



forschungsraum

Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen
Synthese der Startphase 2016-2018



IMPRESSUM

forschungsraum

Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern,
Synthese der Startphase 2016-2018,
Nationalpark Hohe Tauern

doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Synthese

ISBN-Online: 978-3-7001-8748-6

Weblink: <https://verlag.oeaw.ac.at>
https://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38764

Published by Nationalparkrat Hohe Tauern, Kirchplatz 2, 9971 Matrie i.O., Austria,
nationalparkrat@hohetauern.at, in cooperation with the National Committee for
Global Change at the Austrian Academy of Sciences, responsible for the Austrian
contribution to ISCAR, and the Austrian Academy of Sciences Press, Postgasse 7, 1011
Vienna, Austria, verlag@oeaw.ac.at.

Fachliche Beratung und Qualitätssicherung:

Wissenschaftlicher Beirat des Nationalparks Hohe Tauern

Projektleitung und Koordination:

Christian Körner, Universität Basel
Leopold Füreder, Universität Innsbruck
Elisabeth Hainzer, Nationalpark Hohe Tauern

Für den Inhalt verantwortlich:

Christian Körner, Universität Basel
Ulrike Tappeiner und Christian Newesely, Universität Innsbruck
Helmut Wittmann, Haus der Natur Salzburg
Thomas Eberl und Roland Kaiser, ENNACON environment nature consulting KG
Erwin Meyer, Universität Innsbruck
Martin Grube und Fernando Fernández Mendoza, Universität Graz
Leopold Füreder und Georg H. Niedrist, Universität Innsbruck
Andreas Daim, Universität für Bodenkultur Wien
Gerhard Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer, Universität Graz
Stephen Wickham, Jana Petermann und Ulrike Berninger, Universität Salzburg

Titelbild: © NPHT / Sebastian Höhn

Grafische Gestaltung: 08/16 grafik, mag.^a eva scheidweiler, Lienz – Salzburg

Druck: Oberdruck GmbH, Stribach

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

Zitiervorschlag:

Körner C et al. (2020) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark
Hohe Tauern. Synthese der Startphase 2016-2018. Verlag der Österreichischen
Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8748-6, doi: 10.1553/
GCP_LZM_NPHT_Synthese

Matrie i. O., im Juni 2020





Vorwort



Mit der Umsetzung dieses langfristigen und länderübergreifenden Monitoring- und Forschungsprogramms ist ein weiterer wichtiger Schritt gelungen, den Nationalpark Hohe Tauern als Ort der Forschung zu stärken und für die Wissenschaft sichtbar zu machen. Der Aufbau einer Langzeitbeobachtung, welche die Untersuchung von Ökosystemprozessen in den Mittelpunkt stellt, war und ist mir ein sehr großes Anliegen. Vieles an Know-How wurde in die Konzipierung gesteckt, speziell die inhaltliche Fokussierung erforderte einiges an Abstimmungsgesprächen. Schlussendlich wurden etliche Arbeitsstunden in die operative Umsetzung gesteckt und so freut es mich, Ihnen die Synthese des Pilotprojekts nun präsentieren zu dürfen.

Unser Schutzgebiet ist ein unerschöpfliches Freiluftlabor. Die Vielfalt und Dimension erlauben es dem Nationalpark ein „Mehr“ an unberührten Flächen und hochalpinen Lebensräumen der Forschung zur Verfügung zu stellen. Dieses Netz von Referenzflächen - sogenannte „grüne Null-Flächen“ - stellt einen immensen Wert für die Wissenschaft & Forschung dar, da diese Flächen als ideale Vergleichsbasis für die vom Menschen beeinträchtigten Ökosysteme dienen. So sehen wir es als unsere Aufgabe an jene Veränderungen, die der Klimawandel im sensiblen Ökosystem des Hochgebirges mit sich bringt, sichtbar zu machen. Ökologische Schlüsselprozesse sollen identifiziert und quantifiziert werden und daraus gewonnene Kenntnisse sind einem breiten Publikum zugänglich zu machen und nicht zuletzt können diese Erkenntnisse auch die Grundlage politischer Entscheidungen sein. Für mich scheint es daher von essentieller Bedeutung, dass eben dieses Forschungsprogramm die Charakteristik und Besonderheit des Nationalparks Hohe Tauern aufgreift.

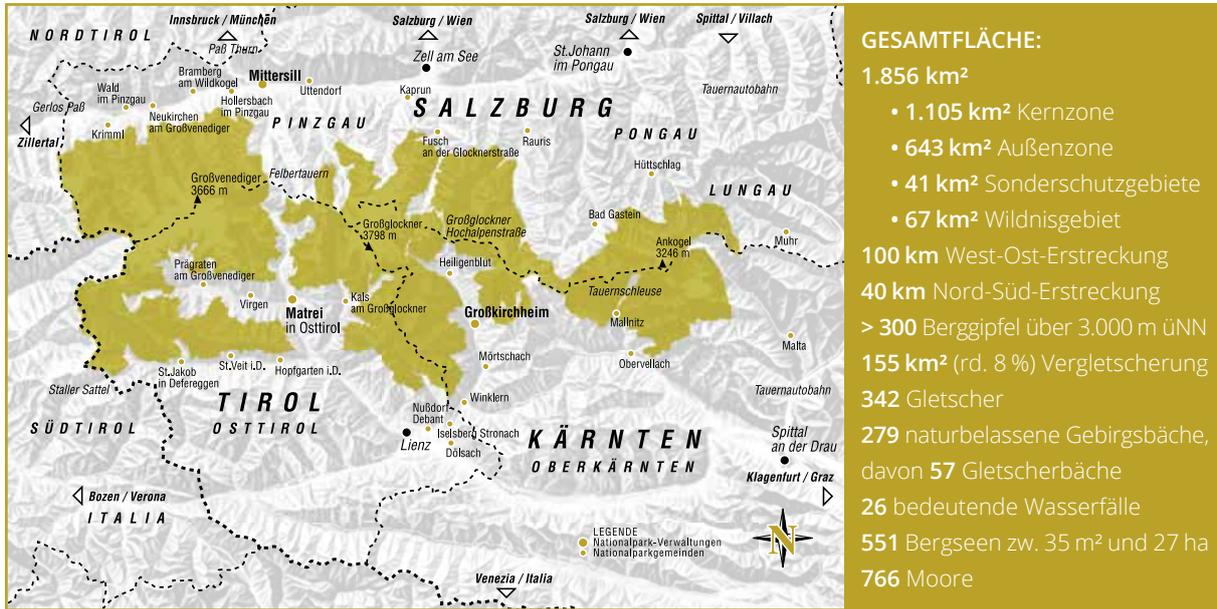
Der Nationalpark Hohe Tauern erkennt die Chance, dass durch die enge Kooperation mit den österreichischen Universitäten und Forschungseinrichtungen sichergestellt wird, dass sich die angewandten Methoden stets am aktuellen Stand der Wissenschaft orientieren. Die Vernetzung von Wissen und Erfahrungswerten und die Einbindung junger Forschergenerationen stärken eben diese Zusammenarbeit.

Schutzgebietsforschung ist eine wesentliche Zukunftsaufgabe des Nationalparks Hohe Tauern. Die alpine Freilandforschung soll weiterhin unterstützt werden, denn Wissenschaft & Forschung geht uns alle an. Letztendlich liegt die Neugierde und Entdeckerfreude - in der Natur der Sache.


LH-Stv.ⁱⁿ Mag.^a INGRID FELIPE



Der Nationalpark Hohe Tauern in Zahlen

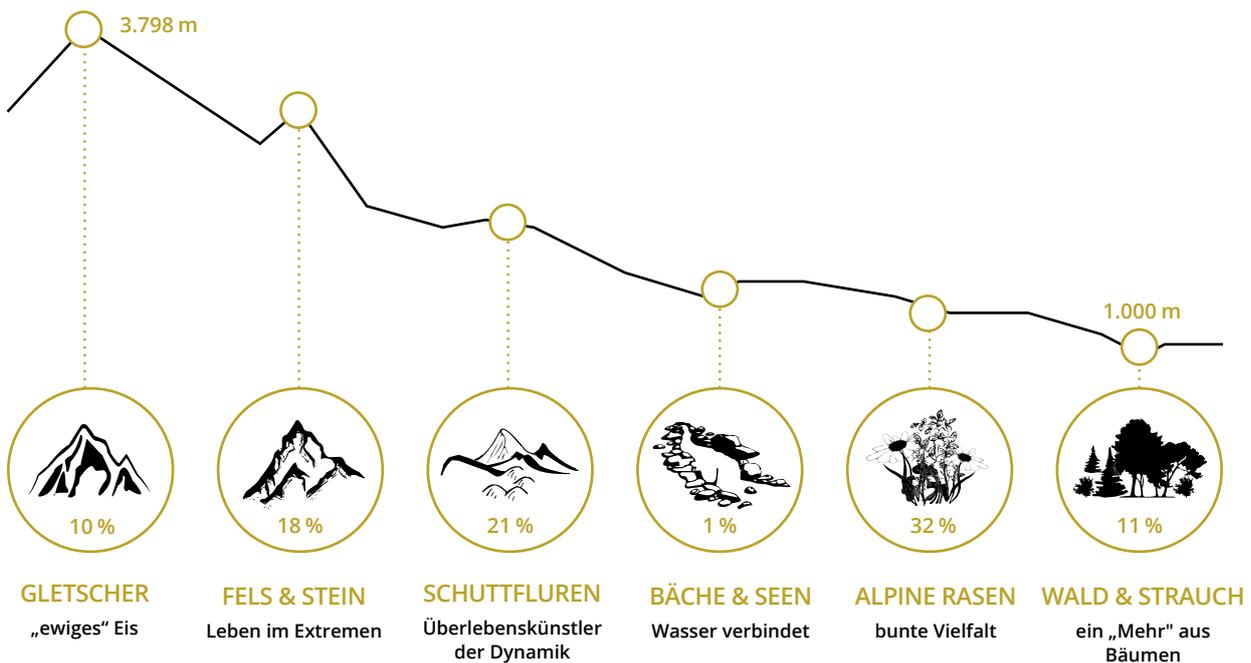


Forschungsraum

Der Nationalpark Hohe Tauern in seiner gesamten Vielfalt ist auch ein wissenschaftlicher Forschungsraum, vor allem zur Erfassung der naturräumlichen Gegebenheiten, Prozesse und Wechselwirkungen. Der Erforschung der unbelebten und belebten Umwelt kommt eine besondere Bedeutung zu.

Die klimatischen, geologischen, hydrologischen und topografischen Verhältnisse machen den Nationalpark zu einer reich strukturierten Landschaft und bedingen eine hohe Diversität an Ökosystemen mit ihren speziellen Lebensgemeinschaften.

Daten & Fakten





Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirats des Nationalparks Hohe Tauern

Leben an Existenzgrenzen im Hochgebirge – ein neues Monitoring-Programm für den Nationalpark Hohe Tauern

Die Durchführung von langfristig angelegten Untersuchungen zur Entwicklung von Natur und Umwelt (Monitoring) ist eine in mehreren verbindlichen Dokumenten¹ verankerte und immer wieder bekräftigte Grundaufgabe zu einem dynamischen und prozessorientierten Schutz, welche österreichische Nationalparks im Zusammenhang mit Forschung, Bildung und Management wahrzunehmen haben. Weiters stellt ein langfristig konzipiertes Monitoring-Programm eine unverzichtbare Grundlage für darauf aufbauende innovative Forschung im Sinne der Nationalparkanliegen dar. Natur- und umweltschutzpolitische Anliegen lassen sich dadurch in synergistischer Weise mit wissenschafts-, forschungs- und innovationspolitischen Zielen verbinden.

Die Direktoren des Nationalparks Hohe Tauern (Kärnten, Salzburg, Tirol) baten daher 2011 den, zu diesem Zeitpunkt neu konstituierten, wissenschaftlichen Beirat, zusammen mit den Nationalparkverantwortlichen einen Vorschlag für ein zukünftiges Monitoring zu erarbeiten. Der in mehreren Schritten entwickelte Ansatz legt die Priorität auf Prozesse im natürlicherweise baumfreien und kaum genutzten alpinen Raum. Standardisierte Untersuchungen dazu sollen in drei Gebieten (je eines pro beteiligtes Bundesland) stattfinden: im Seebachtal (Kärnten), im Ober- und Untersulzbachtal (Salzburg) und im Innergschlöss (Tirol).

Im vorliegenden Synthesebericht fassen die beteiligten Forschenden das methodisch-technische Konzept des Monitoring-Programms und die Ergebnisse der Ersterhebung zusammen. Es ist dem wissenschaftlichen Beirat ein Anliegen, einleitend die ausschlaggebenden Überlegungen und Argumente, welche zu diesem Monitoring-Ansatz führten, kurz darzulegen:

Argument „Methodische Innovationen für Kausalanalyse und Prozessverständnis“

Im Nationalpark Hohe Tauern gibt es bereits eine Vielzahl von langfristigen, meist disziplinären Beobachtungen zur Entwicklung von Arten, Biotopen, Gewässern und dergleichen, hingegen keine **interdisziplinäre Ökosystembeobachtung**, welche mittels Kausalanalysen zum Verständnis von Prozessen und Wechselwirkungen führt. Der Beirat war sich einig, dass es diese Lücke in einer langfristigen Perspektive (100 Jahre) zu schließen gilt. In diesem Zusammenhang könnte der Nationalpark Hohe Tauern Vorbildwirkung erzielen.

Angesichts begrenzter finanzieller Ressourcen und der zwingend interdisziplinären Ausrichtung einer Ökosystembeobachtung schien eine **Konzentration** der Beobachtungen auf bestimmte Gebiete und Ökosysteme am besten geeignet, um den angestrebten **prozessorientierten Monitoring-Ansatz** zu verwirklichen und dabei die fächerübergreifende Zusammenarbeit zu gewährleisten.

¹ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreichische Nationalpark-Strategie, 2010, S. 14f.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Nationalpark-Strategie Österreich 2020+, 2018, S. 17 f.
Nationalparkgesetze der Bundesländer, z.B. Land Salzburg, Gesetz vom 29. Oktober 2014 über den Nationalpark Hohe Tauern im Land Salzburg (Salzburger Nationalparkgesetz 2014 –S.NPG).





Argument „Strategische Positionierung des Nationalparks Hohe Tauern im nationalen Interesse“

Somit stellte sich die Frage, welche Ökosysteme und Prozesse in Betracht zu ziehen sind. Dabei wurde deutlich, dass unter den österreichischen Nationalparks einzig die Hohen Tauern als **Alleinstellungsmerkmal** über großflächige alpine und nivale Ökosysteme mit Lebensräumen an klimatisch bedingten Existenzgrenzen verfügen. Das Verständnis von langfristigen Prozessen und möglichen Veränderungen in weitgehend unberührten alpinen Ökosystemen ist somit von nationalem Interesse.

Argument „Attraktivierung von koordinierter Forschung im Nationalpark Hohe Tauern“

Da diese alpinen Gebiete nahezu unberührt und im Nationalpark zudem vor menschlichen Nutzungen geschützt sind, bieten diese als naturbelassene **Referenzgebiete** exzellente Rahmenbedingungen für die Forschung, insbesondere für Fragestellungen entlang von Klima- und Nutzungsgradienten.

Durch ein Monitoring lassen sich hier die Wirkungen exogener atmosphärischer Einflüsse in alpinen und nivalen Ökosystemen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel oder mit Nährstoff- bzw. Schadstoffeinträgen, langfristig untersuchen. Je längere Datenreihen dazu gewonnen werden, desto attraktiver werden solche Gebiete für die Forschung, und daraus resultierende, weiterführende Forschungsprojekte sind wiederum von Nutzen für das Monitoring-Programm und für den Nationalpark. Ein attraktives Monitoring-Programm kann somit auch zur Erschließung bislang nicht erreichbarer Drittmittelquellen auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene beitragen. Die kürzlich erfolgte Einrichtung von Forschungsunterkünften nahe den drei Untersuchungsgebieten schafft zusätzlich gute Voraussetzungen für die Feldforschung.

Argument „Steigerung der Sichtbarkeit des Nationalparks Hohe Tauern auf globaler Ebene“

Das vorgeschlagene Monitoring-Programm bietet für den Nationalpark aber auch Anknüpfungspunkte an globale Beobachtungsprogramme wie LTER (Long-Term Ecological Research), Geo-GNOME (Observing Mountain Environments) oder GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) und damit die Möglichkeit in **globalen Netzwerken** mitzuwirken. Dadurch lassen sich lokale Entwicklungen innerhalb des Nationalparks in einen globalen Kontext einordnen. Ein erster Schritt in diese Richtung ist bereits gelungen, indem am Monitoring-Programm beteiligte Forschende zusätzlich zwei analoge Untersuchungsgebiete in Italien (Oberettes, Südtirol) und in der Schweiz (Furka) eingerichtet haben.

Argument „Monitoring als Grundlage für zielgerichtetes Nationalpark-Management“

Aus Sicht des Beirats bietet das vorgeschlagene Monitoring-Programm dem Nationalpark wesentliche Vorteile und Opportunitäten: Der Nationalpark kann damit der Erwartung gerecht werden, zuhanden der (lokalen bis nationalen) Klimapolitik Fakten zu den Folgen von **globalen Veränderungen** (Klimawandel, Nährstoff- und Schadstoffeinträge) im alpinen Raum zu liefern, etwa in Bezug auf Artenvielfalt, Naturgefahren, Erosion oder Wasserhaushalt und deren Auswirkungen auf tiefer liegende Gebiete. Dadurch steigt auch der Wert des Nationalparks als naturbelassenes **Referenzgebiet** in Bezug auf großräumige Umweltveränderungen. Obschon das Monitoring-Programm primär auf langfristige Prozesse ausgerichtet ist, liefert es dennoch Grundlagen, welche es erlauben werden, diese für Managementmaßnahmen in betroffenen Gebieten zu nutzen, etwa hinsichtlich Beweidung, Fischbesatz, Naturgefahren, Besuchermanagement oder Öffentlichkeitsarbeit.

Argument „Monitoring als Anknüpfungspunkte zur Natur- und Wissenschaftsmündigkeit“

Gerade im naturkundlichen Bereich spielen ehrenamtliche Forscher*innen eine große Rolle bei der Erfassung, Beschreibung und dem Bewerten von Arten. Ein für den Nationalpark Hohe Tauern beispielhaft zu nennendes Projekt ist das Monitoring von Bartgeiern² – in ganz Österreich gibt es zahlreiche Projekte, die sich unter dem Label „Citizen Science“ mit sehr

² <https://hohetauern.at/de/forschung/greifvogelmonitoring/bartgeier-online.html>





unterschiedlichen Fragestellungen befassen³. Das neue Monitoring wird Gelegenheiten bieten, Ehrenamtliche / Citizen Scientists in die Erhebungen einzubinden. Zum einen kann so die Datenbasis stark erweitert werden, zum anderen wirkt die Beteiligung von Ehrenamtlichen wieder zurück in die Gesellschaft, da Kenntnisse über und Erfahrungen mit Naturerlebnissen und wissenschaftlicher Arbeitsweise geteilt werden⁴.

Argument „Monitoring zur Weiterentwicklung der Institution und best practice in der bundesländerübergreifenden Zusammenarbeit“

Der Beirat sieht im vorgeschlagenen Monitoring-Programm zudem einen erheblichen **Mehrwert für den Nationalpark** selbst. Dieses bietet vielfältige Möglichkeiten, Personal aus dem Nationalpark in die Untersuchungen einzubinden. Das Programm kann so für abwechslungsreiche Arbeit und für den Aufbau von Wissen und Erfahrung im Nationalparkteam genutzt werden und den Nationalpark als attraktiven Arbeitgeber mit hoher Identifikationskraft stärken. Dadurch, dass sich alle Bundesländer mit eigenen Untersuchungsgebieten an diesem Monitoring-Programm beteiligen, verbindet sie ein gemeinsames Forschungsthema. Dies dürfte insgesamt auch für die kontinuierliche Zusammenarbeit unter den drei Nationalparkverwaltungen in Kärnten, Salzburg und Tirol förderlich sein.

Der wissenschaftliche Beirat sieht damit im langfristig angelegten Monitoring-Programm „Leben an Existenzgrenzen“ eine vielversprechende wie auch anspruchsvolle Daueraufgabe, die den Nationalpark Hohe Tauern als attraktiven Betrieb in mehrerer Hinsicht stärken kann, so etwa in der nationalen und internationalen Positionierung, in der Ökosystemforschung, in der Umweltbildung oder in einem ganzheitlichen Naturraum-Management.

LUDEWIG Elke, Dr.ⁱⁿ

Vorsitzende, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Salzburg

WRBKA Thomas, Ass. Prof. Dr.

Stellvertreter, Universität Wien

KÖCK Günter, Mag. Dr.

ISCAR (International Scientific Committee on Research in the Alps),
IGF (Institut für interdisziplinäre Gebirgsforschung) – Innsbruck

PETERSEIL Johannes, Mag. Dr.

Umwelbundesamt

SCHEURER Thomas, Dr.

vormals ISCAR (International Scientific Committee on Research in the Alps)

SMOLINER Christian, Dr.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung

VOGEL Michael, Dr.

NABU international

VOHLAND Katrin, Dr.ⁱⁿ

Naturhistorisches Museum Wien

ZACHERL-DRAXLER Valerie, Mag.^a

Vertreterin des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

³ <https://www.citizen-science.at/>

⁴ <https://www.ingentaconnect.com/content/oekom/gaia/2019/00000028/00000003/art00007>





Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern

Synthese der Startphase 2016-2018

Im Gedenken an ao. Univ.-Prof. Dr. Erwin Meyer,
der unmittelbar vor der Fertigstellung dieses Berichts plötzlich verstarb.

Inhalt

Vorwort

Empfehlung

1 Hintergrund	10
2 Einleitung	12
2.1 Grundbedingungen und Ziele	12
2.2 Immanente Quellen	13
2.3 Terrestrische „permanent plots“	13
2.4 Aquatische Systeme	14
2.5 Säugetierbeobachtungen	14
2.6 Gletschervorfelder	14
2.7 Der Umgang mit zeitlicher Variabilität	15
2.8 Der Umgang mit Stochastizität	16
2.9 Standorte	16
2.10 Interdisziplinarität	20
2.11 Abschlussbemerkung	21
3 Terrestrische Ökologie	22
3.1 Konzept und Standorte der terrestrischen Ökologie	22
3.1.1 Auswahl der terrestrischen Standorte und Transektpositionen und Beprobungskriterien	24
3.1.2 Kurze Bewertung der ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen	25
3.1.2.1 Innergschloss IN (5 Transekte)	25
3.1.2.2 Seebachtal SE (3 Transekte)	25
3.1.2.3 Untersulzbachtal UN (6 Transekte)	26
3.1.2.4 Oberettes OB (3 Transekte)	26
3.1.2.5 Furkapass FU (5 Transekte)	26
3.2 Methodische Ansätze der terrestrischen Ökologie	26
3.2.1 Standortsauswahl	26
3.2.2 Standortsvermarkung	27
3.2.3 Standortsklima	28
3.2.4 Boden	28
3.2.5 Vegetationsanalyse	29
3.2.6 Produktivität	29
3.2.7 Bodenmesofauna	30
3.2.8 Bodenmikrobiologie	30
3.2.9 Digitale Säugetierdokumentation	30
4 Aquatische Ökologie	31
4.1 Konzept und Standorte der aquatischen Ökologie	31
4.1.1 Micro-Catchments	31





4.1.2 Seen	31
4.2 Kurze Bewertung der ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen	32
4.2.1 Micro-Catchments	32
4.2.1.1 Innergschlöss IN	32
4.2.1.2 Seebachtal SE	32
4.2.1.3 Untersulzbachtal UN	33
4.2.2 Seen	33
4.2.2.1 Innergschlöss IN	33
4.2.2.2 Seebachtal SE	33
4.2.2.3 Ober- und Untersulzbachtal UN	33
4.3 Methodische Ansätze der aquatischen Ökologie	34
4.3.1 Micro-Catchments	34
4.3.2 Seen	34
4.3.2.1 Abiotische Faktoren	34
4.3.2.2 Organismen	34
5 Kryosphäre (Gletscher, Hydroklima, Permafrost)	35
5.1 Konzept und Standorte	35
5.2 Methodische Ansätze	36
6 Synthese der Resultate der Startphase des Langzeitmonitorings	37
6.1 Klimatologie und Mikroklimatologie	37
6.2 Bodenphysik und Bodenchemie	38
6.3 Pflanzliche Primärproduktion	39
6.4 Vegetationsanalyse	41
6.5 Bodenmikroben	44
6.6 Bodentiere	46
6.7 Wildtierbeobachtung	46
6.8 Kleine Einzugsgebiete (Micro-Catchments)	48
6.9 Seen	50
6.10 Kryosphäre (Gletscher, Hydroklima, Permafrost)	53
7 Zusammenfassung	54
7.1 Leben an Existenzgrenzen	54
7.2 Resultate der Beobachtungsperiode 2016 bis 2018	55
7.2.1 Die abiotischen Rahmenbedingungen	55
7.2.1.1 Klima	55
7.2.1.2 Bodenbedingungen	56
7.2.1.3 Abiotische Rahmenbedingungen der Gewässer	56
7.2.2 Pflanzliche Primärproduktion	56
7.2.3 Pflanzengemeinschaften und Artgrenzen, Biodiversität	58
7.2.4 Biodiversität und Produktivität aquatischer Systeme	58
7.2.4.1 Seen	58
7.2.4.2 Micro-Catchments	59
7.2.5 Bodenmesofauna	59
7.2.6 Das alpine Bodenmikrobiom	59
7.2.7 Wildtierbiologie	59
7.2.8 Gletschergeschehen und Kryosphäre	60
7.3 Querverbindungen	60
8 Ausblick	61
9 Versuch einer ersten Bewertung für den Nationalpark	62
10 Literaturverzeichnis	64
Autor*innen	
Eindrücke	





1 Hintergrund

Christian Körner

Forschungsmitarbeiter*innen des Nationalparks Hohe Tauern

Wie in der Klimatologie können langfristige Veränderungen in der belebten Umwelt nur durch lange Beobachtungsreihen nachgewiesen werden. Daher werden seit den 1990er-Jahren weltweit sogenannte Long-Term Ecological Research (LTER) Projekte durchgeführt. Diese Aktivitäten gingen ursprünglich von nordamerikanischen Schutzgebieten aus. Solche hoheitlichen Gebiete sind nicht nur wegen ihrer besonderen Stellung im Naturschutz ideale Orte, sie garantieren auch Kontinuität. Mit anderen Worten: Sie stellen sicher, dass man auch nach Jahrzehnten bestimmte Beobachtungen am weitgehend vom Menschen unbeeinflussten Ökosystem wiederholen kann.

Als eines der größten alpinen Schutzgebiete hat der Nationalpark Hohe Tauern ein interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen Ökosystembeobachtung initiiert und koordiniert, das die systematische Beobachtung und Dokumentation der chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften, sowie der Veränderungen in naturbelassenen terrestrischen und aquatischen Ökosysteme über einen längeren Zeitraum anstrebt. Dabei werden Schlüsselparameter, wie z. B. das Mikroklima, die Physik und Chemie der Böden, das Bodenmikrobiom, die Artendiversität und Produktivität, künftig regelmäßig und standardisiert erfasst.

Das Projekt „Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern“ zeichnet sich durch mehrere Besonderheiten aus:

- (1) Es fokussiert auf den natürlicherweise baumfreien alpinen Raum – eine der letzten großen „Urlandschaften“ Europas.
- (2) Es verfolgt einen Ökosystemansatz.
- (3) Es ist in seiner breiten Herangehensweise einzigartig in Europa und auch weltweit.
- (4) Dafür steht ein hoher Grad an Standardisierung, nicht nur innerhalb der Forschungsmodule, sondern auch durch die räumliche Bindung zwischen den Modulen. So werden im terrestrischen Bereich sogar die exakt selben Probenahmepunkte benutzt und nicht nur die selben Standorte.
- (5) Das Programm deckt weiters aquatische und terrestrische Systeme ab.
- (6) Es ist über mehrere Großregionen repliziert (drei Untersuchungsgebiete in den drei NP-Länderanteilen Kärnten, Salzburg und Tirol sowie weitere Standorte in Südtirol, Oberettes und der Schweiz, Furkapass). Somit liegt ein die Alpen-überspannendes Netz vor.

Ein Ökosystem-orientiertes Umweltmonitoring sollte eigentlich alle Bereiche der abiotischen und biotischen Natur abdecken. Das ist weder praktisch, noch in Bezug auf die Kosten verhältnismäßig. Im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten gelang es, Schlüsseldisziplinen einzubinden, die jeweils durch führende Forschungsgruppen österreichischer Universitäten und dem Haus der Natur in Salzburg vertreten sind. Es war von Anfang an klar, dass Mikroklimatologie, Bodenphysik und klassische Bodenchemie (die letzteren zwei nur in der Startphase) die Basisdaten für die Monitoring-Flächen bereitstellen müssen (Universität Innsbruck). Ganz analog musste sichergestellt sein, dass in der aquatischen Ökologie Temperatur und Chemismus dokumentiert werden und stehende sowie fließende Gewässer berücksichtigt werden (Universitäten Salzburg und Innsbruck). Die involvierten biologischen Disziplinen können beliebig erweitert werden, es war aber jedenfalls unabdingbar, dass die Primärproduktion (sowohl terrestrisch wie auch zumindest ansatzweise aquatisch) abgedeckt sein muss. Das biologische Inventar und dessen langfristige Veränderung hat zumindest die Domänen Botanik, Zoologie und Mikrobiologie zu umfassen. Wegen des vorab unbekanntem Wild- und stellenweise auch Nutztiereinflusses war eine wildbiologische Befundung der Testregionen unabdingbar. Schließlich sollte parallel dazu auch die Dynamik der Kryosphäre im Nationalpark dokumentiert werden, da sie das Klimageschehen rein physikalisch integriert. Weitere Disziplinen wären von Anfang an hoch erwünscht gewesen. So zum Beispiel eine Expertise bezüglich der Käfer- und Spinnenfauna. Davon wurde aber nicht nur aus finanziellen Gründen abgesehen, sondern auch wegen der Natur solcher Beobachtungen, die nur über hochaufgelöste Fänge in engen Zeitintervallen ein realistisches Bild liefern können, was logistisch angesichts der abgelegenen Naturstandorte undurchführbar erschien.





Unter dem Leitthema „Leben an Existenzgrenzen im Hochgebirge“ wurden schließlich die vier Nationalparktäler Seebachtal (Kärnten), Ober- und Untersulzbachtal (Salzburg) und Innerschloß (Tirol) ausgewählt, um diesen neuen Forschungsschwerpunkt in den Hohen Tauern aufzubauen. Mittels dieses dauerhaft eingerichteten Monitorings soll es künftig möglich sein, Rückschlüsse auf Veränderungen in alpinen Ökosystemen, hervorgerufen durch Umweltveränderungen wie CO₂-Anstieg, Stickstoffeintrag oder Klimaveränderung, zu ziehen.

Mit der Projektrealisierung 2016 gelang der Schritt acht Forschungsgruppen, die unterschiedliche Fachdisziplinen vertreten, miteinander zu vereinen. Bereits seit Sommer 2017 wurden Hochgebirgsflächen in der Kernzone des Nationalparks im Zuge dieser ökologischen Langzeitbeobachtung genauestens untersucht. Nachstehend genannte österreichische Universitäten und Facheinrichtungen entwickelten gemeinsam mit dem Nationalpark Hohe Tauern und in enger Abstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat dieses Projekt „Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern – Pilot-Projekt zur methodischen Entwicklung, Ersteinrichtung und Validierung“:

- (1) Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie, Produktivität – Universität Innsbruck, Ulrike Tappeiner
- (2) Botanisch-Vegetationskundliche Analysen – Haus der Natur Salzburg, Helmut Wittmann
- (3) Bodenmesofauna – Universität Innsbruck, Erwin Meyer
- (4) Bodenmikrobiologie – Universität Graz, Martin Grube
- (5) Hydrologische, chemische und biologische Signale in Micro-Catchments – Universität Innsbruck, Leopold Füreder
- (6) Großherbivore – Universität für Bodenkultur Wien, Klaus Hackländer
- (7) Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik – Universität Graz, Gerhard Karl Lieb
- (8) Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen – Universität Salzburg, Stephen Wickham

Eine Beschränkung auf ein Monitoring aufgeteilt in Einzeldisziplinen oder ein Konsortium, bei dem jeder an einem anderen Ort in der selben Großregion Daten sammelt, wäre wissenschaftlich unverantwortlich. Bei einer gemeinsamen Bearbeitung der selben Standorte können Serviceleistungen wie Klimatologie, Bodenkunde und Basisdaten der Produktivität allen anderen Arbeitsgruppen zur Verfügung gestellt werden. Eine räumliche Trennung der Module würde es sehr schwer machen übergreifende Trends sichtbar zu machen, zu beurteilen und allfällige Wechselwirkungen zwischen Organismengruppen aufzudecken. Da ein wissenschaftlicher Koordinator unabdingbar war, übernahm Christian Körner (Universität Basel) diese Aufgabe ehrenamtlich. In Salzburg aufgewachsen und in Innsbruck akademisch ausgebildet, stand und steht er den Hohen Tauern seit den 1970er-Jahren nahe (MaB Programm) und ist mit der Materie durch seine Forschung und Lehrbücher bestens vertraut.





2 Einleitung

Christian Körner

2.1 Grundbedingungen und Ziele

Die zentrale Aufgabe des Nationalparks ist es, möglichst unberührte Natur nachfolgenden Generationen zu erhalten. Die „Natur“ ist aber nie statisch, sondern befindet sich in stetem Wandel, woran auch der Mensch maßgeblich beteiligt ist. Rücknahme und Intensivierung der Landnutzung, atmosphärische Veränderungen wie CO₂-Anstieg und Stickstoffeintrag sowie anthropogen bedingte klimatische Veränderungen hinterlassen ihre Spuren auch in heute weitgehend geschützten Lebensräumen. Solche Änderungen sind mit unseren Sinnen nicht unmittelbar wahrnehmbar – entsprechend wichtig ist es, dass tatsächliche und relevante Veränderungen durch Messungen und quantitative Beobachtungen sichtbar gemacht werden. Veränderungen werden besonders im Hochgebirge erst über lange Zeiträume nachweisbar, der Grund warum die langfristige Ökosystemforschung (Long-Term Ecological Research, LTER) eine globale Aufgabe wurde und speziell für Berggebiete ein vordringliches internationales Anliegen ist (Körner 2018).

Damit eine solche Ökosystembeobachtung Erfolg hat, muss sie gewisse Grundbedingungen erfüllen. Diese sind:

- (1) Die Wahl einer Gruppe praktikabler Indikatoren von hohem Aussagewert (Machbarkeit, vorhandener „Stand der Technik“, Wirkung).
- (2) Die Reproduzierbarkeit der Beobachtungen auch nach vielen Jahren (Exaktheit, Nachvollziehbarkeit, Wiederholbarkeit).
- (3) Die großräumige Replikation in einem Zielgebiet – wie hier den Hohen Tauern und Vergleichsgebieten in anderen Regionen der Alpen (Generalisierbarkeit, großräumige Muster, Erkennbarkeit von „Lokalphänomenen“).
- (4) Die Einbeziehung unterschiedlicher, wichtiger Organismengruppen (Organismengruppen-spezifische und zusammenschauende, ökosystemare Aussagen).

Das Beobachtungskonzept des Langzeitmonitorings im NPHT orientiert sich an diesen Vorgaben, in der Erwartung, dass sich um ein derartiges standardisiertes, räumlich und zeitlich repliziertes Projekt andere Projekte ansiedeln, die in diesem Monitoring quasi eine biologische Referenz, vergleichbar einer Wetterstation, haben.

Als übergeordnete Ziele dieses Langzeit-Programms wurden definiert:

- Erfassen und Verstehen von langfristigen Ökosystemprozessen im Gebirge unter dem Leitthema „Leben an Existenzgrenzen – zeitliche und räumliche Variation von Grenzen: terrestrisch, aquatisch, Kryosphäre“ im Lichte globaler Umweltveränderungen (Klimawandel, N-Deposition).
- Erfassen von Veränderungen in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen durch langfristige, standardisierte Messungen und quantitative Beobachtungen durch unterschiedliche Fachdisziplinen.
- Erarbeitung repräsentativer biologischer Referenzdaten, auf die sich spezifische Forschungsfragen, weitere Forschungsarbeiten und der Nationalpark in seiner öffentlichen Aufgabe künftig beziehen können.

Dementsprechend umfasst das Monitoring unterschiedliche räumliche Skalen:

- (1) „Permanent plots“ (Dauerbeobachtungsflächen) in alpinen „Standardökosystemen“ (Skala: wenige Zentimeter bis 8 m; hohe Genauigkeit bis auf Ebene des Individuums).
- (2) Kleinstenzugsgebiete (Micro-Catchments): Limnologisch-hydrologische Studien in der gleichen Höhenstufe (Skala: 50 bis mehrere hundert Meter, integrative Signale) und Gebirgsseen entlang eines Höhengradienten (Skala: 0,05 bis 20 Hektar).
- (3) Säugetier-Monitoring entlang von Höhengradienten oberhalb der Waldgrenze (Skala: hunderte von Metern bis km).
- (4) Gletschervorfelder, die dem Gletscherrückgang folgen und hochdynamische, von Störung geprägte Lebensräume sind (Skala: Hektar bis mehrere Quadratkilometer).

Die Präzision und Replizierbarkeit, sowie die kausale Erklärbarkeit von Veränderungen sind bei (1) und (2) ähnlich und nehmen von (1) und (2) nach (4) ab, während die Popularisierbarkeit von 1 nach 4 zunimmt.





2.2 Immanente Quellen

Zusätzlich existieren auf der Skala der „Region“ (wenige Meter bis Quadratkilometer) Fernerkundungs- und Bodendaten (Satelliten, Orthophotos, laufendes Gletschermonitoring, laufendes Gewässermonitoring, Wetterstationen), sowie amtliche Statistiken zu den sozio-ökonomischen Trends der betroffenen Regionen, der Touristik und der Landnutzung. Diese Informationsquellen sind bereits aus Archiven verfügbar, ihre Erhebung bedarf keiner neuen Aktivitäten (potentielle Auswertungsprojekte auf Basis bestehender Daten).

