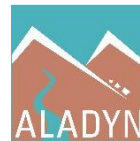




Langfristige Ökosystembeobachtung - Endbericht

Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost

Mit Unterstützung von Bund und Europäischer Union



Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

LIEB, G.K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., ZIESLER, C. / UNIVERSITÄT GRAZ

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

Projektleitung: LIEB, G.K.

Fotos: © Gerhard Karl Lieb, Andreas Kellerer-Pirklbauer

Titelbild: Einrichtung eines Felstemperaturmonitoringstandortes als Teilelement des Permafrost-Monitoringmessnetzes am Inneren Knorrkogel, Venedigergruppe/Osttirol, im August 2018

Zitiervorschlag: Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A., Ziesler C. (2019): Interdisziplinäres, integratives Monitoring- und Forschungsprogramm zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern 2016-2019. Modul 07: „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“. Endbericht Unveröffentlichter wissenschaftlicher Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern. http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38030.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
a. Ausgangssituation und Fragestellung.....	1
b. Zielsetzung	5
c. Projektpartner.....	6
Methodik und Datengrundlagen	6
a. Methoden Bereich Witterung und Klima.....	6
b. Methoden Bereich Abfluss	5
c. Methoden Bereich Gletscherverhalten – Längenänderung.....	5
d. Methoden Bereich Gletscherverhalten – Massenbilanz.....	6
e. Methoden Bereich Permafrost	7
Ergebnisse	12
a. Ergebnisse Bereich Witterung und Klima	12
b. Ergebnisse Bereich Abfluss	20
c. Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten – Längenänderung.....	24
d. Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten – Massenbilanz.....	27
e. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten	28
f. Ergebnisse Bereich Permafrost – Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick.....	33
g. Ergebnisse Bereich Permafrost – Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten.....	34
h. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol	36
i. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg.....	40
Interpretation und Diskussion	41
a. Interpretation und Diskussion nach Methoden	41
b. Interpretation und Diskussion nach Faktoren.....	42
c. Interpretation und Diskussion in Zusammenschau der Faktoren	42
d. Interpretation und Diskussion nach Einzugsgebieten.....	43
Ausblick.....	43
a. Aussagewert für das Testgebiet und Aussagewert für das gesamte Schutzgebiet	43
b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke	44
Kostenanalyse	45
Abbildungsverzeichnis	46
Tabellenverzeichnis.....	50
Literaturverzeichnis.....	52



a. Ausgangssituation und Fragestellung

In diesem dritten Bericht zum Modul 07 des Langzeit-Ökosystem-Monitorings im Nationalpark Hohe Tauern werden die im ersten Bericht (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2017) festgelegten abiotischen Faktoren bzw. Prozesse (Witterung/Klima, Abfluss, Gletscherverhalten und Permafrost) für das glaziologische Jahr 2017/18 (1. 10. 2017 – 30. 9. 2018) ausgewertet, interpretiert und mit den entsprechenden Daten des Vorjahres (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018a) verglichen. Zu beachten ist dabei, dass die Ergebnisse der glaziologischen Messungen für 2017/18 erst Mitte April 2019 – im Rahmen einer Pressekonferenz in Innsbruck sowie einer Veröffentlichung im Heft 2 des Alpenvereinsmagazins BERGAUF (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2019) – frei verfügbar wurden, wodurch die Abgabe des Endberichts verzögert wurde. Dies muss auch für zukünftige Berichte berücksichtigt werden. Einige relevante Aspekte in diesem Abschlussbericht werden auch in einen langjährigen Kontext gebracht, wobei die behandelten Datenreihen hier zeitlich schwanken und abhängig sind von der jeweiligen Datenverfügbarkeit. Zu beachten ist dabei auch, dass bei klimabezogenen Diskussionen ein Zeitraum von 30 Jahren berücksichtigt werden sollte, da laut der Weltorganisation für Meteorologie (WMO 2014) ein 30-jähriger Bezugszeitraum der Klimabeobachtung als „Normalperiode“ gilt.

Die im ersten Bericht konstatierte gute Verfügbarkeit der Daten musste nach den erfolgten Auswertungen im zweiten Teilbericht teilweise relativiert werden. Im Endbericht wird dies nun erläutert. So etwa ergaben sich Probleme mit den von den verantwortlichen Organisationen übermittelten Datenformaten, mit der Geschlossenheit sowie mit dem Vorhandensein langer Datenreihen, die erst sinnvolle Aussagen über den Charakter eines Einzeljahres ermöglichen. Sehr häufig standen für die letzten Jahre nur ungeprüfte Rohdaten zur Verfügung (darauf wird in den Emails der Landesstellen zumeist verwiesen), was die Ergebnisse im Detail relativieren, nicht jedoch die Grundaussagen in Frage stellen kann. Dennoch waren die in den bisherigen Berichten sowie im nachfolgenden Abschnitt definierten Ziele zufriedenstellend zu erreichen, sodass auf der Maßstabsebene des gesamten Nationalparks und auf der der drei Flusseinzugsgebiete (Seebach, Untersulzbach, Gschlössbach) valide Aussagen zu den Veränderungen der abiotischen Faktoren Witterung, Abfluss, Gletscher und Permafrost gegeben werden können. Der Faktorenkomplex Geomorphodynamik bleibt – mit Ausnahme der Bewegung von kriechendem Permafrost, der für manche der in den anderen Modulen beobachteten Prozesse von Bedeutung sein kann – bis auf weiteres unberücksichtigt.

Konkret liegen für die drei nachfolgend kurz charakterisierten (und in Abbildung 1 verorteten) Einzugsgebiete Daten für den Abfluss (Pegel am unteren Ende der dadurch definierten hydrographischen Einzugsgebiete) und für die Gletscher-Längenänderungen vor, da der jeweils größte Gletscher der Einzugsgebiete im Messprogramm des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins enthalten ist. Die Daten zum Faktor Witterung/Klima stammen nicht aus den Einzugsgebieten, weil die Verfügbarkeit, Qualität und Länge der Daten für Aussagen in Bezug auf Klima- und globalen Wandel unzureichend sind (ähnliches gilt für die speziell zum Zweck des Langzeit-Ökosystem-Monitorings errichteten Messstationen zur Erfassung der mesoklimatischen Bedingungen). Stattdessen wird auf Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und der hydrographischen Landesdienste, deren Lokalisierung von vornherein auf Repräsentativität für größere Gebiete abzielt, zurückgegriffen. Auch für den Permafrost liegen noch keine Daten aus den Einzugsgebieten vor, jedoch wurde im Rahmen des gegenständlichen Projektes mit dem Messstandort Innerer Knorrkogel ein solcher am Rand des Einzugsgebietes Innergschlöss eingerichtet. Die verfügbaren Informationen über Permafrost sind mittlerweile aber so weit über den Nationalpark Hohe Tauern und über die unterschiedlichen, für Permafrost relevanten Standorttypen gestreut, dass Entwicklungstendenzen für den gesamten Nationalpark abgeleitet werden können.

Die drei Einzugsgebiete, auf die räumlich gesehen im Rahmen des Langzeit-Ökosystem-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern fokussiert wird, sind in Abbildung 1 übersichtsmäßig dargestellt. Die Abbildungen 2 bis 4 beinhalten Detailkarten zu den drei Einzugsgebieten, wobei die Ausdehnung der Gletscher rezent und um 1850 (letzte maximale Eisausdehnung in der sogenannten Kleinen Eiszeit), die Verbreitung von modelliertem Permafrost und Gewässer sowie für das Modul 07 relevante Pegel und Klimastationen verortet sind.

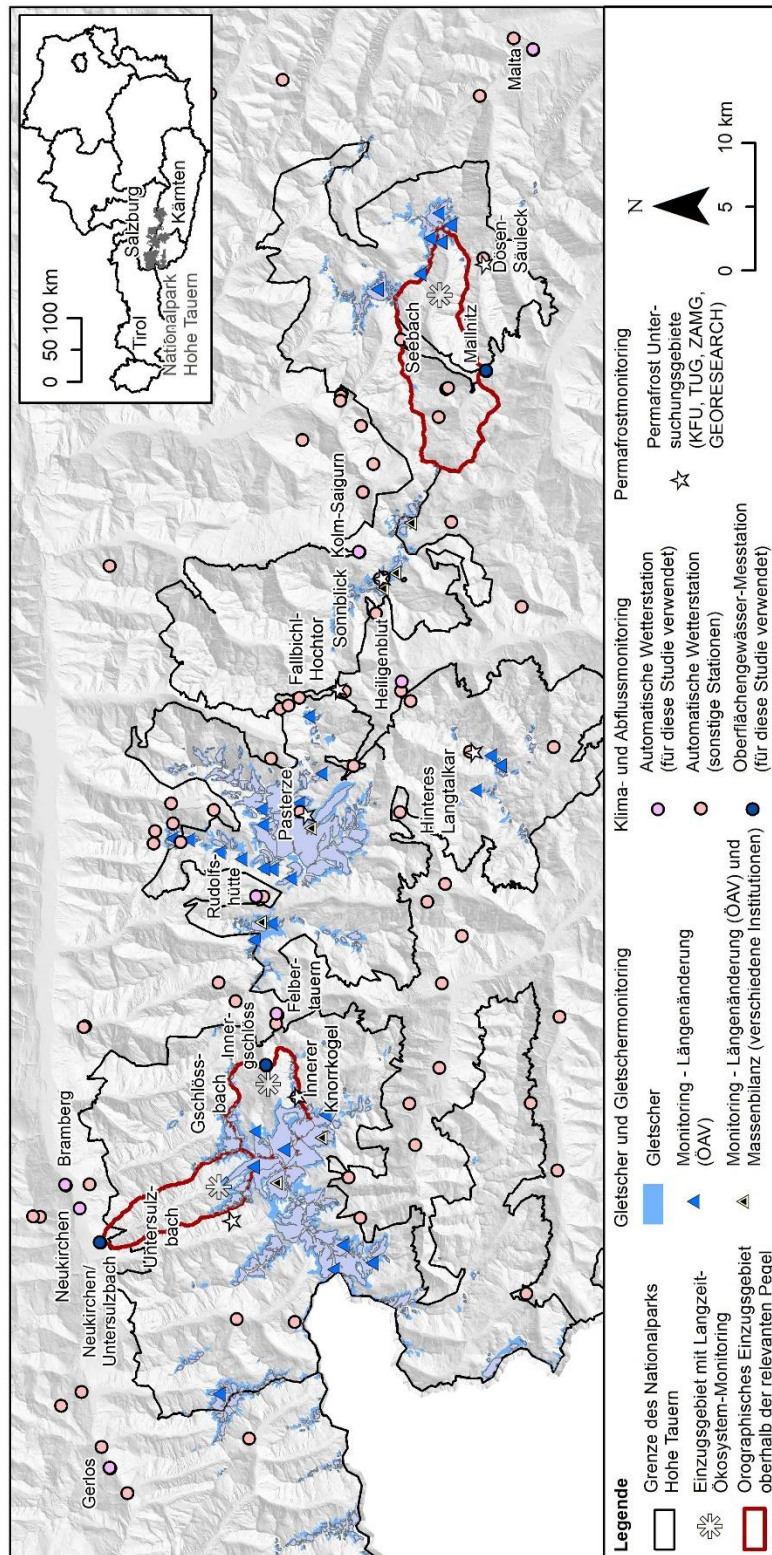


Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystem-Monitoring sowie die Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (ZAMG- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher und der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (siehe Tabelle 1), verortet. KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, TUG=Technische Universität Graz, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, HZB=Hydrographisches Zentralbüro, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018). Geländemodell Geoland (2019).



Seebachtal: Das 78,6 km² große Einzugsgebiet oberhalb des Pegels Mallnitz (HZB-Nummer: 212381) umfasst nicht nur das Seebachtal i. e. S., sondern auch das von rechts einmündende Tauerntal, und ist somit das bei weitem größte der drei untersuchten Einzugsgebiete. Als Besonderheiten im Vergleich zu den anderen sind entsprechend der Habitatp Luftbildinterpretationen im Nationalpark Hohe Tauern Tirol (Land Tirol 2019) mit Stand 2004 bzw. 2005 vor allem die nur 0,6 % der Fläche umfassende und somit marginale Vergletscherung, der mit 32,8 % der Fläche höchste Flächenanteil der Kategorie montane, subalpine und alpine Rasengesellschaften sowie der mit 22,6 % höchste Waldanteil aller drei Einzugsgebiete hervorzuheben (Abb. 2).

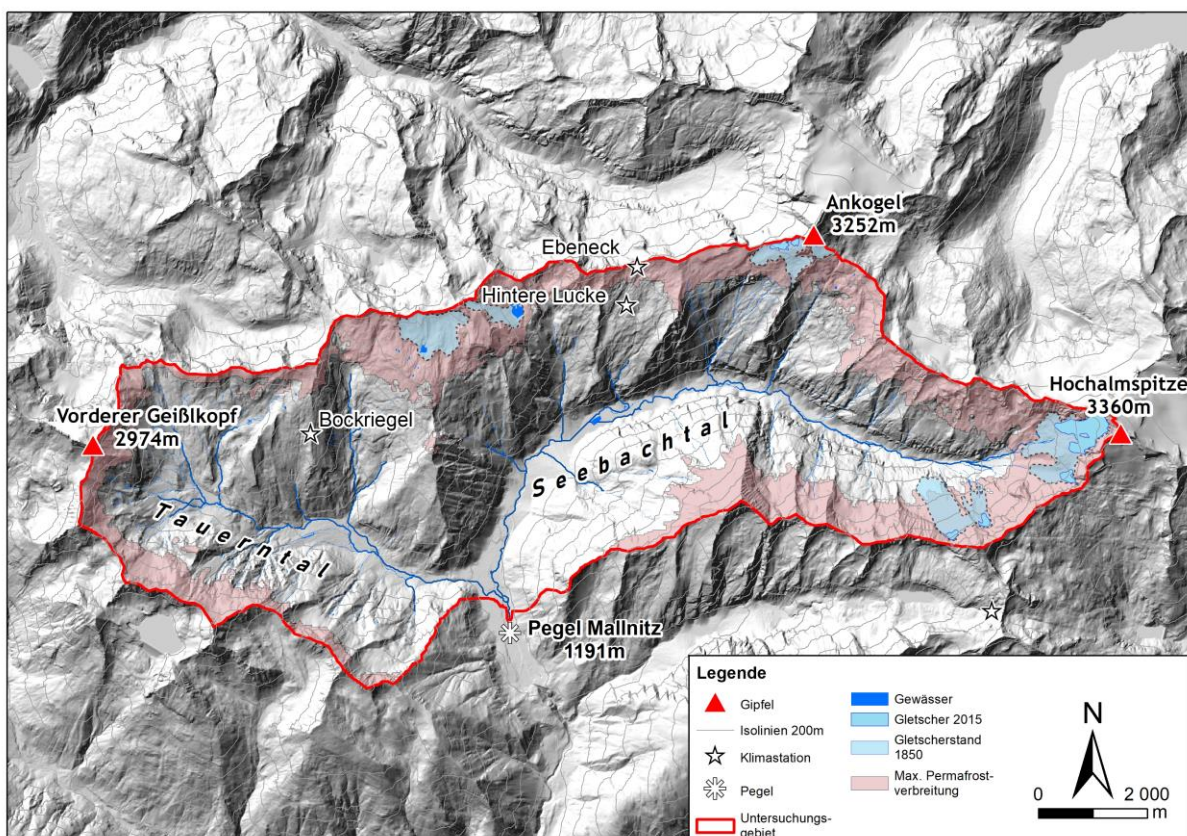


Abbildung 2: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Seebachtal oberhalb des Pegels Mallnitz. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018), Geländemodelle KAGIS (2019) und SAGIS (2019).

Untersulzbachtal: Das 40,2 km² große Einzugsgebiet oberhalb des Pegels Neukirchen (HZB-Nummer: 203042) ist besonders schmal und hat keine eigenständigen Seitentäler sondern lediglich Gräben und Kare. Die dominierenden Oberflächenbedeckungsklassen sind nach Land Tirol (2019) Schutt und Fels (41,0 %), montane, subalpine und alpine Rasengesellschaften (24,6 %) und vergletscherte Bereiche (11,8 %) (Abb. 3).

Innerschlöss: Das 39,5 km² große Einzugsgebiet oberhalb des Pegels Innerschlöss (HZB-Nummer: 212068) setzt sich aus zwei, noch auf bedeutenden Flächen von großen Gletschern (Schlaten- und Viltragenkees) bedeckten Quelltälern zusammen. Daher ist nach Land Tirol (2019) auch der Anteil der vergletscherten Fläche mit 27,3 % der höchste aller drei Einzugsgebiete. Auffallend hoch ist auch der Anteil der Schutt- und Felsflächen (50,7 %) – ebenfalls der höchste der drei Einzugsgebiete – während der Wald fast fehlt (0,8 % der Fläche) (Abb. 4).



