das Testgebiet und Aussagewert für das gesamte Schutzgebiet**

Nationalparks kommt sowohl ökologisch als auch (gesellschafts-) politisch betrachtet eine zentrale Rolle beim Naturschutz zu. Dies ist in der Definition durch das Umweltbundesamt festgehalten: "Ein Nationalpark ist ein natürliches Landgebiet oder marines Gebiet, das ausgewiesen wurde, um die ökologische Unversehrtheit eines oder mehrerer Ökosysteme im Interesse der heutigen und kommenden Generationen zu schützen, um Nutzungen oder Inanspruchnahmen, die den Zielen der Ausweisung abträglich sind, auszuschließen, und um eine Basis für geistig-seelische Erfahrung sowie Forschungs-, Bildungs- und Erholungsangebote für Besucher zu schaffen. Sie alle müssen umwelt- und kulturverträglich sein." (<http://www.umweltbundesamt.at>) Die Erhebungen im Rahmen des koordinierten und multidisziplinären Langzeit-Monitoring-Programms im NPHT umfassen drei Täler (Ober- bzw. Untersulzbachtal, Innergschlöß, Seebachtal) und damit große und repräsentative Flächen im Nationalpark (Abb. 34). Durch diesen Ansatz wird eine große Bandbreite relevanter Ökosysteme bzw. Lebensgemeinschaften (Böden, fließende und stehende Gewässer, Großherbivoren, terrestrische Vegetationsbestände, abiotische Faktoren der Kryosphäre) berücksichtigt, diese können und müssen gemeinsam betrachtet werden. Im Hinblick auf das „Seen-Modul“ wurden in jedem der Täler sechs Seen berücksichtigt, die unterschiedliche Charakteristika aufweisen und entlang eines Höhengradienten liegen und somit als - ebenfalls repräsentative - Modellsysteme betrachtet werden können (Abb. 35 - 37). Die Synthese aller ermittelten Daten und ihrer jeweiligen Interpretation gibt den einzigartigen Blick auf das komplette hochalpine Ökosystem frei und wird es ermöglichen, Klimawandeleffekte eindeutig zu demonstrieren, ihre Konsequenzen qualitativ und quantitativ zu beschreiben und Vorhersagen zu treffen. Langfristig (nach > 10 Jahren) verspricht das Projekt sehr interessante Ergebnisse und Interpretationshilfen, wenn die unterschiedlichen Systeme („Modul“) im Hinblick auf ihre Reaktionen auf Umweltfaktoren verglichen werden können. Fragen die dann beantwortet werden können, sind z.B. „Kann

man eine Korrelation zwischen bestimmten Umweltfaktoren und Veränderungen in den Ökosystemen herstellen, oder ist der Eindruck der ersten Untersuchungsjahre nicht mehr als eine „random variation“?, „Reagieren terrestrische und aquatische Ökosysteme auf die selben Umweltfaktoren?“, „Laufen mögliche Veränderungen, z.B. hinsichtlich der Gemeinschaftszusammensetzung, parallel ab, oder reagiert ein System schneller als ein anderes?“, etc.. Neben dem wissenschaftlichen Wert der einzelnen Module zeigt sich in diesem Ansatz klar der Mehrwert einer multidisziplinären und langfristig angelegten Studie, für die der NPHT ein ideales Modellsystem darstellt.

Die große Hoffnung besteht darin, dass die erhobenen Daten dabei helfen können, Strategien aufzuzeigen, durch die die Klimawandeleffekte abgeschwächt und die Auswirkungen abgemildert werden können. Dem Nationalpark Hohe Tauern kommt bei der Initiierung und Fortführung dieses so wichtigen Projektes eine absolute Vorreiterrolle zu, wodurch nicht nur seine Bedeutung sondern auch sein Ansehen nochmals erhöht werden.