2.3 Terrestrische „permanent plots“

Die Expert*innen orientierten sich an dem übergeordneten Ziel, das „Leben an Existenzgrenzen“ im Gebirge zu erfassen und zu verstehen. Dazu eignen sich von der Natur vorgegebene, extrem ausgeprägte Umweltgradienten auf kleinem Raum, die als „Experimente der Natur“ die Möglichkeit bieten, ganze Serien von Existenzgrenzen mit vertretbarem Aufwand zu studieren. Im Idealfall reicht ein solcher Umweltgradient von Stellen, die für Blütenpflanzen „unbewohnbar“ sind (z. B. die Kernzone eines Schneebodens) bis zum Maximum der in solchen Höhenlagen natürlicherweise möglichen pflanzlichen Produktivität und Biodiversität. Solche Gradienten finden sich in der alpinen Stufe oberhalb des Bergwaldes, idealerweise über 2.300 m üNN, über wenige Meter Distanz, an sogenannten Schneetälchen (Friedel 1961). Entlang eines Gradienten der Lebensfeindlichkeit (Schneebedeckungsdauer) finden Pflanzen-, Tier- und Mikrobenarten eine Existenzgrenze. Die Isolinien dieser Existenzgrenzen sind empfindliche Indikatoren für die Wirkung von Klimaänderungen. Diese Isolinien verschieben sich im Laufe Klima-induzierter Ausbreitungsprozesse (Sukzession). Allerdings sind biologische Verbreitungsgrenzen selten scharf, sondern zeigen eine allmähliche Ausdünnung von Organismen-Populationen, weshalb Bewegungen an solchen Grenzen nur über Replikation statistisch fassbar werden.

Damit solche Beobachtungen interpretierbar werden, ist es nötig, dass die ausgewählten Standorte nicht durch mehrere, sehr unterschiedliche Umweltfaktoren gleichzeitig beeinflusst werden. Diese sind:

- (1) Die Wirkung von atmosphärischen Faktoren (z. B. Klima, CO₂, N-Deposition).
- (2) Die Wirkung natürlicher Störungen (z. B. Lawinen, Erosion der Gletscherbewegungen, Wildtiere, v.a. Nagetiere).
- (3) Die Wirkung anthropogener Störungen (z. B. Beweidung oder andere Formen der Landnutzung).

Die erste Gruppe von Faktoren kommt großräumig und relativ gleichförmig zur Wirkung. Letztere (2 und 3) spiegeln sehr uneinheitliche, lokale Gegebenheiten wider. Es galt also Flächen zu finden, an denen Störungen in der genannten Form minimal sind. Damit wird die ökologische Bedeutung von Störungen keinesfalls bagatellisiert, für einen großräumigen, standardisierten Vergleich eignen sich Störflächen jedoch nicht. Störungen schaffen auf jedem Quadratmeter neue Lebensbedingungen in „stochastischen“ Ereignisketten, die schwer bis gar nicht räumlich und zeitlich reproduzierbar wären. Eine Überlagerung mit solchen Einflüssen würde eine kausale Interpretation unmöglich machen, womit zum Beispiel die Validierung von überregionalen Klimawirkungen unerreichbar würde (siehe unten zu Stochastizität).

Bei der Erarbeitung dieses Konzeptes war den Expert*innen bewusst, dass derartige Grundbedingungen nur an speziellen Kleinlebensräumen zu finden sind. Solche finden sich jedoch in allen drei Nationalparkteilen, ja sie treten quer über den Alpenbogen auf und die Forschungsarbeiten können auf botanisch und zoologisch etabliertem Vorwissen aufbauen (z.B. Cernusca 1977, 1989, Franz 1980). Ein weiterer Vorteil solcher Flächen ist, dass sich die Konkurrenz- und Ausbreitungsprozesse von Arten nahe der Bodenoberfläche abspielen (geringe dreidimensionale Raumerschließung), was eine exakte Verortung der Positionen von Pflanzengesellschaften, Arten, ja sogar von einzelnen Individuen ermöglicht. Eine Herausforderung bleibt die Bewertung vergangener und rezenter Landnutzung durch Beweidung und ebenso ihr Ausschluss in der Zukunft. Auch der Einfluss von Wildtieren sollte bekannt sein.

Die Wahl solcher Mikrogradienten in der alpinen Rasenstufe minimiert solche Einflüsse, kann sie aber nicht völlig ausschließen. Um die gegenwärtige Situation insbesondere auch in Bezug auf die großen Herbivoren gut zu dokumentieren, war daher im Umfeld der Dauerbeobachtungsflächen ein Säugetiermonitoring (Zeitrafferkameras) zu etablieren. Wo Schafbeweidung noch erlaubt ist, muss das Beobachtungsareal in den Sommermonaten bis zur Beprobung mit einem Weidezaun geschützt werden. Es muss z. B. verhindert werden, dass eine Schafherde sich bei Hitze auf dem Rest eines Schneefeldes niederlässt. Die ausgewählten Flächen liegen allerdings so, dass das Risiko solcher Störungen klein aber nicht null ist (siehe Abschnitt 2.5). Weitere Informationen sind den Ausführungen zu den terrestrischen Dauerbeobachtungsflächen (Kapitel 3) zu entnehmen.





2.4 Aquatische Systeme

Der Vorteil aquatischer Systeme ist, dass sie es erlauben, an wenigen Punkten in der Landschaft flächig hoch integrative Informationen abzugreifen. In einem Fließgewässer oder einem See spiegeln sich die Bedingungen des ganzen Einzugsgebietes wider. Während Seen ein beträchtliches „Gedächtnis“ haben können, reagieren Fließgewässer rasch auf Änderungen (z. B. plötzliche starke Regenfälle o.ä.). Über ihre Verzweigungen bis hin zu Quellaustritten sammeln diese Gewässer chemische, physikalische und biologische Signaturen. Der Schlüssel für die Interpretierbarkeit der Daten einer aquatischen Messstation ist ein definiertes Einzugsgebiet und die Kenntnis seiner Geologie und Vegetation. Je kleiner solche „Micro-Catchments“ sind, desto eindeutiger kann man ihnen biologische Wirkungen aus dem Einzugsgebiet zuordnen. Sind sie jedoch zu klein, hat das Einzugsgebiet nicht genug Zeit und Raum um seinen Fingerabdruck zu hinterlassen, und der mineralogisch determinierte Bergwasser-Chemismus wird zum dominanten Faktor. Wichtige Faktoren, welche den Zustand der Gewässer über die natürlichen Gegebenheiten hinaus beeinflussen, sind die Landbedeckung und -Nutzung im Einzugsgebiet (Nährstoffeintrag) und der beabsichtigte (oder auch unbeabsichtigte) Besatz mit Fischen außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets. Einflüsse aus anthropogenen Abwässern können bei den hier gewählten alpinen Gewässern grundsätzlich ausgeschlossen werden, wohingegen Freizeitnutzung bei einigen der untersuchten Seen durchaus bemerkbar ist (siehe Teilprojekt „Seen“). Weitere Informationen sind den Ausführungen im Kapitel 4 *Aquatische Ökologie* zu entnehmen.

2.5 Säugetierbeobachtungen

Herbivore (besonders Säugetiere) prägen die Vegetation und damit ganze Ökosysteme. Ohne ihre Anwesenheit und Frequenz zu kennen, sind weder Artenzusammensetzung, Produktivität noch Nährstoffkreislauf schlüssig zu erklären. Ihr Auftreten ist stochastisch und die Effekte sind oft unvorhersehbar. Mit einer Langzeitreihe an Daten der Lebensraumnutzung von Großherbivoren werden Hintergrundinformationen für Änderungen im Ökosystem und Veränderungen des Raum-Zeit-Verhaltens der Tiere dokumentiert. Moderne Kamertechniken erlauben es, die Wilddynamik festzuhalten und zu quantifizieren, zumindest für größere Herbivoren. Diese Dokumentation erlaubt auch Rückschlüsse über Raum-Zeit-Verhalten und Populationsstruktur dieser Wildtiere. Quasi als notwendiger „Beifang“ wird auch das Auftreten von Nutztieren mitdokumentiert. Kleinsäuger, die maßgeblichen Einfluss auf alpine Ökosysteme haben, bleiben hier unberücksichtigt. Ihre lokale Wirkung ist oft größer als die der Großherbivoren und ihre Populationsgrößen unterliegen starken Schwankungen. Ausgrenzungsexperimente mit Gitterkörben sind auf jeden Fall eine Option für die Zukunft. Weitere Informationen sind den separaten Ausführungen in Kapitel 3, Abschnitt 3.2.9 zu entnehmen.

2.6 Gletschervorfelder

Ihr Wesen ist die Störung. Nichts ist hier dauerhaft stabil, alles stets im Wandel. Sie gehören zu den dynamischsten Lebensräumen im Hochgebirge. Was heute eine bunte Blütenwiese ist, kann morgen unter Sediment begraben sein. Was heute eine steile Moränenwand ist, kann morgen einfach weg sein. Fließendes Wasser und Substratbewegungen (insbesondere nach Unwettern und Lawinen) schaffen von Saison zu Saison neue Lebensräume. Ab einer bestimmten (relativ kurzen) Distanz zum Gletschertor ist es nicht diese räumliche Distanz, sondern die Zeit seit der letzten Störung, die den Zustand dieser Ökosysteme prägt. Grob entfallen die „periglazialen“ Ökosysteme in zwei Kategorien:

- (1) Große Seiten- und Stirnmoränen: Diese repräsentieren sehr spezielle alpine Ökosysteme, da ihr relativ junges Alter sehr oft eindeutig bestimmt werden kann, wie zum Beispiel auf den 1850er-Moränen der Gletscher. Solche Moränen finden sich in ungestörter Lagerung im Nationalpark Hohe Tauern. Sie rufen nach einer Erhebung von biologischen Referenzinventaren, die in ferner Zukunft wiederholt werden können. Dabei wären stabile Abschnitte von der Innen- und der Außenseite zu differenzieren. Allein der heutige Zustand wäre einen Vergleich quer über den Nationalpark wert.
- (2) Dynamik und biologische Reichhaltigkeit unberührter Gletschervorfelder: Hier gilt es Ökosysteminseln von unterschiedlichem Alter von rezenten Störfeldern zu unterscheiden. Der Grad der Bodenentwicklung ist derjenige Marker, der eine Stratifizierung solcher Ökotope in vergleichbaren Zuständen erlaubt. Dies sind auch jene Ökosysteme, für die das vorhandene Archiv an Luftbildern eine hervorragende Möglichkeit bereitstellt, die historische Entwicklung und laufende Dynamik zu dokumentieren. Wie zu den Referenzflächen des biologischen Langzeitmonitorings braucht es eine initiale Erfassung des biologischen Inventars, insbesondere der Vegetationsbedeckung und Artendiversität. Von besonderem Interesse ist das erste Auftreten von Arten der späten Sukzession sowie die Bodenentwicklung. Da die Gletschervorfeldforschung sehr alt ist (Janetschek 1949 und 1958, Friedel 1956, Franz 1969, Burga 1999, Türk und Erschbamer 2010) und somit lange Zeitreihen existieren (z. B. Tiroler Rotmoostal, Morteratsch Vorfeld in der Schweiz), kann hier direkt angeschlossen werden.

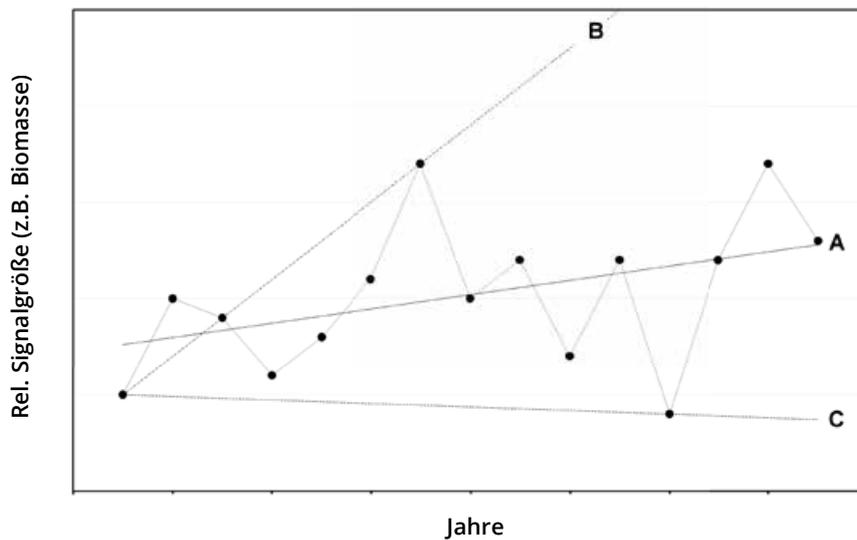




Ein derartiges biologisches Inventar im periglazialen Raum wurde in der Startphase des Projekts allerdings nicht Teil der hier vorgestellten Untersuchungen. Die Untersuchung der Vegetation (Vegetationskartierung) und der Prozessdynamik (Luftbildinterpretation nach CC-HABITALP-Methodik, Veränderungsinventur) in den drei Untersuchungsgebieten im Nationalpark Hohe Tauern sind in Form von eigenen Projekten geplant. Weitere Informationen sind den separaten Ausführungen in Kapitel 5 zu entnehmen.

2.7 Der Umgang mit zeitlicher Variabilität

Die „CruX“ jeden Langzeitmonitorings in Natursystemen ist deren „normale“ zeitliche Variabilität. Kann die saisonale Variabilität durch phänologische Fixpunkte (z. B. Blühphänologie von Pflanzen oder Beginn und Ende der Eisbedeckung an Seen) berücksichtigt werden, so bleibt die Variabilität von Jahr zu Jahr eine große Herausforderung. In großem zeitlichen Abstand (mehrere Jahre oder Jahrzehnte) durchgeführte Datenerfassungen können im schlimmsten Fall zufällig ein Minimum oder ein Maximum der natürlichen Amplitude erfassen und somit zu einer massiven Überschätzung oder Unterschätzung des tatsächlichen Trends führen. Es muss also diese Variabilität gut (jährlich) abgebildet werden, um eine derartige Verzerrung der Ergebnisse („bias“) zu vermeiden.



Auch diese Problematik spricht für die Wahl der beschriebenen terrestrischen Gradienten in Systemen der späten Sukzession, in denen sich stabile Biozönosen etablieren konnten, die ein vergleichbares Beharrungsvermögen besitzen (z. B. klonaler Wuchs), also nicht jeder Wetterkapriole „nachspringen“ (reife Ökosysteme). Das gilt auch für Kleinstzugsgebiete von Gewässern ohne offenkundige Störflächen.

Abb. 2.7-1: Problem der Jahres-Schwankungen von Signalen bei Langzeitbeobachtungen mit großen Beobachtungsintervallen. Schlussfolgerungen B und C weichen stark vom korrekten Trend A ab (Körner 2018).

Alle Organismengruppen sind einer zeitlichen Veränderung ihrer Populationen unterworfen, ohne dass es dazu Einflüsse von außen braucht. Bekannt ist das Phänomen der Mastjahre bei vielen Baumarten oder der zyklische Antagonismus von Räuber und Beute. Vor allem nicht-klonale und insbesondere einjährige Arten, wie etwa aus der Gattung Augentrost (*Euphrasia*), aber auch wenigjährige ausdauernde Arten, wie etwa die Strauß-Glockenblume (*Campanula thyrsoidea*) zeigen auffällige Zyklen. Aber selbst klonale Arten (der Großteil aller Arten der terrestrischen alpinen Ökosysteme die hier untersucht werden) haben autonome Zyklen ihrer Wachstums- und Ausbreitungsaktivität. Auch im Plankton alpiner Seen sind solche Phasen zu beobachten. Sie können sich stark auf die Biomasse und die Biodiversität in den Gewässern auswirken. Solche Veränderungen gilt es von langfristigen, Klima-induzierten Änderungen zu unterscheiden. Es ist eben nicht jede beobachtete Veränderung notwendigerweise mit Klimaänderungen verknüpft. Da es in höchstem Maße unwahrscheinlich ist, dass sich solche Populationsprozesse an allen Transekten, Regionen und Gewässern und bei allen Arten von Organismen synchron abspielen, darf davon ausgegangen werden, dass solche Änderungen durch die räumliche Replikation integriert werden.

Der dritte Aspekt zeitlicher Variabilität betrifft die phänologische Entwicklung der Vegetation innerhalb der Wachstumsperiode und der daran gekoppelte saisonale Wandel im Bodenleben. Vergleichbare Daten erfordern vergleichbare Zustände der Biozönose bei der Beprobung. Hier stellt sich das Problem, dass sich entlang eines Schneeschmelzgradienten auch die Phänologie verschiebt. Abbildung 2.7-2 illustriert wie im Langzeitmonitoring der Zeitpunkt der Probenentnahme gewählt wurde, um allfällige Phänologieeffekte zu minimieren.



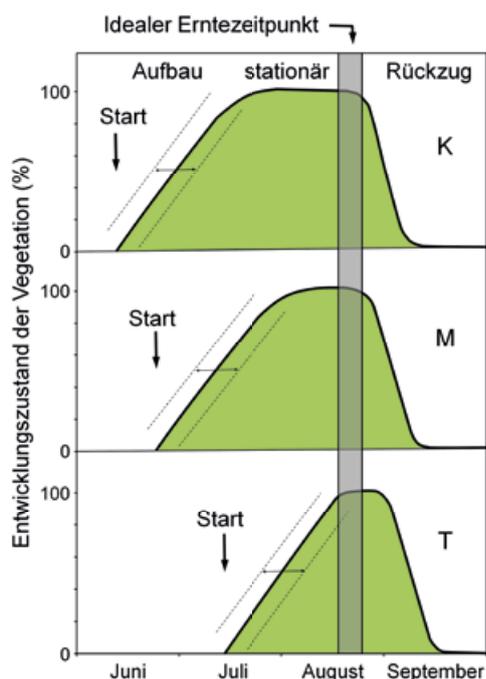


Abb. 2.7-2: Entlang eines Schneeschmelzgradienten verschiebt sich der Zeitpunkt der maximalen Biomasseentwicklung. Deshalb müsste man eigentlich jeden Standort, ja jedes Transekt, mehrmals im Jahr zur Ernte besuchen, um stets identische Entwicklungszustände zu erfassen. Das ist logistisch unmöglich. Außerdem bräuchte es aktuelle Standortdaten (webcam) um die Situation zu bewerten. Der Ausweg bzw. Kompromiss liegt nun darin den Zeitpunkt so zu wählen, dass die günstigsten Quadranten der Transekte gerade noch im hochsommerlichen Biomassemaximum stehen, und die Ungünstigsten dieses positionstypische Maximum gerade schon erreicht haben, jedoch an keiner Stelle bereits der Rückzug der oberirdischen Biomasse (Seneszenz) von Bedeutung ist. Dies ist eine pragmatische Annäherung, schon allein deshalb, weil nicht alle Arten einer Artengemeinschaft sich synchron entwickeln. Um mögliche Fehler möglichst klein zu halten, werden daher bei der Biomassernte eindeutig der laufenden Saison zuzuordnende Organe, die schon vergilbt oder jedenfalls gealtert sind, dennoch der Biomasse zugeschlagen (im K- und M-Bereich). Der Start entspricht grob dem lokalen Zeitpunkt der Schneeschmelze, die punktierten Linien deuten die Folgen der von Jahr zu Jahr variierenden Schneeschmelze an. T, M und K beziehen sich auf die tiefste, mittlere und höchste Position einer Schneetälchenflanke (eines Transektes). Es bleibt die Herausforderung das schmale Fenster für den idealen Erntezeitpunkt der Ernte für jedes Jahr festzulegen und dabei noch dem aktuellen Wetter gerecht zu werden. Es darf angenommen werden, dass Bodentiere und Bodenmikroben einer ähnlichen Entwicklungsdynamik unterliegen.

2.8 Der Umgang mit Stochastizität

Stochastische Ereignisse mit großer Störwirkung, also Singularitäten, sind der „Tod“ jedes Langzeitmonitorings. Sie stellen häufig eine Art „reset button“ dar, der es nicht erlaubt an vorige Beobachtungsreihen anzuknüpfen. Nur wenn man die Stochastizität selbst zum Thema macht, ist ein Langzeitmonitoring auf Flächen, die stochastischen Einflüssen unterliegen, sinnvoll. Der Anspruch der Generalisierbarkeit und Reproduzierbarkeit bleibt in der Regel unerfüllbar. Daher haftet der Beobachtung stochastischer Ereignisse etwas Dokumentarisches an. Der bloße Nachweis, dass sich etwas dynamisch verändert hat, ist oft schwer von Trivialität abgrenzbar.

Dieses Problem stellt sich besonders bei der Wildtierbeobachtung und bei Studien im Gletschervorfeld, kann aber prinzipiell alle Beobachtungsreihen treffen. Das plötzliche Auftreten von großen Tieren, epidemischer Krankheiten oder die Massenausbreitung von Tieren mit entsprechenden Fraßschäden (Lemmingsyndrom) sind typische stochastische Phänomene. Im Gletschervorfeld sind es hydrogeologische Prozesse, die einen starken Zufälligkeitsscharakter haben (z. B. die Verlagerung eines mäandrierenden Bachbettes, Hangrutschungen). Im Fall der Gletschervorfeldbeobachtung hilft die in Luftbildern oder Satellitenaufnahmen dokumentierte Vorgeschichte. Solche Dokumente erlauben es stabile Bereiche altersmäßig zu definieren und so Zusammenhänge zwischen Alter und Biozönose-Entwicklung herzustellen (klassische Sukzessionsstudien). Stochastische Ereignisse (so natürlich sie sein mögen) sind letztlich Störgrößen im Langzeitmonitoring, die durch räumliche und zeitliche Replikation in ihren Auswirkungen gemildert werden. Sie wirken, wie wenn ein Sturm einen Wettermast umwirft und die Daten danach allenfalls noch in Bodennähe aufgezeichnet werden. Keinesfalls darf man Daten, die aus solchen Störungen resultieren, „blind“ in eine Mittelwertbildung oder Regression einbeziehen, da sie das Bild verzerren. Es braucht Expertenwissen, um solche Phänomene zu bewerten. Wenn zum Beispiel eine Massenausbreitung von alpinen Feldmäusen dazu führt, dass große Flächen des alpinen Rasens komplett abgegrast werden und sich der Aufwuchs in organischen Mull verwandelt, kann an solchen Lokalitäten keine sinnvolle Biomassernte oder Aufsammlung der Bodenmesofauna durchgeführt werden, auch wenn Mäuse zum alpinen Ökosystem gehören. Würden lokal Fische in einen See eingesetzt werden, macht eine Planktonanalyse in der Zeitreihe keinen Sinn mehr, so spannend der Effekt sein mag. Solche stochastischen Ereignisse reduzieren also potentiell die Replikation. Es kann einige Jahre dauern bis ein derart „ausgelenktes“ System wieder zur „Normalität“ zurückkehrt. Wollte man alle solche Ereignisse in ein Langzeitmonitoring einbeziehen, bräuchte es ein Vielfaches an Testflächen, Personal und Mittel.

2.9 Standorte

In den folgenden Abschnitten wird laufend auf fünf Standorte Bezug genommen (Abb. 2.9-1). Es sind dies die drei Standorte im Nationalpark Hohe Tauern (Seebachtal-Kärnten, Unter- und Obersulzbachtal-Salzburg, Innerschloss-Osttirol) und für die terrestrische Ökologie zwei zusätzliche Standorte, die durch Kooperationen zustande kamen: Der Standort Oberettes im Matschertal, Südtirol / Italien und der Standort Furka, am Furkapass in der Inner-Schweiz.



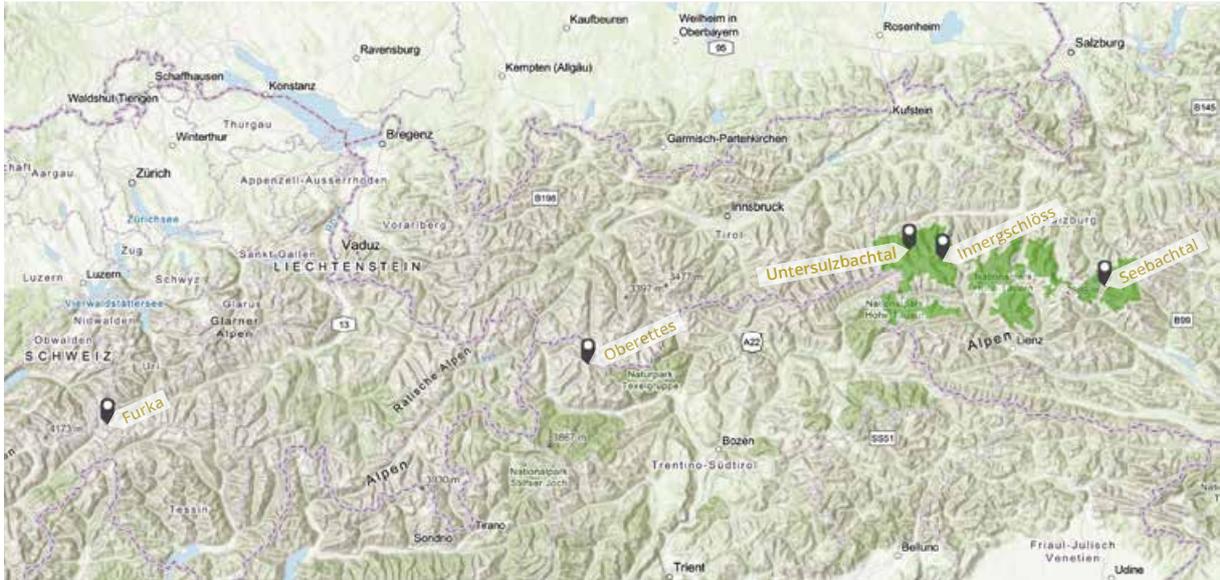


Abb. 2.9-1: Überblickskarte der Untersuchungsgebiete (Datengrundlage: Nationalpark Hohe Tauern, ESRI Basemap, 2020).



Abb. 2.9-2: Standort Seebachtal, Transekt 2 (2.300 m üNN, Ankogelgruppe) in Kärnten (Foto Körner 2017).



Abb. 2.9-3: Standort Untersulzbachtal, Wetterstation (2.380 m üNN, Venedigergruppe) in Salzburg (Foto Körner 2017).





Abb. 2.9-4: Standort Innergschlöss, Transekt 4 (2.350 m üNN, Venedigergruppe) bei Matrei in Osttirol (Foto Körner 2017).



Abb. 2.9-5: Standort Matschertal (Oberettes, 2.700 m üNN, Öztaler Alpen) in Südtirol mit einer Mikroklimateststation in unmittelbarer Nähe der Transekte. Diese erfasst nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch wesentliche Parameter des Strahlungshaushaltes, die Windgeschwindigkeit sowie die Schneehöhe im Winter bzw. die Bestandeshöhe im Sommer. Der Standort befindet sich in einem international anerkannten langzeit-ökologischen Untersuchungsgebiet (LTER-IT25 - Val Mazia / Matschertal) (Foto Körner 2018).



Abb. 2.9-6: Standort Furka (2.460 m üNN, Schweizer Zentralalpen). Der Standort befindet sich in einem international anerkannten langzeit-ökologischen Untersuchungsgebiet (LTER-Schweiz, Alpine Research Station Furka, ALPFOR) (Foto Körner 2017).



Aquatische Lebensräume werden nur im Nationalpark Hohe Tauern erforscht. Das Modul „Seen“ untersucht im Seebachtal, im Innergschlöss sowie im Obersulzbachtal (im Untersulzbachtal gibt es keine Seen, die den Auswahlkriterien entsprechen, s.u.) jeweils sechs Seen, die entlang eines Höhengradienten liegen (jeweils zwischen ca. 2.000 und ca. 2.600 m üNN), siehe Abb. 2.9-7.

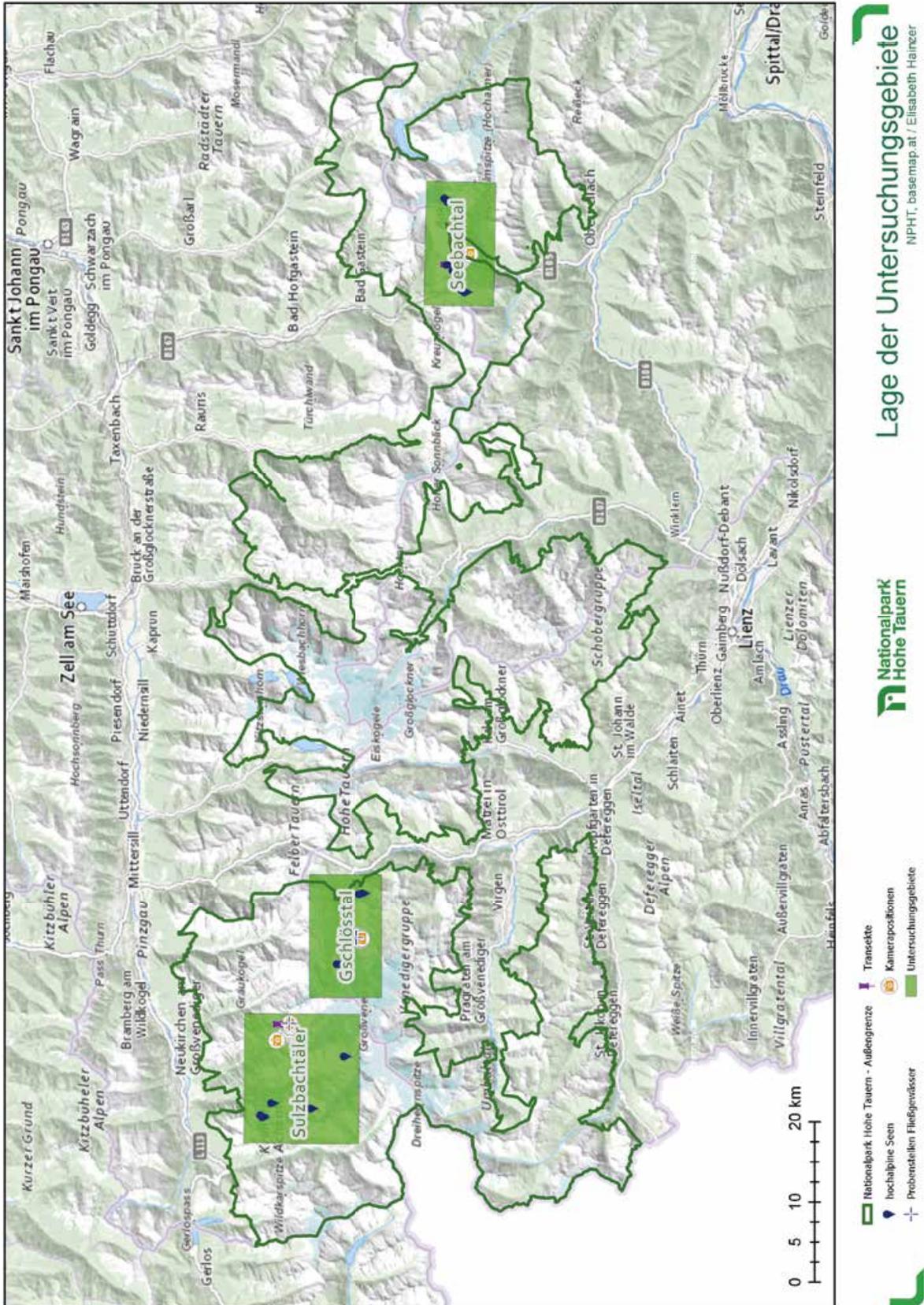


Abb. 2.9-7: Übersichtskarte zur Lage der Untersuchungsgebiete im Langzeitmonitoring des Nationalparks Hohe Tauern.



Die Untersuchungssysteme des Micro-Catchment Moduls umfassen drei Fließgewässer im Nationalpark Hohe Tauern (Micro-Catchments), je eines im Seebachtal, Innerschlöss und Untersulzbachtal. Assoziiert mit dem Micro-Catchment Projekt ist ein bestehendes Langzeitmonitoring von zehn Fließgewässern im Nationalpark Hohe Tauern.

Für das Modul „Kryosphäre“ wurde im Rahmen des gegenständlichen Monitoring- und Forschungsprogramms ein Messstandort für das Monitoring von Bodentemperaturen im Permafrost-Milieu eingerichtet (Innerer Knorrkogel, Venedigergruppe, Osttirol). Alle übrigen, in diesem Modul verwendeten Daten, stammen von Standorten, die für andere Dauerbeobachtungs-Programme im Nationalpark Hohe Tauern oder seiner engeren Umgebung betrieben werden.

Für das Modul „Großherbivorenmonitoring“ existieren Standorte entlang des Höhengradienten. Je Untersuchungsgebiet sind dies von der Dauerbeobachtungsfläche abwärts bis zur Waldgrenze zehn Kameras, verteilt auf ca. 30 bis 80 m Höhenmeter-Differenz von Kamera-Standort zu Kamera-Standort. Diese reichen beispielsweise von 1.665 m üNN (Untersulzbachtal) bis hin zu 2.380 m üNN (Untersulzbachtal).

2.10 Interdisziplinarität

Das übergeordnete Ziel des interdisziplinären Langzeitmonitoring-Programms im Nationalpark Hohe Tauern ist es zu erforschen, ob es sichtbare Effekte von Umweltveränderungen auf diese alpinen Ökosysteme gibt, ob diese sich im Laufe der Zeit verstärken und an welchen Veränderungen man sie festmachen kann (z. B. Änderungen in den Lebensgemeinschaften hinsichtlich Artenhäufigkeit und / oder Biodiversität).

Die Tatsache, dass das Projekt in seiner praktischen Umsetzung in insgesamt acht separate Module unterteilt ist, deren Einzelergebnisse in der Berichtslegung stark hervorgehoben wurden, widerspricht diesem übergeordneten Ziel sowie dem Konzept der Interdisziplinarität nicht. Es ist nicht von vornherein klar, welche Organismengruppen auf langfristige Klimaänderungen reagieren und in welchem Ausmaß. Zudem ist es möglich, dass die Reaktion einer Organismengruppe jene einer anderen bewirkt (also z. B. die Reaktion von Pflanzen auf Bodentiere und Bodenmikroben und umgekehrt). Letztlich ist nicht klar, welche Komponenten der Umwelt (z. B. Temperatur, Niederschlag, Nährstoffeintrag etc.) sich auswirken und inwiefern sich Klimawirkungen direkt oder indirekt über Veränderungen im Boden bzw. im Wasserchemismus auswirken.

Dies lässt sich mit dem Beispiel einer Wetterstation vergleichen. Auf einem Wettermast wird unter anderem Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonnenstrahlung und Niederschlag gemessen. Niemand käme auf die Idee, nur Wind zu messen. Wenn nun die Temperatur steigt, könnte das aus geringerer Sonnenscheindauer (Bewölkung) resultieren oder aber direkt mit einer tatsächlich wärmeren – vom Atlantik „angelieferten“ – Luft zu tun haben, unabhängig vom lokalen Strahlungsklima. Wenn die Luft beispielsweise trockener wird, kann dies die bloße physikalische Folge der Erwärmung sein oder das Resultat geringerer Niederschläge. Jede meteorologische Messgröße hat ihren eigenen Wert. Es macht also durchaus Sinn, Niederschlag alleine zu messen, aber es ist selbst dann ein Mehrwert alle genannten Größen gemessen zu haben, wenn sich herausstellen sollte, dass es keine ausgeprägte kausale Verbindung zwischen ihnen gibt. Ein Zusammenhang, der ohne Kenntnis der einzelnen Einflussgrößen nicht verneint werden könnte. Zwischen Wind und Sonnenstrahlung besteht in der Regel keine Querverbindung und dennoch macht es Sinn beides zu messen.

In diesem Langzeitprojekt wurde dem Rechnung getragen und nicht auf „ein Pferd“ gesetzt. Das bedeutet jedoch nicht, dass die einzelnen Themen notwendigerweise Verknüpfungspunkte (Querverbindungen) haben. Zwischen den meisten erfassten Bodenfaktoren und der pflanzlichen Artenvielfalt gibt es noch kaum etablierte Wechselbezüge. Nicht einmal die Produktivität eines Alpenrasens korreliert direkt mit dessen Artenvielfalt. Ebenso wenig hat die Wissenschaft bisher zeigen können, dass zwischen Bodenmilben und pflanzlicher Produktivität ein Zusammenhang besteht oder auch nur zu erwarten ist. Für Wildtiere ist es belanglos, ob im Boden mehr oder weniger Mangan ist. Die Planktonblüte in einem Gebirgssee ist schwerlich direkt in Beziehung zu setzen mit der Artenvielfalt im umliegenden Rasen. Und was die Gletscher in der Umgebung der terrestrischen Dauerbeobachtungsflächen antreibt, ist weitgehend bedeutungslos für die Häufigkeit von Flechten an einem Schneeboden oder für die Abundanz an Flohkrebse in einem See, es sei denn, trübes Gletscherwasser würde in den See fließen. Alle diese Messgrößen haben aber einen unbestreitbaren Eigenwert. Ein Langzeitmonitoring muss sich auf die Expertise unterschiedlicher Fachdisziplinen abstützen, da nicht klar ist, wo sich im Laufe vieler Jahre Querverbindungen ergeben und welche der erfassten Größen sich wie ändern werden. Darüber hinaus ist es für die wissenschaftlichen Aussagen hochrelevant herauszufinden, ob beispielsweise terrestrische und





aquatische Lebensgemeinschaften gleich schnell und / oder stark auf Umweltveränderungen reagieren, oder ob die (mögliche) Reaktion auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen abläuft.