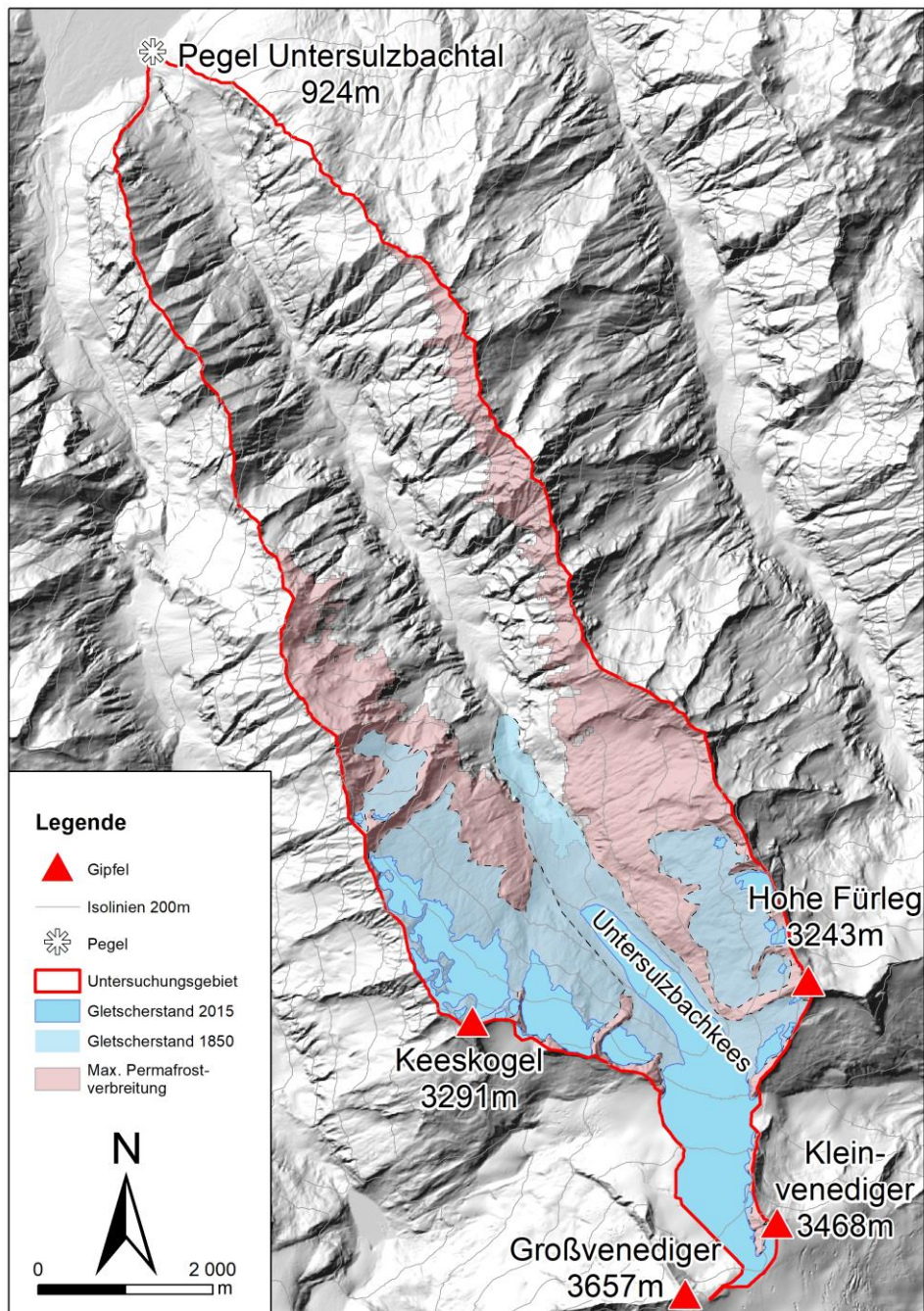


Abbildung 3: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Untersulzbachtal oberhalb des Pegels Neukirchen. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018), Geländemodelle SAGIS (2019) und TIRIS (2019)

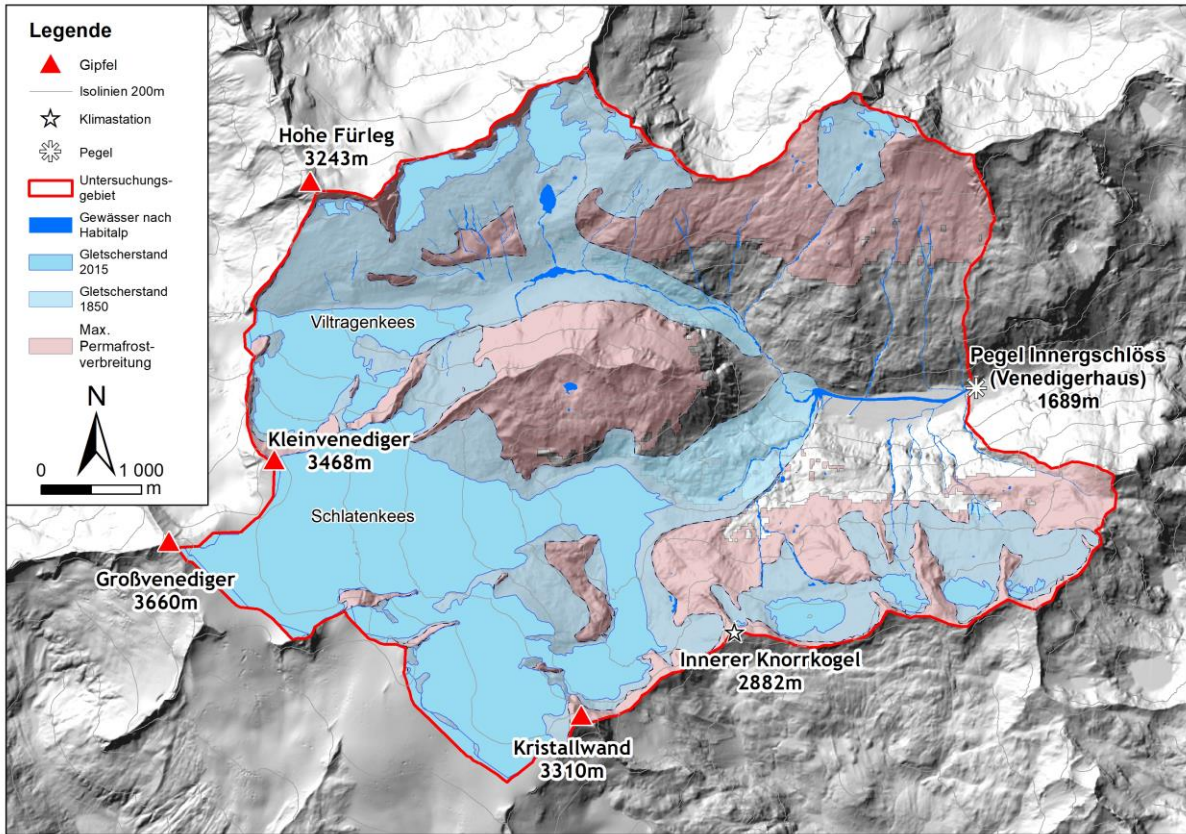


Abbildung 4: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Innerschlöss oberhalb des Pegels Innerschlöss. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018). Geländemodelle SAGIS (2019) und TIRIS (2019)

b. Zielsetzung

Ziel dieses Moduls ist es, einen übergeordneten Rahmen für die in den anderen Modulen betrachteten Phänomene bzw. Prozesse, für die Veränderungen der Atmo-, Hydro-, Kryo- und Reliefsphäre von großer Bedeutung sind, zu geben. Dies geschieht unter der Prämisse, dass das Langzeit-Ökosystem-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern die Auswirkungen des Klima- bzw. des globalen Wandels auf die „Natur“ des Hochgebirges erfassen soll. Das gegenständliche Modul 07 nimmt dabei (a) mit der Analyse des Faktors Witterung (Auswertung von Messdaten meteorologischer Stationen) die atmosphärischen Bedingungen und – in langfristiger Perspektive – somit den Klimawandel unmittelbar in den Blick. Daneben werden (b) mit den Faktoren Abfluss, Gletscherverhalten und Permafrost auch abiotische Klimawandelfolgen untersucht, was das entscheidende 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 des Moduls 07 gegenüber den anderen Modulen des Langzeit-Ökosystem-Monitorings ist, dass von Anfang an vereinbart war, die Analyse der abiotischen Faktoren auf Daten zu gründen, die NICHT speziell zu diesem Zweck, sondern von außerhalb des Projekt-Netzwerkes durch darauf spezialisierte Institutionen bzw. Organisationen erhoben werden. Dies gilt in vollem Umfang für die Faktoren Witterung, Abfluss und Gletscherverhalten, nur bedingt jedoch für den Permafrost. Dessen Monitoring wird (noch) nicht standardisiert von Institutionen durchgeführt, sondern beruht auf wissenschaftlichen Einzelinitiativen, deren Ergebnisse für das Modul 07 herangezogen werden. Da Veränderungen im Permafrost stark von lokalen Faktoren (wie Substrat, Exposition und Schneedecke) abhängen, war es ein weiteres Ziel des Moduls, beruhend auf außerhalb des Pilot-Projektes geleisteten Vorarbeiten, (a) eine neue Permafrost-Messstelle in einem der untersuchten Einzugsgebiete (Innerschlöss) einzurichten und (b) hierbei einen in einer sensiblen Höhenlage gelegenen Berggipfel (Innerer Knorrkogel) speziell zur Erfassung der genannten lokalen

Faktoren zu instrumentieren. Methodische Entwicklungsarbeit leistet das Modul 07 demnach nur für den Parameter Permafrost. Für Details wird auf die Ausführungen im Kapitel "Methodik und Datengrundlagen" verwiesen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die synthetische Zusammenschau und wechselseitige Vernetzung der Daten zu den abiotischen Faktoren, wie sie die Berichte zum Modul 07 beinhalten, durchaus als innovativ gelten können, denn die für die Erhebung der Daten zuständigen Institutionen und Organisationen bieten solche in der Regel nicht an. Die Berichte zum Modul 07 sollen also die Veränderungen der abiotischen Umwelt als „Hintergrundfolie“ für die Interpretation der Ergebnisse der anderen Module, sofern sie dafür relevant sind, zur Verfügung stellen. Jedoch muss betont werden, dass die in Modul 07 analysierten Parameter – vom Witterungsgeschehen abgesehen – nur INDIREKTE Auswirkungen auf die Untersuchungsgegenstände der übrigen Module haben: So etwa beeinflussen Veränderungen im Abfluss zwar aquatische Lebensräume in Bächen, werden im Modul 07 aber nur durch Pegel erfasst, die für die drei untersuchten Einzugsgebiete repräsentativ, für die untersuchten Micro-Catchments jedoch supraskalig sind. Die Veränderungen von Gletschern und Permafrost spielen sich überhaupt weitgehend in Höhenstufen oberhalb der sonstigen Untersuchungsflächen ab.

Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass das Ziel des Moduls 07 die Analyse abiotischer Rahmenbedingungen auf der Maßstabsebene des gesamten Nationalparks und der drei Einzugsgebiete (Seebach, Untersulzbach, Innerschlöss) ist und nicht die Generierung von Daten, die direkt von den anderen Modulen verwendet werden könnten.

c. Projektpartner

Das Modul 07 ("Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost") wurde primär an der Karl-Franzens-Universität Graz, am Institut für Geographie und Raumforschung, Arbeitsgruppe für alpine Landschaftsdynamik (ALADYN), durchgeführt. Geländearbeiten im Sommer 2018 wurden vom Nationalpark Hohe Tauern Tirol logistisch unterstützt, wobei Emanuel Egger, Ranger im Nationalpark Hohe Tauern Tirol, sehr herzlich für die tatkräftige Unterstützung gedankt sei. Weiters möchten wir an dieser Stelle den verschiedenen Landesdienststellen in Kärnten, Salzburg und Tirol (für Klima- und hydrologische Daten; Details siehe unten), der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Klimadaten, Permafrostdaten vom Hohen Sonnblick) und verschiedenen Forschungsinstitutionen (z.B. GEORESEARCH Forschungsgesellschaft mbH), die sich dem Gletscher- und Permafrostmonitoring widmen (siehe auch Detailkommentare in den entsprechenden Kapiteln), für die Bereitstellung von kryosphärisch relevanten Daten danken.

Methodik und Datengrundlagen

a. Methoden Bereich Witterung und Klima

Innerhalb sowie im Nahbereich des Nationalparks Hohe Tauern werden von verschiedenen Betreibern Klimastationen betrieben. Diese wichtigsten Betreiber sind dabei die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), die verschiedenen hydrographischen Landesdienste und die Lawinenwarndienste. Tabelle 1 und die Abbildung 1 geben einen Überblick über diese in Summe 85 Stationen, wobei an 9 Stationen davon auf hydrographische Messungen (Abfluss und Wasserstand) fokussiert wird.

Tabelle 1: Liste von Klimastationen mit Angaben zu den Betreibern innerhalb und im Nahbereich des Nationalparks Hohe Tauern - Übersicht. An neun Stationen des HD wird auf hydrographische Messungen fokussiert. Lage siehe Abbildung 1.

Betreiber	Stationen
Asfinag	1
Gasteiner Bergbahnen [mit BOKU]	1 [0,5]
Großglockner Hochalpenstraße AG (GROHAG)	2
Hydrographischer Dienst (HD)	20
Lawinenwarndienst (LWD)	33
OEBB	6
Salzburg AG	1

Betreiber	Stationen
Tirol Wasserkraft	1
Universität Graz	3
Universität für Bodenkultur (BOKU) [eine Station mit Gast. Bergb.]	2 [1,5]
Verbund Austrian Hydro Power (AHP)	7
Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV)	1
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)	8
Summe	85

Tabelle 2: Detaillauflistung der 85 Klimastationen mit Angaben zu den Betreibern innerhalb und im Nahbereich des Nationalparks Hohe Tauern. Lage siehe Abbildung 1. Abkürzungen der Betreiber siehe Tabelle 1. RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258). K-El.=Anzahl der gemessenen Klimatelemente. Angaben zu den Klimastationen sowie weitere Informationen zu den Stationen siehe Lawis (2019), eHYD (2019), ZAMG (2019) und eigenen Angaben (für die Stationen der Universität Graz).

Standort	Standort Präzisierung	StatNr	Land	Betreiber	RW [m]	HW [m]	K-El. [n]
Burgstall	Oberwalderhütte	130	Ktn	LWD	403079	218719	3
Heiligenblut	Margaritzenstausee	109147	Ktn	AHP	406775	214589	3
Kals	Figol Mittelstat	774280	Tir	LWD	396232	208605	6
Kals	Ort	774239	Tir	ZAMG	397672	207225	4
Kals	Glatzbach	774960	Tir	BOKU	403222	210880	4
Matrei	Goldried Kessel / Brunnköpfl	775030	Tir	LWD	393628	205839	2
Matrei	Ort	774201	Tir	HD	389878	207332	4
Virgen	Ort	774030	Tir	ZAMG	383247	207380	5
Prägraten	Eselsruecken/Kreuzspitze	775124	Tir	LWD	380391	209670	2
Prägraten	Ort	774444	Tir	HD	377146	209119	3
Prägraten	Essener-Rostock-Huette	774393	Tir	HD	371339	213329	3
Hopfgarten/Deferegggen	Ort	774878	Tir	HD	387454	198052	2
St-Veit	Zischke / Speikboden	1220309	Tir	LWD	380631	200162	2
St.Jakob/Def.	Ort	774638	Tir	ZAMG	375402	197946	5
St.Jakob/Def.	Oberhausalm	1350615	Tir	HD	365690	200165	3
Prägraten	Johannishuette	774225	Tir	Tirol Wa.	374505	214300	6
Krimml	Steinkar	109321	Sbg	LWD	363084	218280	4
Brandberg	Plattkopf	775194	Tir	AHP	353861	221669	6
Krimml	Tauernhaus	110814	Sbg	LWD	363219	222826	7
Matrei	Felbertauerntunnel	774168	Tir	HD	387139	220156	2
Matrei	Felbertauern Sued	109475	Sbg	LWD	387124	220145	3
Matrei	Hochgasser	775123	Tir	LWD	388130	223436	4
Felbertauern	Felbertauern Nord	109359	Sbg	LWD	389547	224811	4
Gerlos	Ort	774846	Tir	ZAMG	352958	233203	4
Gerlos	Durlassboden	775139	Tir	AHP	357225	234869	7
Wald i.P.	Königsleiten	109433	Sbg	LWD	356122	236432	5
Neukirchen am GV	Wildkogel SMA	485399	Sbg	LWD	370893	238428	6
Neukirchen am GV	Wildkogel	109614	Sbg	LWD	370915	238950	6
Uttendorf	Rudolfshütte	107672	Sbg	ZAMG	396338	221955	7
Uttendorf	Beobachtung Rudolfshütte	107348	Sbg	LWD	396345	221889	3
Uttendorf	Weissensee/Kalser Törl	108617	Sbg	LWD	396371	221444	3
Kaprun	Kitzsteinhorn Rettenwand	108183	Sbg	LWD	400343	230136	1
Kaprun	Kitzsteinhorn Gletscherplateau/Kitzlift	107879	Sbg	LWD	400523	228011	4
Kaprun	Kitzsteinhorn Alpincenter	106427	Sbg	LWD	401312	230050	5
Kaprun	Kammerscharte	109760	Sbg	AHP	401968	228655	4
Kaprun	Wasserfallboden	110042	Sbg	AHP	403530	228820	3
Kaprun	Moserboden	109261	Sbg	AHP	403079	225489	8
Fusch	Käfertal	106570	Sbg	AHP	407202	221078	2
Beobachtung Nassfeld		108405	Sbg	LWD	411120	220462	2
Fusch	Fuscher Törl	615494	Sbg	GROHAG	411389	219804	1
Fusch	Mankeiwirt	615476	Sbg	GROHAG	412014	218955	5
Rauris	Bruderhof	615438	Sbg	WLV	422035	234051	6
Rauris	Sonnblick	106536	Sbg	ZAMG	421622	212576	6
Beobachtung Sonnblick		106556	Sbg	LWD	421448	212788	4
Sportgastein	Bockhartsee	109715	Sbg	LWD	428268	214327	3
Sportgastein	Sonnenalm/Kreuzkogel	110767	Sbg	LWD	430483	213541	7
Bad Gastein	Thomaseck	575873	Sbg	OEBB	433449	214599	5

Tabelle 2: Fortsetzung.