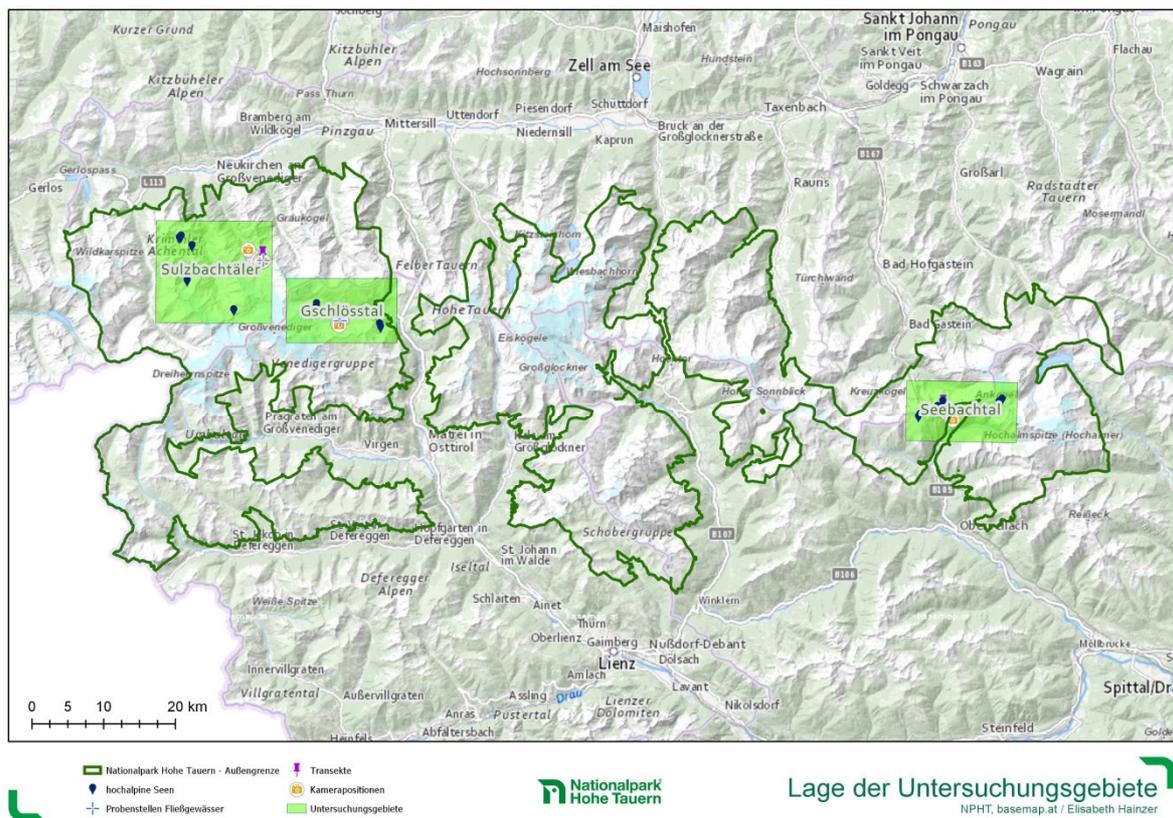


Abbildung 34: Übersichtskarte zu den Beprobungsgebieten: Seebachtal (Kärnten), Gschlössstal (Innere Schönlach, Tirol) Sulzbachtäler (Obersulzbachtal, Salzburg)



Nationalpark Hohe Tauern - Außengrenze
 hochalpine Seen
 Nationalpark Hohe Tauern
 Detailausschnitt Sulzbachtäl
NPHT, basemap.at / Elisabeth Hainzer

Abbildung 35: Detailkarte zu den sechs beprobten Seen im Obersulzbachtal (Salzburg). Seen markiert in dunkelblau.



Nationalpark Hohe Tauern - Außengrenze
 hochalpine Seen
 Nationalpark Hohe Tauern
 Detailausschnitt Gschlössal
NPHT, basemap.at / Elisabeth Hainzer

Abbildung 36: Detailkarte zu den sechs beprobten Seen im Innergeschlöß (Tirol). Seen markiert in dunkelblau.