Dieses Programm vereint somit Fachleute aus der Umweltphysik (Klimatologie, Bodenphysik), Bodenchemie, Vegetationskunde und pflanzlicher Biodiversität, Produktionsbiologie, Mikrobiologie, Bodenzologie, Wildtierbiologie, Gewässerökologie und Gletscherkunde. Das Besondere an diesem Projekt ist die räumliche und zeitliche Verknüpfung der Datenerhebung. Nur so darf man in Zukunft erwarten, da und dort Zusammenhänge zwischen einzelnen Kenngrößen aufzudecken. Böden sind zu beschreiben und zu analysieren, ohne dass zwischen diesen Bodeneigenschaften und anderen Größen enge Zusammenhänge zu erwarten sind. Ohne solche Bodendaten würde man allerdings im Dunkeln tappen und die bodenkundliche Vergleichbarkeit von Standorten nicht belegen können. Im Gegensatz dazu sind Zusammenhänge zwischen Mikroklima und Lebensprozessen offenkundig. Luft- und Bodentemperaturen sind nötig, um die Transekte zu charakterisieren, die tatsächliche Schneedeckendauer zu kennen und um zu wissen, ob die Transekte und Regionen gleich oder unterschiedlich sind. Auch um aufzeigen zu können, ob sich die Periode der Eisbedeckung in Seen und Bächen verändert und ob es Variabilität in den Schichtungsverhältnissen der Wassersäule in den Seen gibt, sind Temperaturdaten aus den Gewässern nötig.

Da es in der Startphase des Monitorings um die Gewinnung von Referenzdaten für die Zukunft ging, sind naturgemäß noch keine sinnvollen Vergleiche zeitlicher Änderungen möglich, welche mit dem Klimawandel in Verbindung zu bringen wären. Was jetzt möglich ist, sind rein statische Vergleiche des IST-Zustands. Bei einigen Daten gibt es Resultate für zwei Jahre, die aufzeigen mit welcher Jahr-zu-Jahr Variabilität zu rechnen ist. Also zum Beispiel geben diese ersten Daten Informationen dazu, ob Flächen mit längerer, schneefreier Zeit produktiver sind oder ob bestimmte Pflanzen-, Tier- und Mikrobengruppen seltener / häufiger vorkommen, wenn man sich entlang der gewählten Transektpositionen oder von tiefen Seen zu seichten bzw. von tiefgelegenen zu hochgelegenen Seen bewegt. Des Weiteren ist für Fließgewässer die tageszeitliche und räumliche Variabilität der erhobenen Kenngrößen eingegrenzt worden. Um belastbare Aussagen über Folgen des Klimawandels machen zu können, müssen wir uns jedoch deutlich von den kleinskaligen Jahr-zu-Jahr Veränderungen wegbewegen und Daten über sehr lange Untersuchungsperioden (> 10 Jahre) zur Verfügung haben.

Darüber hinaus erlauben uns nur system- und organismenübergreifende Datensätze eine Aussage darüber zu machen, in welchem Ausmaß quantitative und qualitative Veränderungen auf den Klimawandel zurückzuführen sind und inwieweit konkrete Effekte der Landnutzung (z. B. Nährstoffeintrag durch Tourismus oder Beweidung) hier eine Rolle spielen.

2.11 Abschlussbemerkung

Die ausgewählten terrestrischen Referenzflächen und Gewässer stellen „Anker-Standorte“ dar, die Generationen von Gebirgsforscher*innen die Möglichkeit geben werden, die langfristigen Ökosystemprozesse im Gebirge zu verfolgen und zu erklären. Gleichzeitig stellen sie auch biologische Referenzstandorte für Anschluss-Projekte in speziellen Lebensräumen oder an besonderen Organismengruppen der jeweiligen Region dar.





3 Terrestrische Ökologie

3.1 Konzept und Standorte der terrestrischen Ökologie

Christian Körner

So wie Wetterstationen uns helfen, aus kurzzeitigen Schwankungen des Wetters langfristige Tendenzen im Klima abzuleiten, können langandauernde Beobachtungen terrestrischer und aquatischer Ökosysteme Entwicklungen sichtbar und quantifizierbar machen, die mit unseren Sinnen über kurze Zeiträume nicht wahrnehmbar sind. Ganz analog zu Wetterstationen sind dazu „biologische Stationen“ nötig, an denen, wie in der Meteorologie, mit strenger Standardisierung der Messmethoden Daten erhoben werden. Erst diese Standardisierung erlaubt einen Vergleich über lange Zeiträume, ohne dass man Angst haben muss Änderungen zu erfassen, die nicht „echt“ sind, sondern nur daher rühren, dass weder das exakt Gleiche beobachtet wurde, noch sich die Beobachtungsmethoden verändert haben. Es ist daher im Langzeitmonitoring unerlässlich (a) zu standardisieren und (b) alle Verfahren sehr genau zu dokumentieren.

Weil Monitoring, also „stetige Beobachtung und Dokumentation“, eben größtmögliche Kontinuität voraussetzt, sollten dabei nur etablierte Verfahren zum Einsatz kommen. Da Kontinuität voraussetzt, dass nicht nach anfänglichem Enthusiasmus der Aufwand irgendeinmal lähmend und demotivierend wird, gilt das Motto: „Lieber wenig, aber das dauerhaft und so genau wie möglich“. Damit scheiden viele aufwändige Verfahren aus. Ihr Einsatz kann jedoch im Stile von gezielten Projektstudien ergänzend von großem Wert sein.

Ein Ökosystem, so auch das hier gegenständliche alpine Ökosystem, besteht aus dem „topos“, dem Ort oder der Matrix in dem / der sich das Leben abspielt und dem lebendigen Inventar. Gilt es Veränderungen der Lebewelt zu verstehen und zu interpretieren, muss man sicherstellen, dass man nicht die ganz natürlichen Veränderungen in Lebensgemeinschaften (Biozöosen) bei konstanter Umwelt mit einer von der Umwelt induzierten Veränderung verwechselt. Dazu ist es nötig Umwelt und biologisches Inventar in das Monitoring gleichwertig einzubeziehen. Im Wesentlichen besteht diese Umwelt aus den Rahmenbedingungen die (a) Klima und Boden liefern (abiotische Umwelt) – wobei der Boden selbst ein Produkt der Biozönose ist, in starker Wechselwirkung mit dem biologischen Inventar steht und mit ihm „reift“ (Sukzession) – und (b) Bedingungen, die Organismen aus der Präsenz anderer Organismen erfahren (Nachbarn und Mitbewohner des Ökosystems; biotische Interaktionen).

Die Merkmale eines Ökosystems ändern sich mit unterschiedlichen Zeitkonstanten. Der geologische Untergrund ändert sich in hier relevanten Zeiträumen überhaupt nicht und auch die Topographie (Oberflächengestalt der Landschaft) darf als Konstante betrachtet werden. Die meisten Bodenmerkmale ändern sich sehr langsam, allenfalls über mehrere Jahrzehnte. Das Klima ändert sich ebenfalls nur sehr langsam und erst jahrzehntelange Beobachtungen erlauben es, aus Schwankungen des Wetters Klimatrends abzuleiten. Viel schneller, aber immer noch sehr langsam, ändert sich das Inventar an dominanten, nicht auf großen Maßstäben beweglichen Organismenarten (Pflanzenarten, Bodentiere, Bodenmikroben) und daran gekoppelt die basalen chemischen und physikalischen Bodenparameter. Sehr schnell kann sich das Wetter, die Präsenz von Wirbeltieren und das Pflanzenwachstum (die Biomasseproduktion) ändern. Daraus ergibt sich, dass bei manchen Parametern eine einmalige Erfassung der Referenzwerte genügt, um den Standort für „immer“ zu beschreiben (z. B. viele bodenphysikalische und bodenchemische Parameter), während bei anderen Wiederholungen nach 10 bis 30 Jahren angezeigt sind (z. B. pH-Wert, Bodenstickstoffdaten), und wieder andere eine Erfassungsfrequenz von 3 bis 5 Jahren (z. B. Blütenpflanzen Inventare / Abundanz) oder gar jährliche Erfassungen (z. B. Mikroklima, Populationsdynamik von Pflanzen, Biomasseproduktion, Großsäuger, Wasserqualität, aquatische Organismen) erfordern.

Eine zentrale Voraussetzung für eine Langzeitbeobachtung ist die Auswahl geeigneter Standorte und Gewässer, deren dauerhafte Vermarkung / Identifikation essentiell ist („permanent plots“). Hier kommt allerdings ein fundamentaler Unterschied zum Standort von Wetterstationen ins Spiel. Wetterstationen sind so konzipiert, dass sie ein möglichst repräsentatives Bild des Zustands der Atmosphäre liefern. Idealerweise erfasst ein Messturm an einem Punkt die Verhältnisse, die über viele – ja hunderte – Quadratkilometer gelten. Diese Zustände haben dann aber sehr wenig mit dem zu tun, was





eine Spinne am Boden, ein Moos oder eine Blütenpflanze im alpinen Rasen erleben (Scherrer und Körner 2009, 2011). Hinzu kommt, dass die Topographie in Wechselwirkung mit Wind und Schwerkraft Sortierprozesse auslöst (Körner 2004). Bewegt werden so Wasser, Feinerde, organischer Abfall und damit Nährstoffe. Weiters werden alle Klimafaktoren stark verändert, wenn man sich der Bodenoberfläche nähert (Mikroklima; Körner 2003). Das führt dazu, dass kein Punkt in der Landschaft dem anderen gleicht. Eine Standardisierung im Sinne eines Wetterstationsnetzes ist daher unmöglich.

Allerdings kann bei der Standorts- und Gewässerauswahl zumindest die geologisch-mineralogische Variabilität im Sinne einer Standardisierung stark eingegrenzt werden, indem, wie hier, darauf geachtet wurde nur Standorte auf Silikat zu wählen. Es wäre sicher sehr spannend gleichgewichtig auch Karbonat-basierte Standorte zu untersuchen, aber das würde den logistischen und finanziellen Rahmen sprengen. Wenn langfristige Umweltveränderungen wie Stickstoffdeposition und längere Trockenperioden ins Spiel kommen, wäre es denkbar, dass Biozönosen auf Silikat und Karbonat unterschiedlich reagieren. Solche Interaktionen mit den bodenchemischen Grundvoraussetzungen können hier nicht abgedeckt werden. Es gibt aber auch innerhalb der Silikat-Böden potentielle bodenchemische Unterschiede (z. B. pH-Wert), die zur Standortsvariabilität beitragen.

Daraus ergibt sich, dass man die klein- und großräumige, natürliche Variabilität nur durch ein sehr dichtes Messnetz, das heißt hohe Replikation, soweit in den Griff bekommen kann, dass man Signale erfasst, die für das „Große Ganze“ einigermaßen repräsentativ sind (Körner 2018). Die Veränderungen für jeden einzelnen Punkt in der Landschaft bleiben zwar bei standardisierter Wiederbefundung immer dokumentierbar, aber ob es sich dabei um lokale Kuriosität oder großräumige Muster handelt, kann nur durch Replikation abgesichert werden. Ein terrestrisches Ökosystem-Monitoring muss also nicht nur die Repetition (Wiederbefundung), sondern auch die Replikation im Griff haben. Letzteres ist deshalb schwierig, weil sich die „statistische Macht“ (statistical power) erst aus der Varianz ergibt. Sie sagt einem, wie groß bei einer gegebenen Varianz die Macht (Wahrscheinlichkeit) ist, Unterschiede mit zum Beispiel 95 % Vorhersagewahrscheinlichkeit festzumachen. Solche Zahlen liegen aus der Natur der Sache heraus erst nach vielen Jahren vor. Man kann dann rückwirkend sagen, mit welcher statistischen Verlässlichkeit eine Veränderung abgesichert ist. Man kann daher zu Beginn so einer Studie nur dafür sorgen, dass (a) die Standortsvarianz möglichst klein ist und (b) die Replikation möglichst hoch ist. Beides stößt an Grenzen der Machbarkeit und des Aufwandes.

Im Sinn des vorigen Abschnittes war es in der Planung von Anfang an klar, dass ein langfristiges Ökosystem-Monitoring eine Replikation auf drei Stufen anpeilen muss:

- (1) Großräumige Replikation der Standorte: Nach Möglichkeit Einbezug von Nord- und Südabdachung des Alpenhauptkammes, inneralpine und „Front“-Ketten- Bedingungen, nach Möglichkeit eine möglichst weite W-O Streuung entlang des Alpenhauptkammes.
- (2) Lokale Standortsreplikation: Das heißt möglichst viele „permanent plots“ pro Standort und möglichst in einer Anordnung, die eine systematische Veränderung heutiger Umweltbedingungen abdeckt (z. B. Schneeschmelzgradienten), unter Wahrung einer möglichst großen Standardisierung.
- (3) Replikation innerhalb eines „permanent plots“: Hier geht es um die Absicherung der Messdaten durch kleinräumige Replikation, die der stets hoch variablen Bodenbedeckung mit Pflanzen gerecht wird.

Um diesen Kriterien möglichst gerecht zu werden, wurden die im Folgenden beschriebenen Kriterien bei der Auswahl der Testgebiete und Testflächen berücksichtigt. Beim terrestrischen Monitoring stand die Wahl von Topographie-bedingten Schneeschmelzgradienten im Zentrum der Testflächenauswahl. Solche „Schneetälchen“ stellen in einem Mikrokosmos über wenige Meter Distanz große Gradienten der Lebensbedingungen im Gebirge nach. Im Idealfall vereint jede Testfläche entlang eines Gradienten die für die gewählte Höhenlage „optimale“ und „pessimale“ Lebenssituation für alpine Organismen. Auch ohne ausgeprägte Topographie kann Schneeverfrachtung durch Wind solche Gradienten der Landschaft „aufdrücken“. Entlang solcher Gradienten der „Habitatgunst“ darf erwartet werden, dass bestimmte Organismenarten eine Existenzgrenze erreichen. Sollte sich das Klima verändern, sollten sich diese Grenzen ablesbar verschieben.





3.1.1 Auswahl der terrestrischen Standorte und Transektpositionen und Beprobungskriterien

Das terrestrische Monitoring-Design sollte:

- (1) eine möglichst große Standortreplikation einschließen,
- (2) auf Silikat stattfinden,
- (3) auf möglichst ungestörten Böden und Habitaten stattfinden,
- (4) eine möglichst hohe Standardisierung erreichen,
- (5) dem Kriterium „Existenzgrenzen einschließen“ genügen,
- (6) dementsprechend steile Umweltgradienten auf kleinem Raum erfassen,
- (7) eine Höhe über Meer eindeutig in der alpinen Stufe (>2.300 m üNN) einhalten,
- (8) keine Zwergsträucher außer Kraut-Weide haben und
- (9) statistische Mindestanforderungen erfüllen.

Zu Punkt 3 ist anzumerken, dass dieses Kriterium nur beschränkt erfüllbar ist. Störung, also zum Beispiel Beweidung, ist einerseits natürlich, andererseits anthropogen und sie ist stochastisch, das heißt die Störereignisse sind weder in der Intensität noch in der zeitlichen Abfolge homogen oder kontrollierbar. Dieses Problem wurde lange diskutiert. Letztlich gibt es keine perfekte Lösung dafür. Standorte mit traditioneller, jahrhundertelanger Landnutzung plötzlich komplett und dauerhaft einzuzäunen käme einer ökosystemaren Manipulation gleich, deren Folgen später nicht von der Wirkung anderer Umweltveränderungen getrennt werden können. Andererseits darf es nicht passieren, dass genau jene Flächen, die in einem bestimmten Jahr zur Biomasseernte anstehen, kurz vorher abgeweidet wurden. Dort, wo ein mäßiger (Innerschlöss, Furka) oder starker (Matschertal) Beweidungsdruck (in der Regel durch Schafe) gegeben ist, werden die Flächen vor und nur bis zur hochsommerlichen Ernte entweder eingezäunt (Innerschlöss) oder durch kleine Gitterkörbe gezielt bis zur Ernte vor Großherbivoren geschützt. Da im Innerschlöss die Schafe bereits im Gelände sind bevor der Schnee weg ist, gibt es dort keine Alternative zum Elektrozaun, der dann etwa sechs Wochen steht. Im Gegensatz dazu darf im Testgebiet Furkapass erst ab Ende Juli (sehr extensiv) beweidet werden, womit sich der Weideausschluss mit Körben auf zwei bis drei Wochen beschränkt. Die automatische Wildtierbeobachtung mit Kameras dokumentiert jedenfalls den Beweidungsdruck. Die unterschiedliche Landnutzungsintensität (von null im Untersulzbachtal bis zum Maximum im Matschertal) bietet immerhin die Möglichkeit den Faktor Landnutzung, der für die Alpen von großer Bedeutung ist, mit einzubeziehen und zu bewerten.

Die Punkte 5 und 6 wurden so definiert, dass innerhalb der ausgewählten Standorte Transekte zu definieren waren, die vom lokal möglichen Maximum (Optimum) der Vegetationsentwicklung (Biomasse), also in der Regel einem für die Höhenstufe typischen „üppigen“ Alpenrasen, bis zum lokalen „Pessimum“ der Vegetationsentwicklung am Boden eines sogenannten Schneetälchens reichen (keine oder nur sehr karge „Schneeboden“-Vegetation). Dazwischen sollte die Abfolge möglichst kontinuierlich sein, über eine Distanz von nicht mehr als 10 (besser 8) Meter.

Zu Punkt 8 ist festzuhalten, dass die pflanzliche Produktivität (Biomasseproduktion pro Wachstumsperiode) eine ganz zentrale Größe ist (Basis des Nahrungsnetzes im Ökosystem) und möglichst exakt erfassbar sein muss. Diese Bedingung ist nur erfüllt, wenn der jährliche Biomasseertrag (zumindest oberirdisch) auch tatsächlich messbar ist. Pflanzen mit ausdauernden (mehrjährigen) oberirdischen Organen scheiden dabei aus praktischen Gründen aus. Man müsste die Jahreszuwächse in den verholzten Achsen bestimmen und bei Immergrünen den Beitrag unterschiedlich alter Blattgenerationen erfassen. Unterirdisch ist das Problem ohnehin unlösbar, weil so gut wie alle alpinen Arten langlebige klonale Strukturen (Rhizome) oder langlebige Wurzeln aufweisen. Es bleibt somit nur die Annahme, dass die jährliche unterirdische Biomasseproduktion der oberirdischen proportional ist.

Viele der Kriterien sind also nicht perfekt zu erfüllen, was in der Natur der Sache liegt, nämlich, dass wir immer naturräumliche Variabilität im Hochgebirge abbilden, egal was und wie wir bei der Standortwahl entscheiden. In den Workshops der Jahre 2014 bis 2015 kristallisierte sich der Wunsch heraus, beiderseits des Alpenhauptkammes möglichst viele – allerdings vergleichbare – Standorte einzubeziehen. Aus praktischen, logistischen und finanziellen Gründen blieben im Nationalpark letztendlich nur drei Standorte übrig. Da auch noch alle drei Parkteile eingeschlossen sein sollten, enge





sich der Spielraum weiter ein. Der Standort auf der Kärntner NP-Seite, im Seebachtal, wurde beibehalten obwohl er Kriterium 5, 6 und 8 kaum erfüllt. Dennoch ist der Standort für den großräumigen Vergleich wegen des Einbezugs der hier stärker von feuchten Luftmassen geprägten Südabdachung des Alpenhauptkammes (im Gegensatz zum kontinentaleren Innerschlöss) wichtig, aber eine Differenzierung nach Habitattyp ist dort schwächer ausgeprägt als an den anderen Standorten. Auch waren dort nur drei Transekte zu identifizieren. Das Ziel war ja 5+ Transekte pro Standort. Der Standort Untersulzbachtal (mit sechs Transekten) folgte einem Desiderat der Salzburger NP-Verwaltung in diesem Tal präsent zu sein, weil es wegen seiner Unberührtheit ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber anderen Regionen aufweist. Der hohe Preis dafür ist die schwierige Erreichbarkeit.

Wurde der Standort Innerschlöss bei der allerersten Begehung (Exkursion des Wissenschaftlichen Beirates, WB; 2015) identifiziert und bei der Zweiten (2016) vermarktet, erforderte die Auswahl im Seebachtal drei Begehungen. Im Untersulzbachtal brauchte es in Summe vier Anläufe, in dem am schwierigsten zu erreichenden Gelände, um vor der ersten Ernte (5. Exkursion) alle Transekte zu vermarkten. Es wurde zunächst mit dem wissenschaftlichen Beirat der hochgelegene Talgrund (Gletschervorfeld) begangen und wegen Nichteignung verworfen, dann wurde im Folgejahr die orografisch rechte Flanke (west-exponierte Ostseite) erkundet, als noch zu viel Schnee lag und sich keine idealen Standorte ergaben. In der Folge wurde die orographisch linke Trogschulter exploriert (W. Urban, C. Körner), an der alle Schneetälchen mit grobem Blockschutt gefüllt waren. Schließlich konnte in einer vierten Exkursion dann doch auf der rechten Trogschulter, etwas höher, ein brauchbares Gelände gefunden und vermarktet werden.

Da es schnell offensichtlich wurde, dass die statistische Macht bei diesen Gegebenheiten knapp ausfallen würde, bot es sich an, zwei weitere Standorte am Alpenhauptkamm in Südtirol (LTER Gebiet Matschertal, Oberettes Hütte; EURAC, Bozen) und am Furkapass in der Schweiz (LTER Gebiet Furkapass; ALPFOR, Universität Basel) dazuzunehmen. Die dortigen Partner adoptierten ein identisches Konzept und Protokoll. Damit sollte dem Monitoring das nötige überregionale Gewicht verliehen werden. Schon in den Workshops der Planungsphase war es ein zentrales Anliegen, dass das Monitoring so entworfen werden sollte, dass nicht „lokale Kuriositäten“ die Sicht auf die großen Trends verstellen.

Die Transekte wurden also nicht danach ausgewählt, ob in jedem Fall am umweltmäßig ungünstigen Ende tatsächlich eine Pflanzengarnitur vorhanden ist, die der pflanzensoziologischen Definition von Schneebodenvegetation entspricht. Es war schnell klar, dass da wenige Transekte übrigbleiben würden, wenn gleichzeitig alle übrigen Kriterien eingehalten werden und die Erreichbarkeit für eine langfristige Beobachtungsreihe zumutbar ist. Wichtig war, dass jeder Transekt mehr oder weniger steile Gradienten der Umweltbedingungen abdeckt und sich die Artengarnitur an Pflanzen und die Abundanz (Häufigkeit) von Arten entlang des Gradienten verändert.

3.1.2 Kurze Bewertung der ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen

3.1.2.1 Innerschlöss IN (5 Transekte)

Alpensüdseite – der kontinentalste Standort. Sehr gute Platzierung von drei der fünf Transekte, ein Transekt musste wegen einer Felsplatte in zwei Teile geteilt werden, ein Transekt endet an der Basis in einer Vernässung. Mögliche Beweidung durch Schafe bereits vor der Schneeschmelze. Damit erwies sich der Einsatz von Schutzkörben über den Ernteflächen des laufenden Jahres als nicht praktikabel. Es wird daher ab Schneeschmelze bis zur Ernte gezäunt.

3.1.2.2 Seebachtal SE (3 Transekte)

Zwar südlich des Alpenhauptkammes, aber offen nach NW. Keiner der drei Transekte entspricht dem Kriterium 5 und 6 und es gibt insgesamt eben nur drei. Die Region ist nachweislich seit langem unbeweidet, aber besonders Transekt 1 und 2 sind sehr nahe an einem Wanderweg. Von den drei Transekten liegen zwei (Nr. 1 und 2) auf einem sehr wind- und wetterexponierten Gletscherschliff. Ein Transekt (Nr. 2) ist im westlichen (unteren) Teil stark mit hochwüchsigen Zwergsträuchern bewachsen. Zudem weist der Boden torfartigen Charakter auf (Ranker auf Fels). Sobald Zwergsträucher vorhanden sind, ist es nicht mehr möglich die jährliche Produktivität zu bestimmen (Holzachsen sind die Summe mehrerer Wachstumsjahre). Trotz, nach bisheriger Erkenntnis, kleinen Klimagradienten (Schneebedeckung) ist der Standort für großräumige Vergleiche wertvoll. Das Artenspektrum verschiebt sich entlang jedes Transektes deutlich, womit dieses wichtigste Kriterium erfüllt ist.





3.1.2.3 Untersulzbachtal UN (6 Transekte)

Dieser, dem NW-Wetter an der Alpennordseite am stärksten ausgesetzte Standort, liegt auf der Trogschulter des Tales, wo zahlreiche parallele Gräben das nach Westen abfallende Hochplateau durchziehen. Allerdings sind die Rücken teilweise derart wind- und wetterexponiert, dass es oft zu einer Umkehr des Klimagradienten in der Wachstumsperiode kommt: Oben abgefegt mit Kryptogamenkrusten und karger Vegetation, in den Mulden geschützt, teilweise eutroph. Es war sehr schwierig, aber letztlich doch möglich, das Prinzip „oben optimal“ versus „unten pessimal“ in Bezug auf die Vegetation zu verwirklichen. Von den sechs Transekten sind diesbezüglich vier geeigneter als die anderen zwei (siehe Klimadaten). Die Region war nie von Nutztieren beweidet.

3.1.2.4 Oberettes OB (3 Transekte)

Dieser höchstgelegene aller fünf Standorte liegt an der Südabdachung der Ötztaler-Alpen, unweit der „Ötzi-Fundstelle“ (Matschertal) und ist durch extremen Beweidungsdruck gekennzeichnet. Der Rasen wird ohne Schutzkörbe bis auf 2 cm abgegrast und ähnelt stark Rasen im Kaukasus oder in Osttibet mit starkem Beweidungsdruck. Aus dieser Sicht markiert der Standort ein Extrem der Landnutzungsintensität, an dessen anderem Ende Seebachtal und Untersulzbachtal liegen. Innergsschlöss und Furka (siehe unten) halten eine Mittelposition bzw. sind tendenziell eher wenig beeinflusst (geringe Bestoßung). Da die drei Transekte klare Ausschmelzprofile zeigen, sind sie topografisch geeignet. Der Standort ist auch gerade wegen seiner starken Landnutzung in so hoher Höhenlage eine wertvolle Referenz. Partnerorganisation: EURAC Bozen.

3.1.2.5 Furkapass FU (5 Transekte)

Die fünf Transekte erfüllen alle das Kriterium Klima- (Ausschmelz) Gradient, es sind jedoch zwei extreme Gradienten (Nr. 3 und 4) mit bis zu sechs Wochen Unterschied in der Schneeschmelze von oben (K) nach unten (T) und sind diesbezüglich vergleichbar mit Innergsschlöss (Nr. 1 und 2) und ein flacherer Transekt (Nr. 5) zeigt eine kurze Spanne im Ausschmelzdatum (etwa 5 bis 10 Tage), aber ebenfalls ein deutliches Vegetationsprofil. An einem Transekt (Nr. 2) ergab sich post-hoc, dass durch Moränenmaterial ein schwacher, aber im Artenspektrum klar erkennbarer Karbonateinfluss besteht (Kriterium 2). Der Standort Furkapass wird ab etwa Ende Juli extensiv mit Schafen beweidet, daher werden ab Mitte Juli Körbe über die Ernteflächen des laufenden Jahres gesetzt, die bei der Ernte Anfang August wieder entfernt werden. Partnerorganisationen: ALPFOR und Botanisches Institut der Universität Basel.

Die Kriterien der Auswahl der einzelnen Beprobungspunkte innerhalb dieser Transekte werden in der Methodensammlung (Methodenhandbücher), Modul 01 – Methoden der Pflanzenökologie (Newesely, Tappeiner und Körner 2019) erklärt. Im Folgenden werden die angewandten Methoden des Langzeitmonitorings überblicksartig (knapp) dokumentiert.

3.2 Methodische Ansätze der terrestrischen Ökologie

Christian Körner

Ulrike Tappeiner, Christian Newesely

Helmut Wittmann

3.2.1 Standortsauswahl

Alle Expert*innen

In jedem der drei Nationalpark-Teile wird eine Core site definiert, an der drei bis sechs permanent plots eingerichtet werden (Dauerbeobachtungsflächen, DF). Diese DFs sind idealerweise Streifen von etwa 6-10 m Länge, die Gradienten von pessimalen bis zu optimalen pflanzlichen Produktionsbedingungen der mittleren alpinen Stufe darstellen, die von der Schneedeckendauer getrieben werden (Schneetälchen). Wo es das Gelände nicht erlaubt, ist auch eine Sequenz von Einzelflächen oder Flächengruppen denkbar, allerdings steigt der Vermarktungsaufwand und das Risiko bei späterer Wiederbefundung die Flächen schwer zu lokalisieren. Die Standorte sollten keinen / minimalen Beweidungsdruck aufweisen und mindestens 200 m oberhalb der alpinen Baumgrenze liegen (in der Regel >2.300 m üNN). Sofern möglich, sind Mulden mit starkem Relief und damit ausgeprägter Schneeverfrachtung zu bevorzugen. Ist gelegentliche Beweidung durch Nutztiere nicht auszuschließen, ist der Standort im Sommer bis zur Biomassernte mit flexiblem Zaun (Flexinet) abzusichern (Innergsschlöss) oder die Biomasseerntefläche mit 25 x 25 cm Drahtkörben zu sichern (Furka, Oberettes). Die Standorte Seebachtal und Untersulzbachtal werden und wurden nie beweidet. Schon Friedel (1961) erkannte die besondere Eignung solcher Flächen für Langzeitbeobachtungen, da sich die räumlichen Muster der Schneeverteilung während der Schneeschmelze von Jahr zu Jahr kaum ändern, während der zeitliche Ablauf der Schmelze mit der Witterung und damit von Jahr zu Jahr variiert.





3.2.2 Standortsvermarkung

Ulrike Tappeiner, Erwin Meyer, Christian Newesely

Christian Körner

Helmut Wittmann

Der Standort bekommt einen Namen, der sich am lokalen Flurnamen oder Berggipfel orientiert. Aus praktischen Gründen wird aber die Region als Kodierung benutzt (SE für Seebachtal, UN für Untersulzbachtal, IN für Innerschlöss, FU für Furka und OB für Oberettes). Geographische Koordinaten und die mittlere Standorthöhe werden mit Meter-Genauigkeit erfasst. Der Standort wird zudem topographisch, geologisch und vegetationskundlich beschrieben. Ein Lageplan und Übersichtsphotos je Standort werden angefertigt. Innerhalb des Standortes werden DFs dauerhaft markiert. Einerseits mit Lärchenpflocken, sowie dauerhaft mit Metallbolzen. DFs sind grundsätzlich 1 m breit und in der Falllinie zum Zentrum des Schneetälchens ausgerichtet.

Jede DF hat also ein eindeutiges „oben“ und „unten“. Da die Bedingungen an Schneemulden in unterschiedlichen Himmelsrichtungen / Expositionen stark variieren, können an ein und derselben Schneemulde mehrere solche Transekte eingerichtet werden und als unabhängige Replikate betrachtet werden. Der Unterschied zwischen solchen Transekten ist oft viel größer als der zwischen Transekten ähnlicher Ausrichtung in unterschiedlichen Schneetälchen. Die Orientierung des Transektes bleibt ein wichtiges Merkmal. Da die Steilheit der Transekte mit der Topographie variiert, kann die Distanz zwischen dem lokalen Pessimum und Optimum der pflanzlichen Primärproduktion zwischen 5 und 10 m variieren. Um die klimatologisch entsprechenden Abschnitte dennoch vergleichen zu können, werden die unterschiedlich langen Transekte nicht meterweise quer verglichen, sondern in drei Abschnitte (Strata) geteilt: tiefster Punkt T, Mitte M, Kopfende K.

Links und rechts des Streifens B werden 1 m breite Streifen (ohne weitere Vermarkung) definiert, die für destruktive Untersuchungen zur Verfügung stehen (z. B. Biomasseernte, Bodenproben). Bei der Positionierung der DF ist also eine möglichst hohe Homogenität der Bedingungen quer zur Falllinie über einen 3 m breiten Streifen wünschenswert. Die Streifen werden später zwar mit Bezug auf die 1 m Abschnitte lokalisiert und befundet, aber außer bei der photographischen Befundung des Streifens B, den Strata T, M und K zugeordnet. Es gibt also drei Streifen, A, B und C, von denen der mittlere (B) die ungestörte DFs darstellt. A und C sind Streifen für destruktive Arbeiten (Abb. 3.2.2-1).

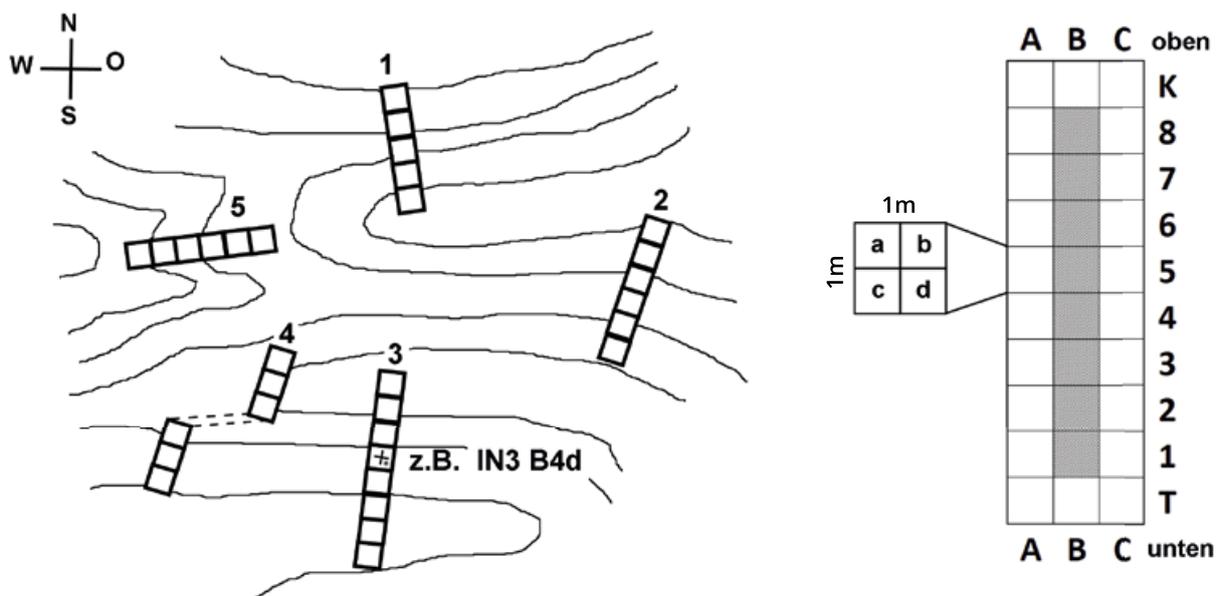


Abb. 3.2.2-1: Hierarchische Feingliederung der Dauerbeobachtungsflächen (DFs). Die drei zusätzlichen Felder unten am tiefsten Punkt unten tragen die Signatur T (z. B. AT), jene am höchsten Punkt die Signatur K (z. B. AK). Die Transektlänge übersteigt nie 10 m. Sollten Transektunterbrechungen nötig sein (z. B. Felsen oder Störungen, wie beispielsweise am Standort Innerschlöss), wurde dies entsprechend vermerkt und protokolliert.





Innerhalb jedes Streifens werden 1 m² große Felder von unten beginnend (Pessimum) nach oben von 1 bis n durchnummeriert. Innerhalb jedes 1 m² Feldes (z. B. A3) werden Quadranten von 0,5 × 0,5 m angesprochen, mit der Kennung (a) für oben links, (b) für oben rechts, (c) für unten links und (d) für unten rechts definiert. Dies ergibt dann z. B. einen Code A3a. Es gibt keine Nullposition. Unterhalb der Position 1 folgt der Abschnitt T (s.u.). Alle Aufnahmen und Probenentnahmen werden so platziert und vermerkt, dass auch bei wiederholter Probenahme den zuvor beprobten Teilflächen über mehrere Jahre ausgewichen werden kann. Am tiefsten Punkt (T) und am höchsten Punkt (K) des Transekts gibt es drei Felder für zusätzliche Beprobungen, also z. B. CT oder BK. K und T mussten eingeführt werden, da die Transekte topographie-bedingt unterschiedlich lang waren und damit unabhängig von der effektiven Länge der tiefste und höchste Bereich definiert ist. Zur Befundung / Beprobung werden die Transekte mit einem Schnurgerüst oder Gitternetz aus flexiblen Maßbändern (gemäß GLORIA Richtlinien) versehen. Das hier vorgeschlagene Streifenkonzept, mit einem ungestörten Streifen in der Mitte und rechts und links angrenzenden Streifen für die destruktive Beprobung, ist der Idealfall und setzt homogene Boden- und Vegetationsverhältnisse voraus. Einzelne Felder mussten von der Analyse ausgeschlossen werden (z. B. Fels). Diese Felder sind in den Protokollblättern als „gelöscht“ markiert.

3.2.3 Standortsklima

Christian Newesely, Ulrike Tappeiner

Die makroklimatische Situation wird von umliegenden Wetterstationen bezogen. Eigene, komplett ausgestattete Wetterstationen waren an den Standorten nicht vorgesehen. Es wird jedoch an allen drei Standorten im Nationalpark in ca. 1,5 m über dem umliegenden Terrain die Lufttemperatur automatisch gemessen. Dazu wurden Einkanal-Datenlogger (in einem lamellierten Strahlungsschirm) mit 0,2 K Auflösung eingesetzt. Der Standort der kleinen Stahlmasten wurde so gewählt, dass er im Winter nach Möglichkeit nicht im Schnee versinkt. Während der Wachstumsperiode liefern diese Lufttemperaturen Anschlussdaten ans meteorologische Messnetz der Region. An den Standorten Furka und Oberettes laufen seit Jahren voll bestückte automatische Wetterstationen direkt neben den Monitoring-Flächen.