Standort	Standort Präzisierung	StatNr	Land	Betreiber	RW [m]	HW [m]	K-El. [n]
Bad Gastein	Stubnerkogel	106891	Sbg	Gast. B./BOKU	432232	219160	4
Bad Gastein	Feuersang Messfeld2	106387	Sbg	OEBB	435921	216149	3
Bad Gastein	Feuersang Messfeld1	109786	Sbg	OEBB	435769	216216	7
Bad Gastein	Feuersang Messfeld3	109816	Sbg	OEBB	435382	216261	4
Mallnitz	Ebeneck	160	Ktn	LWD	440271	211583	3
Mallnitz	Hintere Lucke	150	Ktn	LWD	440073	210883	5
Zederhaus	Ahorngraben	108304	Sbg	ASFINAG	459228	226967	6
Muhr	Marislscharte/Balonspitze	108143	Sbg	Salzburg AG	460436	221299	6
Maltaberg		190	Ktn	LWD	464090	203266	5
Liesgele	Wind	320	Ktn	OEBB	436464	207977	3
Liesgele	Schnee	310	Ktn	OEBB	436555	207833	4
Mallnitz	Tauerntal/Bockriegel	180	Ktn	LWD	434268	208516	5
Schwarzsee	Mölltaler Gletscher	120	Ktn	LWD	426060	207343	4
Albitzen	Ghf.Glocknerblick	50	Ktn	LWD	419538	201704	4
Feldkopf		260	Ktn	LWD	408596	198946	4
Lienz	Zettersfeld	773966	Tir	HD	408846	192064	3
Lienz	Ort	774461	Tir	ZAMG	409798	187455	6
Emberger Alm	NassfeldRiegel/Wind	300	Ktn	LWD	435612	182502	4
Heiligenblut	Elewitschwand	140	Ktn	LWD	411958	210251	4
Hochtor/Viehbichl		350	Ktn	LWD	412598	215405	5
Zirmsee		290	Ktn	LWD	418760	213091	7
Neukirchen*	Untersulzbach	203042	Sbg	HD	368970	233643	2
Innergschloess*	Gschloessbach	212068	Tir	HD	383129	220927	2
Mallnitz*	Mallnitzbach	212381	Ktn	HD	437934	204846	2
Matreier Tauernhaus*	Tauernbach	212076	Tir	HD	386431	220242	2
Habachtal*	Habach	203596	Sbg	HD	373526	234601	2
Kolm-Saigurn		11344	Sbg	ZAMG	423524	214495	2
Malta	Malta	1133990	Ktn	HD	463214	201699	3
Heiligenblut – OWE*	Möll	213926	Tir	HD	412721	211002	2
Innerer Knorrkogel		0	Tir	UNI Graz	380714	218495	1
Doesen		0	Ktn	UNI Graz	446783	205264	4
Hinteres Langtalkar		0	Ktn	UNI Graz	408069	205505	1
EW-Gmuend*	Gerlosbach	201970	Sbg	HD	349385	231102	2
Gerlos	Gerlos	102681	Sbg	HD	351302	232491	3
Bramberg	Habachtal	106682	Sbg	HD	373403	236456	3
Haidbach*	Felber Ache	203083	Sbg	HD	385898	235195	2
Haidbach	Felber Nord	103432	Sbg	HD	385857	235319	3
Malta*	Pflueglhof	212472	Sbg	HD	459507	205829	2

*An diesen Stationen des HD wird auf hydrographische Messungen (Abfluss/Wasserstand) fokussiert. An allen anderen Stationen werden

Für ein langfristiges Monitoring ist es wichtig Datenreihen bzw. Langzeitanalysen auf eine solide und nachhaltige Basis zu stellen, weshalb von unserer Seite empfohlen wird Stationsdaten rein öffentlicher Stellen – wie eben der ZAMG oder den Hydrographischen Landesdienste – zu verwenden. Klimastationen von Universitäten, Kraftwerksbetreibern etc. können – bei Veränderung des Forschungs- oder Monitoringinteresses bzw. Wegfall der Finanzierung – nach wenigen Jahren wieder demontiert werden und Datenreihen so ihr abruptes Ende finden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die für den gegenständlichen Bericht verwendeten teilautomatischen Wetterstationen (TAWES) der ZAMG. Alle drei ausgewählten TAWES Stationen liegen über 1500 m Seehöhe und können somit als repräsentativ für höhere Lagen angesehen werden. Auf der Südseite des Alpenhauptkams liegen alle TAWES Stationen unter 1500 m Seehöhe.



Tabelle 3: TAWES-Stationen der ZAMG, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des Beginns der verfügbaren Datenreihe. Synnr. ist die ZAMG-interne Stationsnummer, Lon ist die geographische Länge und Lat die geographische Breite; RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258).

Stationsname	Synnr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	Land	Seit
Rudolfshütte	11138	12,625833	47,134998	396338	221955	2317	Sbg	1992
Kolm-Saigurn	11344	12,984722	47,069443	423524	214495	1626	Sbg	1995
Sonnblick	11343	12,957500	47,054167	421622	212576	3109	Sbg	1891

Die Stationsdaten wurden von der ZAMG, Regionalstelle Steiermark (Kontaktperson: Dr. Alexander Podesser, alexander.podesser@zamg.ac.at), für das gegenständliche Pilotprojekt in dankenswerter Weise kostenfrei zur Verfügung gestellt. Es wurde jedoch im Zuge des Datentransfers darauf hingewiesen, dass bei einer Weiterführung des Projekts jedoch für die Bereitstellung dieser Daten Kosten in der Größenordnung von 450€/Jahr (für die Tageswerte der drei in Tabelle 3 gelisteten Stationen über einen 365-tägigen Zeitraum) verrechnet werden müssen. Für das gegenständliche Projekt wurde primär auf die Projektlaufzeit fokussiert, wobei von der ZAMG die Tageswerte für den Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2018 und somit für die vier Gletscherhaushaltsjahre 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18 zur Verfügung gestellt wurden. Für die Station Sonnblick wurden auch langjährige Temperaturdatenreihen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4 listet die sechs Klimastationen der hydrographischen Landesdienste auf, die für dieses Projekt verwendet wurden. Die Stationsdaten stammen vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 12: Wasserwirtschaft, Hydrographie (Kontaktperson: Helge Vithanage, helge.vithanage@ktn.gv.at), vom Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 7: Wasser, Hydrographischer Dienst (Kontaktperson: Stefan Schrofner, stefan.schrofner@salzburg.gv.at) und vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Hydrographie und Hydrologie (Kontaktperson: Martin Neuner, martin.neuner@tirol.gv.at). Angemerkt wurde von den Ämtern, dass die Daten der jüngeren Vergangenheit Rohdaten sind und weder auf Vollständigkeit noch auf Plausibilität geprüft wurden. Weiters wurde angemerkt, dass eine Weitergabe der Daten an Dritte nicht gestattet ist. An den Messstationen Neukirchen und Bramberg gibt es keine Lufttemperaturaufzeichnung.

Tabelle 4: Klimastationen der hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit HZB-Code (Hydrographischer Dienst Österreichs) und Beginn der verfügbaren Datenreihe. HZB-Nr. ist die interne Stationsnummer, Lon die geographische Länge und Lat die geographische Breite; RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258).

Stationsname	HZB-Nr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	Land	Seit
Heiligenblut	113175	12,851944	47,036667	413465,7	210958,1	1380	Ktn	1877
Malta	113399	13,506944	46,954722	463268,6	201748,5	830	Ktn	1860
Neukirchen (1)	104059	12,297222	47,252222	371623,0	235332,2	857	Sbg	1973
Bramberg (1)	106682	12,321111	47,263055	373447,0	236512,7	844	Sbg	2006
Gerlos	102681	12,030000	47,224444	351343,5	232548,0	1263	Tirol	1896
Felbertauern-tunnel-Süd	114900	12,505555	47,118056	387234,7	220227,4	1650	Tirol	1979

(1) An diesen Messstationen gibt es laut Auskunft von Herrn Schrofner, Hydrographischer Dienst, Amt der Salzburger Landesregierung, keine Temperaturdaten.

Abbildung 1 zeigt auch die Lage der drei verwendeten Klimastationen der ZAMG, der sechs verwendeten Klimastationen der hydrographischen Landesdienste sowie die Lage aller anderen Monitoringstandorte, deren Datenreihen für diesen Bericht verwendet wurden.

Die Auswertung aller Daten im Bereich Witterung und Klima erfolgte mit statistischen Standardmethoden im Programm Excel, der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Zeitreihen sowie der Berechnung von Mittelwerten, linearen Trends, Verhältnissen und Abweichungen zu Mittelwerten.





b. Methoden Bereich Abfluss

Hydrologische Daten, welche in Österreich durch die hydrographischen Landesdienste generiert werden, sind grundsätzlich im Internet über die WebGIS-Applikation eHYD (<https://ehyd.gv.at>) frei zugänglich. Diese Applikation ist verwaltungsmäßig dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Sektion I – Umwelt und Wasserwirtschaft zugeteilt. Für das gegenständliche Projekt wurden in einem ersten Schritt – wie im Zwischenbericht 2018 ausgeführt – mögliche relevante Oberflächengewässer-Messstellen näher betrachtet, von denen drei Messstellen in Kärnten (Mallnitz/HZB-Nummer 212381, Ochsenhütte-Hochalm/212456 und Heiligenblut-OWF/213926), drei in Salzburg (Sulzau/203034, Neukirchen/203042 und Kees/203893) und zwei in Tirol (Innerschlöss/212068 und Matreier Tauernhaus/212076) lagen. Allgemein gilt für eHYD, dass die online verfügbaren Datenreihen meist nicht bis in den Zeitraum des aktuellen Gletscherhaushaltsjahres (für 2018: Ende September 2018) reichen, sondern viele Monate oder sogar wenige Jahre zuvor enden. Beispielsweise konnte man am 30. 3. 2019 für die Messstelle Mallnitz die Abflusswerte (Q-Tagesmittel) nur bis 31. 12. 2015 abrufen. Diese mangelnde Aktualität der Datenreihen hängt in der Regel – wie weiter unten beispielhaft ausgeführt – damit zusammen, dass die Rohdaten einen längeren Prüf- und eHYD-Einspielungsprozess durchlaufen und noch vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien bestätigt werden müssen.

Wie die Erstanalyse (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018a) ergeben hat, reicht eine Station pro Einzugsgebiet aus, um dessen hydrographische Charakterisierung durchführen zu können. Aus diesem Grund wurden wiederum die Stationen Mallnitz (für den Seebach), Neukirchen (für den Untersulzbach) und Innerschlöss (für den Gschlössbach) näher untersucht. Tabelle 5 beinhaltet Metadaten zu den drei verwendeten Messstellen. Gleich wie beim Bereich Witterung und Klima wurde der Abfluss an den drei Messstellen für denselben dreijährigen Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2018 analysiert und in den Grafiken und Tabellen im Ergebniskapitel dargestellt.

Die Messdaten stammen vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 12: Wasserwirtschaft, Hydrographie (Kontaktperson: Elisabeth Gutschi, elisabeth.gutschi@ktn.gv.at), vom Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 7: Wasser, Hydrographischer Dienst (Kontaktperson: Bernhard Werner, bernhard.werner@salzburg.gv.at) und vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Hydrographie und Hydrologie (Kontaktperson: Helmut Spiss, helmut.spiss@tirol.gv.at). Laut Information der drei hydrographischen Landesdienste handelt es sich bei den Abflussdaten der jüngeren Vergangenheit um geprüfte, aber nur vorläufig gültige Daten. Die Daten müssen noch vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien bestätigt werden. Allgemein gilt, dass eine Weitergabe dieser Daten an Dritte nicht gestattet ist, wobei Projektbeteiligte ausgenommen sind.

Tabelle 5: HZB-Oberflächengewässer-Messstellen der Hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe der verwendeten Datenreihe. Koordinaten sind in geographische Koordinaten sowie in BMN – M31 (EPSG 31258) angegeben. Höhe = Höhe des Pegelnullpunktes in m ü. A.; o. Ezg. = orographisches Einzugsgebiet; übrige Abkürzungen wie in den Tabellen 3 und 4.

Stationsname	Synnr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	o. Ezg. [km²]	Land
Mallnitz	212381	13,174722	46,983056	437986,0	204896,9	1174	85,3	Kärnten
Neukirchen	203042	12,263056	47,237222	369013,8	233699,6	848	40,5	Salzburg
Innerschlöss	212068	12,451944	47,124444	383174,2	220982,2	1686	39,3	Tirol

Die Auswertung aller Daten im Bereich Abfluss erfolgte mit statistischen Standardmethoden im Programm Excel, der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Zeitreihen sowie der Berechnung von Mittelwerten und linearen Trends.

c. Methoden Bereich Gletscherverhalten – Längenänderung

Im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern sind aktuell 36 Gletscher im Monitoring-Programm des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) enthalten (Abb. 1). Die meisten beobachteten Gletscher liegen in der Glocknergruppe (12), gefolgt von der Venedigergruppe (9) und Ankogelgruppe (6). Jeweils drei Gletscher werden jährlich in der Granatspitzgruppe, der Schobergruppe und der Goldberggruppe vermessen. Auf der





Ebene der drei Flusseinzugsgebiete bietet das aktuelle Beobachtungsnetz des ÖAV-Gletschermessdienstes den Vorteil, dass der jeweils größte Gletscher darin jährlich vermessen wird. Diese sind das Winkelkees für das Seebachtal, das Untersulzbachkees für das Untersulzbachtal sowie das Schlatenkees für das Innerschlöss.

Wie viele Gletscher in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren tatsächlich vermessen werden, hängt jedoch stark von unterschiedlichen Faktoren wie beispielsweise Zugänglichkeit in den Einzeljahren (z. B. Witterungseinfluss) oder Bedeckung der Gletscherstirn durch Schnee aus dem Vorwinter ab. Beispielsweise konnten im Jahr 2018 an 34 der 36 Gletscher erfolgreich die Vermessungen der Längenänderung durchgeführt werden. Da jedoch im Jahr zuvor zwei dieser Gletscher nicht messbar waren (Schwarzkarlkees und Maurerkees), kann nur für 32 Gletscher ein Jahreswert der Längenänderung von 2017 auf 2018 angegeben werden. Ein Gletscher lag zum Zeitpunkt der spätsommerlichen Messkampagne im Stirnbereich unter Schnee (Winkelkees), ein weiterer konnte gar nicht vermessen werden (Obersulzbachkees). Details zu den beiden, für diesen Bericht besonders relevanten Gletscherhaushaltsjahren 2016/17 und 2017/18 – die beiden Gletscherhaushaltsjahre fallen in die Projektlaufzeit – finden sich in den beiden nationalen Berichten, welche in der Zeitschrift BERGAUF alljährlich im April veröffentlicht werden (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018b, 2019).