Abbildung 37: Detailkarte zu den sechs beprobten Seen im Seebachtal (Kärnten). Seen markiert in dunkelblau, Beprobungsstellen der anderen Module mit anderen Symbolen.

b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke

Neben dem Schutz von Ökosystemen und Lebensgemeinschaften ist es ein erklärtes Ziel der Aktivitäten eines Nationalparks, originelle, reproduzierbare und aussagekräftige Forschungsergebnisse zu produzieren. Deren Relevanz und Qualität lässt sich unter anderem an der Berücksichtigung durch die internationale wissenschaftliche Community ablesen. Das Forscherteam des Moduls Seen setzt sich (ebenso wie die Teams der anderen Module) aus erfahrenen, international angesehenen Forscher/innen zusammen, deren Projekten viel Aufmerksamkeit entgegen gebracht wird. Es steht völlig außer Frage, dass die ermittelten Ergebnisse auf einer Vielzahl von internationalen Tagungen, Workshops und Konferenzen präsentiert und zeitnah ihren Eingang in die begutachtete wissenschaftliche Literatur finden werden. Erste Präsentationen (z.B. Wickham et al. im Rahmen des internationalen Workshops „Multidiversity in environmental successions“, abgehalten am 28. und 29.3.19 an der Universität Salzburg) stießen bereits jetzt auf sehr positive Resonanz. Fundierte und qualitativ hochwertige wissenschaftliche Artikel, Vorträge etc. lassen sich allerdings nicht unmittelbar im Anschluss an die Datenerhebung verfassen, sondern es braucht Zeit zur vollständigen Analyse der Daten. Daher können entsprechende Nachweise der Veröffentlichung zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorliegen, selbstverständlich sind diese aber geplant. Ferner muss berücksichtigt werden, dass die Fragestellung der einzelnen Module sowie des Gesamtprojekts nicht auf kurzfristige Veränderungen der Lebensgemeinschaften bzw. Ökosysteme abzielt, sondern als Langzeituntersuchung (Laufzeit von deutlich mehr als 10 Jahren) angelegt ist. Eine verfrühte - und damit noch unvollständige Gesamtanalyse der Daten kann leicht zu Fehlinterpretationen oder Missdeutungen von Trends führen. Kurzzeitige Veränderungen können zwar durchaus den punktuellen Blick auf langfristige (Klimawandel-) Effekte freigeben, es kann aber auch sein, dass sie lediglich „normale“ Schwankungen wiedergeben. Belastbare und glaubwürdige Langzeiterkenntnisse bzw. Langzeit-Prognosen, entsprechend quantitativ abgesichert, können erst dann erstellt werden, wenn Datensätze von vielen Jahren vorliegen. Dies erklärt, warum zum jetzigen Zeitpunkt noch keine begutachteten wissenschaftlichen Publikationen zu den Daten vorliegen können, verstärkt aber auch noch einmal die Forderung nach einer (langfristigen) Fortsetzung des Programms.



Nicht konkret auf internationale Forschungsnetzwerke ausgerichtet, aber für die gesellschaftliche und politische Bedeutung des Langzeit-Monitorings nicht minder relevant und zukunftsweisend ist das große mediale Interesse an den Untersuchungen. Egal wie überzeugend wissenschaftliche Ergebnisse sind und wie bedrohlich die Perspektiven sind, die dadurch aufgezeigt werden, wirksamer Naturschutz und das Auffangen oder sogar Stoppen von Klimawandelszenarien und deren Effekten kann nur über die breite Gesellschaft und die Unterstützung politischer Entscheidungsträger erreicht werden. Dafür ist es unerlässlich, die Gesellschaft an Untersuchungen wie den hier beschriebenen teilhaben zu lassen und die Fragestellungen, methodischen Ansätze, Ergebnisse und ihre Analyse in nachvollziehbarer und allgemeinverständlicher Weise zu kommunizieren. Das Seen-Projekt konnte hierzu im Jahr 2018 einen bedeutenden Beitrag leisten: zu drei verschiedenen Zeitpunkten wurde unser Forscher/innen-Team von Medienvertreter/innen ins Gelände begleitet und die Feldarbeiten wurden filmisch bzw. für eine Radiosendung festgehalten (ORF-Dokumentation „Natur schafft Wissen: Nationalpark Hohe Tauern“, Imagefilm NPHT 2018, Beitrag für „Radio Osttirol“).