Das Mikroklima in den DFs wird durch Mini-Einkanaldatenlogger in 3 bis 4 cm Bodentiefe dokumentiert. Diese wasserdichten Sensoren laufen bei 2-stündigem Messintervall 3 Jahre ohne Wartung, werden jedoch jährlich anlässlich der Biomassernte Mitte August ersetzt und ausgelesen. Sie liefern, neben der Temperatur der aktivsten Bodenschicht, auch präzise Information über die lokale Schneebedeckung. Da Schnee isoliert, verschwinden bei Schneebedeckung die tageszeitlichen Schwankungen weitgehend (Körner, Paulsen und Pelaz-Riedl 2003). Jede Dauerbeobachtungsfläche (DF) ist pro Transekt mit drei solchen Sensoren bestückt (unten, mitte, oben; T, M, K). Damit können die Transekte bereits nach 2 vollen Messjahren hinsichtlich Ausaperungsdynamik, Temperatur unter Schnee und Temperatur nach dem Freischmelzen beurteilt werden. Ausaperungsmuster können zusätzlich aus Satellitenbildern und / oder aus gezielten Befliegungen mit Luftbildern festgehalten werden. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen im Methoden-Handbuch zu Modul 01 (Newesely, Tappeiner und Körner 2019) zu entnehmen.

3.2.4 Boden

**Ulrike Tappeiner, Christian Newesely
Christian Körner**

Grundlagen zum Aufbau und zur Stoffdynamik alpiner Böden wurden in den Hohen Tauern bereits im Rahmen des MAB Hochgebirgsprogrammes erforscht (Franz 1980). Anlässlich der Einrichtung der Dauerbeobachtungsflächen werden 2017 steinfreie Bodenproben volumengetreu aus -1 bis -6 cm und -6 bis -11 cm Tiefe in den Feldern BT, AM, BK jedes Transektes entnommen und bodenphysikalisch, bodenchemisch, und bezüglich Wasserhaushaltsparametern (Wassergehalt bei Feldkapazität, bulk volume density dry) charakterisiert. Die Proben werden an den sechs definierten Positionen mit Stechzylindern entnommen und mit der Beprobung der Boden-Mesofauna und Mikrobiologie abgestimmt (gleiche Beprobungsstelle innerhalb von 10 cm). An bodenchemischen Parametern interessiert neben pH in KCl und CaCl₂, besonders der Bodenhumusgehalt und die Basensättigung. Weiters wurden für alle Standorte und zwei Bodentiefen die gesiebten Bodenfraktionen auf total-N, P, K, Mg, Na, Al, Fe und Mn am Laboratorium Laimburg bei Bozen analysiert. Im Zuge der Boden-N und -C Bestimmung mit dem Element-Analyser an der EURAC, Bozen (C/N Verhältnis) wird der Boden δ¹⁵N Wert erhoben. Letzteres Signal erlaubt Rückschlüsse auf das Ausmaß des mikrobiellen Recyclings. Mikroben diskriminieren gegen ¹⁵N, was sich daher im Boden, vor allem in tieferen Schichten, anreichert. Organische Verbindungen mit dem leichten („normalen“) Stickstoff (¹⁴N) werden schneller metabolisieren, womit der schwere in der organischen





Substanz des Bodens zurückbleibt. Parallelproben werden schonend luftgetrocknet dem Archiv (Tiroler Landesmuseum) übergeben. Diese Analysen werden frühestens in 20 Jahren wiederholt. Sie definieren die bodenchemischen und bodenphysikalischen Ausgangsbedingungen für alle weiteren biologischen Analysen. Solche Parameter verändern sich sehr langsam. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen im Methoden-Handbuch zu Modul 01 (Newesely, Tappeiner und Körner 2019) zu entnehmen.

3.2.5 Vegetationsanalyse

**Thomas Eberl, Roland Kaiser
Helmut Wittmann**

Für alle Dauerbeobachtungsflächen im Nationalpark werden im Streifen B digitale Inventare auf $0,5 \times 0,5$ m angefertigt, die als Referenz für eine spätere Wiederbefundung dienen. Mit einer speziellen Photo-Apparatur werden orthogonale Bilder aus 1,5 m Höhe angefertigt. Zur Standardisierung wird eine komplette Schattierung des Motivs gegen variierendes Umgebungslicht sowie eine einheitliche Ausleuchtung angewandt. Diese Bilder sind von derart hoher Qualität (1 Bildpunkt \triangleq 0,17 mm), dass daran fast alle Arten an höheren Pflanzen, sowie relevante Moose und Flechten identifiziert werden können. Die Bildanalyse erfolgt am Computer, zur Zeit noch manuell durch eine Person mit spezieller Expertise, aber es ist denkbar, dass diese Arbeit in Zukunft auch automatisiert werden kann, wenn entsprechende Algorithmen validiert sind. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen zur vegetationskundlichen Dokumentation zu entnehmen.

Da man über die Differenzierung von „normalen“ populationspezifischen Schwankungen (z. B. durch Samenproduktion und -eintrag in die Dauerfläche) und „echten“ (durch Außenfaktoren erzeugten Langzeitentwicklungen in alpinen Ökosystemen) wenig weiß, wäre ein Erheben von Daten in ein- oder zweijährigem Intervall sinnvoll. Dies umso mehr, da die reine Datenerhebung auch von geschultem Hilfspersonal kostengünstig vorgenommen werden kann. Wie bereits oben erwähnt, ist davon auszugehen, dass in Zukunft eine automatisierte Analyse der Photoserien möglich ist (die Entwicklung der digitalen Bestimmungs-Apps lassen dies mit Sicherheit erwarten), sodass für eine möglichst differenzierte Auswertung nur das Vorliegen von ausreichendem Dokumentationsmaterial und nicht die Kostenseite der limitierende Faktor ist. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen im Methoden-Handbuch zu Modul 02 (Eberl und Kaiser 2019) zu entnehmen.

3.2.6 Produktivität

**Ulrike Tappeiner, Christian Newesely
Christian Körner**

Eine der wichtigsten Kennzahlen eines Ökosystems ist dessen Produktivität. Erste Produktivitätsanalysen wurden in den Hohen Tauern bereits im MaB Hochgebirgsprogramm durchgeführt (Cernusca 1977). Die Produktivität wird hier aus praktischen Gründen der lebenden oberirdischen Biomasse im August (peak biomass) gleichgesetzt. Da das Erreichen des Biomassehöhepunktes von K nach T immer später eintritt, ging es darum ein Zeitfenster zu finden, in dem der K-Bereich gerade noch und der T-Bereich gerade erst das saisonale Biomasseplateau erreicht (Abb. 2.7-2).

Solange keine Jahresproduktion unterirdisch bekannt ist, wird 1:1 Proportionalität mit der unterirdischen Produktivität angenommen. Die unterirdische Biomasse wurde wegen des enormen Arbeitsaufwandes und der groben Störung nur einmal im Jahr 2017 ermittelt. Dazu wurden Anfang-Mitte August, in jedem 1 m²-Feld der Streifen A und C, auf einer Fläche von 20 × 20 cm sechs Biomasseproben geerntet. Es wird im Raster A / C vom tiefsten (T) Punkt bis zum Kopfende (K) der Transekte so geerntet, dass in den 3 bis 4 Folgejahren diese Flächen nicht mehr beerntet, sondern neue Teilflächen bereitstehen werden. Die Positionen der Erntepunkte sind protokolliert. Die Proben werden nach der Ernte umgehend sortiert, in Grasartige (Gräser, Seggen und Binsen) und Kräuter (inkl. Blätter der Krautweide, *Salix herbacea*) sowie älter als diesjähriges und totes Material ausgesondert und bei 80 °C getrocknet. Alles was offensichtlich im selben Jahr abgestorben war, wird zur diesjährigen Produktion von Biomasse gezählt. Nach dem Wiegen wird das in Plastikbeutel versiegelte Material im Archiv der Tiroler Landesmuseen deponiert. Diese Biomassernte muss zumindest für eine Dekade jährlich erfolgen, da sich die jährliche Witterung sehr auf die Werte auswirkt und erst mehrjährige Daten einen Rückschluss auf die Wirkung von Klimaänderungen erlauben. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen im Methoden-Handbuch zu Modul 01 (Newesely, Tappeiner und Körner 2019) zu entnehmen.





3.2.7 Bodenmesofauna

Erwin Meyer

An exakt den gleichen Probe-Entnahmepunkten wie für Boden und Produktivität werden, unmittelbar vor und nach der Biomasseernte, die Proben für die Boden-Mesofauna entnommen. Die epigäische Springschwänze (Collembolen) und Hornmilben (aus den Acari) werden vor der Biomasseernte mit einem speziellen Saugapparat abgesaugt. Dann werden die Pflanzen geerntet. Danach erfolgt die Bohrung bis in 15 cm Bodentiefe. Die Proben von drei Bodenhorizonten werden in Innsbruck nach etabliertem Verfahren (Macfadyen High-Gradient Extractor) weiterverarbeitet. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen zur Mesofaunaanalytik zu entnehmen (Meyer 2019). Diese Proben werden, so wie die Bodenproben, nur 2017 gewonnen. Eine Wiederholung ist in 5 Jahren angezeigt, wobei wegen des destruktiven Charakters der Beprobung Bohrlöcher unmittelbar außerhalb der Streifen A und C vorgesehen sind.

3.2.8 Bodenmikrobiologie

Martin Grube, Fernando Fernández Mendoza

An den gleichen Stichprobeneinheiten an denen Proben zu Boden, Produktivität und Bodenmesofauna gezogen werden, wird auch das Bodenmikrobiom untersucht. Dazu wird aus dem obersten Profillbereich (0-5 cm) eine Feinerdeprobe (Eppendorf-Röhrchen) entnommen. Aus diesen Proben wurde die enthaltene DNA extrahiert und sequenziert. Die Analyse konzentriert sich auf Bodenbakterien und Bodenpilze, von Letzteren sind viele Mykorrhiza-Pilze, womit ein Bezug zur Pflanzenarten-Verteilung hergestellt ist. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen zu Bodenmikrobiologie zu entnehmen (Fernández Mendoza und Grube 2019).

3.2.9 Digitale Säugetierdokumentation

Andreas Daim

An jedem der drei Standorte im Nationalpark Hohe Tauern werden je zehn Zeiträckerkameras gleichmäßig entlang des Höhengradienten verteilt (von der Baumgrenze beginnend bis zur Dauerbeobachtungsfläche) installiert, welche die DF-Nutzung durch wildelebende Herbivore (Gämse, Rehe, Rotwild, Steinböcke) und Nutztiere (Rind, Schaf, Ziege) dokumentieren. Durch Aufnahmen im Abstand von 10 Sekunden können die Tätigkeiten (Äsung, Rast, Bewegung) der Großherbivoren dokumentiert und quantifiziert werden. Dies lässt Vergleiche zwischen den verschiedenen Standorten und Höhenstufen zu. Die Kameras liefern zudem als Nebenprodukt die Dynamik der Schneeschmelze im Kern der Schneefelder und erlauben es, diese Bilder mit den Loggerdaten zu verknüpfen. Nähere Informationen sind den separaten Ausführungen zum Wildtiermonitoring zu entnehmen (Daim und Hackländer 2019).





4 Aquatische Ökologie

Neben der Langzeitbeobachtung der terrestrischen Ökologie werden in den gleichen Untersuchungsgebieten (Seebachtal, Unter- und Obersulzbachtal, Innerschlöss) aquatische kleine Einzugsgebiete (Micro-Catchments) und Seen beobachtet.

4.1 Konzept und Standorte der aquatischen Ökologie

4.1.1 Micro-Catchments

Leopold Füreder, Georg H. Niedrist

In räumlicher Nähe zu den terrestrischen Dauerbeobachtungsflächen wurden hydrologische Einzugsgebiete ausgewählt, um in den jeweiligen Gewässern stattfindende Transport-, Produktions- und Zehrungsprozesse zu beobachten. Die Verweildauer des Wassers im Untergrund dieser Einzugsgebiete, aber auch die durch das Fließen des Wassers resultierenden Erosionsvorgänge prägen die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers. Im Umkehrschluss lassen langfristige und regelmäßig wiederkehrende Beobachtungen dieser Gewässer Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Einzugsgebiete, aber auch auf in diesen Gebieten stattfindende Prozesse und Veränderungen zu.

Entgegen den Messstationen an großen und tiefgelegenen Gewässern im Alpenraum erlaubt die Beobachtung kleiner hydrologischer Einzugsgebiete und deren Gewässer Rückschlüsse auf Veränderungen unter gleichzeitiger Berücksichtigung möglichst vieler Einflussfaktoren, welche in diesen Micro-Catchments überschaubarer sind. Noch dazu erlaubt der geringe Abfluss von kleinen hydrologischen Einzugsgebieten eine sensitivere Beobachtung von erwarteten Veränderungen. Insgesamt erlaubt das Konzept der integralen Langzeitbeobachtung von atmosphärischen, hydrologischen und terrestrischen Kenngrößen eine Berücksichtigung von unterschiedlichen Grundbeschaffenheiten der Einzugsgebiete (z. B. unterschiedlicher pH-Wert auch in silikatischen Einzugsgebieten) und dadurch eine genaue Beobachtung von vom globalen Wandel beeinflussten Bedingungen. Durch die ganzheitliche Beobachtung von im Nahbereich der Gewässer vorherrschenden Einflussfaktoren ist es schlussendlich möglich, Veränderungen von Schlüsselvariablen und deren Auswirkungen auf die Umwelt zu isolieren und aufzuzeigen. Es wird beispielsweise erwartet, dass Niederschlag vermehrt in Form von Regen und in saisonell verschobenem Rhythmus fallen wird. Auch werden ein zunehmender Nährstoffeintrag (Stickstoff) und – wie im Gewässermonitoring Nationalpark Hohe Tauern aufgezeigt – eine beschleunigte Erwärmung der Gewässer (18 Gewässerabschnitte erwärmten sich im Mittel um 0.25 °C pro Jahr, Niedrist und Füreder 2020) erwartet.

Diese Bedingungen in den Gewässern bestimmen üblicherweise die an die vorherrschenden Bedingungen angepasste Lebewelt. Deshalb werden die Auswirkungen des globalen Wandels zu Veränderungen dieser Lebensgemeinschaften (Algen- und Bakterienaufwuchs, Kleinlebewesen im und auf dem Gewässerboden) führen, welche sich wiederum auf das Funktionieren der Prozesse in den Gewässern (Selbstreinigung, Nährstoffverwertung, Produktion) auswirken. Durch diese enge Kopplung von Umweltbedingungen und Lebewelt in hochgelegenen Fließgewässern sind die Auswirkungen von Umweltveränderungen darstellbar. Im Umkehrschluss ist es aber möglich, bewährte Umweltparameter und Organismen als Anzeiger dieser Veränderungen zu benutzen.

4.1.2 Seen

Stephen Wickham, Jana Petermann, Ulrike Berninger

Zu aussagekräftigen Monitoring-Studien gehört neben der Untersuchung terrestrischer Ökosysteme und deren Lebensgemeinschaften auch die Berücksichtigung aquatischer Lebensräume. Fließgewässer und Micro-Catchments waren bereits Bestandteil des Vorläufer-Projekts zur hier beschriebenen Studie, in die Konzeption der Neuauflage des Monitoring-Programms wurden darüber hinaus auch stehende hochalpine Gewässer und deren Lebensgemeinschaften („Seen“) mit aufgenommen. Hochalpine Seen zählen aufgrund langfristiger Klimaveränderungen sowie durch kurzfristige Prozesse (Eutrophierung, Landnutzungsänderungen und die Ansiedlung 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 (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 (Nogués-Bravo et al. 2007). Da die Biodiversität planktischer Gemeinschaften





mit steigender Höhenlage typischerweise sinkt, ist ferner zu erwarten, dass die Biodiversität hochalpiner Seen in der Zukunft ansteigen wird (Winder, Monaghan und Spaak 2001, Rosset, Lehmann und Oertli 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. Jedoch sind sie im Moment selten in hochalpinen Seen zu finden. So fanden Studien in hochalpinen Seen unweit des vorgeschlagenen Untersuchungsgebiets nur wenige Daphnien (Winder, Monaghan und Spaak 2001, Kamenik, Szeroczyńska, Schmidt 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 Meta-Gemeinschafts- und Meta-Populationstheorie deutliche Auswirkungen auf deren Gemeinschaftszusammensetzung haben (Altermatt, Pajunen und Ebert 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. oben). Durch ihre Lage, größtenteils in der Nähe der terrestrischen Testgebiete, sowie der untersuchten Fließgewässer wird langfristig ein einzigartiger, hoch relevanter 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 Nationalpark Hohe Tauern gesammelten Daten (und deren Verknüpfung) langfristig eine Beurteilung des Gesamtökosystems möglich sein.

4.2 Kurze Bewertung der ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen

4.2.1 Micro-Catchments

Leopold Füreder, Georg H. Niedrist

4.2.1.1 Innergschlöss IN

Es ist das größte beobachtete Einzugsgebiet (46 ha) mit einer Länge des untersuchten Abschnitts von 133 m. Dieser Gewässerabschnitt hat – im Vergleich zu den Übrigen – das geringste Gefälle (3 bis 4 %) und weist die höchsten Wassertemperaturen während des Sommers auf. Uferbereiche des Untersuchungsabschnitts weisen torfartigen Charakter auf. Dieses Micro-Catchment eignet sich aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit des Gewässers und wegen der guten Verbindung zwischen Boden und Wasser ganz besonders für eine Langzeitbeobachtung der Stoffflüsse.

4.2.1.2 Seebachtal SE

Dies ist das kleinste der Micro-Catchments, welches durch das schmalste, aber steilste Gewässer entwässert wird. Dementsprechend wurden die Untersuchungsstandorte auf einer Länge von ca. 65 m ausgewählt. Im August des Sommers 2018 verringerte sich der Abfluss des Gewässers und führte bei der Beprobung kein Wasser – das Gewässer des Micro-Catchment SE stellt somit ein intermittierendes Gewässer dar und deckt auch diesen Aspekt (Beobachtung der veränderlichen Wasserverfügbarkeit) im Zuge des Langzeitmonitorings ab.





4.2.1.3 Untersulzbachtal UN

Dieses nach WSW ausgerichtete Micro-Catchment entwässert eine Fläche von 3,6 ha, das Gewässer weist ein durchschnittliches Gefälle von 23 % auf und passt somit als morphologisch mittelmäßig ausgeprägtes Einzugsgebiet in die Langzeitbeobachtungen der drei Micro-Catchments.

4.2.2 Seen

Stephen Wickham, Jana Petermann, Ulrike Berninger

Entsprechend des Gesamtkonzepts des Monitoring-Programms wurden auch für das Modul Seen Untersuchungssysteme (jeweils 6 Seen) in den drei Tälern ausgewählt. Diese erfüllen die vorab festgelegten Kriterien:

- (1) Lage der Seen entlang eines Höhengradienten, mind. 600 Höhenmeter umfassend.
- (2) Erreichbarkeit der Seen (Fußwanderung inkl. Materialtransport möglich, Entfernung von Unterkunft max. 5 Stunden).
- (3) Erwartete permanente Wasserführung des Sees über viele Jahre.
- (4) Möglichkeit der Messung abiotischer Faktoren, der Beprobung und der Installation von Dataloggern.
- (5) Möglichst größte Nähe zu den Untersuchungsflächen der anderen projektbeteiligten Gruppen.

Einige der Seen waren bisher noch nicht auf Karten o.ä. erfasst oder offiziell benannt. Die unten in Anführungszeichen aufgeführten Seen wurden demnach neu benannt (z. B. „See nahe Löbbensee“).

4.2.2.1 Innergschlöss IN

Die Seen liegen zum Teil im hinteren Teil des Tales (Eisseele, in Loche, „Gletscherplateausee“, Salzbodensee) und sind Teil des alten Gletscherplateaus („Gletscherplateausee“) bzw. auf der Seitenmoräne (Salzbodensee) oder der rechten Talseite knapp unterhalb der Neuen Prager Hütte gelegen (Eisseele, in Loche). Diese Seen sind alle touristisch durch stark frequentierte Wanderwege erschlossen. Der Salzbodensee wird von Wanderern häufig zum Baden genutzt. Die im vorderen Teil des Tals gelegenen Seen (Löbbensee, „See nahe Löbbensee“) liegen ebenso an einem Wanderweg, der aber viel weniger stark begangen wird. In den Löbbensee wurden Fische eingesetzt und sind noch heute vorhanden. Alle Seen erfahren Schafbeweidung in ihrem Einzugsgebiet bzw. direkt bis ans Ufer. Insgesamt repräsentieren die Seen im Innergschlöss eine große Bandbreite der Umweltbedingungen sowie Nutzung.

4.2.2.2 Seebachtal SE

Die Seen im Seebachtal liegen in der Nähe des Hannoverhauses (Kleiner Tauernsee, Grüneckersee), der Mindener Hütte am Talausgang („Schneefeldsee“, „Plattensee“) bzw. der Großelendscharte im nordöstlichen Teil des Tals („Kleines Elend“, „Großes Elend“). Der Kleine Tauernsee und die Seen an der Großelendscharte liegen direkt an einem Wanderweg, während die anderen Seen für Wanderer schwierig zu erreichen sind und wohl kaum besucht werden. Ebenso ist zu erwarten, dass diese Seen von Schafen kaum erreicht werden, während v.a. die Seen an der Großelendscharte zumindest temporär große Schafdichten in ihrem Einzugsgebiet aufweisen. „Schneefeldsee“ und „Kleines Elend“ sind weit in den Sommer hinein schneebedeckt, während der Grüneckersee durch Windaktivität schon relativ früh im Jahr eisfrei wird.

4.2.2.3 Ober- und Untersulzbachtal UN

Generell fokussieren alle Disziplinen auf das östliche der beiden Sulzbachtäler, das Untersulzbachtal als Untersuchungsraum. Da dort aber keinerlei stehende Gewässer zu finden sind, welche die o.g. Kriterien erfüllen, wurde auf das benachbarte Obersulzbachtal ausgewichen, das eng mit dem Untersulzbachtal verknüpft ist. Bezüglich ihrer biologischen Gesamtsituation sind beide Täler eng verwandt. Der Sulzsee sowie der „Obervorderjaidbachsee“ sind sehr junge Gletscherseen, die vor wenigen Jahren noch durchgehend eisbedeckt waren. Sie weisen sehr hohe Schwebstoffmengen auf. Seebachsee, Sulzsee und Föiðkarsee sind touristisch gut durch Wanderwege erschlossen und werden viel besucht. Die Seen im Vorderjaidbachtal sind hingegen eher abgelegen. Seebachsee und der „See neben Seebachsee“ erfahren eine relativ starke Beweidung durch Kühe und Schafe. An allen anderen Seen sind Schafe bisweilen zu beobachten, haben aber wohl einen geringeren Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Seen. Fische sind im Seebachsee eingesetzt worden und noch vorhanden. Der „See neben Seebachsee“ liegt direkt in einer Lawinenbahn und wird regelmäßig von großen Schneemassen getroffen, die auch im Sommer z. T. noch vorhanden sind.





4.3 Methodische Ansätze der aquatischen Ökologie

4.3.1 Micro-Catchments

Leopold Füreder, Georg H. Niedrist

Die hydrologischen, physikalischen und chemischen Situationen in den Gewässern werden an wiederkehrenden Zeitpunkten, als auch kontinuierlich erhoben bzw. gemessen. Die kontinuierlichen Aufzeichnungen des wichtigsten Parameters Wassertemperatur werden mit in den Gewässern installierten Temperaturloggern aufgezeichnet. Aus diesen Daten lassen sich sowohl jährliche Temperaturkurven, als auch saisonale und tägliche Schwankungen darstellen. Jedes der drei Gewässer ist mit mehreren Temperaturloggern entlang des Längsverlaufs ausgestattet, wodurch auch die Dynamik der Temperatur entlang des Gewässerverlaufs (und damit der Einfluss von Strahlung und Lufttemperatur auf die Wassertemperatur des fließenden Wassers) beurteilt werden kann. Bei Begehungen während des Sommers werden zusätzlich Wasserentnahmen für die chemischen Analysen im Wasserlabor der Universität Innsbruck, Abflussmessungen, Trübstoffquantifizierungen sowie Messungen des pH-Wertes, der elektrischen Leitfähigkeit, der Sauerstoffkonzentration und -sättigung durchgeführt.

Die organischen Aspekte werden an mehreren Stellen im Gewässerabschnitt erfasst. Dazu werden gefilterte organische Trübstoffe sowie das sich am Gewässerboden sammelnde organische Kleinmaterial mittels Glühverlust-Gewichtsbestimmung quantifiziert.

Zur Erhebung der biologischen Lebensgemeinschaften wurden, an geeigneten Probestellen entlang des jeweiligen Gewässerverlaufs, die Zusammensetzung des Aufwuchses auf den Oberflächen im Gewässer mittels Messung der Absorptionsspektren von Algen- und Bakteriengruppen gemessen (10 Einzelmessungen, jeweils vormittags und nachmittags). Weiters wurde dieser Aufwuchs über die Chlorophyll-a-Konzentration und Biomasse quantifiziert. Die tierischen Komponenten werden alle 3 Jahre an 3-4 für das jeweilige Micro-Catchment relevanten Standorten (mit 2 Parallelen pro Habitat) beprobt und im Labor auf Artniveau bestimmt. Aus diesen Proben lassen sich ausgewählte Indizes (Individuendichte, Artenvielfalt, Anteil Zuckmücken, Diversität, Abundanz bestimmter Leitarten pro Micro-Catchment etc.) errechnen, welche neben der Überwachung von Ab- und Zuwanderung einzelner Arten die Situation der Lebensgemeinschaften abbilden. Um Störungen der Habitats möglichst gering zu halten, wird die Wiederholungsfrequenz der Aufnahme tierischer Lebensgemeinschaften auf 3 Jahre vorgeschlagen.

4.3.2 Seen

Stephen Wickham, Jana Petermann, Ulrike Berninger

Die ausgewählten Seen wurden einmal jährlich (Juli / August, nach Beendigung der Eisbedeckung) aufgesucht und nach einem standardisierten Protokoll untersucht bzw. beprobt.

4.3.2.1 Abiotische Faktoren

Die maximale Tiefe jedes Sees wurde mithilfe eines Echolots (LTC Fish Finder) bestimmt. Zur Messung der relevanten Wasserparameter wie Wassertemperatur (°C), gelöstem Sauerstoff (% Sättigung) usw. wurde eine Multisonde benutzt. Zur kontinuierlichen Durchführung von Langzeit-Temperaturmessungen wurden in jedem See in der selben Wassertiefe zwei Datalogger installiert.

4.3.2.2 Organismen

Das Metazooplankton (Crustaceen, Rotatorien) wurde mithilfe eines Planktonnetzes beprobt, konzentriert, zu einer einzigen Probe zusammengeführt und sofort chemisch fixiert. Im Jahr 2018 wurden darüber hinaus in den Seen, die weiches Sediment aufweisen, Sedimentkerne entnommen, um Dauerstadien einzelner Zooplanktonarten aus den Sedimentablagerungen zu gewinnen und Rückschlüsse auf frühere Artengemeinschaften ziehen zu können. Ferner wurden sog. e-DNA-Proben für eine umfassende Analyse aller vorkommenden Arten bzw. „taxonomischen Einheiten“ in den Seen im Jahr 2018 entnommen. Die Auswertung der Plankton-Proben erfolgt mikroskopisch. Die quantitative Auswertung aller Ergebnisse geschieht mittels etablierter statistischer Methoden.





5 Kryosphäre (Gletscher, Hydroklima, Permafrost)

5.1 Konzept und Standorte

Gerhard Lieb, Andreas Kellerer-Pirklbauer

Dieses Modul stellt einen übergeordneten Rahmen für die in den anderen Modulen betrachteten Phänomene bzw. Prozesse, für welche Veränderungen der Atmo-, Hydro-, Kryo- und Reliefsphäre von Bedeutung sind, zur Verfügung. Im Einzelnen werden die Faktoren (a) Witterung bzw. Klima, (b) Abfluss, (c) Gletscherverhalten und (d) Permafrost analysiert, d. h. es werden der Klimawandel an sich (a) und einige abiotische Klimawandelfolgen (b-d) betrachtet, was ein Alleinstellungsmerkmal dieses Moduls innerhalb des Langzeit-Ökosystem-Monitorings darstellt. Das primäre Ziel des Moduls ist demnach die Analyse zeitlicher (und bei Gletschern und Permafrost auch räumlicher) Veränderungen der genannten abiotischen Faktoren.

Eine Besonderheit dieses Moduls gegenüber den anderen ist, dass die Analyse der abiotischen Faktoren auf Daten beruht, die NICHT speziell zu diesem Zweck, sondern von außerhalb des Projekt-Netzwerkes durch spezialisierte Institutionen zw. Organisationen erhoben werden, es handelt sich also um Daten aus „immanenten Quellen“ gemäß Kapitel 2.2. Dies gilt in vollem Umfang für die Faktoren Witterung, Abfluss und Gletscherverhalten, jedoch nur bedingt für Permafrost. Dessen Monitoring wird (noch) nicht standardisiert von Institutionen durchgeführt, sondern beruht auf wissenschaftlichen Einzelinitiativen, deren Ergebnisse für dieses Modul herangezogen werden. In Ergänzung dazu wurde im Rahmen des Moduls eine neue Permafrost-Messstelle im Innergschlöss, einem der untersuchten Einzugsgebiete, eingerichtet (Gipfelstandort Innerer Knorrkogel).

Diese somit erreichte synthetische Zusammenschau der genannten abiotischen Faktoren ist durchaus neuartig, denn die für die Erhebung der Daten zuständigen Institutionen und Organisationen bieten solche nicht oder nur ansatzweise, jedenfalls nicht für den Nationalpark Hohe Tauern, an. Die im Modul aufgezeigten Veränderungen der abiotischen Umwelt sollen also eine „Hintergrundfolie“ für die Interpretation der Ergebnisse der anderen Module, sofern sie dafür relevant sind, bilden.

In Bezug auf die Standorte der den Auswertungen zugrunde liegenden Messstellen weicht das Modul von den anderen ab, was sich aus der Vorgabe der Verwendung vorwiegend extern gewonnener Daten ergibt. Im Einzelnen gilt für die analysierten Faktoren:

- (a) Für Witterung und Klima werden vorhandene Messstationen - bevorzugt solche mit möglichst langen Reihen - genutzt, die zum größten Teil außerhalb des Nationalparks stehen. Hierbei wird gemäß der Prämisse, dass insbesondere die amtlichen Stationen so positioniert werden, dass sie nicht nur für den Standort selbst, sondern für größere Gebiete repräsentative Daten liefern, davon ausgegangen, dass das Witterungsgeschehen (kurzfristig) und der Klimawandel (langfristig) mit ausreichender Genauigkeit für das Gesamtgebiet des Nationalparks beschrieben werden können.
- (b) Der Abfluss wird an Pegeln gemessen, die am unteren Ende der drei Einzugsgebiete Seebachtal, Innergschlöss und Untersulzbachtal liegen, und somit für diese Einzugsgebiete exakt das Abflussgeschehen dokumentieren.
- (c) Für das Gletscherverhalten liegen Längenänderungen von Gletschern aus den drei vorhin genannten Einzugsgebieten vor; das benutzte Messnetz, ergänzt durch Massenbilanzreihen an einzelnen Gletschern, deckt darüber hinaus jedoch auch eine große Zahl weiterer Gletscher der Hohen Tauern ab, sodass gute Aussagen zu Gletscheränderungen für das Gesamtgebiet des Nationalparks getätigt werden können.
- (d) Für die Erfassung der Veränderungen im Permafrost werden - mit Ausnahme des neu installierten Standortes am Inneren Knorrkogel - Messstationen verwendet, die außerhalb der genannten Einzugsgebiete liegen, die Hohen Tauern insgesamt aber so gut abdecken, dass Aussagen für den gesamten Nationalpark Hohe Tauern getätigt werden können.





5.2 Methodische Ansätze

Gerhard Lieb, Andreas Kellerer-Pirklbauer

In diesem Modul werden Daten verwendet, die von darauf spezialisierten Organisationen und Institutionen standardisiert erhoben und bereitgestellt werden, nur für den Faktor Permafrost erfolgt die Erhebung zum Großteil durch das „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk“ oder vergleichbare universitäre bzw. private Initiativen. Die Auswertung der Daten erfolgt in Form einfacher Mittelwert-, Extremwert-, Zeitreihen- und Trendanalysen - nicht zuletzt aus der im abiotischen Bereich vielfach bestätigten Erkenntnis heraus, dass nur einfache Methoden die Aufrechterhaltung eines langfristigen Monitorings garantieren.

Für den Faktor Witterung und Klima werden von verschiedenen Organisationen Wetterstationen betrieben. Aus Gründen der Konsistenz und Länge der Datenreihen werden für die Analysen im Rahmen dieses Moduls nur die Temperatur- und Niederschlagsdaten von neun Stationen (drei der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik sowie sechs der hydrographischen Landesdienste) verwendet. Die Analysen selbst beruhen - wie in der Klimawandel-Forschung üblich - primär auf Zeitreihenanalysen und dem Vergleich von Extrem- und Mittelwerten unterschiedlicher Messperioden sowie der Angabe entsprechender Abweichungen.

Die Auswertungen zum Faktor Abfluss beruhen auf den Daten der jeweiligen Messstationen der hydrographischen Landesdienste, die am Unterrand der drei Einzugsgebiete liegen (Mallnitz für den Seebach, Neukirchen für den Untersulzbach und Innergschlöss für den Gschlössbach). Die Analysen beinhalten Zeitreihen und den Vergleich von Jahresgängen und Extremwerten.

Für den Faktor Gletscherverhalten stehen die vom Gletschermessdienst des Österreichischen Alpenvereins erhobenen und publizierten Daten der Längenänderungen von 36 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern zur Verfügung. Unabhängig davon werden an sieben Gletschern von unterschiedlichen wissenschaftlichen Institutionen Massenbilanzmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls Verwendung finden. Den Schwerpunkt der Analysen bilden, wie in diesem Fachbereich üblich, Zeitreihen.

Für den Faktor Permafrost wird zum einen auf ein dichtes Netz an Bodentemperatur-Messstationen zurückgegriffen - solche wurden auch auf dem neuen Standort Innerer Knorrkogel eingerichtet. Ergänzt werden diese Daten durch Bohrlochtemperaturen, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik auf dem Hohen Sonnblick gemessen werden. Zum anderen sind Aussagen aus Messungen der Oberflächenbewegung von Blockgletschern (kriechende Schutt-Eis-Gemische) durch das „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk“ verfügbar. Die Analysen umfassen den Vergleich von Mittelwerten und Zeitreihen von repräsentativen Messstationen.

Es kann in Bezug auf Daten und Methoden festgehalten werden, dass die angestrebten Aussagen mit dem gewählten methodischen Setting zufriedenstellend zu erreichen sind. Sie ersetzen aber keinesfalls Spezialstudien zur Lösung lokaler Problemstellungen, für die auch in Bezug auf die untersuchten kryosphärischen Faktoren ausgefeiltere Methoden, als sie hier zur Anwendung kommen, zur Verfügung stehen.





6 Synthese der Resultate der Startphase des Langzeitmonitorings

6.1 Klimatologie und Mikroklimatologie

Christian Newesely, Ulrike Tappeiner

Georg Niedrist, Christian Körner

Um die thermischen Bedingungen an den Standorten zu vergleichen, wurde die Mittelwerte der Luft- und Bodentemperaturen für ein einheitliches Zeitfenster während des alle Transekte auf allen Standorten schneefrei waren bis zum 15. 9. des jeweiligen Jahres errechnet. Die Mittelwerttemperaturen von Luft und Boden (Abbildung 6.1-1) sind für die Standorte Innerschlöss, Untersulzbachtal und Furka nahezu identisch, um etwa ein halbes Grad kühler in Seebachtal und 2 Grad kühler im hochgelegenen Oberettes. Damit sind die Standorte thermisch sehr ähnlich.

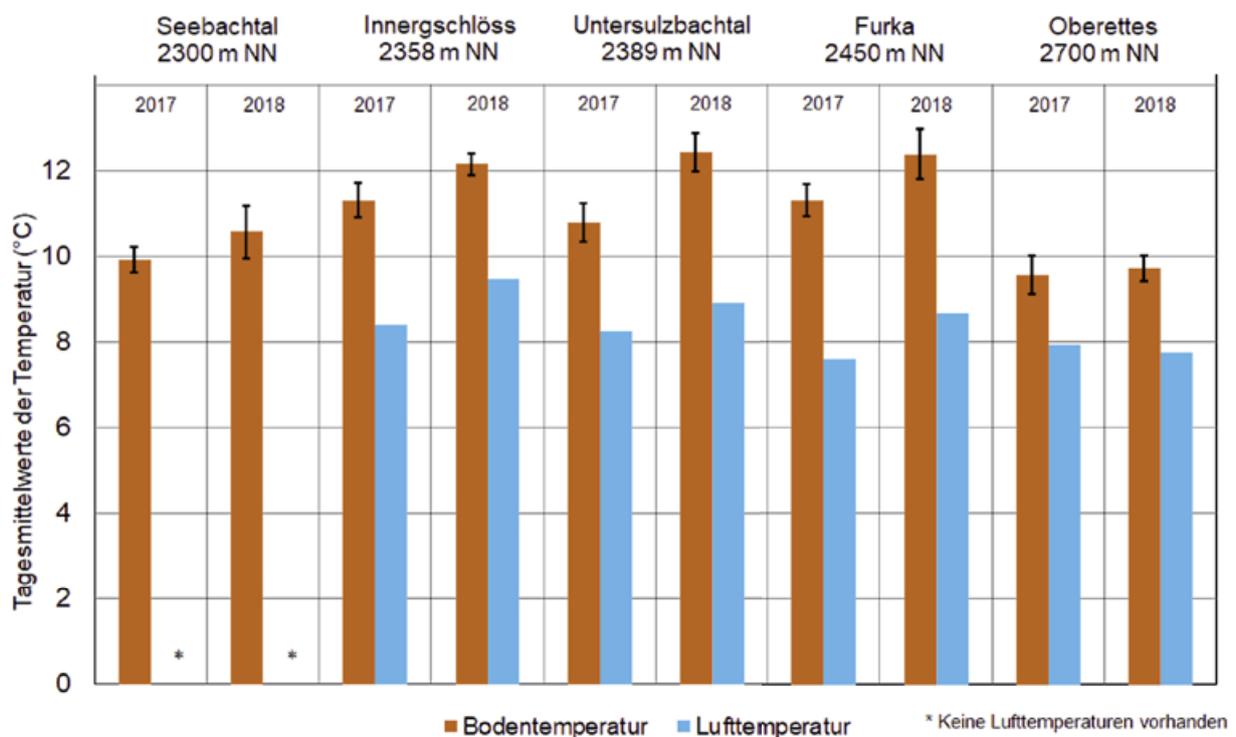


Abb. 6.1-1: Klimatologischer Vergleich der fünf Untersuchungsstandorte für die Jahre 2017 und 2018: Mittelwerte aller Bodentemperaturen die in 3-4 cm Tiefe entlang aller 3-6 Transekte pro Standort gemessen wurden im Vergleich zur Lufttemperatur in 1.5 m über dem Boden für einheitliche Zeitfenster vom Freischmelzen bis zum Ende der Wachstumsperiode (15. September). Die Streubalken zu den Bodentemperaturen zeigen die innerstandörtliche Variabilität zwischen der K-, M- und T-Zone der Transekte.