Die Auswertung aller Daten im Bereich Gletscherverhalten – Längenänderung erfolgte mit statistischen Standardmethoden im Programm Excel, der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Zeitreihen sowie der Berechnung von Mittelwerten.

d. Methoden Bereich Gletscherverhalten – Massenbilanz

Gletschermassenbilanzmessungen gehören nicht zu den Aktivitäten des ÖAV-Gletschermessdienstes, sondern werden nur an sieben Gletschern von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen durchgeführt. Die Forscherteams bzw. Ansprechpersonen sowie die zuständigen Institutionen sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Daten der letzten Jahre wurden direkt bei den zuständigen Institutionen angefragt, welche diese dankenswerter Weise kostenfrei für diesen Bericht zur Verfügung stellten (siehe hierzu auch Seiser & Fischer 2018, Stocker-Waldhuber & Fischer 2018 oder Zagel 2019). Für ältere Daten wurde auch auf die Datenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS) zurückgegriffen (Kontakt: Michael Zemp, WGMS-Direktor, Universität Zürich, michael.zemp@geo.uzh.ch).

Tabelle 6: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2018, ergänzt). ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg.

Gletscher (Gebirgsgruppe)	Forscherteam (Institution)	Beginn der Messungen
Goldbergkees (Goldberggruppe)	B. Hynek, A. Neureiter und Kollegen (ZAMG)	1989
Kleinfleißkees (Goldberggruppe)	B. Hynek, A. Neureiter und Kollegen (ZAMG)	1999
Pasterze (Glocknergruppe)	B. Hynek, A. Neureiter und Kollegen (ZAMG)	2005
Stubacher Sonnblickkees (Granatspitzgruppe)	B. Zagel, H. Wiesenegger, H. Slupetzky und Kollegen (HD-Sbg/ÖAW)	1946
Venedigerkees (Venedigergruppe)	A. Fischer, B. Seiser, H. Wiesenegger und Kollegen (ÖAW/HD-Sbg)	2012
Wurtenkees (Goldberggruppe)	S. Reisenhofer, A. Neureiter und Kollegen (ZAMG)	1983
Zettalunitz/Mullwitzkees (Venedigergruppe)	A. Fischer, M. Stocker-Waldhuber und Kollegen (ÖAW)	2006

Die Auswertung aller Daten im Bereich Gletscherverhalten – Massenbilanz erfolgte mit statistischen Standardmethoden im Programm Excel, der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Zeitreihen sowie der Berechnung von Mittelwerten.



e. Methoden Bereich Permafrost

Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern (und in Österreich) wird nicht standardisiert von Institutionen durchgeführt, sondern beruht auf einzelnen wissenschaftlich motivierten Initiativen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2015). Diese betreiben Permafrost-Monitoring kontinuierlich seit den 1990er Jahren (Blockgletscherbewegung) bzw. seit den 2000er Jahren (Temperaturen im Permafrost), wobei vor allem die Aktivitäten der Grazer Gruppe („Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk“ seit den 1990er Jahren; Lieb et al. 2016), jene am Hohen Sonnblick (seit Mitte der 2000er Jahre) sowie jene im Bereich mehrerer Kare im Obersulzbachtal (seit 2015) zu nennen sind. Wie im Einleitungskapitel erwähnt, ist der Permafrost der einzige der untersuchten abiotischen Faktoren, für den im Rahmen des im Modul 07 auch die Neueinrichtung von Messstellen und die methodische Weiterentwicklung vorgesehen war. Die Auswertung aller Daten zum Permafrost erfolgte mit statistischen Standardmethoden im Programm Excel, der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Zeitreihen sowie der Berechnung von Mittelwerten, linearen Trends, Verhältnissen und Abweichungen zu Mittelwerten.

Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Für die Darstellung der Bodentemperaturverhältnisse wird primär auf den von den Autoren dieses Berichts gemeinsam mit weiteren Mitarbeitern des „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ (Lieb et al. 2016) erstellten Endbericht zu diesem Thema im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten zurückgegriffen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2019). Die Ergebnisse sind aufgrund der hohen Anzahl an Messstellen, die unterschiedliche Expositionen, Höhenlagen, Geländekonfigurationen und Substrate abdecken, in der Grundaussage der thermischen Reaktion des Permafrostes auf die großräumigen Witterungsverhältnisse der betreffenden Haushaltsjahre auch auf den gesamten Nationalpark übertragbar. Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den folgenden Untersuchungsgebieten statt (Lage siehe Abbildung 1): Dösen-Säuleck (Ankogelgruppe), Fallbichl-Hochtor (Goldberggruppe/Glocknergruppe), Hinteres Langtalkar-Kögelekar (Schobergruppe) und Pasterze-Burgstall (Glocknergruppe).

Die Abbildung 5 und die Tabelle 7 geben eine Übersicht über die Lage und Instrumentierung der in den vier Permafrost-Untersuchungsgebieten in Kärnten gelegenen Messstandorte. In zwei der Gebiete (Dösen-Säuleck, Hinteres Langtalkar-Kögelekar) werden neben den sonst verwendeten Bodentemperatur-Loggern auch je eine automatische Klimastation und eine automatische optische Kamera betrieben, die bei der Interpretation der Ergebnisse hilfreich sind. Für Einzelheiten zu den Standorten und deren Instrumentierung wird auf die Original-Berichte an den Nationalpark Hohe Tauern Kärnten (zuletzt Kellerer-Pirklbauer et al. 2018 und 2019) verwiesen.

Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Neben dem Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk gibt es weitere Aktivitäten zum Permafrost-Monitoring auf dem und im Umfeld des Hohen Sonnblicks (ZAMG) und – etwas außerhalb des Nationalparkgebiets – am Kitzsteinhorn (Kooperation verschiedener Institutionen und des Seilbahnunternehmens unter der Leitung der Firma GEORESEARCH). In beiden Monitoringgebieten sind auch Bohrlöcher abgeteuft worden, die die langfristige Entwicklung des thermischen Verhaltens von Permafrost in großen Tiefen erkennbar machen und somit bessere Informationen als die sonst ausgeführten oberflächennahen Temperaturmessungen liefern. Von all diesen Bohrlöchern besitzt das Bohrloch 3 am Hohen Sonnblick die geschlossenste Datenreihe (d.h. relativ wenig Datenlücken; siehe Reisenhofer 2019), weshalb Messergebnisse von diesem in Abbildung 35 gezeigt werden.

Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Wie in Kapitel Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse wird für die Darstellung der Bewegungsraten in kriechendem Permafrost (Blockgletscher) auf den von den Autoren dieses Berichts gemeinsam mit weiteren Mitarbeitern des „Grazer-Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ erstellten Bericht zu diesem Thema im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten zurückgegriffen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2018, 2019).

Tabelle 7: Auflistung der vier lokalen Untersuchungsgebiete im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und ihrer Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage siehe Abbildung 5. Abbildungen 33 und 34 zeigen Auswerteergebnisse der jeweils grau hinterlegten Sensoren. HLC=Hinteres Langtalkar-Kögelekar, FAL=Fallbichl, HOT=Hochtor, DOV=Dösen-Säuleck, PAG=Pasterze-Burgstall. Der Code für jeden Standort besteht (bis auf eine Ausnahme) aus diesen Bezeichnungen in Kombination mit weiteren, internen Kürzel. Z.B. N=Nord, S=Süd.

Code	Koord. BMN-M31 (EPSG 31258)		Koord. UTM-33N (EPSG 32633)		Höhe (m)	Exposition (°)	Neigung (°)	Messtiefen (cm)
	RW	HW	RW	HW				
HLC-LO-S	407799	205640	331029	5206282	2489	290	32	0
HLC-MI-S	407916	205558	331145	5206197	2581	268	19	0
HLC-UP-S	408216	205455	331442	5206088	2696	256	22	0
HLC-LO-N	407013	205646	330244	5206305	2485	47	45	0
HLC-MI-N	407768	205389	330993	5206032	2601	17	28	0
HLC-UP-N	407883	205143	331103	5205783	2693	45	52	0
HLC-RF-S	408272	205439	331498	5206071	2725	241	75	3, 10, 40
HLC-RF-N	407883	205143	331103	5205783	2693	45	85	3, 10, 40
HLC-RT	408066	205447	331292	5206083	2650	252	7	3, 10, 40
HLC-CO	408056	205312	331279	5205949	2672	338	8	0, 30, 100
HLC-SO-N	407242	205618	330472	5206272	2407	34	34	0, 10, 40
HLC-Q	407668	205647	330899	5206292	2455	320	9	Wasser
KC-LO	407642	205006	330859	5205651	2690	22	25	0, 10, 50
KC-UP	407676	204966	330892	5205611	2703	12	28	0, 10, 20
FAL-LO	413089	214329	336502	5214856	2250	293	16	0, 10, 75
FAL-UP	413279	214303	336692	5214826	2345	332	26	0, 10, 75
HOT	412726	216082	336177	5216616	2580	72	18	0, 10, 60
DOV-LO-S	445487	205927	368710	5205768	2489	220	20	0
DOV-MI-S	445803	206025	369028	5205860	2586	213	19	0
DOV-UP-S	446659	206316	369889	5206132	3002	166	33	0
DOV-LO-N	446018	205072	369222	5204903	2407	342	22	0
DOV-MI-N	446381	205084	369585	5204907	2501	239	16	0
DOV-UP-N	446757	205111	369962	5204926	2626	331	25	0
DOV-RF-S	446761	205322	369970	5205137	2628	206	80	3, 10, 32
DOV-RF-N	446894	205150	370100	5204962	2638	300	90	3, 10, 40
DOV-RT	446791	205270	369999	5205084	2603	255	14	3, 10, 40
DOV-CO (a)	446785	205277	369993	5205091	2606	257	5	100, 200, 300
DOV-FI	446703	205395	369914	5205211	2644	213	28	0, 3, 10, 30, 70, 100
DOV-Q	445923	250261	370090	5250074	2334	335	21	Wasser
PAG-LO	404961	216580	328425	5217279	2509	185	25	0
PAG-UP	404965	216760	328433	5217459	2628	220	30	0
PAG-BU	402694	218222	326193	5218969	2932	95	7	0, 10, 55
PAG-FI (b)	405383	214607	328805	5215298	2074	120	2	0, 10, 75
PAG-PR1 (c)	404719	215779	328165	5216484	2078	0 (d)	0	0
PAG-PR2 (c)	404710	215824	328158	5216529	2080	0 (d)	0	0, 10, 40

Anmerkungen: (a) Daten vom Sensor in 100 cm Tiefe; (b) Standort war erstmals (!) seit 2013 im Jahr 2018 wieder zugänglich, musste jedoch aufgrund eines defekten Loggers und einer Messreihe, die bereits im Dezember 2013 endete, wegen zu großer Datenlücke aufgelassen werden; (c) 2018 neu eingerichteter Standort; (d) ebene Lage, deshalb 0°.

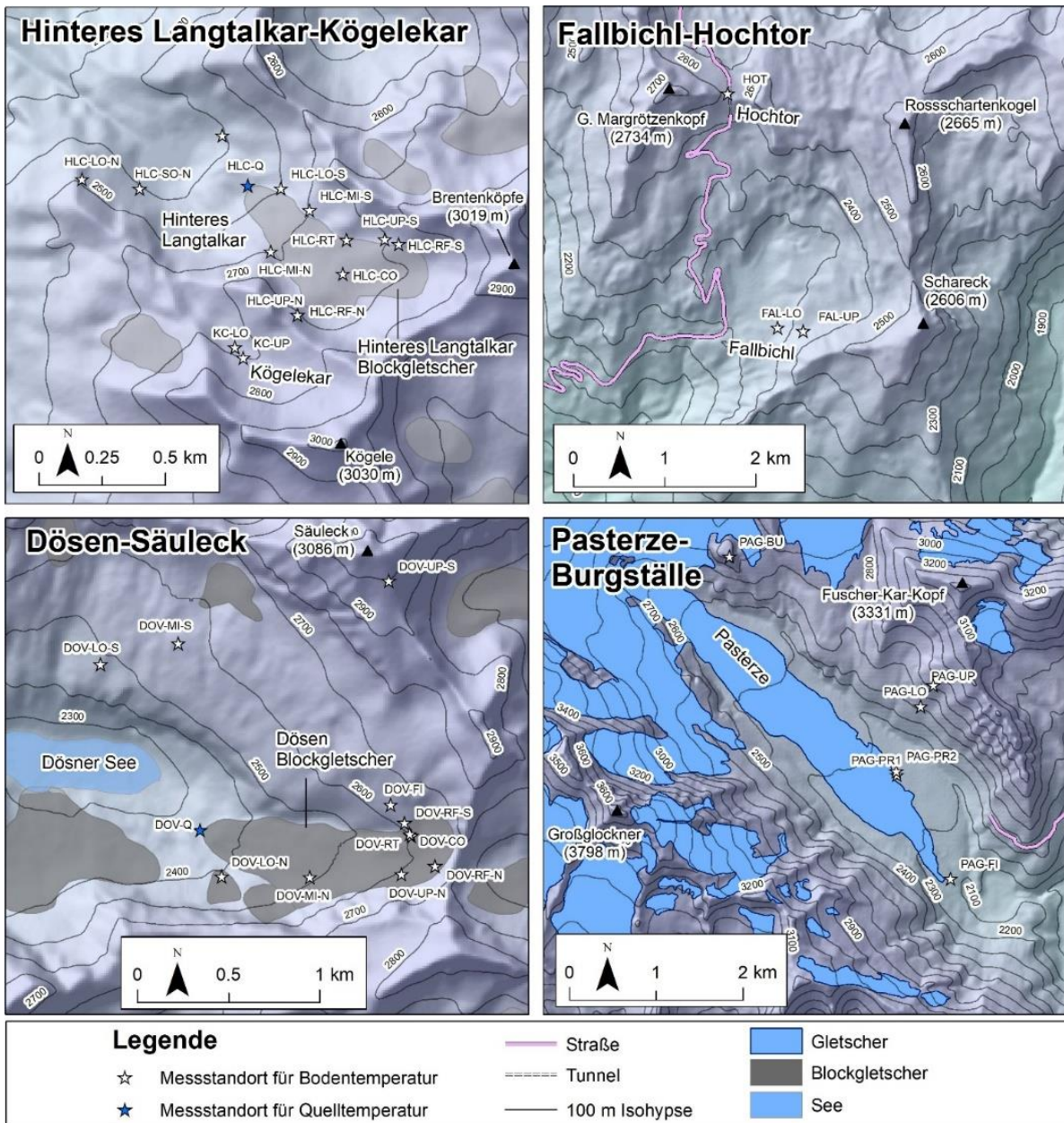


Abbildung 5: Detailkarten der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind (vgl. Tabelle 7). Zu beachten ist, dass seit dem Berichtsjahr 2016/17 auch Quelltemperatur-Messstandorte im Bereich zweier Blockgletscherstirnen eingerichtet wurden (HLC-Q und DOV-Q). PAG-FI musste aufgegeben werden. PAG-PR1 und PAG-PR2 kamen neu hinzu. Karten erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quelle: Gletscher= Buckel et al. (2018). Geländemodelle Geoland (2019)

Die ermittelten relativen Änderungsraten von einem Jahr auf das nächste hängen – ebenso wie die Regeneration von Permafrost – von den großräumigen Witterungsbedingungen, namentlich Lufttemperatur und Schneefall, ab und sind daher in ihrer Tendenz (nicht jedoch im Betrag) auf den gesamten Nationalpark übertragbar. Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den beiden Untersuchungsgebieten Dösen-Säuleck (Dösener Blockgletscher) und Hinteres Langtalkar-Kögelekar (Hinteres Langtalkar Blockgletscher) statt (Abbildung 5).

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Wie im letzten Zwischenbericht dargestellt (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018a), konnte im Zeitraum 15.–18. 8. 2018 die Einrichtung der Permafrost-Messstellen an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels bei optimalen Witterungsbedingungen (stabile Hochdruckwetterlage) erfolgreich durchgeführt werden. Die Geländekampagne wurde mit der logistischen Unterstützung durch den Nationalpark Hohe Tauern Tirol wesentlich erleichtert, wobei hier im Besonderen Emanuel Egger für den Transport von Gerätschaft (u. a. Differential-GPS, Bohrgerätschaft, Gelände-Notebooks) und Personen vom Weiler Gruben ins Frosnitztal sowie die Unterstützung am 16. 8. herzlichst gedankt sei. Das fünfköpfige Team der Universität Graz bestand aus – in alphabetischer Reihenfolge – Alexander Dorić, Andreas Kellerer-Pirklbauer, Christian Lieb, Gerhard Karl Lieb und Christian Ziesler. Tabelle 8 gibt einen Überblick über den Ablauf der Geländetage, Abbildung 6 visuelle Eindrücke dazu.