Kosten-Analyse

Die Kostenanalyse der bereits durchgeführten Perioden des Projekts sowie die Veranschlagung für die Wiederholungszyklen ist komplex. In den Tabellen 3-5 sind die ABSOLUTEN MINIMALKOSTEN aufgelistet, die als tatsächlich zu entrichtende Kosten konkret zu benennen sind. Im Mod. 8 werden hinsichtlich der Finanzierung sog. „normale“ von „teuren“ Jahren unterschieden. Dieser Unterschied beruht darauf, dass nicht alle Aufnahmen und Analysen (genetische Untersuchungen) jährlich stattfinden bzw. die Datenlogger nicht jährlich ausgetauscht werden müssen.

Die tatsächlichen Kosten, die in den Arbeitsgruppen anfallen, liegen deutlich darüber. Darunter fallen z. B. alle vorbereitenden Tätigkeiten für die Geländekampagnen, das Anlernen von Hilfskräften und Studierenden, Anschaffung von notwendiger Literatur (z.B. Bestimmungsliteratur), die Überprüfung der erhobenen Daten, Durchführung von Berechnungen, Erstellen von Grafiken, Vorbereitung von Präsentationen, Teilnahme an Workshops, Diskussionen zur Fortführung der Projekte, etc. Vom tatsächlichen Aufwand her bzw. bzgl. des wissenschaftlichen Stellenwertes kann man das Modul 8 (dies trifft sicher auch auf einen Großteil der anderen Module zu) mit einem mehrjährigen FWF-Projekt vergleichen. Die konkrete Finanzierung liegt jedoch um Größenordnungen niedriger.

Mit dieser Erläuterung möchten die Projektleiter/innen nicht sozusagen „durch die Hintertür“ eine Erhöhung des Budgets für das Monitoring-Programm erreichen. Wir bitten aber darum, diese Aspekte zu berücksichtigen und den Forscher/innen-Teams des Projektes, die einen enormen Arbeits- und Energieaufwand zeigen, die entsprechende Wertschätzung entgegen zu bringen, ebenso wie wir sie natürlich auch den Vertreter/innen des NPHT zeigen. Auch möchten wir den Verantwortlichen des NPHT damit deutlich machen, zu welchem großen gegenseitigen Nutzen die Zusammenarbeit des Nationalparks mit Universitäten und ihren vielfältigen Ressourcen sein kann.

Wie oben bereits ausgeführt, ist eine langfristige Fortführung der Beprobungen mit sehr regelmäßigen Wiederholungszyklen (im Fall des Zooplanktons jährlich, s. auch Tab. 2) absolut notwendig, um aussagekräftige wissenschaftliche Ergebnisse zu erzielen und den oben formulierten Zielen des Projektes gerecht zu werden. Wir können bereits mit unseren Daten aus nur zwei Jahren zeigen, dass man Trends erkennen kann. Diese zu bestätigen bzw. die damit verbundenen Aussagen zu festigen ist das ultimative Ziel des Langzeit-Monitoring-Projekts. Wir hoffen daher sehr, dass das Projekt fortgeführt wird.





Modul 8 (Seen) Kostenplan NPHT-Projekt 2019-2030 (12 Jahre)

8x "Normales" Jahr (2020, 2021, 2023, 2024, 2026, 2027, 2029, 2030)

Leistung	Anzahl	Einzelpreis	Summe	Teilbetrag NJ
Personalaufwand				
Probennahme Wasser (1 Wiss)	70h	€ 48,00	€ 3.360,00	
Probennahme Wasser (1 Wiss)	70h	€ 48,00	€ 3.360,00	
Probennahme Wasser (1 HK)	70h	€ 20,54	€ 1.437,80	
Analyt.-morph. Bestimmg. (1 TA)	90h	€ 20,54	€ 1.848,60	
Analyt. genet.-molbiol. Bestimmg. (1 TA)	0	€ -	€ -	
				€ 10.006,40
Benutzungsentgelt Geräte				
Multisonde (Nutzungsgebühr)	500,00	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00
geringwertige Wirtschaftsgüter (netto)				
Miniatur-Datenlogger	0	€ -	€ -	
Miniatur-Datenlogger (Gehäuse)	0	€ -	€ -	
				€ -
Verbrauchsmaterial (netto)				
Probegefäße			€ 300,00	
div. Labor & Chemikalien			€ 150,00	
Genet. Untersuchung Plankton			€ -	
div. Ersatzteile			€ 700,00	
				€ 1.150,00
Fahrt- und Reisespesen				
Fahrt, Übernachtung, Essen				€ 1.800,00
Netto-Kosten				€ 13.456,40
20 % Universitätsabgabe (gemäß Satz der Univ. Salzburg) bzw. 20 % MwSt.				€ 2.691,28
Brutto-Kosten				€ 16.147,68