* Für das Seebachtal lagen für den Beobachtungszeitraum nur Klimadaten einer entfernten Wetterstation vor, die jedoch aufgrund von Meereshöhe und Exposition nicht vergleichbar sind. Seit Mitte August 2018 sind eigene Lufttemperaturdaten auch von diesem Standort verfügbar, jedoch aufgrund der Messung erst ab Jahresmitte hier nicht dargestellt.

Die Temperaturen im Lebensbereich der hier studierten Organismen (Rasenpflanzen, Bodentiere und Bodenmikroben) sind im Durchschnitt um 3 bis 4 Grad wärmer als die der Luft (Oberettes nur ca. 2 Grad), was die tatsächlich erlebte Höhe über Meer um etwa 600 m reduziert. Dieser positive Mikroklimaefekt ist noch viel ausgeprägter wenn man nur die Tagstunden berücksichtigt. Der Effekt ändert sich nach dem der Schnee abgeschmolzen ist nicht mit der Position entlang der Transekte. Die hier studierten Organismengruppen operieren also während der Wachstumsperiode bei einer Temperatur, die um so viel wärmer ist als die Luft, als es einem Höhenunterschied von 180 bis 900 m entspricht.



Die wichtigsten klimatologischen Daten für die Charakterisierung der gewählten Umweltgradienten (Transekte) sind die Bodentemperaturen während der Wachstumsperiode (1) vom Zeitpunkt der Ausaperung bis zum Zeitpunkt der Biomassernte, oder (2) bis zu einem Fixtermin am Ende der Saison, wofür der 15. September gewählt wurde. Abbildung 6.1-2 zeigt die Mittelwerte für den Zeitabschnitt 1 für die 3 Transektzonen (die Strata K, M und T) über alle Untersuchungs transekte (3 im Seebachtal, 6 im Untersulzbachtal, 5 im Innergschlöss, 5 auf der Furka in der Schweiz und 3 in Oberettes in Südtirol). Eindeutig zu erkennen ist, dass die unterschiedlichen Ausaperungszeitpunkte (K zuerst, T zuletzt) signifikante Unterschiede zwischen den Temperatursummen bewirken. Es ergibt sich damit ein eindeutiger Gradient der „Habitatgunst“, der von der Dauer der schneefreien Zeit bestimmt wird, nicht aber von der Temperatur innerhalb der schneefreien Zeit. Wählt man die längere Zeitspanne bis zum 15. September wird der Effekt rechnerisch kleiner, ist aber immer noch signifikant.

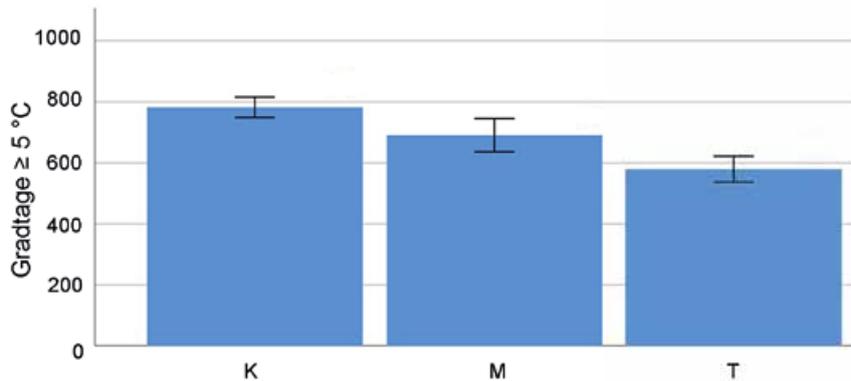


Abb. 6.1-2: Mittelwerte der Wärmesummen $\geq 5^\circ\text{C}$ über alle Gebiete (Nationalpark Hohe Tauern, Furka und Oberettes), aufgegliedert nach den Transektzonen K, M und T, für die transekt spezifische Periode zwischen dem Zeitpunkt der Ausaperung und dem Datum, an dem 2018 an jedem Standort die Biomassernte erfolgte. Alle K-T Unterschiede sind hoch signifikant. Die Streubalken geben die Variabilität zwischen den Untersuchungsgebieten an.

Ein Vergleich der Wärmesummen, aufgelöst nach Untersuchungsgebieten, zeigt für alle Standorte signifikante Unterschiede zwischen den Zonen K und T (Abbildung 6.1-3). Auf allen Standorten waren die Wärmesummen in der K-Zone signifikant höher als in der T-Zone. Die steilsten Gradienten traten an den Standorten Innergschlöss, Furka und Oberettes auf. An den drei Standorten im Nationalpark lagen die Wärmesummen in der K-Zone weitgehend auf demselben Niveau (ähnliches Ausaperungsdatum). In der T-Zone fallen die niedrigeren Werte für das Innergschlöss auf, was mit der späteren Schneeschmelze dort zu tun hat. Diese Ergebnisse bestätigen, dass die ausgewählten Transekte die für die Fragestellung erforderlichen Wärmegradienten aufweisen.

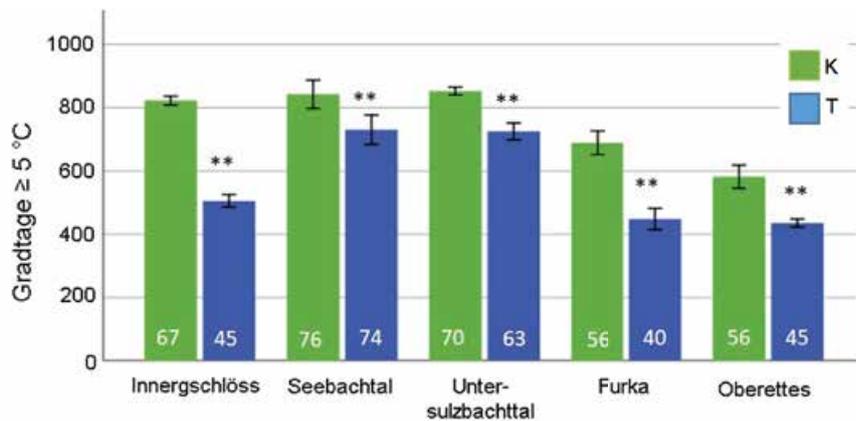


Abb. 6.1-3: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Gradtage über alle Transekte des jeweiligen Untersuchungsgebiets im Jahr 2017, für die jeweilige Periode von der Schneeschmelze bis zur Biomasse-Ernte. Die Zahlen in weißer Farbe in den Balken geben die Anzahl der Tage an.

6.2 Bodenphysik und Bodenchemie

Ulrike Tappeiner, Christian Newesely
Christian Körner

Die Standorte für das terrestrische Langzeitmonitoring wurden so gewählt, dass weitmöglichst einheitliche, geologisch / mineralogische Voraussetzungen für die Bodenbildung gegeben sind. Erklärtes und erreichtes Ziel war es alle Transekte auf typischen zentralalpiner Silikatböden zu platzieren, um Bodeneinflüsse auf die zu beobachtenden langzeitigen Trends im Ökosystem weitestgehend zu neutralisieren. Die bodenchemischen Daten belegen, dass das gelungen ist. Die Böden an den gewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern sind einheitlich stark sauer und operieren bei den typischen pH-Werten um 3,8. Mit der Ausnahme eines Transektes auf der Furka, wo sich ein schwacher Karbonateinfluss (vermutlich aus verfrachtetem Moränenmaterial) ergab, gilt dies auch für die Vergleichsflächen in den Schweizer Alpen und in Südtirol.



Alle 14 Transekte in den Hohen Tauern, sowie die acht Zusatztransekte in den westlicheren Alpen, weisen sehr humusreiche, hoch poröse („luftige“) Böden auf, in denen etwa 4 % (T) bis 8 % (K) des Bodentrockengewichtes auf organischen Kohlenstoff entfällt (Lagerungsdichte von grob 1 g Bodensubstanz pro Kubikzentimeter ofentrockenem Feinboden). Auf einen Hektar hochgerechnet, liegen allein in den obersten 10 cm dieser alpiner Böden rund 60 t Kohlenstoff gespeichert. Diese Böden haben eine maximale Wasserhaltefähigkeit von 60 % in den obersten 5 cm und 40 % in den nächst tieferen 5 cm (im Durchschnitt also 50 %). Die Böden hätten einen Wassergehalt von rund 15 %, wenn krautige Pflanzen beginnen würden zu welken („permanenter Welkepunkt“). Bezieht man dieses im Bodenvolumen gespeicherte und verfügbare Wasser (35 % des Volumens) auf die obersten 10 cm des Bodens (100 mm), entspricht dies ab einem kräftigen Regenereignis einem für die Pflanzen verfügbaren Wasservorrat von rund 35 mm, der für rund 12 Tage reichen würde (wenn man einen durchschnittlichen Tagesverbrauch von 3 mm in dieser Höhenlage annimmt). Böden müssen also bedeutend tiefer sein, soll es bei länger dauernden Trockenperioden nicht zu argem Stress für die Pflanzen kommen. Dies gilt für alle Standorte. Dieser kritische Wasservorrat sinkt tendenziell von K nach T, weil die Böden im T Bereich weniger gut entwickelt sind. Solche Muldenlagen (Schneetälchen) sind also, entgegen der Erwartung, im Hochsommer eher Trockenstress gefährdet als gut entwickelte Rasenböden.

Die bodenchemischen Analysedaten variieren naturgemäß, weil auch die mineralische Zusammensetzung des Untergrundes nie vollkommen gleich ist. Es ergaben sich aber keine Hinweise (Ausnahme Mangan, Mn), dass entlang des kleinklimatischen Gunstgradienten von K nach T signifikante Änderungen existieren. Dies ist deshalb wichtig, weil solche Unterschiede die kleinklimatischen Unterschiede überlagern könnten. In der organischen Substanz des Bodens („Humusanteil“) liegt das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) überall typischerweise bei etwa 15 und ändert sich nicht markant von K nach T. Dies gilt auch für den Phosphatvorrat in den Böden (der T Bereich ist in IN und UN etwas phosphorärmer). Bei Kalzium (Ca), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Kalium (K), Eisen (Fe) und Aluminium (Al) ergeben sich in leicht saurem, wässrigen Auszug aus den Böden keine deutlichen K zu T Gradienten. Häufig sind die Konzentrationen im T Bereich etwas niedriger. Ohne das erklären zu können, ist dieser K zu T Unterschied nur beim Mangan (Mn) im Oberboden (1 bis 6 cm Tiefe) stark ausgeprägt. Dort ist auch 10 bis 20 mal so viel Mn als im 6-11 cm Bodentiefe. Damit sind die Böden physikalisch und chemisch charakterisiert. Luftgetrocknete Proben von allen Messpunkten (drei pro Transekt – K, M, T) sind in Glasbehältern für die Zukunft gesichert und werden von den Tiroler Landesmuseen archiviert.

6.3 Pflanzliche Primärproduktion

Ulrike Tappeiner, Christian Newesely

Georg Niedrist, Christian Körner

Eine Schlüsselgröße für das terrestrische Monitoring ist die jährlich neu gebildete Biomasse an Grasartigen (Graminoide) und Kräutern – die Primärproduktion. In den K-Zonen wurde eine höhere Biomasse als in den T-Zonen erwartet. Diese Hypothese bestätigt sich für alle Standorte mit Ausnahme von Oberettes (Abbildung 6.3-1). Hier scheint der Einfluss einer jahrhundertelangen Beweidung, kombiniert mit der Meereshöhe von 2700 m üNN und der Exposition der K-Zone im Einflussbereich höherer Windgeschwindigkeiten (Windkante), entscheidend zu sein.

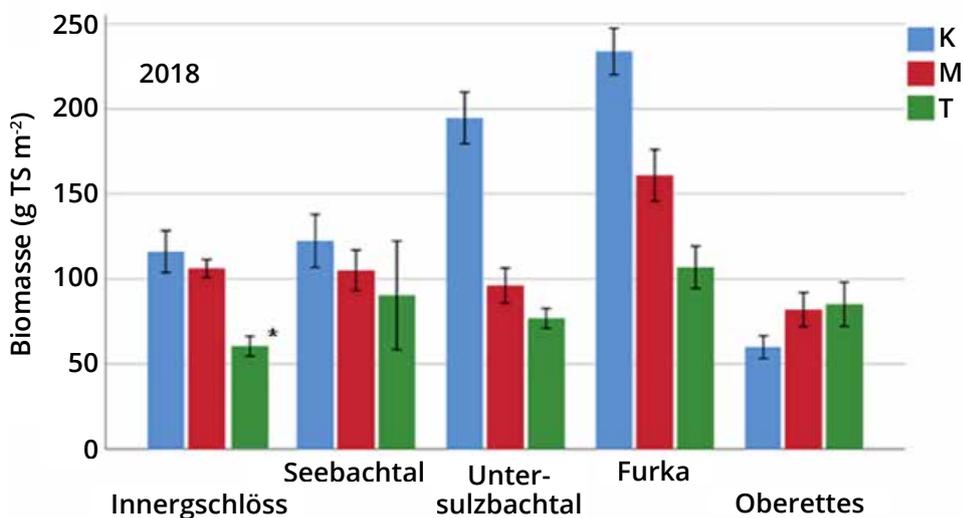


Abb. 6.3-1: Vergleich der oberirdischen Biomasse (Trockensubstanz, TS) für alle Transekte in allen Gebieten für das Jahr 2018. Der grüne Balken für T fehlt im Innerschlöss, weil dort wegen stark verzögerte Schneeschmelze die Vegetation noch nicht weit genug entwickelt war.

* zu früher Erntetermin





Ein Vergleich der Biomasseentwicklung zwischen Gräsern und Seggen und den Kräutern zeigt, dass der Rückgang der Biomasse von K nach T hauptsächlich durch den Rückgang der Gräser und Seggen begründet ist (Abbildung 6.3-2). Der Biomasseentwicklung der Gräser und Seggen kommt daher eine Zeigerfunktion für Folgen einer Klimaerwärmung zu.

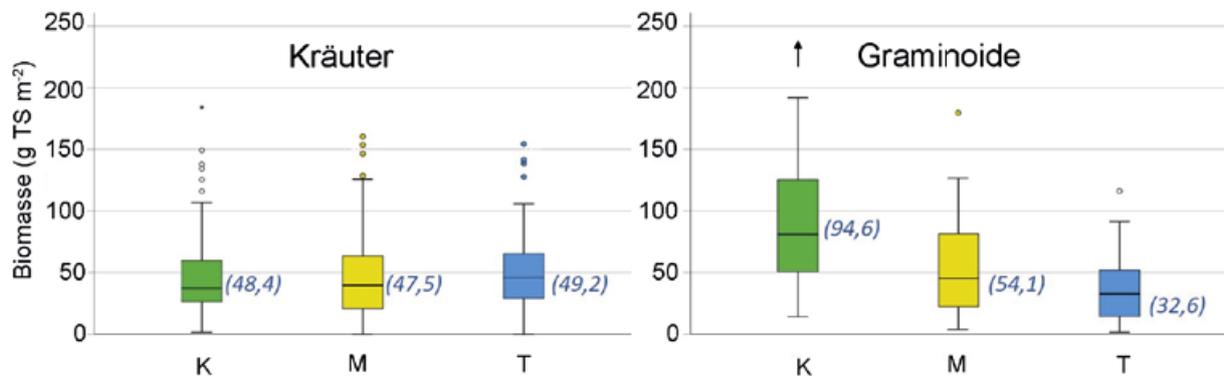


Abb. 6.3-2: Unterschiede in der saisonalen Biomasseproduktion (Trockensubstanz TS) von K nach T, aufgetrennt in Kräuter und Graminoiden (Seggen und Gräser) über alle Untersuchungstransecte. Boxplots zeigen den Median (horizontale Linie) und den Mittelwert (Zahl in Klammer), den Interquartilabstand (mittlere 50 % der Gesamtstreuung der Messwerte; farbige Balkenlänge). Die Antennen (dünner Streubalken) geben die 1,5-fache Länge der farbigen Box an. Daten die außerhalb dieses Bereiches liegen werden einzeln gezeigt (Punkte und Kreise).

Der Trend in der Biomasse entlang der Transectzonen wird auch durch die Analyse der unterirdischen Biomasse (Wurzelbiomasse) bestätigt. Abbildung 6.3-3 zeigt die Mittelwerte der ober- und unterirdischen Biomasse über alle Transecte. Der unterirdische Biomasseanteil ist mit durchschnittlich 87 % sehr hoch und ändert sich entlang der Transecte kaum (ein hoch konserviertes Merkmal). Auffällig ist, dass die unterirdische Biomasse auch in Oberettes dem erwartenden Trend folgt. Nur im Seebachtal ist das Ergebnis uneindeutig.

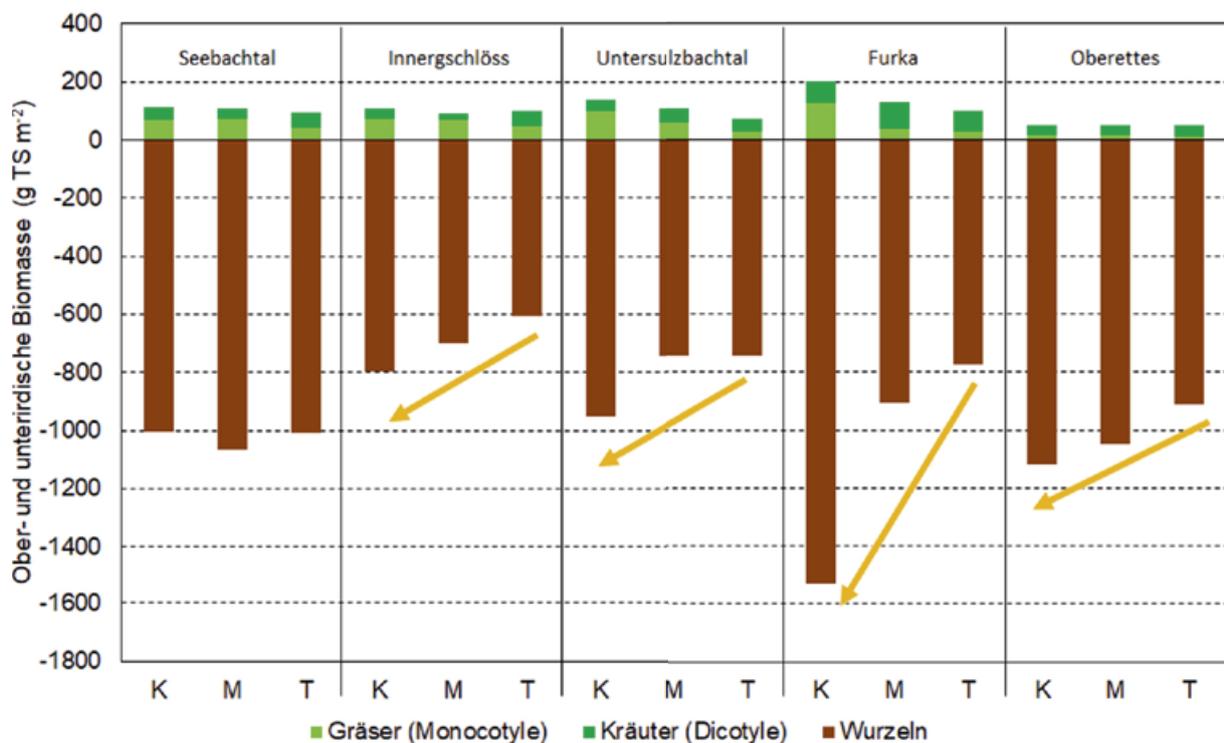


Abb. 6.3-3: Oberirdische und unterirdische Biomasse für alle Transectzonen in allen Untersuchungsgebieten für die Ernte im Jahr 2017. Jedem dieser braunen Balken liegen 6 Bohrkern von -1 bis -11 cm Bodentiefe zu Grunde.





Die Werte der Biomasse waren aber im Sommer 2018 um 15 % höher als 2017. 2018 war ein Hitzesommer mit Trockenschäden im Wald und langanhaltender Wärme auch im Gebirge. Wenn wir jedoch nur die Wärmesumme zwischen dem Zeitpunkt der Schneeschmelze und dem Zeitpunkt der Biomasseernte betrachten, liefern diese Zahlen keine Erklärung für die erhöhte Produktivität. Wir vermuten, dass der schneearme Winter 2017 (mit entsprechend frühem, ja zu frühem Freischmelzen und eher trockenen Böden) und der schneereiche Winter 2018 (etwas spätere Schmelze, aber feuchtere Böden) den Ausschlag gaben. Bei gleicher Wärmesumme konnten die Pflanzen 2018 zügiger wachsen. Der eher frühe Erntetermin in 2018 mag eine zusätzliche Erklärung liefern (kürzere Periode, bei höheren Temperaturen). Dieser erste Vergleich zeigt, dass die Reaktion der Pflanzen nicht nur einem Faktor (der Temperatur) folgt. Er zeigt auch, dass das „timing“ der Beprobung besser auf die Phänologie abgestützt sein muss und diese (also die Schneeschmelze) in Zukunft per webcam dokumentiert werden soll.

Generell kann aber gesagt werden, dass die oberirdische pflanzliche Produktivität entlang des Schneeschmelzgradienten von K nach M und T im Schnitt um 26 bis 48 % abnimmt (Ausnahme Oberettes). Es sind vor allem die Gräser und Seggen, die stark auf den Gradienten reagieren, nicht die Kräuter. Analog nimmt auch die unterirdische Biomasse entlang des Schneeschmelzgradienten an (fast) allen Standorten von K nach M und T ab, wobei die „root mass fraction“ (Mengenanteil der Wurzeln an der gesamten Biomasse) mit 87 % sehr konstant und außerordentlich hoch ist. Die unterirdische Biomasse ist allerdings das Produkt vieler Jahre. Es kann aufgrund dieser Daten erwartet werden, dass sich ein wärmeres Klima auf die pflanzliche Produktivität deutlich auswirken wird und sich dieser Effekt hauptsächlich an Gräsern und Seggen manifestieren wird. Es wird jedoch sehr darauf ankommen, ob sich die Dauer der Wachstumsperiode verlängert oder nur die Temperatur in der Wachstumsperiode erhöht. Höhere Schneemengen (verzögerte Schmelze) könnten der Wirkung einer bloßen Temperaturerwärmung entgegenwirken.

6.4 Vegetationsanalyse

Thomas Eberl, Roland Kaiser

Helmut Wittmann

Mit dem hier erfolgreich umgesetzten innovativen Ansatz wird eine hohe, mit keiner anderen bisher bekannten vegetationskundlich orientierten Monitoringtechnik für alpine Ökosysteme realisierbare Exaktheit und Reproduzierbarkeit erreicht, die zudem frei von klassischen Fehlerquellen in der Feldarbeit ist (Subjektivität, Konzentrationsniveau, botanische Expertise) bzw. solche quantifizieren kann (Lageverschiebungen). Die vorliegenden Bild-Dokumente sprechen für sich. Besonders hervorzuheben ist aber die Möglichkeit, die Skala der Beobachtung frei zu wählen (z. B. 1 m, 0,5 m, 10 cm, 2 cm) sowie diese auch im Nachhinein noch zu justieren. Dies trägt der immanenten räumlichen (und zeitlichen) Struktur der Vegetation Rechnung, die naturgemäß auf verschiedenen Skalen operiert: ausgehend vom Individuum (Zentimeter-Ebene), über die Artengemeinschaft (Submeter-Ebene) bis hin zu flächigen Vegetationsgradienten und Raummustern (Transekt-Ebene). All diese Skalen sind grundsätzlich miteinander verbunden. Ein wesentlicher Vorteil der Methode ist nicht zuletzt, dass ein Zurückgreifen auf die Basisdaten und ein (Wieder-) Auswerten derselben auch nach vielen Jahren möglich ist, was bei konventionellen Geländedaten in keinsten Weise gegeben ist. Damit ist ein hohes Maß an „Zukunftssicherheit“ verbürgt.

Schon im einfachen Bildvergleich kann einzelnen Pflanzen sprichwörtlich „beim Wachsen zugesehen werden“. Die Dynamik an der Bodenoberfläche lässt sich in so hohem Detail studieren, sodass populationsbiologische Prozesse (z. B. Individuenzahlen und deren räumliche Muster) beobachtbar sind und anhand valider Indikatorarten interpretierbar werden. Die getätigte Auswertung des Bildmaterials für einzelne „Individuen“ erbrachte sensitive Tests der Populationsstruktur im Zwei-Jahres-Vergleich. Bei einer künftig gegebenen „langen“ Zeitreihe können daraus Trends über die Jahre mit einfachen Mitteln berechnet und getestet werden. Dies einerseits auf Ebene der Strata T, M und K, sowie kontinuierlich entlang des Gradienten durch die räumlich sehr hoch auflösenden Daten mit Lageangaben im Millimeterbereich (Zentimeter-Ebene). Somit werden „Wanderungsbewegungen“ von einzelnen Arten sichtbar. Falls zukünftig nötig bzw. wünschenswert, lässt sich die Liste an auszuwertenden Arten noch erweitern, da beliebig auf die Basisdaten zurückgegriffen werden kann. Gleichfalls kann die Stichprobe uneingeschränkt vergrößert, oder überhaupt eine computergestützte Gesamtauswertung ausgewählter Arten vorangetrieben werden.



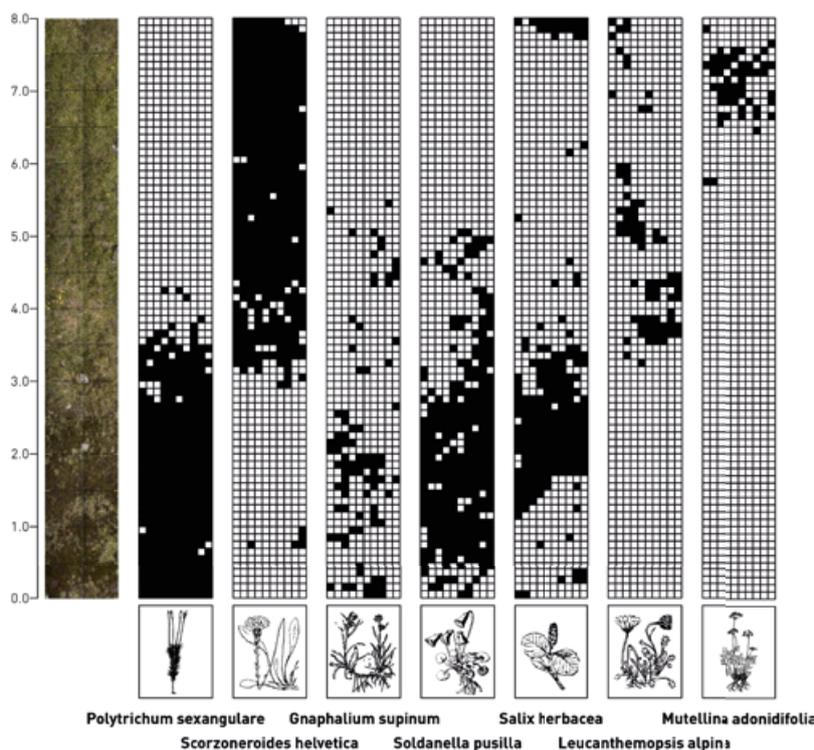


Abb. 6.4-1: Beispielhafte Feinverbreitung von ausgewählten Pflanzenarten entlang des Transekt IN4 zur Illustration der Artgrenzen sowie deren mögliche Änderung. Ein schwarzes Kästchen entspricht einer Präsenz einer Art in einem Gitter mit einer Zellgröße von 10 × 10 cm. Links ist als Referenz das Ausgangsbildmaterial dargestellt.

Über das „Artniveau“ hinaus lassen sich Muster und Strukturen der Pflanzendecke quantifizieren. Auf der Hand liegen beispielsweise die heute zu beobachtenden klaren Grenzen zwischen Moosschneeböden, Krautweidenspalieren und geschlossenen Rasen, welche das Gros an Vegetationsstrukturen ausmachen. Offensichtlich sind auch noch kleinere bis kleinste Merkmale zu identifizieren (z. B. Grasflecken bis 8 cm²). Deren „Schicksal“ kann in Zeitreihen verfolgt und exakt quantifiziert werden. Ferner lässt sich

innerhalb der Rasen beispielsweise der Schluss der oberen Pflanzendecke („canopy cover“) sowie der Anteil an nicht mit höheren Pflanzen bewachsenen Bereichen einfach bestimmen. Dazu können auch – um ein Beispiel zu nennen – Standardmethoden wie die Punkt-Quadrat Methode („grid-point-intercept method“) anhand der Basisdaten simuliert werden.

Letztlich war im Zuge der Auswertung selbstredend eine Ansprache von Pflanzengesellschaften, welche für eine Extrapolation in die Fläche essentiell sind, ohne große Schwierigkeiten möglich. An den 14 Transekten sind mit nur einer Ausnahme (Seebachtal SE, Nr. 2) eindeutig Pflanzengruppierungen festzustellen, die entweder dem Optimum der Habitatgunst im Stratum K entsprechen (allen voran Krummseggenrasen), oder dem Pessimum (Moosschneeböden und Krautweidenspaliere) im Stratum T zuzuordnen sind. Diesen zwei Eckpunkten des ökologischen Gradienten sind auf Basis der gegenwärtigen floristischen Raummuster statistisch überprüfte Indikatorarten zuzuordnen (vgl. Abb. 6.4-1 und Abb. 6.4-2). Grundsätzlich nimmt die Bedeutung und Vielfalt der Grasartigen (Seggen, Süßgräser und Simsen) zu Gunsten von Kräutern und Moosen zum T Bereich hin ab, in gleicher Weise wie auch die Artenvielfalt (Alpha-Diversität) in diese Richtung abnimmt, welche in Summe im M Bereich (Mitte zwischen K und T) und im K Bereich die größten Werte annimmt ($14,9 \pm 2,8SD$ bzw. $13,9 \pm 3,7SD$) und im T Bereich generell am niedrigsten ist ($12,2 \pm 3,7SD$). Ähnlich ist die Verteilung der Beta-Diversität gelagert.

Bezüglich der zu erwartenden Prozesse im Untersuchungssystem ist voranzustellen, dass jedwede Beobachtung in einer Zeitreihe zuerst die stochastische Sukzession innerhalb des Systems detektiert. Für den gegenständlichen Fall ist beispielsweise die Mikro-Sukzession (Zentimeter-Ebene) an einem von innen ausdünnenden Grashorst der Krummsegge (*Carex curvula*) oder an einem abgestorbenen Büschel der Rasenschmiele (*Deschampsia caespitosa*) anzuführen. Auch die Besiedelung mit höheren Pflanzen an einem ausdünnenden Teil eines Moosrasens oder an offenen Bodenstellen stellt eine derartige Mikro-Sukzession dar. Da die klassischen Störungen der Alpinstufe an den Untersuchungsflächen nicht (Lawinen, Schuttdynamik) oder nur sehr abgeschwächt (Kryoturbation, Winderosion) ablaufen, kann – bei sonst unveränderter Umwelt – von einer langfristigen Persistenz des rezent festgestellten Inventars ausgegangen werden. Sofern sich auch die Substratbedingungen nicht ändern, ist von keiner Sukzession im größeren Maßstab (Meter-Ebene) auszugehen. Dem gegenüber stehen geänderte klimatische Einflussfaktoren, deren Einfluss es zu bewerten gilt.

Unter dem Vorzeichen eines künftig produktiveren Ökosystems – beispielsweise durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode – sind überwiegend gerichtete Hypothesen zu formulieren. Da die Ökologie und Feinverbreitung der Arten nun





soweit bekannt ist, so kann auch eine Vorhersage – basierend auf den gegenwärtig beobachteten Reaktions-Mustern – getätigt werden. Dies beschreibt die „Einnischung“ einer Art am Gradienten oder Umwelt-Faktor: deshalb können Vorhersagen postuliert werden (z. B. Abnahme der Abundanz einer Art bei Verminderung des ökologischen Filters wie der Schneeverweildauer). Die untersuchten Transekte stehen hier exemplarisch für analoge Vegetationsstrukturen im regionalen bis überregionalen Maßstab. Allfällige Einflussfaktoren von außen (z. B. klimainduzierte Änderungen des Schneeschmelzgradienten) modulieren oder lenken die Sukzession in eine (gegebene) Richtung, indem einzelne Abläufe verhindert oder erschwert stattfinden, worauf das Ökosystem beobachtbare Zeichen setzt: mit neuen Mustern (Artverbreitung, Gemeinschaftsstruktur) bzw. durch lokales und andauerndes „Fliehen“ einer Art (Submeter-Ebene). In dieser Hinsicht würde eine Zunahme von Arten des Krummseggenrasens, zum Nachteil der Arten der Schneeböden, eine Transformation in Richtung zu alpinem Rasen anzeigen. Unter den gegebenen Klimaszenarien ist es letztlich möglich, eine ganze Matrix an Einzelart-Hypothesen zu formulieren, die ihre Abbildung in Lage und Muster der Pflanzengemeinschaften sowie der Biodiversität als Ganzes findet. Das große Bild legt eine Abnahme der charakteristischen Arten der Schneeböden (*Gnaphalium supinum*, *Salix herbacea* und *Soldanella pusilla*) nahe. Im Gegensatz dazu ist bei den Arten der Krummseggenrasen (*Euphrasia minima*, *Primula glutinosa* und *P. minima*) eine Zunahme möglich (vgl. Abb. 6.4-3). Im denkbaren Fall könnten schließlich auch die Moosgemeinschaften des Stratum „T“ an Ausdehnung und Verbreitung über die Transekte verlieren; wie auch eine Sukzession der Vegetationsstrukturen von „T“ zum produktiveren „M“ Stratum. Schlussendlich dokumentiert die eingesetzte Methode – Schritt für Schritt – den Zustand des Systems in einer Weise, die sehr hohen und vielfältigen Informationsgehalt hat.

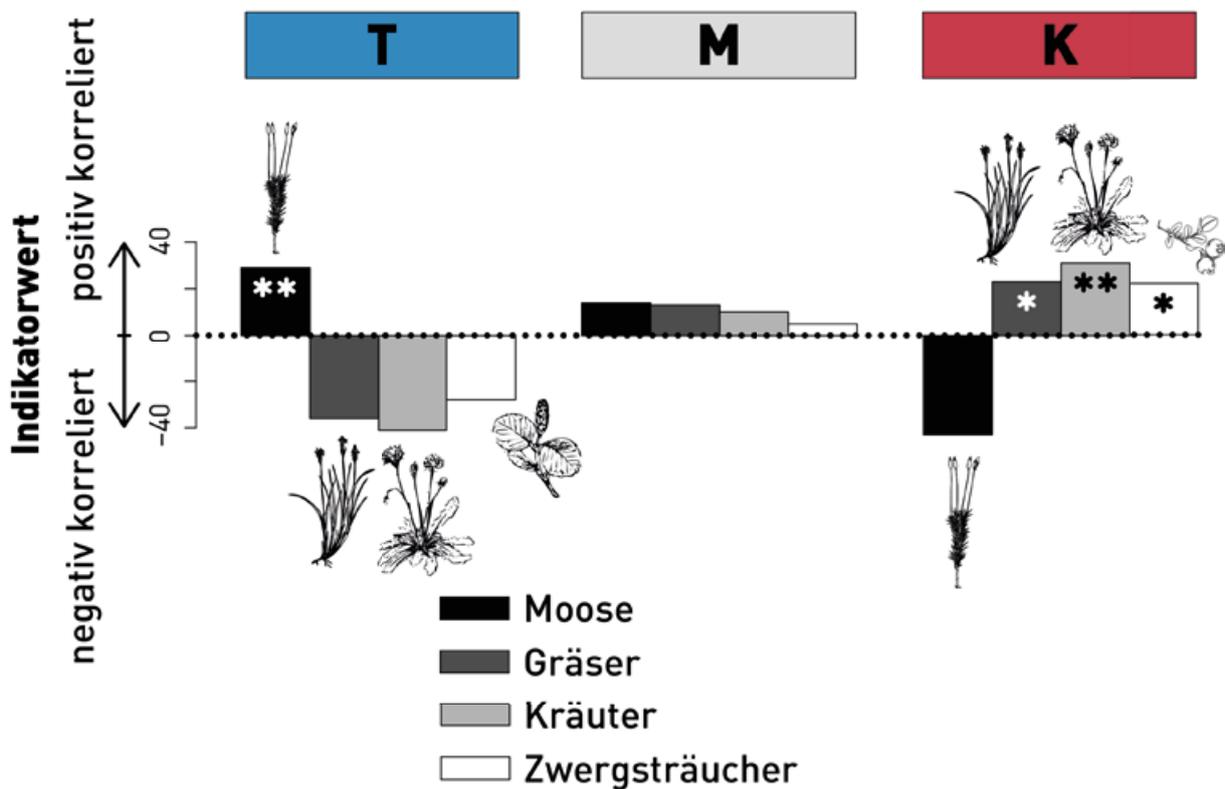


Abb. 6.4-2: Signifikante Indikatoren für die Strata T, M und K, zusammengefasst in Lebensformen wie im Zuge der Biomassebestimmung angewandt.