Tabelle 8: Ablauf der Geländetätigkeiten 2018 zum Bereich Permafrost am Inneren Knorrkogel (Venedigergruppe, Osttirol).

Tag	Programm und Tätigkeiten
15. 8. 2018	Anreise nach Matrei und Nächtigung dort
16. 8. 2018	Treffen mit Emanuel Egger, Fahrt ins Frosnitztal, Aufstieg zur Badener Hütte, Einquartierung, Aufstieg zum Inneren Knorrkogel, Teil 1 der Messstelleneinrichtung, Abstieg zur Badener Hütte
17. 8. 2018	Aufstieg zum Inneren Knorrkogel, Teil 2 der Messstelleneinrichtung, Abstieg zur Badener Hütte
18. 8. 2018	Abstieg ins Tal



Abbildung 6: Messteam der Universität Graz sowie des Nationalparks Hohe Tauern Tirol zur Durchführung der Geländetätigkeiten im Bereich des Inneren Knorrkogels. Foto links (von links nach rechts): C. Lieb, C. Ziesler, A. Kellerer-Pirklbauer, A. Dorić, E. Egger; Foto rechts (von vorne nach hinten): C. Ziesler, G. K. Lieb, A. Dorić. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer)

Wie der Tabelle 8 zu entnehmen ist, wurden sämtliche Instrumentierungen an den beiden Tagen 16. und 17. 8. 2018 durchgeführt. Abbildung 39 zeigt die Lage des Inneren Knorrkogels innerhalb der östlichen Venedigergruppe sowie die Lage aller 18 Messstandorte, die in der Gipfelpyramide installiert wurden. Tabelle 17 gibt einen Überblick über die neuen Messstandorte mit technischen und geographischen Angaben. Bei allen installierten Datenloggern handelt es sich um Produkte der Firma Geoprecision, wobei 15 Stück Einkanallogger der Produktbezeichnung M-Log5W-SIMPLE (Auflösung 0,01 °C) und drei Stück Mehrkanallogger des Typs M-Log5W-DALLAS (Auflösung 0,065 °C) mit jeweils drei Temperatursensoren eingebaut wurden (Geoprecision 2019).

Alle drei Datenlogger des Typs M-Log5W-DALLAS wurden für das Monitoring der Felstemperatur bis in eine Tiefe von 40 cm eingebaut, wobei alle drei Hangexpositionen der Gipfelpyramide, Nordost (Standort Flanke-Felslogger-NE), West (Flanke-Felslogger-W) sowie Süd (Flanke-Felslogger-S) berücksichtigt wurden. Für diese Bohraktivitäten (Abbildung 40) wurde ein Makita-Schlagbohrer verwendet, wobei pro Standort neben dem 40 cm tiefen Bohrloch (Durchmesser 12 mm) noch weitere seichte und schmalere (8 mm) Bohrlöcher abgeteuft wurden, welche zur Fixierung der Datenlogger dienten. Zu betonen ist, dass bedingt durch die Klüftigkeit des Gesteins (und den weit verbreiteten autochthonen Blockschutt) es nicht unproblematisch war, geeignete Standorte für die Felssensoren zu finden. Für alles Weitere wird auf das Ergebnis-Kapitel verwiesen.

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Seit 2015 werden auch im Bereich des Sattelkar, Obersulzbachtal (Venedigergruppe, Salzburg), Bodentemperaturen in hochalpinen Lagen kontinuierlich gemessen, wobei diese Aktivitäten gemeinsam vom Nationalpark Hohe Tauern Salzburg, dem Hydrographischen Dienst des Landes Salzburg sowie der Firma GEORESEARCH Forschungsgesellschaft durchgeführt werden. Außerdem zeichnen seit dem Sommer 2018 in den südlich an das Sattelkar anschließenden Karen (Ofenkar, Mitterkar und Steinkar) ebenso Datenlogger kontinuierlich Bodentemperaturen auf. In Summe liegen 30 Datenlogger in den vier genannten Karen, wobei alle Datenlogger in rund 10 cm Tiefe im Lockermaterial platziert sind (Keuschnig 2018). Die Daten von 13 Standorten im Sattelkar für den Zeitraum 22. 10. 2015 – 25. 6. 2018 wurden uns freundlicherweise in Rücksprache mit der Nationalparkverwaltung Hohe Tauern Salzburg von der Firma GEORESEARCH (Herrn Ingo Hartmeyer sei an dieser Stelle für die Übermittlung herzlichst gedankt) zur Verfügung gestellt und für den Ergebnisteil ausgewertet. Die Positionen der Datenloggerstandorte sind in Abbildung 7 dargestellt.

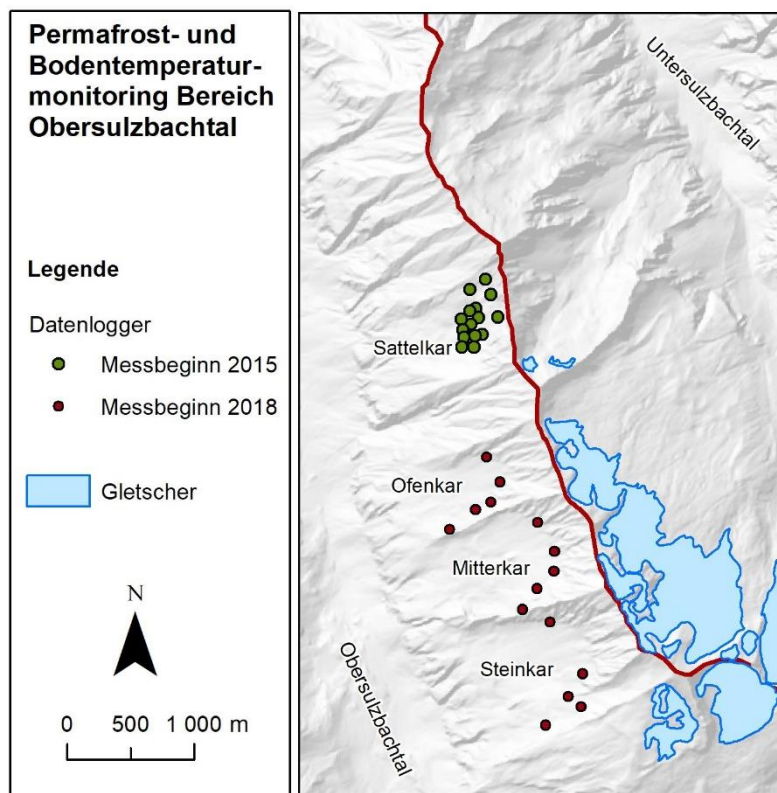


Abbildung 7: Übersichtskarte der Verteilung von Messstandorten in den vier benachbarten Karen Sattelkar, Ofenkar, Mitterkar und Steinkar im Obersulzbachtal, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind. Die Daten aus dem Sattelkar werden im Ergebnisteil präsentiert. Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quelle: Gletscher= Buckel et al. (2018). Geländemodell SAGIS (2019)



Ergebnisse

Die Ergebnisse werden nach den unterschiedlichen Faktoren (Witterung und Klima, Abfluss, Gletscher und Permafrost) dargestellt, die Ergebnisse für die Einzugsgebiete sind den jeweiligen Abschnitten zu entnehmen, wobei auf folgendes Hinzuweisen ist:

- Witterung und Klima: Für die beiden hierfür untersuchten Parameter Lufttemperatur und Niederschlag gibt es keine für die drei Einzugsgebiete spezifische Grafiken, da in diesen keine Messstationen mit entsprechend langen Datenreihen liegen.
- Abfluss: Für die drei Einzugsgebiete werden in den Abbildungen 22 bis 27 die kurzfristigen und langfristigen Entwicklungen an den drei Pegeln dargestellt.
- Gletscher: Die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen für das Winkelkees (Seebachtal), Untersulzbachkees (Untersulzbachtal), Schlaten- und Viltragenkees (Innerschlöss) werden in der Tabelle 13 gezeigt. In den drei Einzugsgebieten finden keine Gletschermassenbilanzmessungen statt.
- Permafrost: Für die untersuchten Parameter Bodentemperatur und Blockgletscherbewegungen gibt es keine für die drei Einzugsgebiete spezifische Grafiken, da in diesen keine entsprechenden Messungen stattfinden, jedoch werden im Rahmen des gegenständlichen Projektes nach der Einrichtung des Messstandortes Innerer Knorrkogel ab 2019 für das Gebiet Innerschlöss erste gebietsspezifische Ergebnisse vorliegen.

a. Ergebnisse Bereich Witterung und Klima

Der Tabelle 9 sind die Jahreswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags für die beiden Projektjahre 2016/17 und 2017/18 sowie – für Vergleichszwecke – der zwei vorangegangenen Jahre für neun ausgewählte Klimastationen in der Nationalparkregion wiedergegeben. Diese neun Standorte können prinzipiell als repräsentativ für größere Gebiete angesehen werden, weil die Aufstellung der Stationen durch die sie betreibenden Institutionen genau unter diesem Anspruch erfolgt. Die Stationen Neukirchen, Bramberg und Gerlos repräsentieren die Tallagen an der Nord- sowie Heiligenblut und Malta an der Südseite des Tauernhauptkammes, Kolm-Saigurn ist repräsentativ für eine Talschlusslage an dessen Nord- und Felbertauern an dessen Südseite, während Rudolphshütte und Sonnblick für die Hochlagen stehen.

Die Unterschiede der Werte zwischen den Stationen sind wegen der somit umrissenen Lage zum Hauptkamm, vor allem aber wegen der unterschiedlichen Seehöhe groß, die Veränderlichkeit von einem Jahr auf das andere verläuft jedoch auffallend gleichsinnig – so etwa ist das relativ niederschlagsreiche Jahr 2016/17 an sieben der neun Stationen das niederschlagsreichste und an zwei (Bramberg, Malta) das zweitniederschlagsreichste der vier Jahre (vgl. auch Abbildung 9). Der generelle Witterungscharakter der Jahre wird also mit hinreichender Genauigkeit durch diese Stationen abgebildet.

In den Werten der Tabelle 9 ist erkennbar, dass das Jahresmittel der Temperatur an allen Stationen, für die Daten vorliegen, 2016/17 tiefer als in den beiden Jahren zuvor war, bei den Niederschlägen ist das Bild etwas uneinheitlicher, wengleich – wie soeben erwähnt – an den meisten Stationen 2016/17 das niederschlagsreichste der vier in Tabelle 9 gezeigten Jahre war. Das zweite Messjahr 2017/18 zeigt thermisch im Mittelwert ein ähnliches Bild und war an den meisten der sieben Standorten mit entsprechenden Daten zwischen 0,1 °C kühler (Heiligenblut) bis 0,3° wärmer (Gerlos und Felbertauern). Die Summe des Jahresniederschlags war an allen neun Stationen im zweiten Messjahr deutlich geringer als im Jahr zuvor. Diese Sachverhalte werden sehr gut in den Abbildungen 8 und 9 sichtbar, worin die Werte der beiden Jahre für Temperatur und Niederschlag einander gegenübergestellt werden.



Tabelle 9: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den vier Jahren 2014/15 bis 2017/18 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehene Klimastationen in den Hohen Tauern, welche entweder durch die ZAMG oder durch die hydrographischen Landesdienste betrieben werden. Graue hinterlegt sind die beiden Jahre innerhalb des Projektzeitraumes. n.d.=no data/keine Daten.

	Rudolfshütte (2317 m)		Kolm-Saigurn (1626 m)		Sonnblick (3109 m)		Heiligenblut (1380 m)		Malta (830 m)	
Jahr	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
2014/15	1,3	2232	6,0	1813	-4,0	1783	7,5	908	9,4	1084
2015/16	1,6	2442	6,0	1777	-3,3	1581	7,4	792	9,1	896
2016/17	0,9	2670	5,4	1912	-4,1	1882	7,0	915	9,0	1020
2017/18	1,1	2175	5,6	1677	-4,1	1748	6,9	755	8,9	910

	Neukirchen (857 m)		Bramberg (844 m)		Gerlos (1263 m)		Felbertauern (1650 m)	
Jahr	T	P	T	P	T	P	T	P
2014/15	n.d.	1035	n.d.	1061	5,8	1204	5,3	1473
2015/16	n.d.	1093	n.d.	1190	5,8	1270	5,4	1460
2016/17	n.d.	1097	n.d.	1118	5,3	1340	5,0	1556
2017/18	n.d.	1047	n.d.	1089	5,6	1231	5,3	1366

Vergleich Lufttemperatur 2016/17 vs. 2017/18

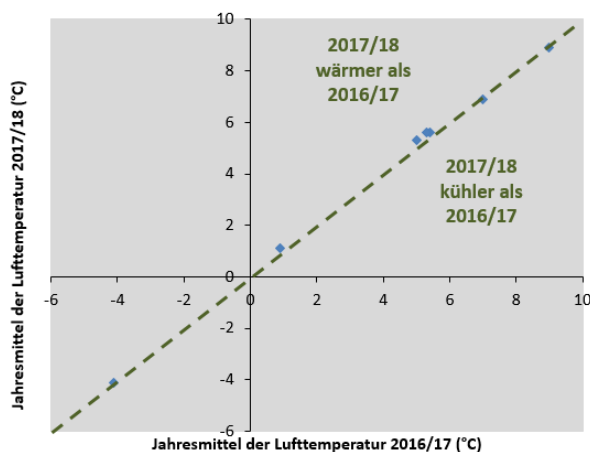


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2017/18 und 2016/17 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 9 bilden.



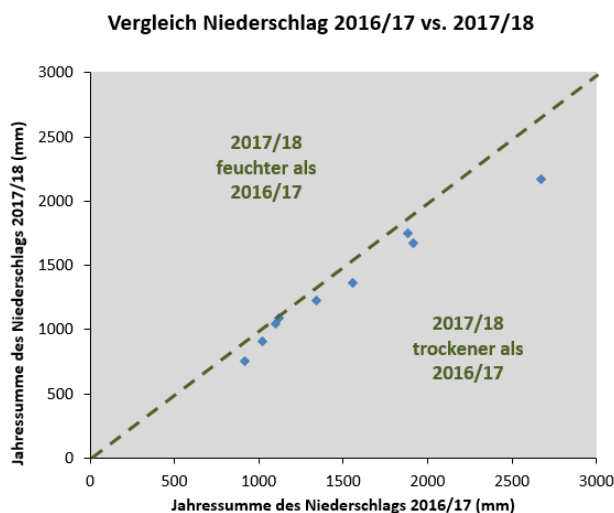


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2017/18 und 2016/17 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 9 bilden.

Der Witterungscharakter der beiden Projektjahre ist wie folgt zu charakterisieren: Die Beobachtungsperiode 2016/17 (Okt. 2016 – Sept. 2017) begann mit einem zyklonal geprägten, kühlen Oktober, der mehrmals Schneefall in den Hochlagen der Hohen Tauern brachte, ohne dass aber dadurch eine mächtige Schneedecke aufgebaut worden wäre. Dies änderte sich auch nicht während der antizyklonalen und milden Witterungsphasen im November und Dezember, sodass der Untergrund in den Hochlagen effizient auskühlen konnte. Nennenswerte Schneefälle stellten sich erst knapp vor dem Jahreswechsel und vermehrt im Jänner 2017 ein, während der übrige Winter sich erneut als niederschlagsarm erwies. Erst der zyklonale Kaltluftvorstoß um den 20. 4. 2017 brachte späten, jedoch bedeutenden Neuschneezuwachs. Dieser änderte jedoch nichts daran, dass in den ersten sieben Monaten der Beobachtungsperiode der Niederschlag in weiten Teilen der Hohen Tauern nur etwa die Hälfte bis zwei Drittel der langjährigen Mittelwerte erreichte. Im selben Zeitraum waren die Temperaturen nur im Oktober und Jänner unter-, in den übrigen Monaten weit überdurchschnittlich. Auch ab Mai 2017 blieben herausragende Niederschlagsereignisse bei überwiegend deutlich übernormalen Temperaturen aus, weshalb die Ausaperung der Gletscher und Permafrostgebiete bereits im Juni bedeutend fortgeschritten war. Der meteorologische Sommer war insgesamt, vor allem aber im August, deutlich zu warm, brachte aber doch nennenswerte Niederschlagsereignisse mit sich, die den gesamten Beobachtungszeitraum an einigen Stationen schließlich etwas niederschlagsreicher als die beiden davorliegenden machte (Tabelle 9). Die wenigen sommerlichen Wetterstürze verursachten nur kurzlebige Schneedecken oberhalb von rund 2800 m. Im Gegensatz dazu war der September unternormal temperiert und in den Hochlagen schneereich. Insgesamt kann der Beobachtungszeitraum 2016/17 als zu warm und bezüglich des Niederschlags als mit leichter Tendenz zu überdurchschnittlichen Werten wenig von der Norm abweichend charakterisiert werden.