8 x 16.147,68 € 129.181,44

Tab. 3: Minimalkalkulation der Gesamtkosten des Moduls 8 (Seen) für die „normalen“ Jahre im Zeitraum 2019 – 2030 (s. Erläuterungen oben).

Modul 8 (Seen) Kostenplan NPHT-Projekt 2019-2030 (12 Jahre)

4x "Teures Jahr" (2019, 2022, 2025, 2028)

Leistung	Anzahl	Einzelpreis	Summe	Teilbetrag TJ
Personalaufwand				
Probennahme Wasser (1 Wiss)	70h	€ 48,00	€ 3.360,00	
Probennahme Wasser (1 Wiss)	70h	€ 48,00	€ 3.360,00	
Probennahme Wasser (1 HK)	70h	€ 20,54	€ 1.437,80	
Analyt.-morph. Bestimmg. (1 TA)	90h	€ 20,54	€ 1.848,60	
Analyt. genet.-molbiol. Bestimmg. (1 TA)	90h	€ 20,54	€ 1.848,60	
				€ 11.855,00
Benutzungsentgelt Geräte				
Multisonde (Nutzungsgebühr)	1	€ 500,00	€ 500,00	€ 500,00
geringwertige Wirtschaftsgüter (netto)				
Miniatur-Datenlogger	36 Stk	€ 119,00	€ 4.284,00	
Miniatur-Datenlogger (Gehäuse)	36 Stk	€ 56,00	€ 2.016,00	
				€ 6.300,00
Verbrauchsmaterial (netto)				
Probegefäße			€ 300,00	
div. Labor & Chemikalien			€ 150,00	
Genet. Untersuchung Plankton			€ 4.160,00	
div. Ersatzteile			€ -	
				€ 4.610,00
Fahrt- und Reisespesen				
Fahrt, Übernachtung, Spesen				€ 1.800,00
Netto-Kosten				€ 25.065,00
20 % Universitätsabgabe (gemäß Satz der Univ. Salzburg) bzw. 20 % MwSt.				€ 5.013,00
Brutto-Kosten				€ 30.078,00

4 x 30.078,- € 120.312,00

Tab. 4: Minimalkalkulation der Gesamtkosten des Moduls 8 (Seen) für die „teuren“ Jahre im Zeitraum 2019 – 2030 (s. Erläuterungen oben).





8 x 16.147,68	129.181,44 €
4 x 30.078,-	120.312,00 €
Gesamt	249.493,44 €
pro Jahr	20.791,12 €

Tab. 5: Minimalkalkulation der Gesamtkosten des Moduls 8 (Seen) für den Zeitraum 2019 – 2030.

Danksagung

Dieses Projekt hätte ohne die konstruktive Unterstützung vieler Institutionen und Personen nicht durchgeführt werden können. Ihnen möchten wir unseren besonderen Dank aussprechen und hoffen, dass sie auch für die Fortsetzung des Programms als verlässliche Partner erhalten bleiben. Besonders erwähnen möchten wir hier:

- das Direktorium und die Verwaltung des NPHT, insbesondere Elisabeth Hainzer, Kristina Bauch, Katharina Aichhorn, Barbara Hochwimmer und Martin Kurzthaler für die finanzielle, logistische und organisatorische Unterstützung,
- die Ranger des NPHT, die unser Team auf den beiden Geländekampagnen sicher begleitet haben,
- Dir. Wolfgang Urban für seine Offenheit, auch in das Projekt hineingewobenen Zusatzprojekte zu unterstützen,
- den NPHT, die EU, und das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus für finanzielle Unterstützung
- die Paris-Lodron-Universität Salzburg (PLUS) für ihre konzeptionelle Unterstützung dieses Projektes
- Dominik Ankel, Stefan Lienbacher, Anne Bartels und Florian Hohenberger (PLUS) für ihre Beteiligung an den Geländekampagnen
- Eva Herzog und Claudia Mader sowie Alexandra Pitt und Ilse Holzinger (alle PLUS) für die Mithilfe bei der administrativen und praktischen Umsetzung der Arbeiten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grüneckersee, Seebachtal, Jul/Aug 2017	5
Abbildung 2: Kl. Tauernsee, Seebachtal, Jul/Aug 2017.....	5
Abbildung 3: „See oberhalb Mindener Hütte (Schneefeldsee)“, Seebachtal, Jul/Aug 2017	5
Abbildung 4: „See 2 oberhalb Mindener Hütte (Plattensee)“, Seebachtal, Jul/Aug 2017	5
Abbildung 5: „Kleines Elend“, Seebachtal, Jul/Aug 2017	5
Abbildung 6: „Großes Elend“, Seebachtal, Jul/Aug 2017	5
Abbildung 7: Seebachsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017	6
Abbildung 8: „See neben Seebachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017.....	6
Abbildung 9: Foißkarsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017.....	6
Abbildung 10: „Obervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017	6



Abbildung 11: „Untervorderjaidbachsee“, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017	6
Abbildung 12: Sulzsee, Obersulzbachtal, Jul/Aug 2017.....	6
Abbildung 13: Salzbodensee, Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 14: „Innergschlöß See2“ (Eisseele), Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 15: „Innergschlöß See3“ (In Loche), Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 16: Löbbensee, Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 17: „Gletscherplateau (NPH 3)“, Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 18: „See nahe Löbbensee“, Innergschlöß, Jul/Aug 2017	7
Abbildung 19: Tragbares Schlauchboot und Sediment Corer	8
Abbildung 20: Boot der Bergrettung (See neben Seebachsee), Multisonde, Wasserschöpfer	8
Abbildung 21: Temperaturdatenlogger	10
Abbildung 22: Temperaturdatenlogger	10
Abbildung 23: Entnahme der Zooplanktonprobe mit dem Planktonnetz.....	11
Abbildung 24: Überführung der Sedimentproben	11
Abbildung 25: Wassertemperatur Seen Seebachtal	14
Abbildung 26: Wassertemperatur Seen Obersulzbachtal:.....	16
Abbildung 27: Wassertemperatur Seen Innergschlöß:.....	18
Abbildung 28: Vertikalprofile Nitrat, Temperatur, Chlorophyll a Seen Innergschlöß.....	21
Abbildung 29: Vertikalprofile Nitrat, Temperatur, Chlorophyll a Seen Seebachtal.....	23
Abbildung 30: Vertikalprofile Nitrat, Temperatur, Chlorophyll a Seen Obersulzbachtal	25
Abbildung 31: Abundanzen (log Individuen l-1) und Artenanzahl der Zooplanktongemeinschaft der beprobten Seen	27
Abbildung 32: Shannon-Wiener Diversität und Beta-Diversität der Zooplanktongemeinschaft aller beprobten Seen	28
Abbildung 33: Jaccard Index der Artenzusammensetzung des Zooplanktons der beprobten Seen.....	29
Abbildung 34: Übersichtskarte zu den Beprobungsgebieten	33
Abbildung 35: Detailkarte beprobte Seen Obersulzbachtal	34
Abbildung 36: Detailkarte beprobte Seen Innergschlöß	34
Abbildung 37: Detailkarte beprobte Seen Seebachtal	35



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

Buckel, Johannes; Otto, Jan-Christoph (2018): Inventory of glacial lakes in Austria (elevation >1700m), PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.885931>

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

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

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* 100: 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

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

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

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

Latta LC, Bakelar JW, Knapp RA, Pfrender 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 (preca 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.

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

Whittaker, 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





Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:

Nationalparkrat Hohe Tauern
Kirchplatz 2, 9971 Matri

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



www.hohetauern.at