K	+T ~K	~K	+T ~K		+ Zunahme
	 Euphrasia minima *	 Primula minima *	 Nardus stricta	...	
M	+T ~K	+T -K	~T -M	~M	~ Indifferent
	 Carex curvula	 Scorzoneroides helvetica	 Primula glutinosa *	 Deschampsia cespitosa	
T	~T -K	+T -M	-T -M	-T -M	- Abnahme
	 Soldanella pusilla *	 Salix herbacea *	 Polytrichum sexangulare	 Gnaphalium supinum *	

* Individuenzahlen

Abb. 6.4-3: Hypothesen-Matrix für ausgewählte Arten bei denen eine Reaktion zu erwarten ist. Die Arten sind nach den Strata T, M und K gruppiert, für welche sie überwiegend auch Indikatorwert besitzen. Arten, für die einfach Individuenzahlen eruiert sind, sind mit Stern markiert.

6.5 Bodenmikroben

Martin Grube, Fernando Fernández Mendoza

Von den selben Entnahmepunkten von denen die Bodenproben, die oberirdische Biomasse sowie die Mesofauna-Daten stammen (Abschnitte 6.2, 6.3, 6.6), wurden auch die Proben für das Bodenmikrobiom entnommen. Dafür wurden aus dem obersten Profildbereich (0-5 cm) ca. 2 Kubikzentimeter Feinerde kontaminationsfrei eingesammelt (Eppendorf-Röhrchen). Von der Hälfte dieser Proben wurde die enthaltene Gesamt-DNA extrahiert. Aus den DNA-Extrakten lassen sich durch gezieltes Vervielfältigen der DNA (=PCR) jene Abschnitte herausfiltern, die für die Klassifikation nach Organismengruppen besonders geeignet sind. Für diesen Prozess braucht man sogenannte DNA-Sonden, welche die zu vervielfältigenden DNA-Abschnitte „erkennen und umklammern“. Wir haben uns im Projekt auf Bodenbakterien und Bodenpilze konzentriert, für die entsprechende DNA-Sondenpaare bekannt und wissenschaftlich etabliert sind. Damit stehen auch genügend Vergleichsdaten aus anderen wissenschaftlichen Untersuchungen zur Verfügung, was eine Beurteilung der ökologischen Zusammenhänge ermöglicht. Es wurde die Gesamtheit aller Bodenpilze und -bakterien bewertet. Gegenüber der früher üblichen Kultur auf Nährböden im Labor ist die DNA-Analyse überlegen, weil sie auch die Mehrheit an nicht kultivierbaren Mikroorganismen im Boden miteinschließt.

Für eine Untersuchung der Vielfalt von Bodenbakterien und Pilzen muss die DNA sequenziert werden. Die Sequenzierung geschieht durch die sogenannte Hochdurchsatzsequenzierung, mit der Millionen von Sequenzen von den artenreichen Mikroorganismengemeinschaften gewonnen werden können. Wegen der enormen Zahl an Sequenzen werden diese Analysen automatisiert. Das heißt, es werden eigene Programmvorschriften (Scripts) angefertigt, mit denen die Sequenzen auf die informativen Bereiche zurechtgeschnitten werden und die Qualität überprüft wird. Die den Qualitätskriterien entsprechenden Sequenzen werden dann der weiteren Analyse zugeführt. Die Sequenzdaten werden mit Informationen aus öffentlichen Datenbanken verglichen, um ihre verwandtschaftliche Zugehörigkeit festzustellen. Daraus ergeben sich dann Tabellen von sogenannten operationellen taxonomischen Einheiten (OTUs, operational taxonomic units), die aufgrund ihrer Sequenzähnlichkeit mikrobiellen Arten entsprechen. Man wählt bewusst OTUs, weil die allermeisten der „quasi-Arten“, die man mit dieser Methode eingrenzen kann, gar keinen Namen besitzen. Sowohl pilzliche als auch bakterielle Datensätze weisen über alle Standorte und Proben ein hohes Maß an Ähnlichkeit auf. Ein großer Anteil der OTUs ist also den einzelnen Standorten gemeinsam. Es gibt einerseits deutliche Überschneidungen zwischen den Bereichen der Gradienten, aber auch viele OTUs, die nur in einzelnen Teilen gefunden wurden (Abb. 6.5-1), wobei die Anzahl der gefundenen OTUs der Bakterien jene der Pilze um das 10-fache übersteigt.





Bei den Pilzen dominieren mehrere ökologische Gruppen, die auf engem Raum kleinste Boden-Nischen besetzen, wobei die Diversität der Mikroorganismen in Richtung des untersten (klimatisch ungünstigsten) Abschnittes der untersuchten Transekte abnimmt. Eine der Gruppen umfasst Pilzarten, die als Symbionten mit Pflanzenarten von Wiesen und alpinen Rasen assoziiert sind. Viele von ihnen sind im oberen Transektbereich häufiger anzutreffen. Pilzliche Zersetzer von organischem Material sind hingegen vorzugsweise in den unteren Teilen der Transekte zu finden. Die Bakteriengemeinschaft ist insgesamt sehr komplex bzw. artenreich und damit ein Spiegel der feinskaligen Umgebungsbedingungen in den untersuchten Transekten. Im ungünstigsten Bereich (Zone T der Transekte) werden Bakterien häufiger, die von nährstoffarmen Lebensräumen bekannt sind. Im oberen Bereich (K) der Transekte finden sich gehäuft Bakterien, die trockene Bedingungen anzeigen.

Die bakterielle und pilzliche Vielfalt nimmt zum unteren Bereich der Gradienten deutlich ab (Abb. 6.5-2). Diese Abnahme der Diversität und die Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikrobengemeinschaften gehen mit den Veränderungen der Vegetationsdecke entlang der Transekte einher, insbesondere mit der Abnahme der pflanzlichen Biomasseproduktion. Bemerkenswert ist, dass die untersuchten Transekte im T-Bereich viel ähnlicher sind als im K Bereich. Die Bedingungen sind hier einheitlicher und nicht im gleichen Ausmaß von den wechselseitigen Beziehungen mit der Pflanzendecke mitbestimmt. Manche Bakterien zeigen, dass auch noch zusätzliche Interaktionen mit der Bodenfauna auftreten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Analyse von bodenassoziierten Pilz- und Bakteriengemeinschaften die Ergebnisse der anderen terrestrischen Module ergänzen.

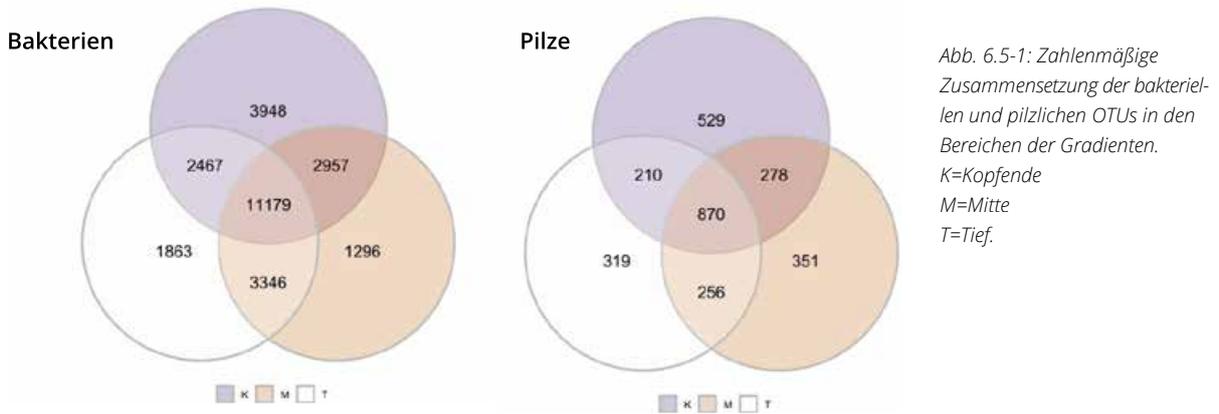


Abb. 6.5-1: Zahlenmäßige Zusammensetzung der bakteriellen und pilzlichen OTUs in den Bereichen der Gradienten. K=Kopfe, M=Mitte, T=Tief.

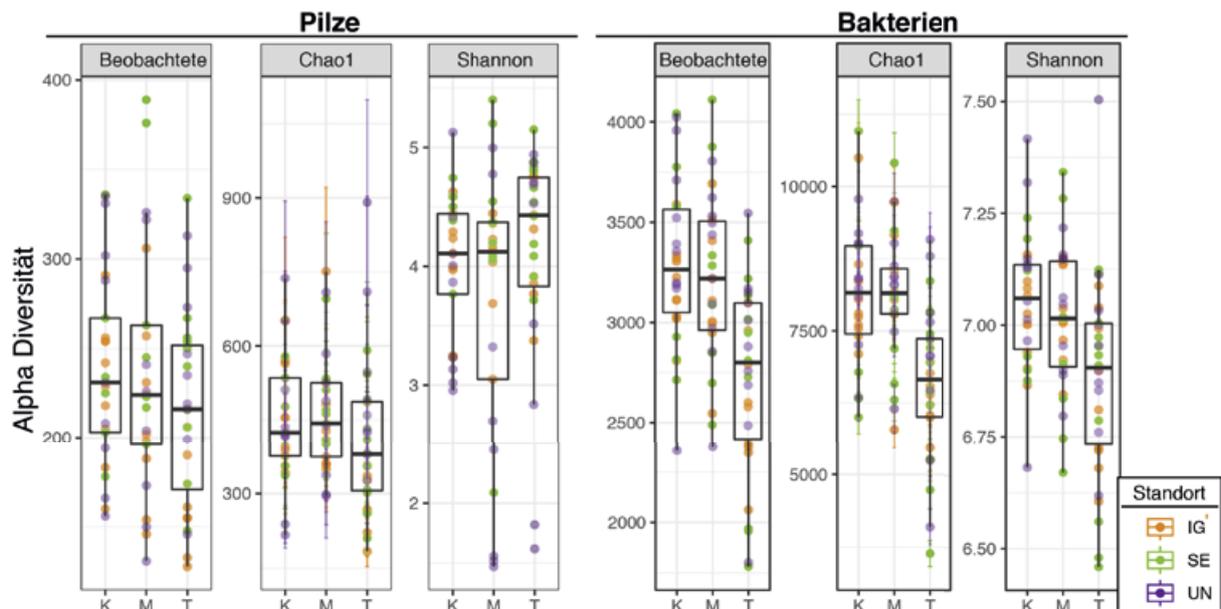


Abb. 6.5-2: Abnahme der Diversität von Pilzen und Bakterien in den Bereichen der Gradienten (K=Kopfe, M=Mitte, T=Tief). Farben entsprechen den verschiedenen Standorten; auf der Skala gibt die vertikale Achse drei Diversitätsindizes: beobachtete Vielfalt, verdünnte Vielfalt (Chao1) und Shannon Diversität Index an Pilz- bzw. Bakterienarten wider.





6.6 Bodentiere

Erwin Meyer

Das Auftreten und die räumliche Verteilung der Bodenmesofauna in Gebirgsböden werden stark von Humusbeschaffenheit und Wassergehalt (Porengröße) beeinflusst (Janetschek 1949, 1958). Milben (Oribatida) und Springschwänze (Collembola) zeigen auf allen Transekten in den untersuchten Gebieten eine gut verwertbare Datenlage mit hohen Individuendichten und Artenzahlen. Insgesamt (inklusive Furkapass und Oberettes) konnten 49 Hornmilben-Arten und 25 Springschwanz-Arten bestimmt werden. Nachdem viele der vorkommenden Milben- und Collembolenarten in Tal- und Höhenlagen weit verbreitet sind und eine breite ökologische Valenz aufweisen, ist deren Habitatbindung nur bei wenigen Arten auf einen bestimmten Transektbereich beschränkt. Nur die tiefsten Transektbereiche (T) mit Schneebedingungen beherbergen sowohl bei den Hornmilben als auch bei den Springschwänzen alpin-hygrophile Arten mit enger Lebensraumbindung. Unter den Hornmilben ist dies *Oromurcia sudetica* an den Standorten SE, IN, UN und FU und bei den Springschwänzen *Tetracanthella afurcata* an den Standorten SE, IN und UN bzw. *T. pilosa* am Furkapass.



Die räumliche und zeitliche Verknüpfung der Datenerhebung in den terrestrischen Arbeitsgruppen ermöglicht Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen der Bodenmesofauna und anderen Kenngrößen aufzuzeigen. So nimmt die Abundanz der Hornmilben am Standort Innergschlöss entsprechend dem Gehalt an bodenorganischer Substanz vom tiefsten (T) zum obersten (K) Transektbereich zu.

Abb.6.6-1: Habitus eines Springschwanzes der Gattung *Tetracanthella* sp. (Foto H.J. Schulz). *T. afurcata*, eine alpin-hygrophile Art, hat im Seebachtal und Innergschlöss eine enge Lebensraumbindung an die tiefsten Transektbereiche (T), am Furkapass verhält sich *T. pilosa* ähnlich.

6.7 Wildtierbeobachtung

Andreas Daim

Die Auswertungen der ersten zwei Jahre ergaben bereits, dass die Dauerbeobachtungsflächen unterschiedlich stark durch Großherbivoren genutzt wurden. Zwei erste Erkenntnisse konnten deutlich quantifiziert werden: Zum Ersten, dass die Flächen (sowohl die Dauerbeobachtungsflächen im Vergleich untereinander, als auch die Flächen der unterschiedlichen Höhengradienten) teils sehr stark unterschiedlich oft und von verschiedenen Großherbivoren genutzt wurden. Zweitens, dass die Nutzung in den beiden Jahren sehr unterschiedlich war. 2017 war generell eine stärkere Nutzung als im besonders warmen Jahr 2018 festgestellt worden. Hierfür können als Gründe (z. B. Witterung) in Folge verschiedenste Faktoren erforscht werden. Um stochastische Ereignisse auszuschließen, benötigt es jedenfalls Langzeitdatenreihen.

Über die in den Auswertungen durchgeführte Quantifizierung des Beäsungsdruckes und der Anwesenheitszeiten von Großherbivoren findet sich der beste Ansatz für eine Verknüpfung mit den anderen Projekt-Modulen. Die ausgerechnete Beäsungszahl – Sekunden Äsung je Quadratmeter (Sek/m²) – ist für sich selbst stehend schwieriger zu interpretieren und ist zudem keine übliche Messgröße in der wissenschaftlichen Praxis. Jedoch lässt diese Zahl einen näherungsweisen Vergleich zwischen den verschiedenen Jahren und den Untersuchungsflächen zu. So kann damit z. B. interpretiert werden, wie unterschiedlich stark die verschiedenen Flächen im Vergleich zueinander beäst werden. Dies dient als Grundlage zur Interpretation der Erkenntnisse aus den anderen Modulen. Wenn eine Fläche z. B. um ein Vielfaches stärker beäst wird als eine Vergleichsfläche, hat dies im selben Verhältnis ggf. Einfluss auf die Vegetation (Meyer et al. 2017) und damit auf diese Untersuchungsergebnisse. Ebenfalls ist die Wahrscheinlichkeit der Losungsabsetzung im selben Verhältnis höher, welche neben der Vegetation (Nährstoffe) (Iravani et al. 2011) auch einen Einfluss auf z. B. Saprobionten hat (Dormont et al. 2007). Nicht zuletzt ist auch der Nährstoffeintrag in Gewässersysteme und Boden (Williams und Haynes 1995, Prietzel und Ammer 2008) damit beeinflusst. In den ersten zwei Jahren wurde bereits ein großer Unterschied im Nutzungsdruck dokumentiert. 2018 wurden in allen Untersuchungsgebieten geringere Tieranwesenheiten gegenüber 2017 festgestellt.





Hier könnten, nach Vorliegen einer entsprechend aussagekräftigen und damit entsprechend langen Datenreihe, Effekte mit Daten der anderen Module zu finden sein. Sowohl kurzfristig jährliche Effekte, wie der quantitative Beäsungsdruck vor der Probenahme von Vegetation, als auch langjährige Effekte, wie die Verschiebung von Pflanzengesellschaften aufgrund der selektiven Beäsung durch unterschiedliche Großherbivoren. Als Beispiel: Bei IN10 (ca. 250 Beobachtungsstunden) wurden im Jahr 2017 gegenüber SE10 (ca. 68 h) und UN10 (64 h) mehr als dreimal so viele Tiere beobachtet. Im Jahr 2018 war dieses Verhältnis sogar noch deutlicher: IN10 (191 h), SE10 (16 h), UN10 (44 h) (siehe Abbildung 6.7-1).

Für diese Ergebnisse gehört ggfs. noch dargestellt, welcher spezielle Aufnahme-Zeitraum für andere Module von unmittelbarer Relevanz ist, also wann eine direkte Biomasseentnahme durch Äsung der Tiere stattfand und wann die Aufnahmen anderer Module gemacht wurden. Z. B. ließ ein Weidezaun bei IN10 keine Äsung direkt auf den Dauerbeobachtungsflächen zu (die Tiere wurden ausserhalb des Zaunes erfasst).

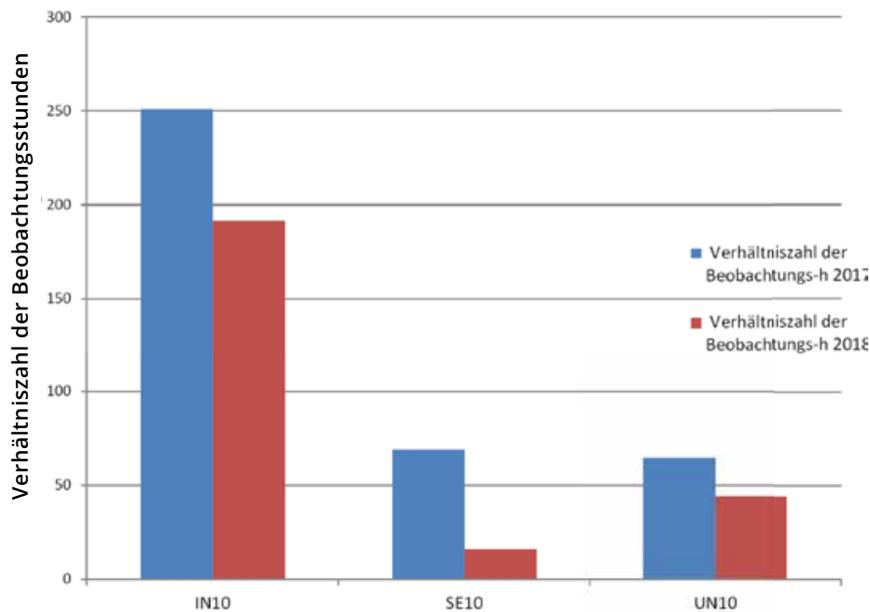


Abb. 6.7-1: Verhältniszahl der Beobachtungsstunden, im Bereich der Dauerbeobachtungsflächen (jeweils Kamera Nr. 10), wobei Großherbivoren und Murmeltiere zu verzeichnen waren. Je Jahr jeweils 06.07. bis 19.09.

Definition "Verhältniszahl der Beobachtungsstunden": Ausgewertet wurde zuerst die Tagesfläche. Diese entspricht die geografisch einsehbare Fläche einer Kamera in Quadratmeter (m²). Diese Fläche wurde mit der sichtbaren Zeit multipliziert. Die sichtbare Zeit entspricht der Tagesdauer (in h) in der die Kamera aufzeichnete weniger den Zeiten, in dem keine Sicht herrschte (z.B. wegen Nebel, Linsenbedeckung). Aus diesem Ergebnis resultierte die „Tagesfläche“. Die Tagesflächen wurden für den Beobachtungszeitraum je Jahr

von 06.07 bis 19.9. summiert. Innerhalb dieser Tagesflächen wurde nun eine unterschiedliche Anzahl an Tieren gesichtet. Da in größeren Flächen und bei zeitlich länger möglicher Sicht aufgrund z.B. von Witterung, die Wahrscheinlichkeit mehr Tiere zu sehen größer ist – im Umkehrschluss auf kleineren Flächen und weniger zeitlichen Sichtmöglichkeiten weniger Tiere auf den Photoabbildungen erkannt werden können, wurden nun diese Tagesflächen in ein Verhältnis gestellt. Dies lässt einen Vergleich zwischen den einzelnen Standorten zu. Die Summe aller Tagesflächen aller Standorte entspricht zusammen 100 %. Anteilsmäßig hat damit jede Kamera einen dementsprechenden Prozentsatz an der Summe aller Tagesflächen. Die Anwesenheits-Stunden jeder Tierart pro Kamera wurden mit dieser Tagesflächen-Verhältniszahl dividiert und stellen damit korrigiert eine vergleichbare Relation der Beobachtungszeit in Stunden unter den verschiedenen Kamera-Flächen des jeweiligen Jahres dar. Mit der „Verhältniszahl der Beobachtungsstunden“ kann somit abgelesen werden, wie viele umgerechnete Anwesenheitsstunden je Kamera im Verhältnis zu anderen Kameras auftraten und zwischen Jahren verglichen werden.

Die klar sichtbaren Unterschiede zwischen 2017 und 2018 (2018 waren in Summe weniger Tiere sichtbar) könnten aus dem besseren Wetter im Jahr. 2018 resultieren. Mit dem besseren Wetter 2018 waren auch mehr Menschen in den Gebieten unterwegs. Da die Kameras teils in nicht allzu großer Entfernung zu Wanderwegen aufzeichnen, ist es naheliegend, dass vorbeikommende Personen die scheuen Wildtiere vertrieben haben. Zusätzlich kann vermutet werden, dass sich die teils hitzeempfindlichen Tiere (z. B. Murmeltiere) in höhere Lagen zurückgezogen haben bzw. ihre Aktivitäten mehr in die Dämmerung / Nacht verlagerten. Langzeitaufnahmen werden hierzu Erkenntnisse liefern.

Neben den Tierarten und der Anzahl der auf den Beobachtungsflächen registrierten Tieren werden in diesem Modul also zeitliches Auftreten und Tätigkeiten (Äsung, Rast, Wanderung) durch Kameradokumentation festgehalten. Tagesdaten wie Witterung (Regen, Nebel, Sonne), Schneelagen, Dämmerungsbeginn oder Anzahl an Besucher*innen ergänzen die Tiersichtungs-Daten. Für die verschiedenen Untersuchungsplots konnte und kann so der jeweilige Beäsungsdruck und die Anwesenheitszeiten dokumentiert werden. Diese Ergebnisse sollen in Folge der festgestellten Erhebungswerte bzw. Änderungen über die Zeit von anderen Modulen in ganzheitlicher Sicht dienen. Zudem ergeben sich Dokumentationen etwaiger räumlich / zeitlicher Änderungen / Verschiebungen von Nutzungspräferenzen verschiedener Wildarten. Diese





Verschiebungen oder Verhaltensänderungen müssen dann weiter auf deren Ursachen analysiert werden, was im Interesse des Nationalparkes liegen wird. Dabei sind neben ökologischen Ursachen (klimabedingt und einhergehende Vegetationsänderungen, Witterungsbedingungen, Wildartenverschiebungen etc.) auch menschliche Einflüsse von besonderem Interesse (Beweidungsregime, Besucherlenkung etc.).

6.8 Kleine Einzugsgebiete (Micro-Catchments)

Leopold Füreder, Georg H. Niedrist

Die gleichzeitige Beobachtung unterschiedlicher Gruppen von Messgrößen entlang von Gewässern kleiner Einzugsgebiete (hydrologische, chemische, organische, als auch lebendige Aspekte) lässt Interpretationen von Langzeitveränderungen nicht nur auf struktureller, sondern auch auf funktioneller Ebene zu. In dieser Startphase konnten innerhalb dieser Komponenten geeignete Indikatoren für die Langzeitbeobachtung von Veränderungen identifiziert werden.

Die räumliche und zeitliche Analyse von Gegebenheiten in den ausgewählten drei Kleingewässern zeigte, dass diese die Bedingungen in den terrestrischen Bereichen der Einzugsgebiete widerspiegeln. Im Gegensatz zu den ähnlichen Wassertemperaturen im Winter (mittlere Tagestemperaturen nahe dem Gefrierpunkt von Anfang November bis Mitte/Ende April) unterscheiden sich die drei Gewässer in ihren mittleren sommerlichen Temperaturen (Juni bis August). Dabei wies das Gewässer im Innerschlöss die höchsten mittleren Sommertemperaturen auf (Tagesmittelwerte zwischen 1.3 und 13 °C, im Mittel 8.2 °C), während das Gewässer im Untersulzbachtal (UN) die stabilsten und generell niedrigsten Tagestemperaturen aufwies (4.9 °C, von 2.2 bis 9.4 °C). Im Seebachtal variierten die Tagesmitteltemperaturen stark zwischen 1.5 und 15.1 °C (Mittelwert 5.4 °C). Das abflussstärkste Gewässer (IN) transportierte gleichzeitig das Wasser mit den höchsten Konzentrationen von gelöstem organischen Kohlenstoff (562 bis 1431 µg/l) aber mit den niedrigsten Nitratkonzentrationen (0.02 bis 0.06 mg/l). Diese waren am höchsten im Seebachtal mit Werten zwischen 0.17 bis 0.28 mg/l (im Mittel ca. 6x so hoch als Werte in IN). Diese mit den Ausprägungen der Einzugsgebiete zusammenhängenden Unterschiede bestätigen die Grundidee dieser Beobachtungsform im Langzeitmonitoring, nämlich dass die Situationen – und zukünftig auch deren Veränderungen – innerhalb von Einzugsgebieten in deren Entwässerungen beobachtet werden können und dass auf stattfindende und sich möglicherweise ebenso verändernde Prozesse (Nährstoffverwertung, Abbau von organischem Material, Erneuerung des Wassers usw.) rückgeschlossen werden kann.

Die zeitlich engen Untersuchungen in der Anfangsphase dieses Moduls erlaubten eine Eingrenzung der Variabilität standardisiert erhobener Parameter (physikalische, chemische, organische und biologische Kenngrößen, Abb. 6.8-1) Während beispielsweise die Konzentrationen der allgemeinen Trübstoffe, oder des gelösten und gesamten Phosphors während der Sommer hohe und inkohärente zeitliche Schwankungen aufwiesen, konnten für Variablen wie Leitfähigkeit, einige mineralische Stoffe, gelöster organischer Kohlenstoff, Sulfat, Nitrat, oder Gesamtstickstoff enge Bereiche eingegrenzt werden (Abb. 6.8-1). Diese Vorarbeit ist nötig, um zukünftig beobachtete Situationen richtig einordnen und interpretieren zu können. Darüber hinaus konnten dadurch geeignete Parameter für erwartete Langzeitaussagen identifiziert werden, wobei räumlich und kurzzeitig gering schwankende Kenngrößen zu bevorzugen sind. So soll beispielsweise die relativ stabile Nitrat-Konzentration im Wasser als entscheidender Indikator für die Gesamtstickstoff-situation herangezogen werden, während dies durch die alleinige Beobachtung der Gesamtstickstoff-Konzentration nicht möglich wäre.

Moderate Besiedelungsdichten tierischer Gewässerorganismen wurden im Innerschlöss (im Mittel 2143 Individuen/m²) und im Untersulzbachtal (im Mittel 3237 Individuen/m²) besammelt, wobei die meisten Arten im hohen Untersulzbachtal (insgesamt 48 Taxa), weniger im Innerschlöss (insgesamt 46 Taxa), und am wenigsten im Seebachtal (insgesamt nur 12 Taxa) nachgewiesen wurden. Die beständigste Gruppe (in den meisten Proben dominant) war jene der Chironomiden (und besonders Arten der Unterfamilie Diamesinae), welche üblicherweise in hochgelegenen Fließgewässern vorherrschen (Füreder 1999, Niedrist und Füreder 2013). Als entscheidend (signifikant) für die unterschiedlichen Ausprägungen der Lebensgemeinschaften wurden die Nitratkonzentration (korrelierend mit Gesamtstickstoff) und die sommerlichen Wassertemperaturen identifiziert.



Limnologische Kenngrößen		Sommerliche Schwankungen	Longitudinale Veränderung	Prognose für alpine Quellbäche	Begründung für Prognose	
Hydrologische Signale	Wassertemperatur	gering	←	←	steigende Lufttemperatur	
	Sauerstoff Konzentration	mittel	← * SE	→	Gefälle und Durchmischung bleibt bestehen	
	Sauerstoff Sättigung	mittel	→	→	Gefälle und Durchmischung bleibt bestehen	
	Sommerlicher Abfluss	gering	→ * IN	→	saisonale Verschiebung der Niederschläge	
Chemische Signale	Chlorid	mittel	→			
	pH	mittel	→ * SE			
	Kalzium	gering	→			
	Kalium	gering	→			
	Magnesium	mittel	→ * SE			
	Elektr. Leitfähigkeit	gering	→			
	Ammonium	mittel	→	→	+ Streuabbau + Ammonifikation + Düngung	
	Nitrat	gering	→	→	+ Streuabbau + Ammonifikation + Düngung	
	Gesamter Stickstoff	gering	→ * IN	→	+ Streuabbau + Ammonifikation + Düngung + atmosphärischer Eintrag	
	Phosphor	hoch	→			
Sulfat	gering	→	→	- Eintrag durch Atmosphäre		
Organische Signale	DOC	mittel	→	→	+ Auswaschung Boden + Starkregen + Verwitterung + Permafrosttau	
	Trübstoffe	mittel	→	→	+ Auswaschung Boden + Starkregen + Vegetation + Aufwuchs + Permafrosttau	
	POM	mittel	→	→	+ Auswaschung Boden + Starkregen + Vegetation + Aufwuchs	
Biologische Signale	Aufwuchs	hoch	→	→	+ Vegetationsperiode + Nährstoffe + günstigere Wassertemperaturen	
	Individuendichte	mittel	→	→	+ Nahrung + günstigere Wassertemperaturen	
	Taxazahl	mittel	→	→	+ Nahrung + günstigere Wassertemperaturen	
	Anteil Zuckmücken	mittel	→	→	+ mildere Habitateigenschaften + Verdrängung durch Generalisten	
	Anteil Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen	mittel	→	→	+ mildere Habitateigenschaften + Einwanderung aus tieferen Habitaten	
	Verschiebung Artenspektrum	mittel	→	→	+ Wassertemperatur + veränderte Habitateigenschaften	
	Alpine Spezialisten	mittel	→	→	+ Wassertemperatur + veränderte Habitateigenschaften	

* Ausnahme

Abb. 6.8-1: Zusammenfassung der zeitlichen (monatlichen und jährlichen) inkohärenten Schwankungsbreiten von erhobenen hydrologischen, chemischen, organischen und biologischen Kenngrößen mitsamt Darstellung von beobachteter gleichartiger Zunahme/Abnahme entlang des Gewässerlaufs (für Detaildarstellungen siehe Füreder, Lanzer und Niedrist 2019). Aus langzeitlich prognostizierten Erwartungen für alpine Quellbäche (abgeleitet aus IPCC 2019, Niedrist und Füreder 2017, 2020) lassen sich Hypothesen für das Langzeitmonitoring formulieren.



Zu erwarten ist, dass sich kurzfristig die hydrologischen und physikalischen Bedingungen der Gewässer als Lebensräume für pflanzliche und tierische Gemeinschaften verändern werden. Dies hängt vor allem mit steigenden Lufttemperaturen, aber auch mit prognostizierten Verschiebungen von Dauer und Zeitpunkt der Niederschläge zusammen. Während des Sommers 2018 – im Jahr mit einem der bisher wärmsten Sommer seit Beginn der kontinuierlichen Aufzeichnungen – versiegte das Gewässer im Seebachtal und führte erst im Herbst wieder Wasser. Deshalb gilt dieses Einzugsgebiet als besonders geeignet, um Verschiebungen des Abflussregimes aufgrund veränderter Wasserspeicher aufzuzeigen. Es gilt sowohl den Wasserstand, als auch die Zeitpunkte des Trockenfallens zu beobachten – und dies aber immer unter Berücksichtigung der lokalen Niederschlagsdaten. Solche Querverbindungen zu meteorologischen Veränderungen, die Beobachtung von hydrologischen Auswirkungen und das Monitoring von strukturellen und funktionellen biologischen Konsequenzen dieser Veränderungen in Gewässern ergänzen sich. Im Vergleich zu den anderen kleinen Einzugsgebieten stellt das Seebachtal insbesondere aufgrund des intermittierenden Charakters (zeitweises Trockenfallen) ein Fließgewässer dar, in welchem nur wenige Spezialisten überleben können.

Neben der Eignungsüberprüfung gängiger biologischer Indices für Lebensgemeinschaften in diesen hochgelegenen und kleinen Fließgewässern konnten auch neue Anzeiger für Umweltveränderungen identifiziert werden. So kamen beispielsweise im Seebach, welcher im Sommer 2018 oberflächlich kurz trockenfiel, Grünalgen in den Gemeinschaften auf den Steinoberflächen auf, welche üblicherweise von Diatomeen und / oder Cyanobakterien dominiert werden (Niedrist, Cantonati und Füreder 2018). Diese Organismen stellen folglich eine zusätzliche Kenngröße zur Beobachtung der Wasserknappheit in hochgelegenen Fließgewässern dar. Steigende Temperaturen werden zusätzlich vermehrt zum Abtauen von Permafrostflächen führen, dessen Fortschritt mittels langfristiger Beobachtung der Konzentration organischen Kohlenstoffs im Wasser überwacht werden kann.

6.9 Seen

Stephen Wickham, Jana Petermann, Ulrike Berninger

Bereits im zweiten Jahr der Untersuchungen konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich die ausgewählten Seen perfekt für die Durchführung der Langzeitstudie eignen. Die für den Synthesebericht 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 Klimawandel-szenarien in Verbindung gebracht werden können, oder eher Ausdruck von individuellem Mikroklima sind, kann schlüssig erst nach einer mehrjährigen Datenaufnahme beantwortet werden.

Das Hauptziel des Datenloggereinsatzes war es, die langfristige Temperaturentwicklung der untersuchten Seen zu messen. Es wurde dokumentiert, dass alle Seen während des Winters von einer Eisschicht bedeckt waren. Die Höchsttemperaturen im Sommer lagen bei bis zu 15 bis 20 °C und in den meisten Seen traten Temperaturunterschiede von 4 bis 5 oder sogar noch mehr °C innerhalb weniger Tage auf Höhe der eingesetzten Temperaturlogger auf, was impliziert, dass in den betreffenden Gewässern kein stabiler Aufbau distinkter Wasserschichten vorliegt, sondern die Schichtung sehr instabil ist. Neben der Temperatur als „Antreiber“ physiologischer Prozesse wurde der Konzentration von Nitrat (als wichtigem Pflanzennährstoff) sowie Chlorophyll a (als Massenparameter für die autotrophe Biomasse) besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Vertikalprofile weisen sowohl interannuelle Unterschiede der einzelnen Seen als auch deutliche Unterschiede zwischen den Gewässern auf und haben damit das Potenzial, aussagekräftig für die Beschreibung von Klimaeffekten bzw. für Klimavorhersagen sein zu können. 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 als (3) 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 (Salzbodensee mit den höchsten Maximaltemperaturen und Löbbensee, Seebachsee und „See neben Seebachsee“ mit deutlicher Schichtung während des Sommers). Der „See neben Löbbensee“ und der Ober- und Untervorderjaidbachsee verzeichnen einen deutlichen Temperaturanstieg der maximalen Sommertemperaturen von 2018 im Vergleich zu 2017. Besonderheiten weisen auch die Nährstoffkonzentrationen einiger der untersuchten Seen auf. Während in manchen Seen die Nitratkonzentrationen tatsächlich sehr niedrig





(< 1 µg l⁻¹) und stabil über die Wassersäule sind (z. B. See neben Löbensee, See neben Seebachsee 2018), weisen andere Gewässer deutlich höhere Mengen (>1-5 µg l⁻¹) und vertikale Konzentrationsunterschiede, insbesondere stark erhöhte Konzentrationen an der Wasseroberfläche auf (z. B. Löbensee, Grüneckersee, Schneefeldsee, Sulzsee und Großes Elend 2018). Ferner zeigten etliche der Seen (Löbensee, Gletscherplateausee, Seebachsee, See neben Seebachsee) unerwartet hohe Chlorophyll a-Werte, insbesondere in Form eines sog. „Tiefenchlorophyll-Maximums“, also deutlich erhöhte Chlorophyll-Konzentrationen mehrere Meter unterhalb der Wasseroberfläche.

Die Auswertung der Zooplanktondaten der Jahre 2017 und 2018 lassen bisher natürlich nur die Beschreibung von Trends zu, auch hier zeigen sich aber große Unterschiede. Die Zooplanktongemeinschaften der einzelnen Seen unterscheiden sich klar voneinander und nicht in allen Seen wurde das komplette Spektrum gefunden (Abb. 6.9-1 und 6.9-2). Alle vier Großgruppen (Copepoden – „Ruderfußkrebse“, Cladoceren – „Wasserflöhe“, Rotatorien – „Rädertierchen“, Ciliaten – „Wimperntierchen“) 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 (Eisseele, Löbensee, Plattensee, See neben Seebachsee und Untervorderjaidbachsee) konnte der *Ciliat Bursaridium* nachgewiesen werden. Dieser Ciliat tauchte erst im Jahr 2018 auf, dann allerdings gleich in recht hohen Abundanzen. Über die Gründe hierfür lassen sich derzeit keine seriösen Aussagen machen. 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 nahe 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).