Die Beobachtungsperiode 2017/18 (Okt. 2017 – Sept. 2018) verlief wie folgt: In mehreren Schneefallepisoden hatte sich bereits im September 2017 in den schattseitigen Hochlagen eine Schneedecke gebildet, die in diesem Jahr nicht mehr abschmelzen sollte. Die längeren antizyklonalen Witterungsphasen im Oktober ließen nur mehr sonnseitige Lagen und die weit herabreichenden Gletscher- und Blockgletscherzungen schneefrei werden. Im November, Dezember und Jänner herrschten winterliche Witterungsbedingungen mit wiederholten Schneefallereignissen, wobei die überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Jänner 2018 kaum Auswirkungen in Bezug auf Gletscher und Permafrost hatten. Im Februar 2018 wurden alpenweit sehr tiefe Temperaturen gemessen. Nach dem kalten und weiterhin schneereichen März stellte sich ab April überdurchschnittlich warme und langanhaltend antizyklonale Witterung ein. Schon der stark übernormal temperierte April 2018 bewirkte eine frühe und intensive Reduktion der Winterschneedecke durchaus auch schon in hohen Lagen. Auch die drei nachfolgenden Monate blieben überdurchschnittlich warm, sodass die winterlichen Schneesüßlagen auch in den Hochlagen rasch abschmolzen bzw. flächenmäßig kleiner wurden. Zwischen Juni und August 2018 gab es nur am 24.-28.6.2018 sowie am 24.-26.8.2018 nennenswerte Schneefälle im Bereich der Hohen Tauern, von denen nur die zuletzt genannten die untersuchten Permafrostflächen und Gletscher der Hohen Tauern



kurzzeitig mit einer dünnen Schneedecke überzogen. Der September war erneut überdurchschnittlich warm und der Erhaltung von Gletschern und Permafrost abträglich.

Zu beachten ist, dass die in der Tabelle 9 sowie den folgenden Diagrammen gezeigten Absolutwerte der Niederschläge an den Bergstationen – insbesondere am Sonnblick – wegen der bekannten Messproblematik des Niederschlags im Hochgebirge erheblich von den realen Werten abweichen können. Die Messfehler beim Niederschlag sind sehr ausgeprägt, wobei Wind Niederschlagsmessfehler von -50% oder sogar mehr bewirken kann. Als weitere Erschwernis der „korrekten“ Erfassung des Niederschlags kommt auch – gegenüber der Temperatur – die größere räumliche und zeitliche Variabilität des gefallenen Niederschlags hinzu; siehe hierzu Schönwiese (2013) und WMO (2014) für weitere Details.

Es ist damit nur eine relative Interpretation im Vergleich der einzelnen Jahre bzw. Monate an derselben Station möglich. In den Abbildungen 10 bis 18 werden Monatsmittelwerte der Temperaturen (bei Stationen mit entsprechenden Daten) und Monatssummen der Niederschläge für die oben gelisteten Klimastationen für den Zeitraum 1.10.2014 – 30.9.2018, also für vier Gletscherhaushaltsjahre, gezeigt. Zu beachten die typischen Jahresgänge des Niederschlags mit Maxima in Sommermonaten und Minima in den Wintermonaten. Klar erkennbar auch oft deutlich ausgeprägten Unterschiede von Jahr zu Jahr und von Station zu Station. An der Station Rudolfshütte wurden im relevanten Zeitraum die höchsten Niederschlagssummen gemessen (Juli 2017), die höchsten Monatswerte der Temperatur an der Station Malta.

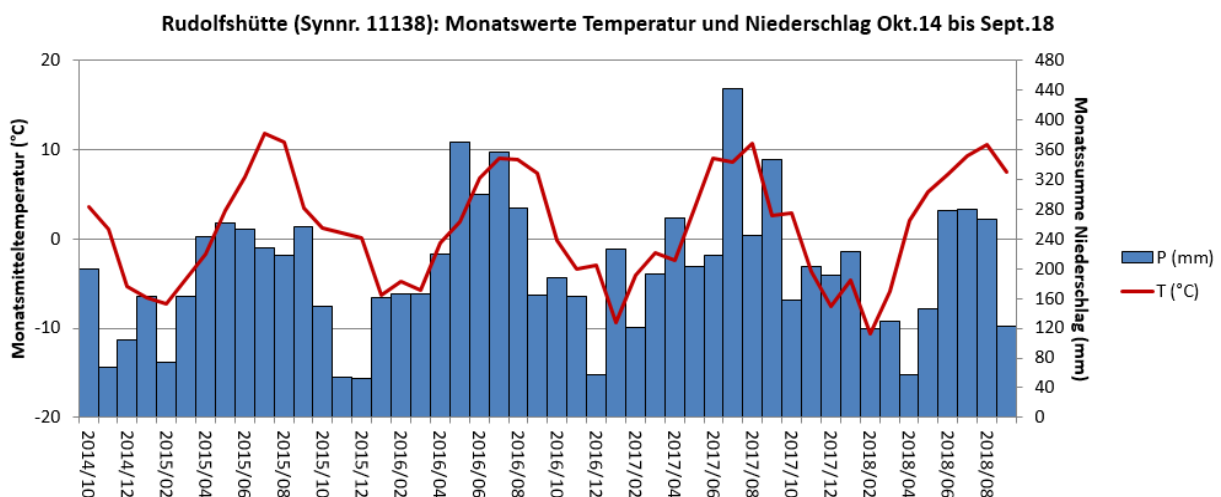


Abbildung 10: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Rudolfshütte (2317 m).

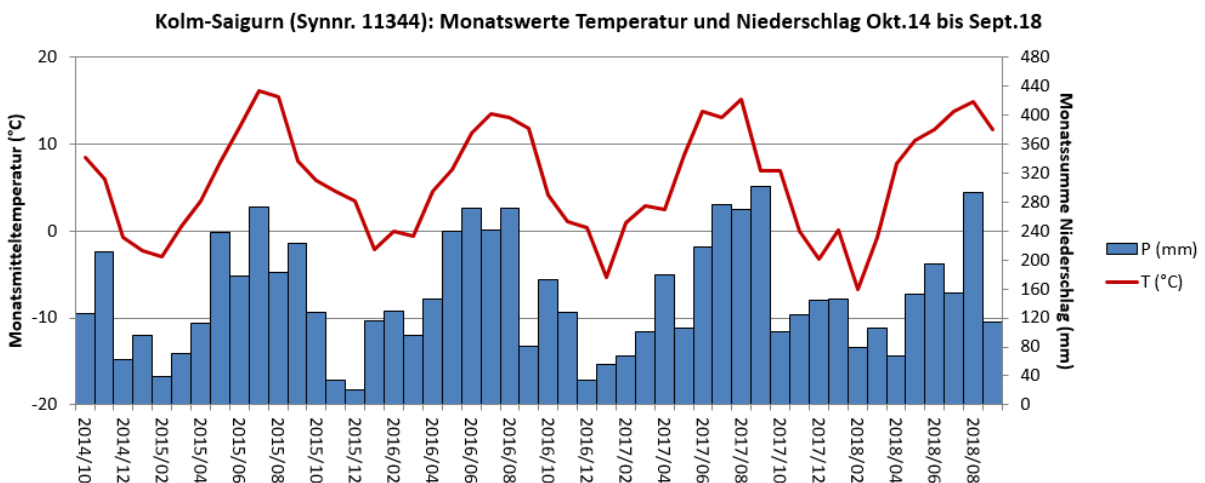


Abbildung 11: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Kolm-Saigurn (1626 m).

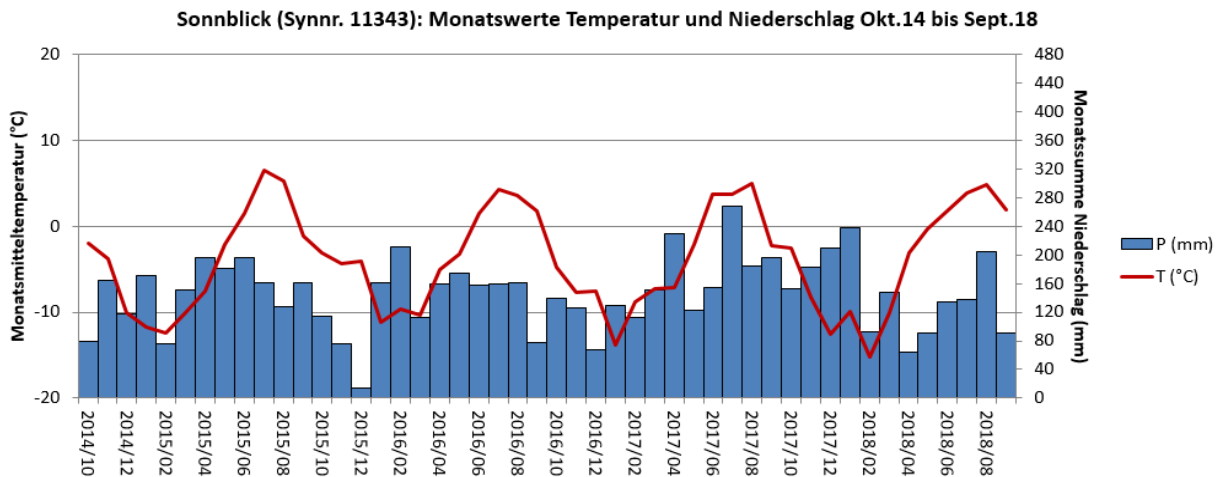


Abbildung 12: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Sonnblick (3109 m).

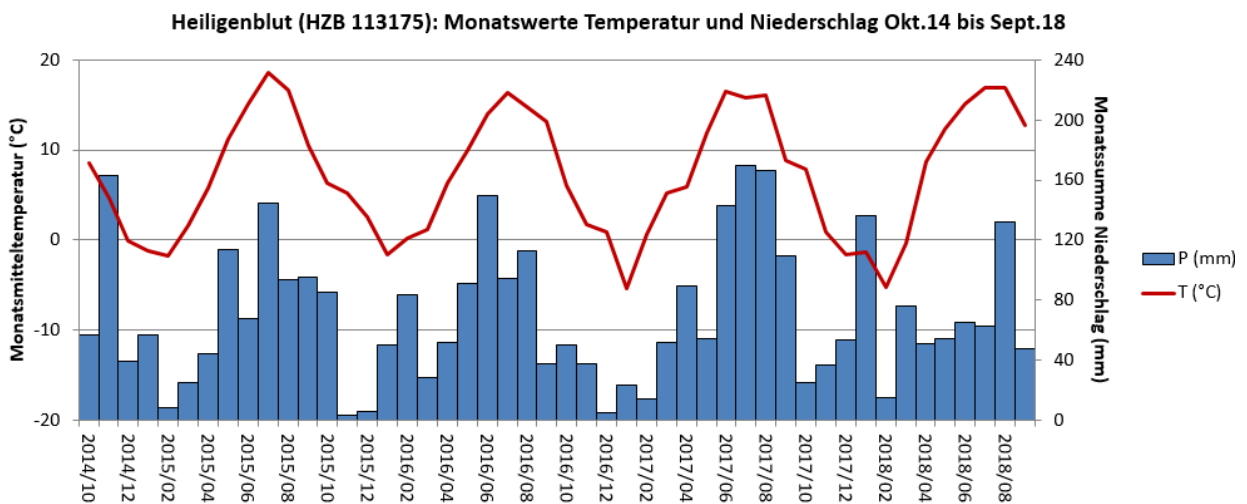


Abbildung 13: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Heiligenblut (1380 m).

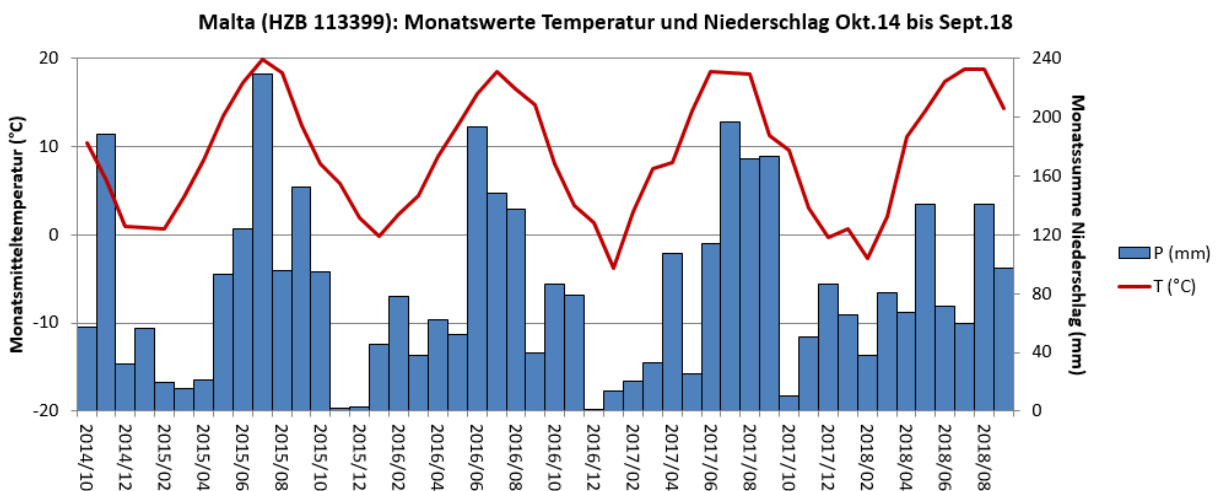


Abbildung 14: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Malta (830 m).



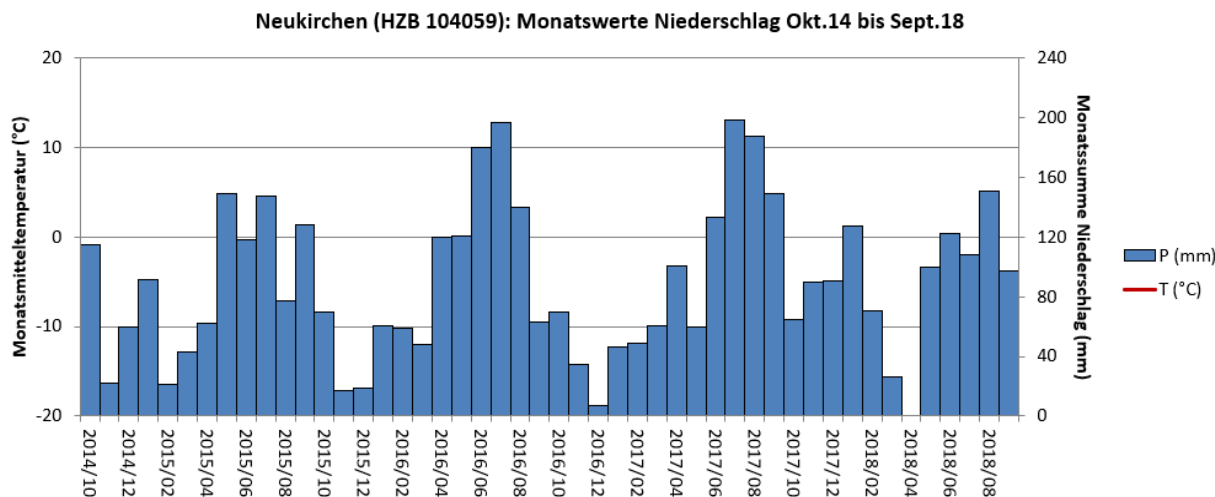


Abbildung 15: Monatswerte des Niederschlags im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2017 an der Klimastation Neukirchen (857 m). Achtung: Datenlücke im April 2018 (keine Lufttemperaturmessung an diesem Standort!)