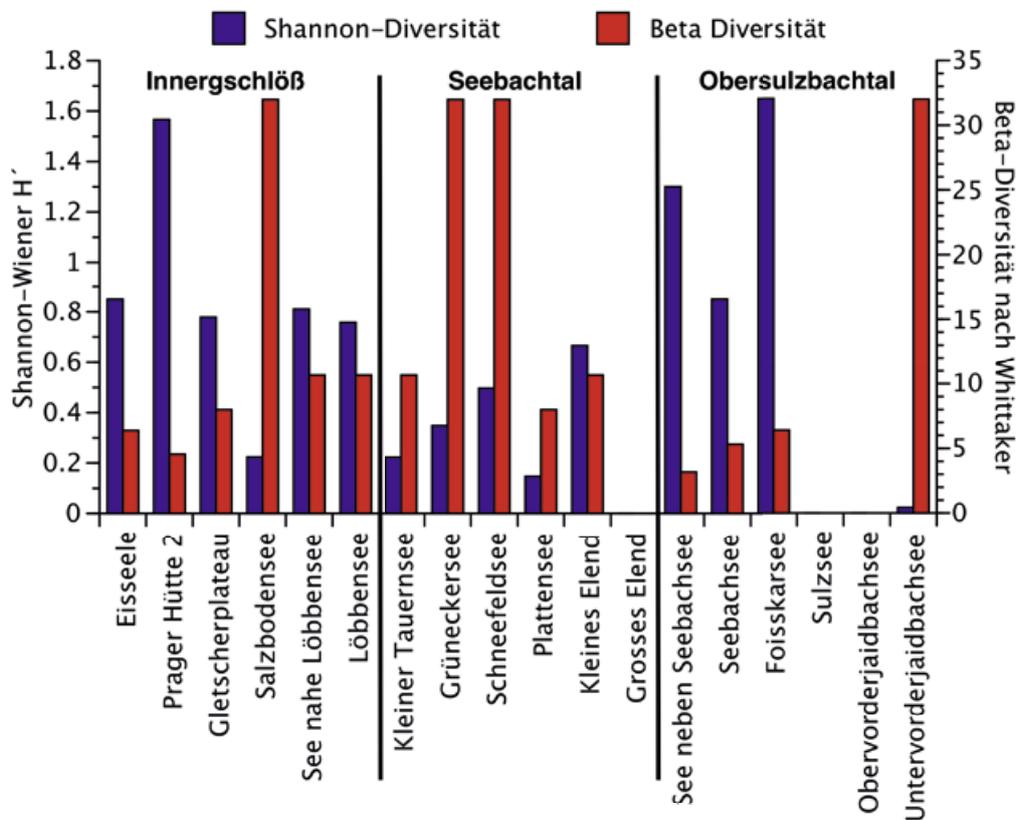


Abb. 6.9-1: Shannon-Wiener Diversität (Artendiversität) und Beta-Diversität (Diversität der Artengemeinschaften) der Zooplanktongemeinschaft aller 18 beprobten Seen im Innerschlöß, Seebachtal und Obersulzbachtal. Die Werte stellen den Mittelwert der Daten aus den beiden Untersuchungsjahren (2017 / 2018) 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 y-Achse (rote Balken).



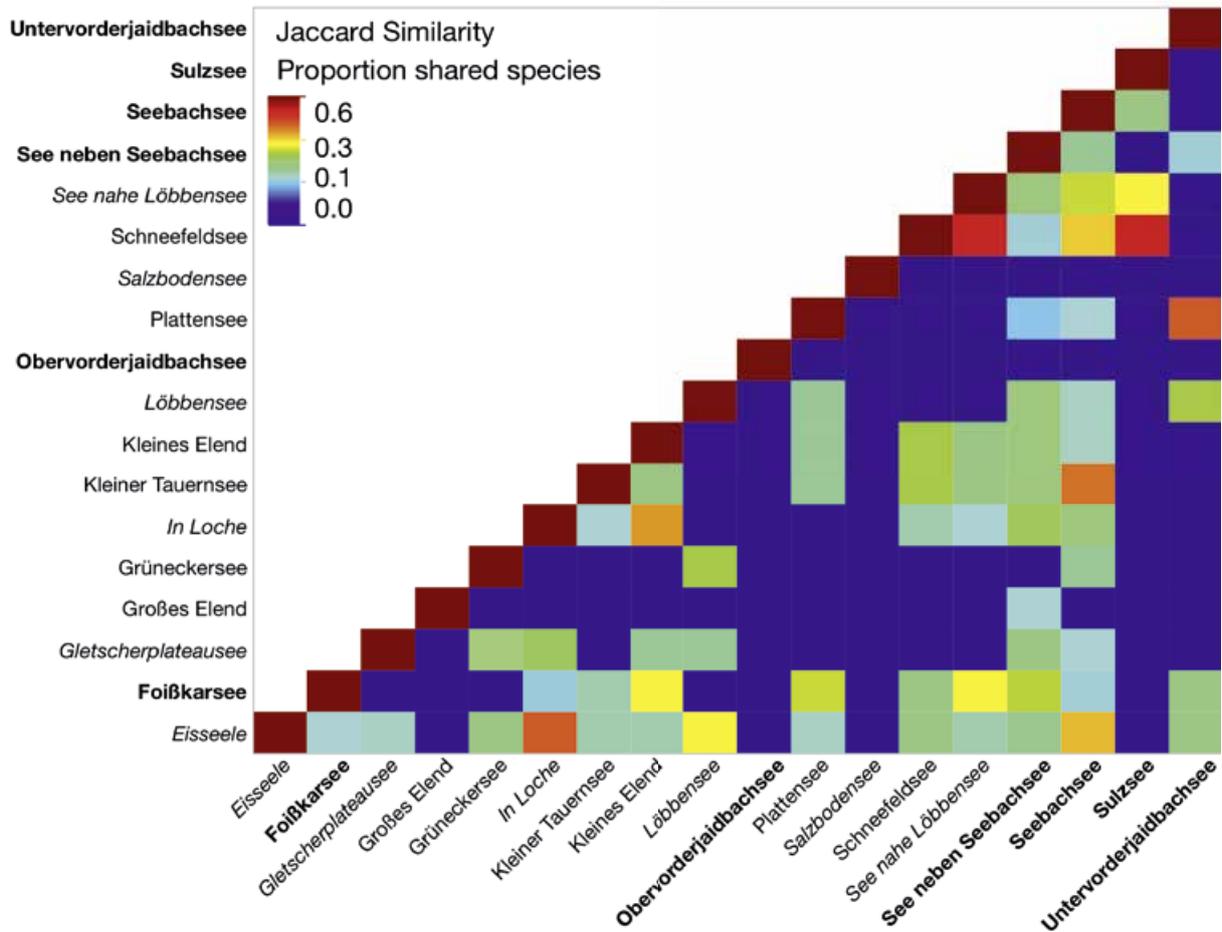


Abb. 6.9-2: Jaccard Index zur Verdeutlichung der Ähnlichkeit bzw. der Unterschiede in der Artenzusammensetzung des Zooplanktons der beprobten Seen. Alle Seen sind sowohl auf der x- als auch auf der y-Achse aufgeführt und werden paarweise miteinander verglichen. Die Namen der Seen des Seebachtals in normaler Formatierung geschrieben, die des Obersulzbachtals im Fettdruck, die des Innergschlöss sind kursiv. Die Diagonale der roten Quadrate impliziert 100 % gemeinsame Arten (See 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.

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. Dennoch 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 ihr Ausscheiden von Nährstoffen in die Wassersäule 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, wie z. B. Veränderungen der Abundanzen einzelner Organismengruppen bzw. der Gemeinschaftszusammensetzung von Jahr zu Jahr, die schon jetzt augenfällig sind, tragen nicht nur Klimaeffekte bei, sondern ebenso regionale Effekte, das Mikroklima jedes 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.





6.10 Kryosphäre (Gletscher, Hydroklima, Permafrost)

Gerhard Lieb, Andreas Kellerer-Pirklbauer

In Bezug auf öffentliche Wahrnehmung und mediales Interesse sind die den aktuellen Gletscherschwund repräsentierenden Daten wohl an erster Stelle zu nennen. Die auch visuell deutlich wahrnehmbare Verkleinerung der Gletscher spiegelt selbstverständlich die globale (und in den Alpen besonders markante) Erwärmung der Atmosphäre wider, welche ihrerseits in den Langzeitdatenreihen der ausgewählten Messstationen quantifizierbar wird. Mit dem massiven Rückgang der Gletscher geht eine erhöhte Gletscherspende in den sommerlichen Abflüssen aus den stark vergletscherten Einzugsgebieten (Untersulzbachtal, Innerschlöss) einher, unbeschadet der Tatsache, dass die Abflussspitzen in der Regel durch Starkniederschläge verursacht werden. Im Gegensatz dazu verlaufen die Veränderungen im Permafrost – wegen dessen Entkoppelung von der Atmosphäre durch die winterliche Schneedecke und die sommerliche Auftauschicht – ungleich langsamer und visuell nur in Einzelfällen bemerkbar ab. Dennoch sind auch im Permafrost die Folgen der globalen Erwärmung in langfristig steigenden Untergrund-Temperaturen und aktuell erhöhten Bewegungsraten der Blockgletscher erkennbar, wenngleich die Sicherheit der Aussagen wegen der Kürze der Datenreihen zum Permafrost (ausgenommen Bewegungsraten) geringer als bei den anderen Faktoren ist.

Konkret für die einzelnen erhobenen Faktoren zusammengefasst, zeigte sich während der Pilotphase folgendes Bild: Die Lufttemperaturen sind auf langfristig gesehen hohem Niveau, wobei 2016 / 17 etwas kühler als die Jahre davor und danach waren, während die Niederschläge und Abflüsse die hierfür typischen hohen Schwankungen zwischen den Einzeljahren widerspiegeln. Die Längenänderungen der Gletscher waren mit -19,5 m (2016 / 17) und -19,7 m (2017 / 18) auch im langjährigen Vergleich sehr hoch – in guter Übereinstimmung mit der kumulativen Wirkung vieler aufeinander folgender Jahre mit hochnegativen Massenbilanzen. Für den Permafrost waren die Jahre 2015 / 16 und 2016 / 17 günstiger als 2017 / 18, doch zeigt auch hier der langjährige Trend der Bodentemperaturen klar nach oben (an den meisten Messstationen Erwärmung um 0,5-1 °C in der letzten Dekade). Insgesamt bilden die erhobenen abiotischen Faktoren den aktuellen Klimawandel gut ab.

Da mit Ausnahme des Faktors Permafrost im Rahmen dieses Moduls keine eigenen Daten erhoben, sondern solche von "externen" Organisationen verwendet werden, ist davon auszugehen, dass unabhängig von den Entwicklungen im Nationalpark diese Daten auch in der Zukunft verfügbar sein werden. Ihre Zusammenführung in Form eines Berichts nach dem Muster des Pilotprojekt-Endberichts müsste aber von Seiten des Nationalparks sichergestellt werden – ebenso wie die Fortführung des Permafrost-Monitorings.

Die zukünftige Entwicklung der Kryosphäre wird im Nationalpark keine andere als die im Rest der Alpen erwartete sein: Weitere Temperaturerhöhung, weiterer starker Gletscherschwund mit raschem Verschwinden kleiner Gletscher, gefolgt von veränderten Abflussregimen (Umstellung von glaziale auf nivale Regime) sowie langsame, aber kontinuierliche Permafrost-Degradation. Diese wird zusammen mit dem Gletscherschwund die Geomorphodynamik besonders in den höchsten Lagen des Nationalparks verändern, was bedauerlicherweise noch nicht durch ein Monitoring erfasst wird. Ein solches einzurichten kann an dieser Stelle empfohlen werden, Konzepte hierfür liegen bereits vor.





7 Zusammenfassung

Christian Körner

Veränderungen in unserer Umwelt verlaufen oft so langsam oder unterliegen derart großen Schwankungen, dass unsere Sinne nicht ausreichen, um langfristige Trends zu erfassen. Ob sich das Klima ändert, lässt sich nicht aus dem erlebten Wetter ableiten. Dazu braucht es langjährige Beobachtungsdaten. Genau diese Problematik griff der Nationalpark Hohe Tauern in Kooperation mit Fachleuten von Universitäten in Graz, Innsbruck, Salzburg und Wien, sowie dem Haus der Natur in Salzburg auf, um sich Gewissheit zu verschaffen, ob und wie die ihm anvertrauten Lebensräume im Hochgebirge sich verändern und an welchen Messgrößen man das sichtbar machen kann.

7.1 Leben an Existenzgrenzen

Ein dreijähriger Planungsprozess des Wissenschaftlichen Beirates zwischen 2013 und 2016 führte zu einem Konzept, das Machbarkeit, Finanzierbarkeit und wissenschaftliche Solidität vereint. Es wurde beschlossen, kleinräumige (also überschaubare), steile Klimagradienten in der alpinen Stufe als Modell für großräumige Gradienten der Lebensgunst im Hochgebirge zu studieren. Dafür wählte der Wissenschaftliche Beirat das Motto „Leben an Existenzgrenzen“. Dahinter steckt die Überlegung, dass Organismen irgendwo in der Gebirgslandschaft ihre thermischen Existenzgrenzen finden. Sollte das Klima sich weiter erwärmen, sollten sich diese Grenzen messbar in aktuell nicht günstige Lebensräume hineinverschieben.

Es ist eine Eigenheit aller Gebirge der Erde, dass es oberhalb der alpinen Baumgrenze keine klaren, als Linien ablesbare Verbreitungsgrenzen von Organismen gibt, weil in der bodennahen Luftschicht die Topographie, also der Wechsel von Mulden und Erhebungen, die unterschiedliche Exposition zu Sonne und Wind, sowie die Steilheit des Terrains unzählige Kleinlebensräume schaffen, in denen sich Muster der Habitatgunst schier endlos wiederholen. So kann es sein, dass eine südexponierte, geschützte Nische in 3.000 m Höhe bessere, also wärmere Lebensbedingungen bietet, als eine Mulde in nur 2.000 m Höhe, in der Schnee akkumuliert (Schneeverfrachtung) und erst spät im Sommer abschmilzt. Auf diesen „Experimenten der Natur“ basiert das langfristige Monitoring der terrestrischen Biozönosen in der alpinen Stufe des Nationalparks.

Analog dazu spiegeln auch alpine aquatische Lebensräume kleinräumige Unterschiede in Klima und terrestrischer Umgebung wider. Jedem alpinen Gewässer drücken lokale Umweltbedingungen ihren Stempel auf: Dynamik der Schneeschmelze, Aufbrechen des Eises, Geologie und Vegetation des Einzugsgebietes. Im Fall von Seen haben wir es mit einem, zwar vertikal oft geschichteten, aber sonst relativ homogenen Wasserkörper zu tun, dessen biologischer Zustand sich nach dem Freischmelzen gewöhnlich nicht innerhalb von Tagen stark verändert. Im Fall von Fließgewässern spiegelt die Lebewelt an einer Beobachtungsstelle alle oberhalb gelegenen Einflüsse, die eine starke zeitliche Dynamik aufweisen (man denke nur an einen Gewitterregen oder eine Trockenperiode wider). Die Merkmale kleiner, also überschaubarer Einzugsgebiete (Micro-Catchments), lassen sich wie ein Fingerabdruck mittels Analyse ausgewählter chemischer und biologischer Kenngrößen (Stoffkonzentrationen im Wasser oder im Algen / Bakterien-Aufwuchs) an einer Stelle abgreifen.

In all diesen Lebensräumen finden sich Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroben, die voneinander abhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Gleichzeitig variieren diese Lebensgemeinschaften von Kleinstandort zu Kleinstandort. Um großräumige Tendenzen zu erkennen, ist also eine möglichst große räumliche Replikation nötig, damit nicht der Zufälligkeit eines Standortes oder auch des Zeitpunktes einer Messung bzw. Probenentnahme ein unangemessenes Gewicht gegeben wird. Das Monitoring-Konzept stützt sich daher auf zahlreiche Standorte in den drei Nationalparkteilen ab, standardisierte jedoch die Höhenstufe (mindestens 200 m oberhalb der alpinen Baumgrenze) und die Art der Beobachtungsflächen. Terrestrisch sind dies Gradienten der Schneebedeckungsdauer über nicht mehr als 10 m Distanz (sogenannte Schneetälchen), entlang derer sich die Vegetation (und damit die Artenverbreitung) deutlich verändert, im Idealfall von einem artenreichen, produktiven, alpinen Rasen (Position K) bis hin zu artenarmen Schneebodengesellschaften (Position T). Im Folgenden wird immer wieder auf diesen Gradienten abnehmender Habitatsgunst von K nach T verwiesen (M ist die Mittelposition). In Ergänzung zu den drei Testgebieten im Nationalpark Hohe Tauern





wurden zwei weitere Testgebiete (Oberettes – Südtirol, Furkapass – Innerschweiz) einbezogen, an denen auch zukünftig die exakt gleichen terrestrischen Erhebungen von dortigen Institutionen durchgeführt werden. Die photographische Dokumentation der Vegetation mit der Kunstlichteinrichtung blieb auf die drei Standorte im Nationalpark beschränkt. Die Vegetationsaufnahmen und eine Photodokumentation gibt es jedoch auch für die zwei Zusatzstandorte. Diese Ausweitung auf fünf Standorte verleiht den Daten aus dem Nationalpark höheres Gewicht. Die aquatischen Untersuchungssysteme (Seen und Micro-Catchments) decken unterschiedliche alpine Höhenlagen und Einzugsgebiete in allen drei Nationalparkteilen ab. Die unterschiedlichen Gegebenheiten in den Micro-Catchment Einzugsgebieten (Geologie, Vegetation, Ausrichtung, Neigung, Abfluss usw.) führten über lange Zeit zur Ausbildung von Lebensgemeinschaften mit feinen Unterschieden in der Artenzusammensetzung. Die Identifizierung von Leitarten pro Micro-Catchment erlaubt aber eine gezielte Langzeitbeobachtung dieser tierischen Indikatoren.

7.2 Resultate der Beobachtungsperiode 2016 bis 2018

Solide Anfangsdaten sind der Anker für die Interpretation zukünftiger Beobachtungsreihen. Ziel dieser Startphase war es, diese Referenzdaten möglichst umfassend zu erheben und aufzubereiten. Auch sollten methodische Defizite - auch bei bekannten Methoden - bestmöglich optimiert werden, dies insbesondere in Hinblick auf die lange projektierte Laufzeit des Monitoringprogrammes. Es galt, die gewählten Ökosysteme zu charakterisieren, räumlich zu vergleichen und erste Anhaltspunkte zur räumlichen und – soweit möglich – zeitlichen Variabilität zu gewinnen. Die in diesem Synthesebericht zusammengefassten Resultate sollen es auch erlauben, das weitere Vorgehen zu planen und sensible Kenngrößen / Organismen zu identifizieren, von denen erwartet werden kann, dass sie Zeigerwertcharakter für Umweltveränderungen haben. Eine Analyse langzeitlicher Trends ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich. Im Folgenden soll der Zustand der Referenzflächen und beprobten Gewässer zusammenfassend dargestellt werden. Soweit jetzt bereits Querbezüge zwischen einzelnen Beobachtungsgrößen erkennbar sind, werden diese aufgezeigt. Solche Querbezüge sind aber nicht das zentrale Anliegen des Monitorings, so wie an einer Wetterstation Wind und Luftfeuchtigkeit gemessen werden müssen, ohne dass diese beiden Größen direkt etwas miteinander zu tun haben. Ganz analog kann ein Mensch nicht als gesund bewertet werden, wenn nur sein Herz funktioniert. Schließlich tragen alle Organsysteme zum „großen Ganzen“ bei.

7.2.1 Die abiotischen Rahmenbedingungen

7.2.1.1 Klima

Die Standortwahl für die terrestrischen Untersuchungen erwies sich als klimatologisch, bodenkundlich und ökologisch sehr gut, wenn gleich nicht in allen Facetten perfekt. Die Standorte sind thermisch mehrheitlich sehr ähnlich. Für gleiche Zeiträume im Jahr 2017 ergaben sich für die Wachstumsperiode (5.7. bis 15.9.) an vier der fünf Standorte Wärmesummen der Lufttemperatur (Gradtage, das ist die Summe aller Tagesmittelwerte aller Temperaturen über 5 °C mal Anzahl der Tage) von 570 bis 610 °d, nur der Standort Seebachtal erwies sich in diesem Sommer (2017) als etwas wärmer (710 °d). Der Standort ist früh schneefrei und vergleichsweise niedrig gelegen. Die für Organismen maßgeblichen Temperaturen in den obersten Bodenzentimetern unterscheiden sich während der schneefreien Zeit zwischen dem günstigsten (K) und ungünstigsten Ende (T) der Gradienten nicht und sind im Tagesmittel über 24 Stunden gerechnet mit ca. 1 bis 5 °C deutlich wärmer als die gleichzeitig gemessene Lufttemperatur (Mikroklimaeffekt). Nimmt man nur die Tagstunden ist der Effekt noch ausgeprägter. Berechnet man hingegen die Temperatursummen über 5 °C ab dem Freischmelzen bis zu einem Fixpunkt (z.B. 1. August), ist die Summe im T-Bereich, über alle Transekte gemittelt, mit durchschnittlich 590 °d deutlich geringer als im K-Bereich (760 °d). Dieser Unterschied von 170 Gradtagen in die Landschaft projiziert, entspräche einigen hundert Metern Höhenunterschied. Die thermischen Gradienten der Transekte sind besonders steil im Innerschlöss, auf der Furka und in Oberettes, und etwas flacher im Seebachtal und im Untersulzbachtal, aber sie sind in jedem Fall signifikant. Die wichtigste Erkenntnis aus diesen Daten ist der überragende Einfluss des Schneeschmelztermines. Der thermische Unterschied von K nach T wird ausschließlich vom Faktor Zeit (Dauer der Wachstumsperiode) bestimmt.

Die Klimadaten der alpinen Gewässer zeigen starke standörtliche Unterschiede, die mit dem Zeitpunkt des Eisbruches zusammenhängen. Eine (in Tallagen typische) thermische Schichtung von Seen wurde kaum beobachtet. Hingegen dokumentieren bei sommerlichem Schönwetter die an kleinen Bojen montierten Temperatursonden in einigen Seen erstaunlich hohe Wassertemperaturen, was potentiell den Lebensraum für wärmeliebende Planktonorganismen öffnen kann.





7.2.1.2 Bodenbedingungen

Um die Klimawirkungen möglichst ohne Einfluss anderer Umweltwirkungen zu identifizieren, ist es wichtig, dass die Böden sowohl physikalisch als auch chemisch sehr ähnlich sind. Dieses Ziel wurde bei der Standortwahl klar erreicht. Alle Böden liegen auf basenarmen Silikaten (Granodioritgneis, Granitgneis, Paragneis, Tonalitgneis) und operieren in einem engen, sauren pH-Bereich von etwa 3,8. Die Böden sind gut durchlüftet (großes Porenvolumen) und können viel Wasser speichern (bis zu 60 % ihres Volumens), wobei die Böden am tiefsten Punkt der Transekte weniger gut entwickelt (weniger tief, mehr Steine) sind und daher auch weniger Wasser speichern können. Auch der an sich hohe Bodenkohlenstoffanteil („Humus“) sinkt von K nach T, im Schnitt von 8 % auf 4 %. Die Schneeböden sind also weniger humushaltig und speichern weniger Wasser, als jene unter gut entwickelten alpinen Rasen (K). Auch die chemischen Voraussetzungen für das Pflanzenleben erwiesen sich über alle Transekte aller fünf Standorte als sehr ähnlich und zwar sowohl im K als auch im T-Bereich der Transekte. Es wurden alle wichtigen Mineralstoffe analysiert. Solche Daten spiegeln nur die potentielle Verfügbarkeit. Die Tatsächliche wird durch Bodenfeuchte, mikrobielle Aktivität und Mykorrhiza bestimmt.

Damit sind die terrestrischen abiotischen Rahmenbedingungen dokumentiert. Solche Merkmale unterliegen keinen großen Schwankungen und sind über Jahrzehnte, wenn nicht gar Jahrhunderte, stabil. Eine kurz- bis mittelfristige Wiederholung dieser Bodenanalysen ist daher nicht angezeigt. Es ist auch nicht zu erwarten, dass sich der Unterschied zwischen Bodentemperatur und Lufttemperatur, der (kleine) Unterschied zwischen den Standorten, oder der relative Unterschied von K nach T grundsätzlich verändern. Was sich mit einer veränderten Schneedynamik verändern muss, sind die Temperatursummen entlang der Schneeschmelzgradienten (K nach T), weshalb diese Daten laufend gemessen werden müssen solange das Monitoring läuft. Diese einfach zu erhebenden Daten sind das Rückgrat jeder weiteren klimabezogenen Analyse.

7.2.1.3 Abiotische Rahmenbedingungen der Gewässer

Die Daten zu den chemisch-physikalischen Charakteristika sind kaum von der Aktivität der Wasserorganismen zu trennen, da deren Aktivität sowohl von den frei verfügbaren, gelösten Nährstoffen (Stickstoff und Phosphat) abhängt und im Gegenzug auch durch Nährstoffkonsum deren freie Konzentration steuert. Die Seen unterscheiden sich zum Teil markant in ihrer Stickstoffdynamik, die von extrem niedrigen Werten bis zu auffällig hohen, oft in beträchtlicher Wassertiefe, reicht. Hier ist es schwer, aus diesen ersten Datensätzen eine längerfristige Typisierung der studierten Seen vorzunehmen. Zufälligkeiten eines bestimmten Sommers können da durchschlagen. Es hat für das Monitoring großen Wert, dass sich die gewählten Seen in ihrem Nährstoffspektrum deutlich unterscheiden, was künftige Interaktionen zwischen Klima und Nährstoffversorgung erwarten lässt. Wegen der großen Schwankungen und ihrer Bandbreite müssen daher Basisdaten jährlich über einen längeren Zeitraum erfasst werden.

Zum Abflussgeschehen und den physikalischen und chemischen Eigenschaften in den Micro-Catchments gibt es neben den zwei Beobachtungsjahren 2017 und 2018 auch längerfristige Zeitreihen aus dem Gewässermonitoring im Nationalpark Hohe Tauern. Im Innerschlöss ist der studierte Bach ident damit, in den beiden anderen Regionen für dieses Monitoring wurden jedoch andere Bäche, näher bei den terrestrischen Testgebieten, untersucht. Während dank umfangreicherer Aufnahmen im Projekt Gewässermonitoring Nationalpark Hohe Tauern (über den Zeitraum von 2010 bis 2017) starke Erwärmungen (im Mittel +0.25°C pro Jahr) von hochgelegenen Gewässern aufgezeigt werden konnten, kann für die ausgewählten Gewässer in den Micro-Catchments festgestellt werden, dass die Wassertemperaturen nicht mit der durchschnittlichen lokalen Lufttemperatur, jedoch mit der Höhenstufe (und somit den Gefriertagen) zusammenhängen. Eine wichtige Beobachtung war, dass im Hitzesommer 2018 das Micro-Catchment im Seebachtal kurzfristig keinen Abfluss mehr lieferte, was einschneidende Folgen für den benthischen Algen-Aufwuchs hatte. Dank eingebrachter Drucksonden konnte und kann der Zeitpunkt dieses Trockenfallens dauerbeobachtet werden. Es wird vermutet, dass sich die Abflussperiode im Sommer auf Dauer verkürzen wird. Es kann schlussgefolgert werden, dass aquatische Einzugsgebiete, die auf die jährliche Wassererneuerung angewiesen sind, hochsensible Reaktionen auf klimatische Veränderungen aufweisen und deshalb mit höherer Frequenz zu beobachten sind.

7.2.2 Pflanzliche Primärproduktion

Die mit Sonnenenergie im Wege der Photosynthese erzeugte Biomasse schafft die Voraussetzung für jedes weitere Leben. Jahrtausende pflanzlicher Evolution selektierten saisonale Wachstumsmuster, die nicht nur auf bestmögliche





Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen optimiert sind, sondern ein starkes Sicherheitsmoment einschließen. So unterliegen der Beginn und das Ende der intensiven Wachstumsperiode nicht dem bloßen Einfluss der aktuellen Witterung, sondern folgen auch einer inneren Uhr der Pflanzen, die je nach Art stärker oder schwächer von der sogenannten Photoperiode, also dem Tag / Nachtlängen-Verhältnis gesteuert wird (Pflanzenkalender). Damit vermeiden sehr früh ausapernde Arten eine zu frühe und damit spätfrostgefährdete Aktivität, aber noch viel wichtiger: damit bestimmen die Arten selbst, wann sie das Wachstum beenden, um einen gesicherten Übergang in die Winterpause zu garantieren. Das bedeutet, dass Abschluss von Blüte, Frucht- und Samenbildung, sowie Abzug wertvoller Rohstoffe aus den alternden Organen im Spätsommer aktiv gesteuert werden (gelenkte Seneszenz). Pflanzen im K-Bereich sind diesbezüglich tendenziell ausgeprägter gesteuert als traditionelle Pflanzen des T-Bereiches (Schneebodenpflanzen), welche aus der „Not geboren“ ein eher opportunistisches Verhalten zeigen (wachsen, wann immer möglich). Aber auch diese Arten wachsen nicht blindlings in den Winter, sondern ziehen sich zurück sobald die Samen gereift sind, was nicht jeden Sommer gelingen mag. Vor diesem Hintergrund sind die Daten zur Biomasseproduktion zu bewerten.

Die untersuchten Standorte weisen im K-Bereich (alpiner Rasen) eine saisonale Biomasseproduktion zwischen 55 und rund 230 g / m² auf. Der höchst gelegene Standort (Oberettes), der auch gleichzeitig historisch hohem Beweidungsdruck ausgesetzt war, erreicht nur 55 g / m² während der Standort Furka mit 230 g / m² bilanziert, knapp dahinter Untersulzbachtal mit 190 g / m². Eine Jahresproduktion von 200 g / m² entspricht 2 t pro ha. Zum Vergleich, ein Weizenfeld produziert rund 5 t Weizen pro Hektar und Jahr. Mit Ausnahme von Oberettes sinkt die Produktion an allen Standorten – mit zunehmend späterer Schneeschmelze also – von K nach T, besonders ausgeprägt im Untersulzbachtal und auf der Furka, womit also das Angebot an Substrat (Nahrung) für alle heterotrophen Organismen von K nach T sinkt. Ein unerwartet deutliches Resultat ist die Empfindlichkeit von Seggen, Süßgräsern, Binsen und Simsen (Graminoide) auf die Verkürzung der Wachstumsperiode von K nach T. Hier legen die Referenzdaten aus 2017 und 2018 bereits einen Hinweis auf potentiell klimasensitive Reaktionen nahe. Auch die unterirdische Biomasse, die 87 % der Gesamtbiomasse stellt, sinkt fast immer von K nach T, ihr Anteil an der Gesamtbiomasse bleibt aber von K nach T konserviert. An dieser großen „unsichtbaren“ Biomasse ist die lange Lebensdauer von Wurzeln und Erdsprossen schuld (mehrere Jahre), während die oberirdische Biomasse zum größten Teil jährlich erneuert wird.

Zwei weitere wichtige Erkenntnisse: Die über alle Standorte im Sommer 2018 um 15 % gegenüber 2017 erhöhte Biomasse gibt einen ersten Hinweis auf die zu erwartende Variabilität. Gleichzeitig lässt sich diese Zunahme nicht aus der Temperatursumme zwischen Schneeschmelzdatum und Erntedatum erklären. Der Grund dürfte in der oben genannten Autonomie der photoperiodisch gesteuerten Wachstumsbremse ab Anfang August liegen. Ab Erreichen einer bestimmten Biomasse um den 1. August stellen Pflanzen im K (und M) -Bereich das oberirdische Wachstum ein und investieren nur mehr nach unten. Das heißt über mindestens 2 bis 3 Wochen ändert sich die oberirdische Biomasse nicht mehr (bis die Seneszenz einsetzt), während die Temperatursummen mit jedem Tag weiter steigen. Im Gegensatz dazu wachsen die sehr spät ausgeaperten Pflanzen im T-Bereich noch ihrem Maximum an Biomasse zu. Für die zukünftige Beprobung bedeutet dies, die Erntezeitpunkte so spät anzusetzen, dass im K-Bereich die Seneszenz noch nicht eingesetzt hat, im T-Bereich aber gerade das Maximum erreicht ist (Streckungsphase der Blühtriebe des kleinen Ruhrkrautes, *Gnaphalium supinum* als Kriterium). Der Zeitpunkt der Ernte sollte daher unbedingt mittels Schneeschmelztermin mit Hilfe einer Webcam optimiert werden (siehe Abb. 2.7-2), soweit die Mobilfunkverbindungen das erlauben. 2018 waren zum Beispiel die Pflanzen im T-Bereich zum Erntzeitpunkt noch nicht ausgereift. 2019 dürfte sich das wegen der ungewöhnlichen Schneelage noch verschärfen. Es ist daher wichtig die Ernte nach dem „*Gnaphalium*-Kalender“ zu terminisieren, wobei ein Ausfall des T-Bereiches in einem Jahr Teil der natürlichen Varianz ist.

Eine jährliche und innerhalb der Saison gut terminisierte oberirdische Biomasseernte ist daher unerlässlich. Für eine Abschätzung der jährlichen unterirdischen Produktivität (Wurzelproduktion) wären sogenannte „ingrowth cores“ wichtig. Das sind etwa 4 cm weite, zylindrische Löcher die mit wurzelfreiem, gesiebtem Lokalboden gefüllt werden und dann nach einem Jahr mit einem 3 cm Bohrkern wieder „erstochen“ werden. Alle darin gefundenen Wurzeln müssen neu sein. Explorative Versuche dazu wurden angestellt. Auf der Furka läuft ein systematischer Test. Da das heterotrophe Bodenleben stark vom Wurzelumsatz lebt, sind das wichtige Zusatzdaten, die aber nicht wiederholt erfasst werden müssen.

Die Biomasse des pflanzlichen Planktons alpiner Seen wird über den Chlorophyllgehalt im Wasser abgeschätzt. Eine Produktivitätsabschätzung wäre zu aufwändig, weil dazu laufend beprobt werden müsste oder spezielle „in situ“ (im





See) Experimente eingerichtet werden müssten, und/oder zudem die Lebensdauer der Primärproduzenten bestimmt werden müsste. Außerdem findet laufend ein Konsum des pflanzlichen Planktons durch das tierische Plankton statt. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass ein hoher Chlorophyllgehalt auch eine hohe Produktivität spiegelt. Die ermittelten Chlorophylldaten zeigen, dass die alpinen Seen diesbezüglich sehr unterschiedlich sind. Es wird spannend zu sehen sein, ob dies See-spezifische „Einstellungen“ sind (die das Umfeld der Seen widerspiegeln) oder ein langfristiges Auf und Ab darstellt. Die Lebensgemeinschaft der Fließgewässer lebt vom Aufwuchs auf den Steinen (Benthos), der im Rahmen eines solchen Projektes nicht catchment-weit quantifiziert werden kann.

7.2.3 Pflanzengemeinschaften und Artgrenzen, Biodiversität

So wie sich die pflanzliche Biomasseproduktion von K nach T reduziert, ändert sich auch das Artenspektrum. Grundsätzlich nimmt die Bedeutung und Vielfalt der Grasartigen (Seggen, Süßgräser und Simsen) zu Gunsten von Kräutern und Moosen zum T-Bereich hin ab, in gleicher Weise wie auch die Artendiversität in diese Richtung abnimmt, also in Summe im M-Bereich (Mitte zwischen K und T) und im K-Bereich die größten Werte annimmt und im T-Bereich generell am niedrigsten ist. Das präzise, hochauflösende photographische Verfahren zur Abbildung der Art (-Gemeinschaften) entlang der Profile von K nach T erlaubt es am Bildschirm einzelne Individuen anzusprechen und Artgrenzen zu identifizieren. Hier kommt die Replikation besonders zum Tragen. Kann das Vorhandensein oder Fehlen einer Art entlang eines einzelnen Transektes reiner Zufall sein, so lässt sich aus der Stetigkeit solcher Muster – über viele oder alle Transekte – eine Gesetzmäßigkeit ableiten.

Die vorliegenden Auswertungen lassen eindeutige Zuordnungen von Arten zum K- oder T-Bereich der Transekte zu. Es konnten darüber hinaus Indikatorarten identifiziert werden, die eine hohe Stetigkeit aufweisen und gleichzeitig eine differentielle Präferenz für K oder T zeigen. Wenn solche Arten in Folge einer Klimaerwärmung und einer Verkürzung der Schneedeckendauer ihr „Areal“ ausdehnen, also ihr Verbreitungslimit in Richtung T verschieben, so kann das mit dieser Technik eindeutig und reproduzierbar nachvollzogen werden. Ein Vergleich von Bildserien aus 2017 und 2018 ergab bereits ablesbare Veränderungen in der Populationsstruktur einiger Arten, welche die interannuelle Variationsbreite abschätzbar macht.

Auf Basis der vorhandenen Daten lassen sich potentielle Verlierer und Gewinner einer Verkürzung der Schneedeckendauer postulieren. So ist davon auszugehen, dass im T-Bereich der Zwerg-Augentrost (*Euphrasia minima*) zunimmt, wie auch eine Zunahme der in den obersten Boden eingesenkten Spaliere der Kraut-Weiden (*Salix herbacea*) auf Kosten von Flächen mit typischen Schneebodenmoosen stattfinden dürfte. Das Zwerg-Ruhrkraut (*Gnaphalium supinum*) dürfte dann seine konkurrenzfreien Wuchsorte zunehmend verlieren. Im M-Bereich ist generell eine Ausbreitung der Krummsegge (*Carex curvula*) und den damit assoziierten Arten zu erwarten, während der in diesen Zonen aktuell prägende Schweizer Löwenzahn (*Scorzoneroidea helvetica*) eher ins Hintertreffen geraten dürfte. Genau solche Veränderungen zu identifizieren ist Ziel des Monitorings.

7.2.4 Biodiversität und Produktivität aquatischer Systeme

7.2.4.1 Seen

Die Seen unterscheiden sich in Anzahl und taxonomischer Zugehörigkeit der vorgefundenen Arten und in ihrer Zusammensetzung der Artengemeinschaften. Zum momentanen Zeitpunkt kann dies noch nicht nachweislich mit der Nährstoffkonzentration und / oder Höhenlage der Seen in Verbindung gebracht werden, aber es sind Tendenzen erkennbar, dass z. B. die touristische und / oder landwirtschaftliche Nutzung der umgebenden Flächen Auswirkungen auf den Nährstoffeintrag und die Häufigkeit bestimmter Arten hat.

Auffällig ist der geringe Besatz aller Seen mit Arten des Zooplanktons mit selten mehr als fünf Arten und sogar „Ein-Art“-Seen. Ebenso bemerkenswert war das plötzliche dominante Auftreten einer Einzeller-Art (eines Wimperntierchens) in einem See, dass sich nicht in anderen Seen wiederholte. Es ist möglich, dass die hohen Temperaturen im Jahr 2018 einer (neuen) Art plötzlich Entwicklungsmöglichkeiten boten, die nur episodischen Charakter hat. Es wird sich zeigen, ob solche Entwicklungen dauerhaft sein können. Der geringe Artenbesatz der primären Phytoplankton-Konsumenten öffnet jedenfalls das Potential für relativ schnelle und radikale Umstellungen in den aquatischen Nahrungsnetzen. Der Einsatz von Fischen - der teilweise leider bereits geschehen ist - wäre in solchen Seen ökologisch sehr problematisch.





7.2.4.2 Micro-Catchments

Die Micro-Catchments zeichnen sich durch eine spezialisierte Artengemeinschaft mit Dominanz der Zuckmücken (Diptera: Chironomidae) aus, welche typisch für solche Gewässer ist (Niedrist und Füreder 2016, Niedrist, Cantonati und Füreder 2018). Die Individuendichte als auch die Artenvielfalt sind jedoch von lokalen Umweltbedingungen (v.a. Wassertemperatur) abhängig. Die Produktivität (Primärproduzenten) ist in den Gewässern der Micro-Catchments IN und UN auf vergleichbarem Niveau, jedoch im SE aufgrund des periodischen Trockenfallens des Gewässers deutlich niedriger. In den unterschiedlichen Gewässern zeigt sich zudem ein herausragendes und zukunftsweisendes biologisches Phänomen: Das periodische Austrocknen im Hitzesommer 2018 im Seebachtal hatte zur Folge, dass zusätzlich zum üblichen Diatomeen- (Kieselalgen) und Cyanobakterienaufwuchs ein Grünalgenaufwuchs aufkam, was Auswirkungen auf die Nahrungsqualität der Invertebraten, also auf die ganze Nahrungskette im Gewässer, hat (Niedrist und Füreder 2017). Dem Verhältnis Diatomeen zu Grünalgenaufwuchs kommt potentiell zur Überwachung des Trockenfallens der Gewässer eine Indikatoren-Funktion zu.

7.2.5 Bodenmesofauna

Man sieht sie kaum mit freiem Auge, Winzlinge, die aber für das Funktionieren von Ökosystemen eine große Bedeutung haben und zu Abermillionen in unseren Böden leben. Mikroskopisch kleine Milben und Springschwänze (letztere oft als Urinsekten bezeichnet) sind gewissermaßen die Mitbegründer der Humusbildung in Gebirgsböden. Sie leben von bereits durch Pilze und Bakterien „vorverdautem“ Pflanzenabfall und eben auch von Algenrasen, Pilzfäden und Bakterienrasen im und auf dem Boden. Alpine Böden sind voll von diesen Tieren und alle haben einen Namen! Experten können aus ihrer Anwesenheit auf den Bodenzustand schließen. Im Boden der untersuchten Transekte tummeln sich rund 50 verschiedene Hornmilben- und 25 Springschwanzarten und genau wie bei Pflanzen und Mikrobenarten gibt es solche, die überall vorkommen und wenige, die ausschließlich im Bereich K oder T der Transekte zu finden sind. Einige von denen sind so stetig, das heißt kommen in einer genügenden Anzahl von Transekten vor, dass man davon eine artspezifische Zeigerfunktion für den Lebensraum ableiten kann. Ganz analog zu den Pflanzenarten lassen sich potentielle Verlierer und Gewinner erwarten, sollten sich die Umweltverhältnisse an den Transekten in eine bestimmte Richtung verändern (z. B. kürzere Schneedeckendauer, Klimaerwärmung). Diese Indikatorarten sind nun identifiziert. Da sich diese Lebensgemeinschaften im Boden nicht so schnell ändern, sind keine jährlichen Wiederbefunde nötig, aber ein 5-jähriges Beobachtungsintervall wäre sinnvoll. Da nun Referenzsammlungen vorhanden sind und das Artenspektrum bekannt ist, ist auch die Beurteilung sehr erleichtert.

7.2.6 Das alpine Bodenmikrobiom

Bakterien und Pilze zersetzen organischen Abfall. Viele Pilze stehen auch in Symbiose mit Pflanzen (Mykorrhizapilze). Man sieht sie nicht. Sie durchziehen mit ihren mikroskopischen Fäden den Boden. Die meisten Pilze haben einen Namen. Auch wenn man nur selten ihre Fruchtkörper sieht, kann man sie anhand der DNA aus Bodenproben identifizieren. Bei Bakterien wird unser Konzept der „Art“ problematisch, weil sie derart vielfältig und variabel sind, und keine Fortpflanzungsgemeinschaften bilden wie Pflanzen und Tiere. Es gibt aber Datenbanken mit deren Hilfe man Gruppen von Bakterien mit besonderen Merkmalen identifizieren und damit als „quasi-Arten“ definieren kann. 55 Millionen solcher DNA-Sequenzen wurden für dieses Projekt analysiert. Insgesamt wurden daraus 11.000 solcher Bakterienarten und 870 Pilzarten identifiziert. Grob betrachtet halbieren sich die Artenzahlen von K nach T und spiegeln damit den Trend bei den Pflanzenarten und Bodentieren. Es gibt auch klare Trends bei den Merkmalen: Im K-Bereich (Rasen) sind symbiontische Pilze deutlich erhöht im Vergleich zu T. Bakterien, die typisch sind für nährstoffarme Böden, dominieren den T-Bereich, umgekehrt findet man bekanntermaßen mit Trockenheit assoziierte Gruppen im K-Bereich. Gerade wegen der enormen Artenzahlen sind diese Trends sehr deutlich und repräsentieren ein „starkes Werkzeug“ zur Bewertung einer sich ändernden Habitatgunst. In dieser systematischen und habitatbezogenen Form wurde das Spektrum solcher Mikroben im Hochgebirge hier zum ersten Mal erfasst.

7.2.7 Wildtierbiologie

Es gibt keine völlig ungestörte Natur. Wachsen und gefressen werden ist der Normalzustand. Die alpine Stufe macht keine Ausnahme. Gämsen, Steinböcke, auch Rotwild, jedenfalls aber Murmeltiere, sind maßgebliche Konsumenten in alpinen Ökosystemen. Hinzu kommt regional der Weidedruck von Nutztieren (speziell Schafen). Für ein langfristiges Monitoring von Ökosystemen ist es unerlässlich diesen „Nutzungsdruck“ zu kennen und gegebenenfalls einzugreifen, wenn es gilt solche Störungen von einer Probefläche für eine kurze Zeitspanne auszuschließen (z. B. um eine ungestörte pflanzliche





Biomasseprobe zu ziehen). Mit unscheinbaren, batteriebetriebenen Überwachungskameras, die in hoher Frequenz Bilder abspeichern, konnte für vier der fünf Testgebiete der Beweidungsdruck quantifiziert werden. Er ist an den Standorten Untersulzbachtal, Seebachtal und Furka (hier nicht gezeigt) sehr gering oder fast null (obwohl am Letzteren in der zweiten Sommerhälfte gelegentlich Schafe vorbeikommen). Am Standort Innergschlöss ist die Präsenz von Schafen evident und erfordert für das Zeitfenster bis zur Biomasseernte (Anfang bis Mitte August) eine Auszäunung. In Oberettes, mit 2.700 m üNN der höchstgelegene Standort, erübrigte sich die Photodokumentation, da der Beweidungsdruck massiv und offensichtlich ist und dem zentralasiatischer alpiner Rasen entspricht. Diese Situation ist für das Projekt als Vergleich wertvoll, da damit die Wirkung der traditionellen Landnutzung vieler Hochgebirge integriert ist.

Der Vergleich der beiden Beobachtungsjahre 2017 und 2018 weist auf eine potentiell wichtige Reaktion der Wildtierpopulationen (und allenfalls sogar von Nutztieren) hin: Heiße Witterung reduziert den Nutzungsdruck, weil hitzempfindliche Tiere (z. B. Murmeltier) nach oben ausweichen. Inwieweit auch die hier nicht erfassten Mauspopulationen, die vom Nutzungsdruck her die Wirkung der großen Tiere deutlich übersteigen können, ähnlich reagieren, wäre eine lohnende Zusatzaufgabe für die Zukunft.

7.2.8 Gletschergeschehen und Kryosphäre

Nicht unmittelbar mit den biologischen Prozessen, die im Langzeitmonitoring untersucht werden, verknüpft, besteht doch eine gewisse Analogie: Wie reife biologische Systeme integrieren Gletscher das Klimageschehen verzögert aber nachhaltig. Von der Öffentlichkeit wird der Gletscherschwund wesentlich deutlicher wahrgenommen (man kann ihn unmittelbar sehen und erleben) als die Prozesse in einem Alpenrasen. Die Dramatik der Veränderungen kann so das Verständnis erhöhen, warum es wichtig ist, die Lebensräume in der Gletscherregion genauer unter die Lupe zu nehmen. Auch wenn das Modul Kryosphäre keine unmittelbaren Schlussfolgerungen für Naturschutz- oder Managementfragen im Nationalpark erlaubt, liefert es Referenzbeobachtungen, die rein physikalisch begründet sind und es bezeugt die Entstehung neuer Lebensräume für alpine Organismen. Für die Zukunft wären deshalb auch geomorphologische Untersuchungen im Gletschervorfeld angezeigt. Auch eine synthetische Aufarbeitung der Gletscherdynamik und des Abflussgeschehens wäre für die Nationalparkregion wichtig, wobei auch auf Daten externer Organisationen (Luftbilder, Abflussmessstationen) zurückgegriffen werden könnte.

7.3 Querverbindungen

Die einzelnen Forschungsmodule waren durch Standortwahl und Beprobungslogistik teilweise stark aufeinander angewiesen. Manche Arbeiten wurden aufs Engste zeitlich und räumlich zusammengeführt. Obwohl die erhobenen Messdaten größtenteils eigenständig sind, werden sich im Laufe der Jahre in einigen Bereichen wechselseitige Bezüge ergeben. Schon jetzt ist an den terrestrischen Testflächen erkennbar, dass alle drei Organismengruppen – also Pflanzen, Bodentiere und Bodenmikroben – gleichsinnige Biodiversitätstrends von K (frühe Schneeschmelze) nach T (späte Schneeschmelze) aufweisen. Alle drei Organismengruppen zeigen auch unterschiedliche Artengemeinschaften im K- und T-Bereich. Alle drei Organismengruppen lassen charakteristische Spektren der Artenverteilung erkennen und Indikatorarten oder -artengruppen werden bereits jetzt sichtbar. Die erhobenen Mikroklima- und bodenphysikalisch-chemischen Daten stellen für alle terrestrischen Module Referenzwerte dar.

Die aquatischen Systeme stellen jedes für sich eine „eigene Persönlichkeit“ dar. Sie decken die Amplitude der Möglichkeiten breit ab und sind von starker zeitlicher Dynamik geprägt. Darin besteht eine grundsätzliche Gemeinsamkeit. Die Wassertemperatur, aber auch der Eintrag von Nährstoffen aus der Umgebung, sind die prägenden Faktoren. Ob sich in den Seen analoge Entwicklungen in der reduzierten Nitrat-Verfügbarkeit wie in den Fließgewässern ergeben werden, wird erst die Zukunft zeigen. Inwieweit nitrophile Arten in den terrestrischen Systemen durch den anhaltenden Stickstoffeintrag an Präsenz noch zulegen, während sich die Situation in den Gewässern möglicherweise verbessert, wird auch erst die Zukunft zeigen. Temperaturerhöhungen werden jedenfalls zu Veränderungen in beiden Systemen führen, wobei zunächst eine zunehmende Produktion und nicht das Einwandern von wärme-liebenden Arten zu erwarten ist.

Die Querverbindung zu den Wildtierbeobachtungen ist wie zu Klima- und Bodendaten eine grundsätzliche. Beide vermitteln die Rahmenbedingungen, innerhalb derer sich diese alpinen Ökosysteme entwickeln. Zur Kryosphäre besteht ebenfalls nur ein grundsätzlicher Querbezug, indem die Gletscherdynamik ein Spiegelbild der klimatischen Gesamtsituation ist.





8 Ausblick

Christian Körner

Die dreijährige Startphase dieses fachübergreifenden Langzeitmonitorings hat das Fundament für zukünftige Analysen gelegt. Es gestaltete sich äußerst aufwändig geeignete terrestrische Testflächen zu finden, die allen denkbaren Ansprüchen genügen. Es kommt ja fast einer Quadratur des Kreises gleich, Standardisierung, gute Erreichbarkeit und die Diversität des alpinen Raumes unter einen Hut zu bekommen. Entscheidend war, dass jeder der gewählten Transekte einen Gradienten der Habitatgunst und der Vegetationszusammensetzung aufweist. Dieser Kern des Monitoring-Konzeptes ist ja grundsätzlich neu und die Resultate belegen, dass diese Gradienten in allen Analysen manifest werden. Da in der schneefreien Zeit entlang der Gradienten kaum thermische Unterschiede auftreten, ergibt sich der Faktor Zeit als überragende Steuergröße. Wie immer sich in der Zukunft die Schneedeckendauer gestaltet, wird sie an den organismischen Existenzgrenzen entlang dieser Gradienten Veränderungen auslösen. Die Erreichbarkeit der Versuchsflächen bleibt eine Hypothek. Hier wurde der Naturnähe und regionalen Diversifizierung, sowie geringer Landnutzung höhere Priorität eingeräumt als der Logistik. Die Unterstützung seitens des Nationalparks war und wird auch in Zukunft aus diesem Grund wichtig bleiben.

Das Projekt profitierte vom Know-how der involvierten Forscher*innen und der hochtechnischen Infrastruktur, die ihre Institutionen zur Verfügung stellten. Dem Nationalpark ist zu danken, dass er diesen Prozess für ein Langzeitmonitoring in wegweisender Art vor sechs Jahren aufgriff und über drei Jahre die erste Phase der Realisierung begleitete. Konsortialforschung in dieser Dimension war für den Nationalpark Neuland. Es liegt in der Natur der Situation, dass es zwischen dem Nationalpark einerseits und den öffentlichen Forschungsreinrichtungen andererseits, einen Lernprozess zu bewältigen galt. Immerhin ist Forschung auf diesem Niveau, ohne den massiven Einsatz etablierter Forschungseinrichtungen, nicht möglich bzw. finanzierbar. Umgekehrt wäre ohne die Initiative des Nationalparks und die Einwerbung der zusätzlichen Projektmittel, dieses langfristig ausgerichtete Programm nicht zustande gekommen. Daraus sind auch Lehren für die Zukunft des Monitorings zu ziehen: Es braucht eine Partnerschaft auf gleicher Augenhöhe. Dafür ist allerdings das formale Gefäß „Auftragsforschung“ denkbar ungünstig, da es rasch in Widerspruch zur gelebten Praxis gerät. Diese Art von Forschung ist nicht eine Ware, die man bestellen kann, vor allem dann nicht, wenn der überwiegende Teil des materiellen und personellen Aufwandes vom „Lieferanten“ bestritten wird. Dieser Lernprozess ist wohl noch nicht abgeschlossen, aber die vorliegende Synthese zeigt doch sehr großes Engagement von beiden Seiten, weit über das Materielle hinaus und den Willen zur Zusammenarbeit um dieses Projekt so gut wie nur möglich für eine breite, interessierte Öffentlichkeit aufzubereiten. Soweit meine persönliche Einschätzung dazu. Es ist zu hoffen, dass das Modellhafte dieses Monitoringansatzes weitere Partner findet, um den Netzwerkgedanken, wie er das von Österreich initiierte und bis heute geleitete GLORIA Programm mustergültig darstellt, weiter zu entwickeln.

Der hochintensiven Startphase muss nun das eigentliche Monitoring folgen. Das bedeutet, dass viele Initialarbeiten (Transekteinrichtung, Gewässerstationen) und die Basisdatenerhebung nicht mehr weiter jährlich wiederholt werden müssen (z. B. physikalisch-chemische Bodenmerkmale). Andere Aktivitäten können auf jene Fragen beschränkt werden, die besonders starke Indikatoren-Funktion haben und sehr hohe natürliche Fluktuation aufweisen. Zu den unbedingt jährlich weiter zu verfolgenden Fragen gehören die Dokumentation des Mikroklimas und der pflanzlichen Produktivität, des Gewässerzustandes und der Großtierpräsenz in den Testgebieten. In größeren Intervallen von zwei bis fünf Jahren sollten die pflanzliche Populationsdynamik, die Bodenmikrobiologie und die Boden-Mesofauna erfasst werden. Wünschenswert wäre ein zusätzliches Modul Kleinsäuger (Mäuse). Sobald die involvierten Gruppen ihre Daten auch international sichtbar publiziert haben, wird das Langzeitmonitoring Hohe Tauern auch als „flagship“ der globalen LTER Initiative wahrgenommen werden. Deshalb sollte auch die Registrierung im österreichischen Beitrag an das weltweite LTER Programm in die Hand genommen werden.





9 Versuch einer ersten Bewertung für den Nationalpark

Christian Körner

Das dreijährige Startprogramm dieses langfristigen Monitoringprozesses konnte alle zu Beginn definierten Vorgaben einhalten. Obwohl durchwegs etablierte Methoden eingesetzt wurden, war es im Einzelfall offen, wie sich diese Methoden in der Praxis in der alpinen Stufe bewähren. In einzelnen Fällen mussten methodische Neuerungen vorgenommen werden. Ein gutes Beispiel ist das Biodiversitätsmonitoring der Pflanzen. Auf diesem Gebiet waren Rasterbefundung und die sogenannte Punkt-Quadrat Methode seit Jahrzehnten bekannt und nützlich. Die Weiterentwicklung dieser Methoden auf Basis hochauflösender Photographien war in der Form neu und konnte höchst erfolgreich adaptiert werden. Da sämtliche Methoden bereits andernorts erprobt waren, stellte sich die Machbarkeit eher als eine Frage von Personal und Logistik. Hier kamen die Gruppen teilweise an ihre Grenzen, vor allem am Standort Untersulzbachtal. Diese Lokalität ist biologisch hervorragend geeignet, aber wird noch von zukünftigen Akteuren als für ein arbeitsaufwändiges Monitoring eher schwierig empfunden werden.

Eine zentrale Anforderung war von Anfang an die räumliche Absicherung, also die Replikation. Ausgehend von Vorschlägen auf Basis von Orthophotos und Felderfahrung des NPHT wurde 2015 vom Wissenschaftlichen Beirat ein Rahmen abgesteckt, in dem von Anfang an terrestrische und aquatische Habitats aller drei Nationalparkteile enthalten waren. Aus logistischen und finanziellen Gründen wurde letztlich der Weg des maximal Machbaren und minimal Erforderlichen gewählt. Daraus entstanden die 14 terrestrischen Transekte, verteilt auf die drei Nationalpark-Länderanteile, sowie je sechs Seen und je ein Micro-Catchment pro Bundesland. Um die Replikation und damit Reproduzierbarkeit der Resultate noch breiter abzustützen, hatten zwei Partner beschlossen analoge terrestrische Feldarbeiten in Südtirol (Oberettes) und in den Schweizer Zentralalpen (Furka) einzurichten. Davon profitieren Replikation und Reproduzierbarkeit. Obwohl das Untersuchungsdesign bezüglich der Stichprobengröße limitiert ist, so ist es dennoch statistisch ausreichend robust und in der Form für ein ökosystemorientiertes Monitoring ohnehin weltweit einmalig. Die Resultate zeigen, dass mit diesen 22 Transekten die zufällige räumliche Variabilität nicht die Wirkung des gewählten Umweltgradienten maskiert (Beispiel Klima und Biomasse). Auch das Transektkonzept und damit die Möglichkeit von Relativ-Vergleichen (jenseits regional absoluter Unterschiede) stützt die Reproduzierbarkeit. Dort wo Abweichungen erkennbar wurden (Standort Oberettes), waren sie erklärbar.

Das langfristige Monitoring gibt dem Nationalpark Informationen in die Hand, mit denen er der Öffentlichkeit Auskunft über den Zustand und die Entwicklung des ihm zum Schutz überantworteten Gebirgsraumes geben kann.

Außer das sensible Hochgebirgssystem vor destruktiven Eingriffen jeglicher Art zu schützen, kann der Nationalpark hier nichts managen was Klimafolgen an den alpinen Systemen verhindern oder abschwächen könnte. Punktuell sind alte Weiderechte und deren Ausübung (sehr früher Auftrieb, mangelnde Behirtung) immer noch eine Herausforderung, aber darauf hat diese Forschung keinen Einfluss. Eine klare Botschaft der bisherigen Resultate ist, dass ein unnatürlicher Fischbesatz in alpinen Seen ein naturschützerischer Frevel ist. Hier kann der Nationalpark punktuell auf die Forschungsergebnisse abstützen, sollte es solche Absichten geben. Die Wildtierbeobachtungen haben einen eigenständigen Wert, der über die Überwachung der Testflächen hinausgeht. Die Daten sind hervorragend geeignet, das Verhalten und die Abundanz der Tiere zu quantifizieren und langfristig zu vergleichen, und sie ergänzen oder validieren das Wissen des Nationalparkpersonals.

Die Testflächen wurden so gewählt, dass das Monitoring möglichst nicht durch Störungen beeinflusst wird. Einzig im Seebachtal (Kärnten) liegen zwei Transekte in unmittelbarer Nähe zu einem gut frequentierten Wanderweg, wobei die Transekte selbst von Wanderern nicht begangen werden. Da diese Systeme von klonalen Pflanzen dominiert sind, werden die beobachteten Veränderungen nicht radikal sein. Die nahezu zweidimensionale Struktur der terrestrischen Systeme (also der niedrige Wuchs) erlaubt aber eine unschlagbare Genauigkeit, mit der subtile Veränderungen in der





Vegetation festgestellt werden können. Sollten sich Klimaänderungen auf die Dauer der schneefreien Zeit auswirken, wird es deutliche Verschiebungen in der Artenverbreitung geben. Sollte sich wegen erhöhter winterlicher Schneefälle die Schneedeckendauer trotz höherer Temperatur nicht verkürzen, wird sich an diesen Systemen kaum etwas ändern. Auch das ist eine politisch wichtige Botschaft, da sie die Bedeutung der Gebirge und ihres Schutzes für die Biodiversität unterstreicht (Gebirge als Refugialort). Die gewählten Gewässer sind in die Landschaft eingravierte Natursysteme, die mit wenigen Ausnahmen wohl auch in Jahrhunderten noch an Ort und Stelle sein werden. Sie stehen wie Wetterstationen in der Landschaft, deren Daten man nur auslesen muss. Da sie in der Regel keinem direkten menschlichen Einfluss unterliegen (im Gegensatz zu allen tiefer gelegenen Gewässern), sind sie ideale Referenzobjekte für vom Klima getriebene Veränderungen.

Das Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern gibt auch Antwort auf die oft alarmistische, unbegründete und sachfremde Vorstellung über den Begriff Verletzlichkeit. Die Forschungsteams sind nicht mit vorgefassten Meinungen angetreten, um bestimmte laienhafte Katastrophenszenarien zu unterstützen. Das Monitoring hat zum Ziel, der Öffentlichkeit und damit auch den Vertreter*innen des Nationalparks, saubere und neutrale Information in die Hand zu geben über das, was wirklich in alpinen Ökosystemen abläuft. Die gewählten Testgebiete sind dazu perfekt geeignet. Sie sind nicht nur mitten im flächenmäßig größten Ökosystemtyp – der alpinen Rasenstufe – platziert, sie decken auch steile Habitatgradienten ab. Damit ist die Amplitude der Lebensbedingungen weitgehend abgedeckt. Die Referenzflächen im K-Bereich der Transekte gehören zum weitest verbreiteten alpinen Vegetationstyp des gesamten Alpenbogens, dem Krummseggenrasen. Niemand kann präzise vorhersagen, wie sich das Klima in Zukunft verändern wird. Heute für mögliche biologische Veränderungen keine Referenzflächen zu definieren und zu dokumentieren, wäre wie keine Wetterstationen zu betreiben oder keine Flusspegel einzurichten, ohne die man später Veränderungen nicht nachweisen könnte.





10 Literaturverzeichnis

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

Cernusca A (1977) **Alpine Grasheide Hohe Tauern. Ergebnisse der Ökosystemstudie 1976.** Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern, Band 1. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck

Cernusca A (1989) **Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern.** Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern, Band 13. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck

Daim A, Hackländer K (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 06: Großherbivoren. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8754-7, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul06*

Dormont L, Rapior S, McKey DB, Lumaret JP (2007) **Influence of dung volatiles on the process of resource selection by coprophagous beetles.** *Chemoecology* 17: 23–30

Eberl T, Kaiser R (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 02: Botanisch / Vegetationskundliche Analysen. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8750-9, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul02*

Fernández Mendoza F, Grube M (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 04: Mikrobiologie. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8752-3, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul04*

Franz H (1969) **Besiedlung der jüngst vom Eise freigegebenen Gletschervorfelder und ihrer durch wirbellose Tiere.** *Wissenschaftliche Alpenvereinshefte* 21: 291-298

Franz H (1980) **Untersuchungen an alpinen Böden in den Hohen Tauern 1974-1978, Stoffdynamik und Wasserhaushalt.** Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern, Band 3. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck und Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien

Friedel H (1956) **Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern): Erläuterungen zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze (Grossglockner).** *Wissenschaftliche Alpenvereinshefte* 16, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck

Friedel H (1961) **Schneedeckendauer und Vegetationsverteilungen im Gelände.** In: *Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung.* Mitt Forstl Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn, Wien, 59: 317-369

Füederer L (1999) **High alpine streams: cold habitats for insect larvae.** In: Margesin R., Schinner F. (eds) *Cold-Adapted Organisms.* Springer, Berlin, Heidelberg





Füreder L, Lanzer M, Niedrist GH (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 05: Hydrologische, chemische und biologische Signale in Micro-Catchments der alpinen Zone. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8753-0, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul05

Hock R, Rasul G, Adler C, Cáceres B, Gruber S, Hirabayashi Y, Jackson M, Kääb A, Kang S, Kutuzov S, Milner A, Molau U, Morin S, Orlove B, Steltzer H (2019) **High Mountain Areas.** In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner HO, Roberts DC, Masson-Delmotte V, Zhai P, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegría A, Nicolai M, Okem A, Petzold J, Rama B, Weyer NM (eds.)]. Geneva, Switzerland

Iravani M, Schütz M, Edwards PJ, Risch AC, Scheidegger C, Wagner HH (2011) **Seed dispersal in red deer (*Cervus elaphus* L.) dung and its potential importance for vegetation dynamics in subalpine grasslands.** Basic and Applied Ecology 12(6): 505-515

Janetschek H (1949) **Tierische Successionen auf hochalpinem Neuland. Nach Untersuchungen am Hintereis-, Niederjoch- und Gepatschferner in den Ötztaler Alpen.** Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins Innsbruck 48/49: 1-215

Janetschek H (1958) **Über die tierische Wiederbesiedlung im Hornkees-Vorfeld (Zillertaler Alpen).** De Natura Tirolensi, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck: 209-246

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

Kellerer-Pirklbauer A, Lieb GK (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8755-4, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul07

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

Körner C (2003) **Alpine Plant Life.** Springer Berlin

Körner C (2004) **Mountain biodiversity, its causes and function.** Ambio Special Report 13: 11-17

Körner C (2018) **Comparative, long-term ecosystem monitoring across the Alps: Austrian Hohe Tauern National Park, South-Tyrol and the Swiss central Alps.** In: Bauch, K. (eds) 6th Symposium for Research in Protected Areas, National Park Hohe Tauern and Austrian Acad Wiss, Vienna: 331-337

Körner C, Paulsen J, Pelaez-Riedl S (2003) **A bioclimatic characterisation of Europe's alpine areas.** In: Nagy L, Grabherr G, Körner C, Thompson DBA (eds) Alpine biodiversity in Europe. Ecological Studies 167: 13-28





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

Meier M, Stöhr D, Walde J, Tasser E (2017) **Influence of ungulates on the vegetation composition and diversity of mixed deciduous and coniferous mountain forest in Austria.** *European Journal of Wildlife Research* 63(1): 1-10

Meyer E (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 03: Bodenmesofauna. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8751-6, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul03*

Newesely C, Tappeiner U, Körner C (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 01: Standortklima, Bodenphysik, Bodenchemie und pflanzliche Produktivität. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8749-3, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul01*

Niedrist GH, Füreder L (2013) **Spatial and temporal variations in chironomid assemblages in glaciated catchments of the Hohe Tauern NP.** In: Bauch, K. (eds) 5th Symposium for Research in Protected Areas, Salzburger Nationalparkfonds, Salzburg: 537-540

Niedrist GH, Füreder L (2016) **Towards a definition of environmental niches in alpine streams by employing chironomid species preferences.** *Hydrobiologia* 781: 143-160

Niedrist GH, Füreder L (2017) **Trophic ecology of alpine stream invertebrates: current status and future research needs.** *Freshwater Science* 36 (3): 466-478

Niedrist GH, Füreder L (2020) **Real-time warming of Alpine streams: (re)defining invertebrates' temperature preferences.** *River Research and Applications*: n/n. *doi: 10.1002/rra3638*

Niedrist GH, Cantonati M, Füreder L (2018) **Environmental harshness mediates the quality of periphyton and chironomid body mass in alpine streams.** *Freshwater Science* 37: 519-53

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

Prietzl VJ, Ammer C (2008) **Mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps: Reduction of ungulate density results not only in increased regeneration success but also in improved soil fertility.** *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 179(5): 104-112

Rosset V, Lehmann A, Oertli B (2010) **Warmer and richer? Predicting the impact of climate warming on species richness in small temperate waterbodies.** *Global Change Biology* 16: 2376-2387

Scherrer D, Körner C (2009) **Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections.** *Global Change Biology* 16: 2602-2613

Scherrer D, Körner C (2011) **Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming.** *Journal of Biogeography* 38: 406-416

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?**

Journal of Plankton Research 34: 1001-1010

Türk R, Erschbamer B (2010) **Die Flechten im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.** In: Koch EM, Erschbamer B (eds)

Glaziale und periglaziale Lebensräume im Raum Obergurgl. Innsbruck University Press: 155-163

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

Wickham SA, Petermann JS, Berninger UG (2019) **Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 08: Zooplanktongemeinschaften und abiotische Parameter hochalpiner Seen. Methoden-Handbuch.** Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. *ISBN-Online: 978-3-7001-8756-1, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul08*

Williams P, Haynes R (1995) **Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content.** *Grass and Forage Science* 50(3): 263-271

Winder M, Monaghan MT, Spaak P (2001) **Have human impacts changed alpine zooplankton diversity over the past 100 years?** *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33(4): 467-475



Autor*innen



GRUBE Martin
Univ.-Prof. Mag. Dr.
Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Biologie

martin.grube@uni-graz.at
Holteigasse 6
8010 Graz



BERNINGER Ulrike-Gabriele
Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ
Paris-Lodron Universität Salzburg
FB Biowissenschaften

Ulrike.Berninger@sbg.ac.at
Hellbrunnerstraße 34
5020 Salzburg



HACKLÄNDER Klaus
Univ.-Prof. Dipl.-Biol. Dr.
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Integrative Biologie
und Biodiversitätsforschung

klaus.hacklaender@boku.ac.at
Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien



DAIM Andreas
MSc.
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Integrative Biologie
und Biodiversitätsforschung

andreas.daim@boku.ac.at
Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien



KAISER Roland
Mag.
ENNACON environment
nature consulting KG

kaiser@ennacon.at
Altheim 13
5143 Feldkirchen bei Mattighofen



EBERL Thomas
Mag.
ENNACON environment
nature consulting KG

eberl@ennacon.at
Altheim 13
5143 Feldkirchen bei Mattighofen



KELLERER-PIRKLBAUER-EULENSTEIN
Andreas, MMag. Dr.
Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Geographie und Raum-
forschung

andreas.kellerer@uni-graz.at
Heinrichstraße 36
8010 Graz



FERNÁNDEZ MENDOZA Fernando
Univ. Assistent Dr.
Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Biologie

fernando.fernandez-mendoza@uni-graz.at
Holteigasse 6
8010 Graz



KÖRNER Christian
Univ.-Prof. em. Dr. DDR. h.c.
Universität Basel
Departement Umweltwissenschaften

ch.koerner@unibas.ch
Schönbeinstrasse 6
CH-4056 Basel



FÜREDER Leopold
ao. Univ.-Prof. Mag. Dr.
Leopold-Franzens-Universität
Innsbruck, Institut für Ökologie

leopold.fuereder@uibk.ac.at
Technikerstrasse 25
6020 Innsbruck



LIEB Gerhard
ao. Univ.-Prof. Mag. Dr.
Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Geographie und Raum-
forschung

gerhard.lieb@uni-graz.at
Heinrichstraße 36
8010 Graz



† MEYER Erwin
ao. Univ.-Prof. i.R. Dr.

Tschiggfreystraße 13
6020 Innsbruck



SEEBER Julia
Priv.-Doz.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ
Leopold-Franzens-Universität
Innsbruck, Institut für Ökologie

julia.seeber@uibk.ac.at
Technikerstrasse 25
6020 Innsbruck



NEWESELY Christian
Univ.-Ass. Mag. Dr.
Leopold-Franzens-Universität
Innsbruck, Institut für Ökologie

christian.newesely@uibk.ac.at
Sternwartestraße 15
6020 Innsbruck



STEINWANDTER Michael
PhD.
Eurac Research
Institut für Alpine Umwelt

michael.steinwandter@eurac.edu
Drususallee 1
I-39100 Bozen/Bolzano



NIEDRIST Georg H.
PhD.
Leopold-Franzens-Universität
Innsbruck, Institut für Ökologie

georg.niedrist@uibk.ac.at
Technikerstrasse 25
6020 Innsbruck



TAPPEINER Ulrike
Univ.-Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ
Leopold-Franzens-Universität
Innsbruck, Institut für Ökologie

ulrike.tappeiner@uibk.ac.at
Sternwartestraße 15
6020 Innsbruck



NIEDRIST Georg
PhD.
Eurac Research
Institut für Alpine Umwelt

georg.niedrist@eurac.edu
Drususallee 1
I-39100 Bozen/Bolzano



WICKHAM Stephen
Assoc. Prof. Dr.
Paris-Lodron Universität Salzburg
FB Biowissenschaften

stephen.wickham@sbg.ac.at
Hellbrunnerstraße 34
5020 Salzburg



PETERMANN Jana
Assoc. Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ
Paris-Lodron Universität Salzburg
FB Biowissenschaften

jana.petermann@sbg.ac.at
Hellbrunnerstraße 34
5020 Salzburg



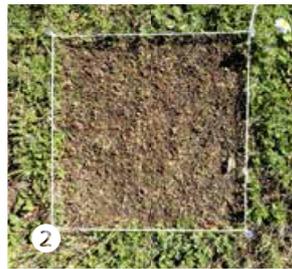
WITTMANN Helmut
Dr.
Haus der Natur –
Museum für Natur und Technik

helmut.wittmann@hausdernatur.at
Museumsplatz 5
5020 Salzburg



Erwin Meyer zum Gedenken

Unmittelbar vor der Fertigstellung des vorliegenden Syntheseberichtes verstarb Erwin Meyer in Innsbruck völlig unerwartet und unerklärlich. Tief schockiert über den Verlust eines vitalen, humorvollen, fachlich höchst qualifizierten Freundes und Kollegen wurde ihm seine Leistung für dieses Projekt nun auch zum Denkmal. Erwin Meyer setzte Maßstäbe auf die man auch in Zukunft mit grossem Respekt zurückblicken wird. Erwin lebt in dieser Arbeit weiter, sein Wissen wird schwer zu ersetzen sein. Die Tage mit ihm in den Hohen Tauern werden uns in lieber und wertvoller Erinnerung bleiben.



- 1 Photographische Vegetationsaufnahmen mit definiertem Licht
- 2 Bestimmung der Pflanzenproduktion durch Ernte

- 3 Messstation für Felstemperaturen
- 4 Sortieren von Biomasse
- 5 Gebirgswasser und Kleinlebewesen vom Bachgrund werden beprobt

- 6 Scharfe Schneeschmelzgradienten als Modell des Klimawandels
- 7 Autonome Kamera zur Beobachtung von Wildtieren





8



9



10



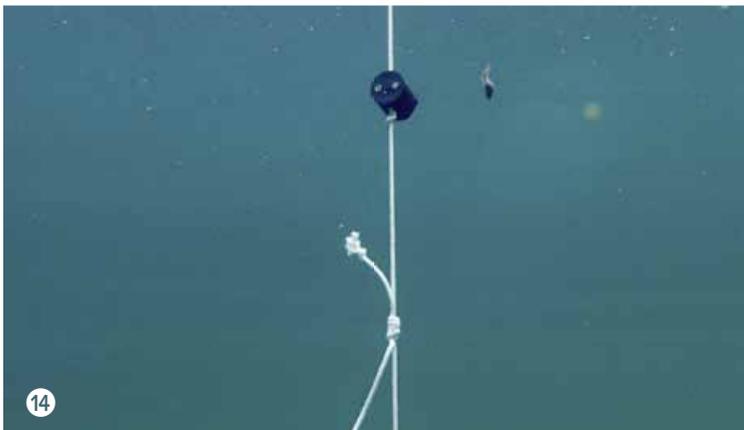
12



13



11



14

- 8 Freiwaschen von Wurzelproben
- 9 Gewinnung von Bodenproben für Bodentiere und Mikroben
- 10 Klimamessstation Untersulzbachtal

- 11 Eine Zeigerpflanze für Schneeböden (kleines Ruhrkraut)
- 12 Gewinnung von Planktonproben und Einbringen von Sensoren

- 13 Elektronische Bestimmung der Wasserqualität von Gebirgsbächen
- 14 Messung der Wassertemperatur in unterschiedlichen Seetiefen





Herausgeber:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matriei

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

www.hohetauern.at