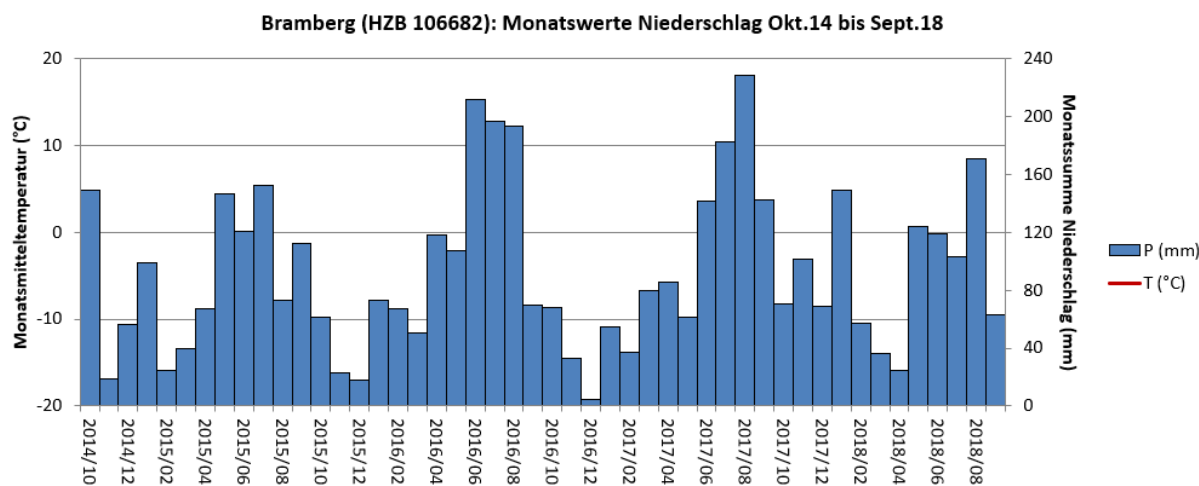


Abbildung 16: Monatswerte des Niederschlags im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2017 an der Klimastation Bramberg (844 m) (keine Lufttemperaturmessung an diesem Standort!)

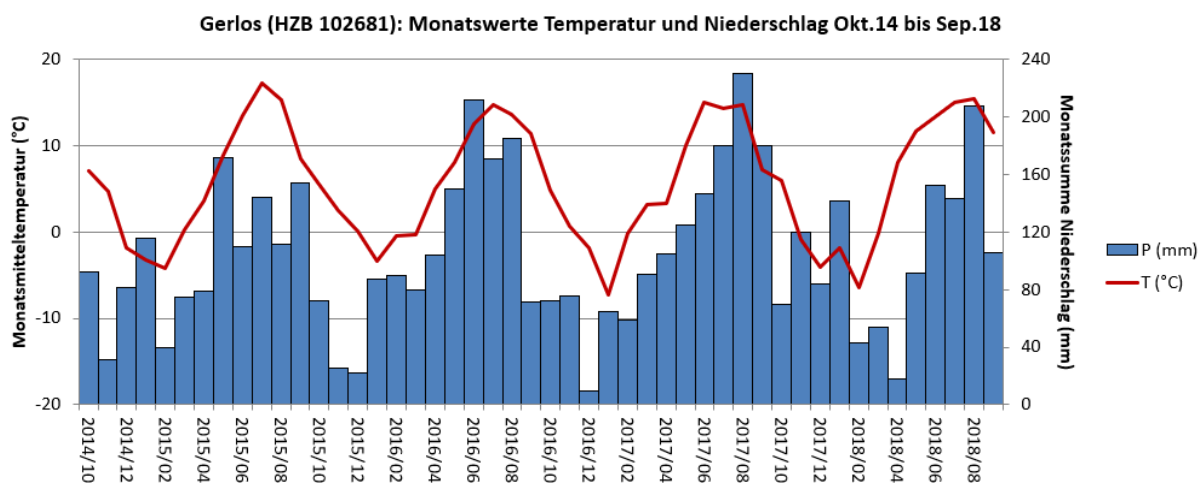


Abbildung 17: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2018 an der Klimastation Gerlos (1263 m).



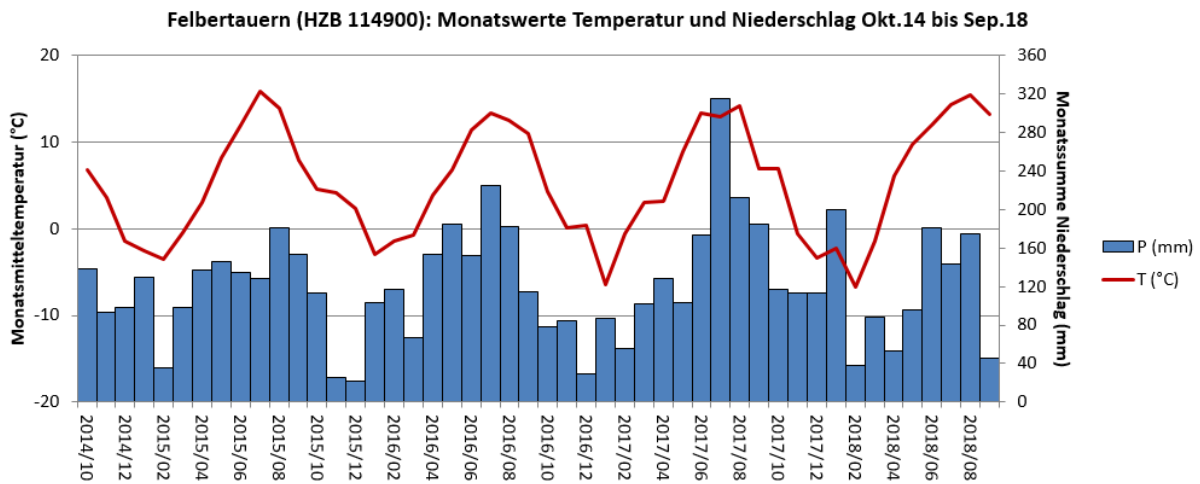


Abbildung 18: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2018 an der Klimastation Felbertauern (1650 m).

Die Abbildung 19 zeigt in einer Zusammenschau die Kurven der Monatsmitteltemperaturen aller relevanten Stationen mit entsprechenden Daten über den vierjährigen Zeitraum. Gut erkennbar ist hierbei, dass (a) die Monatsmittelwertkurven der einzelnen Stationen einen gleichsinnigen Verlauf besitzen, (b) die Station am Sonnblick die – wie zu erwarten ist – bei weitem tiefsten Temperaturen aufweist (im Mittel über die vier Jahre $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), (c) die Station Rudolfshütte am zweitkühlsten ist ($1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), (d) die Stationen Kolm-Saigurn, Gerlos und Felbertauern relativ ähnlich sind (im Mittel $5,2$ bis $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) und (e) die Stationen Heiligenblut (Mittel $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) und Malta ($9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) die höchsten Werte aufweisen, was größtenteils der regelhaften Temperaturabnahme mit der Höhe entspricht. Hervorzuheben sind die auffallend tiefen Monatsmittel im Jänner 2017 und im Februar 2018. Der absolute höchste Monatsmittelwert in dem 4-jährigen Beobachtungszeitraum wurde für die Station Malta im Juli 2015 mit $19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ errechnet.

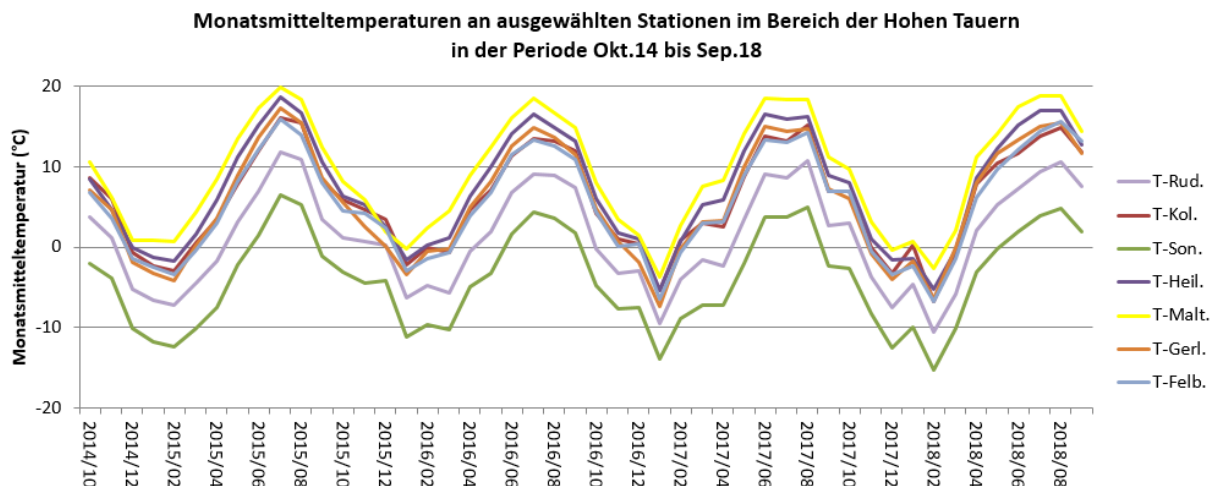


Abbildung 19: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2019 an den sieben Klimastation Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.

Um die Ergebnisse der Lufttemperatur- und Niederschlagsmessungen aus den letzten beiden Messjahren bzw. der Projektlaufzeit in einen klimarelevanten zeitlichen Kontext zu bringen, wurden in weiterer Folge alle Monatswerte der Station Sonnblick in den beiden glaziologischen Haushaltsjahren 2016/17 und 2017/18 mit den entsprechenden Werten der Klimanormalperiode 1981-2010 verglichen. Aufgrund der langen Datenreihe, der rigorosen Datenqualitätsprüfung, der hochalpinen Lage sowie der zentralen Lage am Alpenhauptkamm ist diese Station für ein Kryosphären-Monitoring

wie im Modul 07 prädestiniert. Tabelle 10 listet die Monatsmittelwerte der Normalperiode sowie die Abweichung der Werte der beiden Projektjahre auf, Abbildung 20 gibt diese Daten graphisch wieder.

Im Mittel waren beide Jahre weit über dem Mittelwert in der genannten Klimanormalperiode. Für 2016/17 liegt der Wert bei 0,9 °C, für das Folgejahr nur wenig darunter (0,8 °C). Im Jahresverlauf unterscheiden sich die beiden Jahre aber sehr stark, wobei Monate mit ähnlichen Abweichungen von der Normalperiode (November, Juli, August) und Monate mit starken Unterschieden zwischen den beiden Monatswerten (Dezember bis April) variieren. Deutlich zu kalt im Vergleich zum langjährigen Mittel waren Jänner 2017, Dezember 2017 und vor allem der Februar 2018 (-3,2 °C). Deutlich zu warm gegenüber dem langjährigen Mittel waren Dezember 2016, Februar 2017, März 2017, Juni 2017 und August 2017 und v.a. der April 2018 (+4,3 °C).

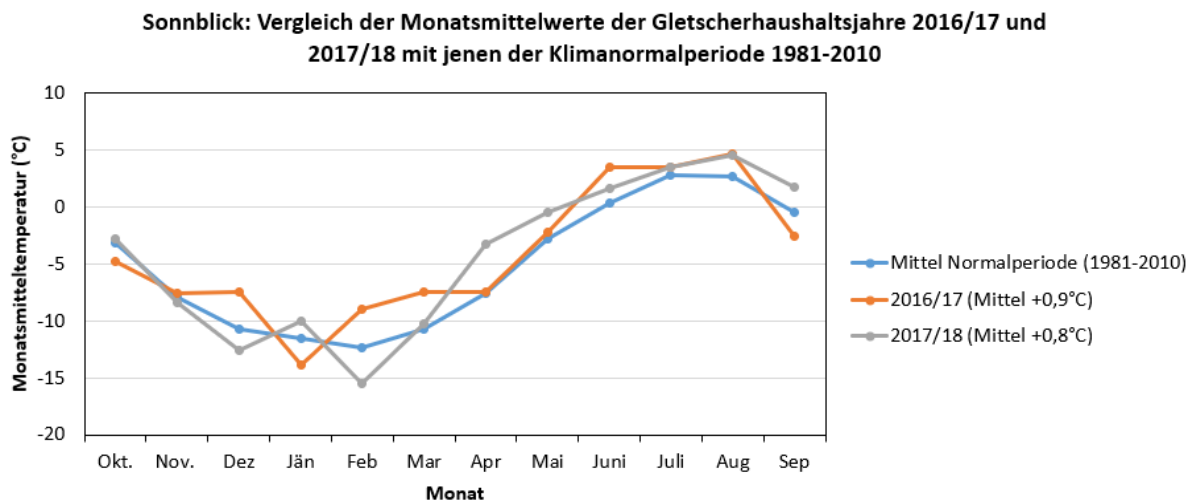


Abbildung 20: Vergleich der Monatsmittelwerte der Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 und 2017/18 mit jenen der Klimanormalperiode 1981-2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).

Tabelle 10: Monatsmittelwerte und Abweichungen der Monatsmittelwerte der Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 und 2017/18 von jenen der Klimanormalperiode 1981-2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).

Monat	Monatsmittelwerte			Abweichung	
	1981-2010	2016/17	2017/18	2016/17	2017/18
Okt.	-3,1	-4,8	-2,8	-1,7	0,3
Nov.	-7,9	-7,6	-8,4	0,3	-0,5
Dez.	-10,7	-7,4	-12,6	3,3	-1,9
Jän.	-11,5	-13,9	-10,0	-2,4	1,5
Feb.	-12,3	-9,0	-15,5	3,3	-3,2
März	-10,7	-7,4	-10,3	3,3	0,4
Apr.	-7,6	-7,4	-3,3	0,2	4,3
Mai	-2,8	-2,2	-0,5	0,6	2,3
Juni	0,3	3,5	1,6	3,2	1,3
Juli	2,8	3,5	3,5	0,7	0,7
Aug.	2,7	4,7	4,5	2	1,8
Sep.	-0,5	-2,5	1,7	-2	2,2
Mittel	-5,1	-4,2	-4,3	0,9	0,8

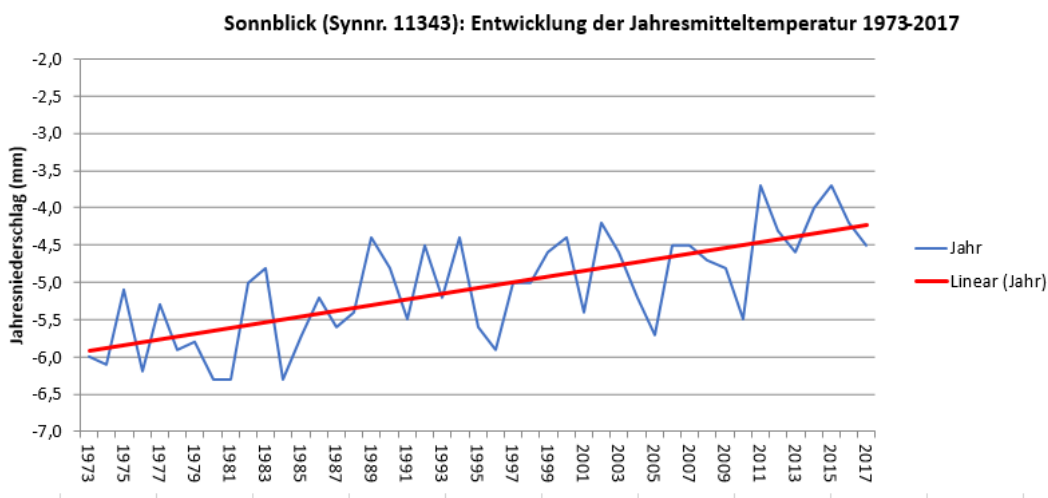
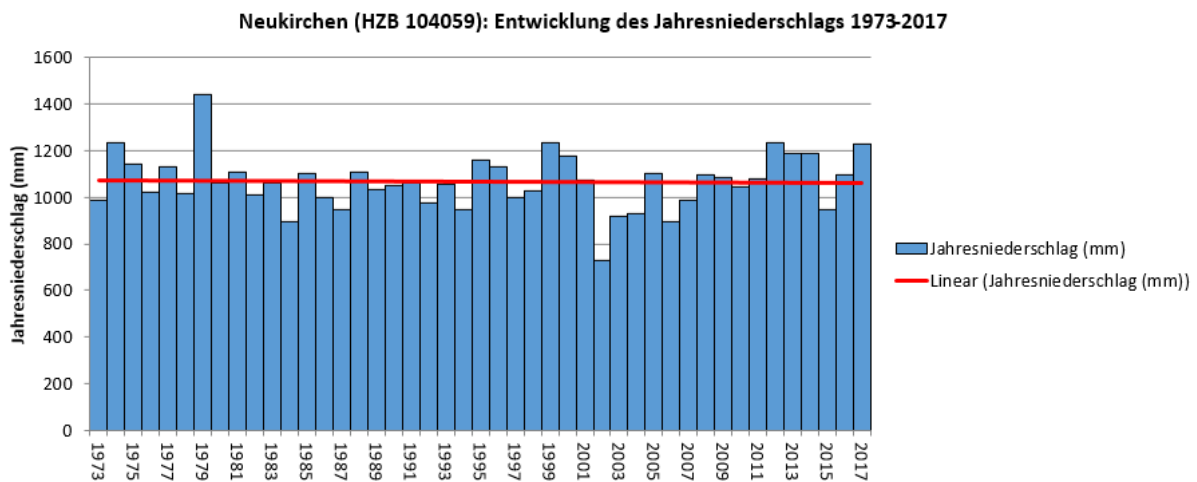


Abbildung 21: Langzeitentwicklung von Niederschlag und Temperatur am Beispiel der Stationen Neukirchen und Sonnblick. Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973 bis 2017 und entsprechende Trends. Niederschlag: keine signifikante Veränderungen erkennbar. Temperatur: klarer Erwärmungstrend.

Für eine Betrachtung der Langzeitentwicklung des Jahresniederschlags wurden die Stationsdaten von Neukirchen verwendet, wo seit 1973 kontinuierlich durch den Hydrographischen Dienst des Landes Salzburg gemessen wird. In der Abbildung 21 sind die Jahressummen (Kalenderjahre) des Niederschlags für den Zeitraum 1973 – 2017 sowie ein linearer Trend dargestellt. Wie die Grafik gut zeigt, ist an dieser Station keine signifikante Änderung der Jahressummen des Niederschlags zu erkennen, jedoch weisen diese eine starke Variabilität auf: Der Mittelwert im 45-jährigen Beobachtungszeitraum liegt bei 1065 mm, das Maximum wurde im Jahr 1979 mit 1440 mm gemessen, während das Minimum (im Jahr 2002) mit 731 mm nur knapp die Hälfte des Maximalwertes betrug.

Zum Vergleich ist in der Abbildung 21 auch die Entwicklung der Jahresmittellufttemperatur an der Station Sonnblick über den selben Zeitraum dargestellt. Ganz deutlich ist hier ein Trend zu erkennen, der jedoch von großen Schwankungen von Jahr zu Jahr gekennzeichnet ist. Dieser Sachverhalt zeigt deutlich auf, dass erst eine langjährige Messreihe aussagekräftige Informationen über Trends liefern kann.

b. Ergebnisse Bereich Abfluss

Die Abflusswerte der drei Pegel Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol), welche die drei im Langzeit-Ökosystem-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern untersuchten Einzugsgebiete hydrologisch begrenzen, wurden für den Zeitraum 1.10.2014 – 30.9.2018 näher betrachtet. Abbildung 22 zeigt die Tagesmittel der

gemessenen Abflüsse an den drei Stationen für den vierjährigen Zeitraum und lässt bei deren Vergleich erkennen, dass sich in den Durchflussmengen an den Pegeln zum einen die Größe der Einzugsgebiete und zum anderen besondere Niederschlagsereignisse widerspiegeln. Insgesamt lassen alle Stationen das typische Abflussgeschehen für Hochgebirgsbäche mit teilweise vergletscherten Einzugsgebieten erkennen. Dies äußert sich in ausgeprägten Winterminima des Abflusses (besonders deutlich ausgeprägt bei den Stationen Neukirchen und Innerschlöss) und ebenso ausgeprägten Sommermaxima, wie dies besonders gut auch in Tabelle 11 zur Geltung kommt. Insgesamt verliefen die hier dargestellten Beobachtungsjahre in Bezug auf die Abflüsse recht unauffällig. Die registrierten Hochwasserspitzen in den beiden letzten Messjahren blieben hinter denen der beiden Vorjahre zurück.

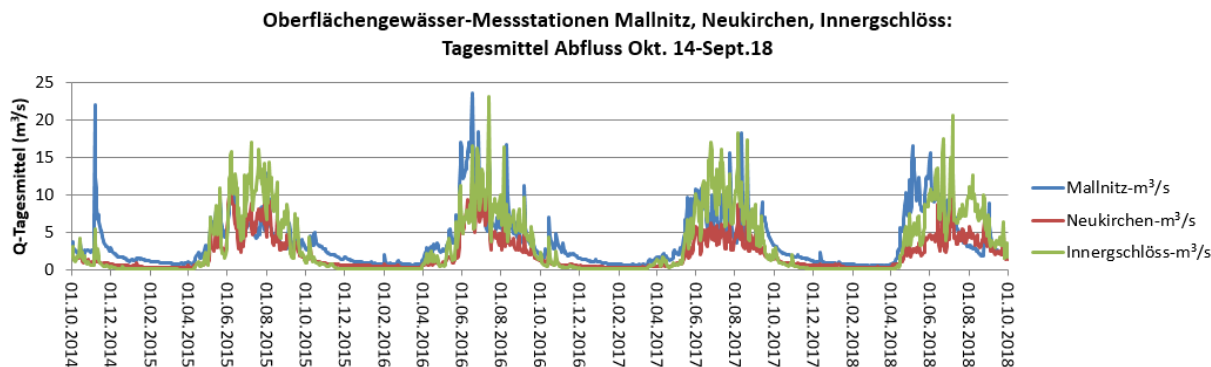


Abbildung 22: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (m³/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30.9. 2018.

Der Mallnitzbach weist wegen der Größe des Einzugsgebietes den höchsten aller Jahres- wie auch zumeist aller Monatswerte – wie in Tabelle 11 ersichtlich – auf. Der höchste Monatswert wurde am Pegel Mallnitz im Juni 2016 gemessen. Der Gschlössbach hatte aber mit dem Wert vom Juli 2015 den höchsten Wert im hydrologischen Jahr 2014/15 an allen drei Pegeln erreicht. Interessant ist der Vergleich der Abflussmengen in den Einzeljahren. In den beiden Einzugsgebieten Mallnitz und Innerschlöss variierte die Summe des Jahresabflusses in den vier Messjahren um nur 13-14 %. Ganz anders war die Situation beim Pegel in Neukirchen, wo der relative Unterschied zwischen dem maximalen und minimalen Jahreswert in den vier Messjahren 29 % beträgt.

Tabelle 11: Jahresmenge des Abflusses an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2018, aufsummiert auf den Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima.

Jahr	Q-Mallnitz (Mio. m ³)			Q-Neukirchen (Mio. m ³)			Q-Innerschlöss (Mio. m ³)		
	Jahres-summe	Q-Max (Monat)	Q-Min (Monat)	Jahres-summe	Q-Max (Monat)	Q-Min (Monat)	Jahres-summe	Q-Max (Monat)	Q-Min (Monat)
2014/15	114,49	20,16 (Juni)	2,38 (März)	77,20	18,51 (Juli)	0,96 (Februar)	110,00	31,42 (Juli)	0,31 (März)
2015/16	129,07	35,76 (Juni)	2,15 (März)	72,10	19,47 (Juni)	0,95 (März)	96,75	26,37 (Juli)	0,40 (Februar)
2016/17	112,44	21,23 (Juni)	1,71 (Februar)	57,70	11,78 (Juni)	0,85 (Februar)	103,40	26,53 (Juni)	0,41 (Februar)
2017/18	113,51	29,49 (Mai)	1,60 (Februar)	64,24	13,43 (Juli)	0,83 (Februar)	106,24	23,82 (Juni)	0,39 (Februar)

Abbildungen 23 – 25 zeigen die Jahresgänge für den Projektzeitraum. Bei der Station Mallnitz (Abb. 23) ist auffällig, dass der Beginn der abflusswirksamen Schneeschmelze im Jahr 2017/18 um rund einen Monat früher einsetzte als im Jahr zuvor. Der winterliche Basisabfluss verhielt sich in den beiden Jahren recht ähnlich. Die sommerlichen Spitzen variieren sehr stark und sind naturgemäß vom jeweiligen Witterungsgeschehen beeinflusst. Auffällig für 2017/18 ist, dass der höchste Tagesmittelwert bereits Anfang Mai – unter Beteiligung der zu dieser Zeit (als Folge der ab April deutlich übernormalen Temperaturen) bereits außerordentlich intensiven Schneeschmelze – verzeichnet wurde. Im Jahr zuvor wurde das Maximum, ausgelöst durch ein abflusswirksames Niederschlagsereignis, erst im August erreicht.

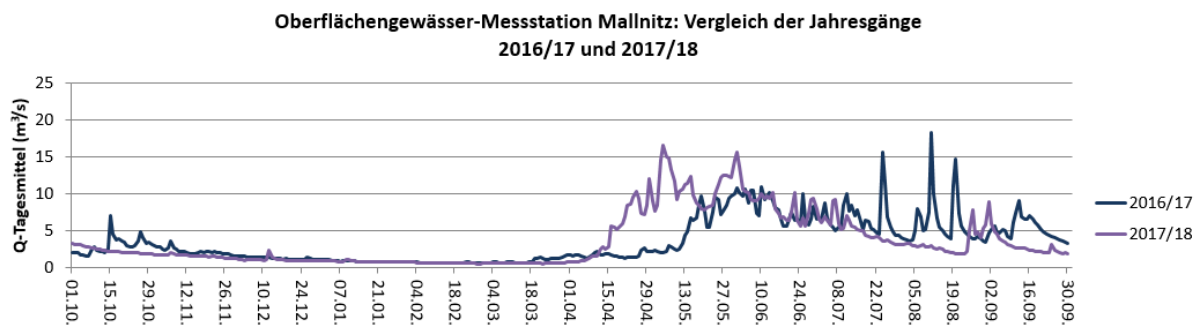


Abbildung 23: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an der HZB-Station Mallnitz (Kärnten).

Bei der Station Neukirchen (Abb. 24) ergibt sich ein recht ähnliches Bild, mit einem ebenfalls rund einmonatigen Unterschied des Einsetzens der Schneeschmelze in den beiden Messjahren. Das Jahresmaximum des Abflusses wurde im Jahr 2017/18 mit einem extrem hohen Wert jedoch erst Anfang Juli erreicht. Im Jahr zuvor wurde der Maximalwert – gleich wie an der Station Mallnitz – ebenso in der zweiten Augushälfte gemessen. Auch hier verhielt sich der winterliche Basisabfluss in den beiden Jahren recht ähnlich und unauffällig.

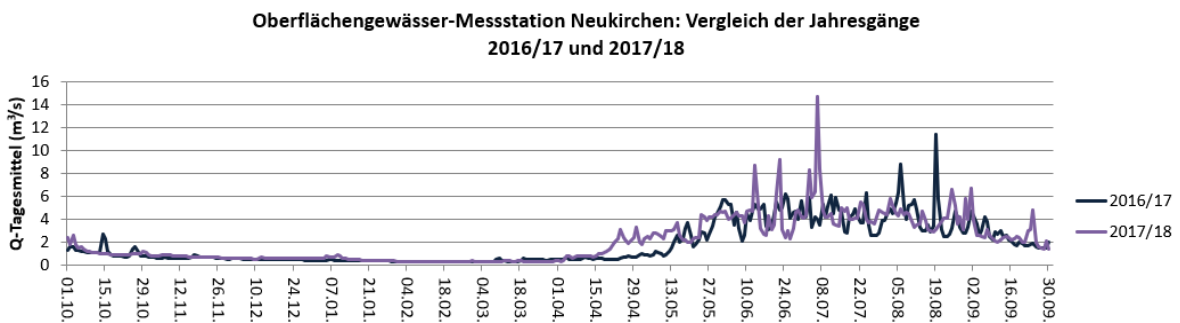


Abbildung 24: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an an der HZB-Station Neukirchen (Salzburg).

An der Station Innerschlöss (Abb. 25) lässt sich das zuvor Gesagte im Prinzip ähnlich wiedergeben. Auch hier wirkte sich im zweiten Beobachtungsjahr die Schneeschmelze einen Monat früher aus. Die Abflussspitzen variieren ähnlich stark und sind durch das lokale Witterungsgeschehen beeinflusst. Das Maximum im Messjahr 2017/18 wurde an diesem Pegel Anfang Juli gemessen, im Jahr zuvor einen Monat später, wobei eine ähnlich hohe Abflussspitze wie im August auch Ende Juni aufgezeichnet wurde.

**Oberflächengewässer-Messtation Innerschlöss: Vergleich der Jahresgänge
2016/17 und 2017/18**

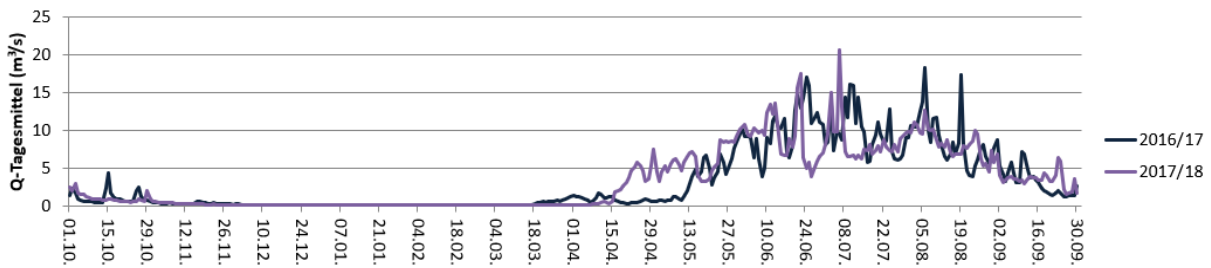


Abbildung 25: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an an der HZB-Station Innerschlöss (Tirol).

**Oberflächengewässer-Messtationen Mallnitz, Neukirchen, Innerschlöss:
Vergleich des Jahresgangs 2017/18**

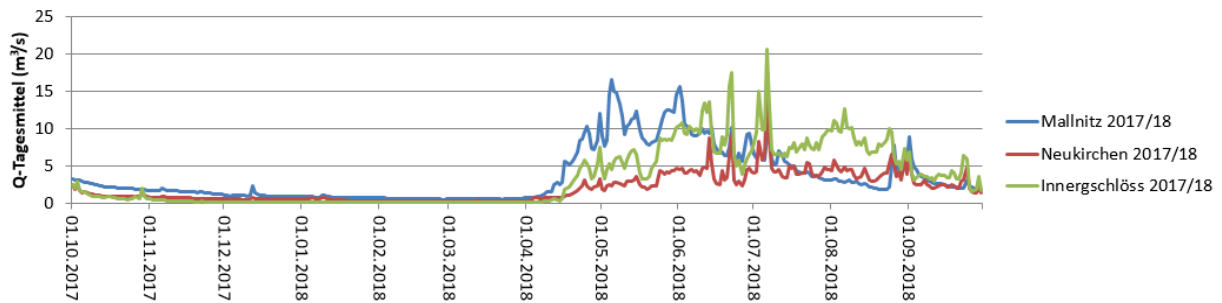


Abbildung 26: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2017 – 30. 9. 2018.

Abbildung 26 stellt die Jahresgänge des letzten Beobachtungsjahres für die drei Standorte dar. Auffällig sind die nahezu gleichförmigen Verläufe (Auslauf des Basisspeichers) bis etwa Mitte April 2018, der relativ schnelle Anstieg der Schüttung an den Pegeln Mallnitz und Innerschlöss sowie im Gegensatz dazu der gedämpfte Anstieg des Abflusses an der Station Neukirchen. Ins Auge stechen auch die starken Unterschiede der Abflüsse an den drei Stationen in den Sommermonaten mit stark unterschiedlichen Abflusstagesmaxima in den unterschiedlichen Gebieten, was auf den kleinräumigen Effekt von Niederschlagsereignissen bzw. –perioden zurückzuführen ist. Am Pegel Mallnitz, der nur in sehr geringem Ausmaß von der Gletscherschmelze beeinflusst wird, kommt auch eine rund einmonatige Trockenperiode mit einer gut ausgeprägten Auslaufkurve zwischen Mitte Juli und Ende August zur Geltung.

Abbildung 27 zeigt die mittleren monatlichen Abflüsse – wiederum für die vier Beobachtungsjahre und für alle drei Stationen – im Zeitraum Okt. 2014 – Sept. 2018. Klar erkennbar sind hier zu einem die alljährlich ähnlichen Bedingungen in den Wintermonaten (vor allem Dez. – Apr.). Zum anderen ist sehr auffällig, dass die Monatssummen in den übrigen Monaten stark von Jahr zu Jahr und von Standort zu Standort variieren, was wiederum auf lokale Effekte – Niederschlag bzw. Schnee-/Eisschmelze – zurückzuführen ist. Beispielsweise fallen im letzten Beobachtungsjahr die relativ hohen Werte für Mallnitz in den Monaten Mai und Juni, gefolgt von geringen Abflussmengen im Juli und August, auf. An der Station Innerschlöss sind hingegen ähnlich hohe Werte für Juni, Juli und August auffällig, während dort die hohen Temperaturen des April und Mai wegen der größeren Seehöhen noch keine so starke Schneeschmelze bewirkten, dass sich ein überdurchschnittlich hoher Abfluss in diesen Monaten hätte einstellen können. Am Pegel Neukirchen schließlich sticht ein einfaches Monatsmaximum im Juli heraus, mit relativ gleichmäßigem Anstieg der Monatssummen davor und Abfall danach.

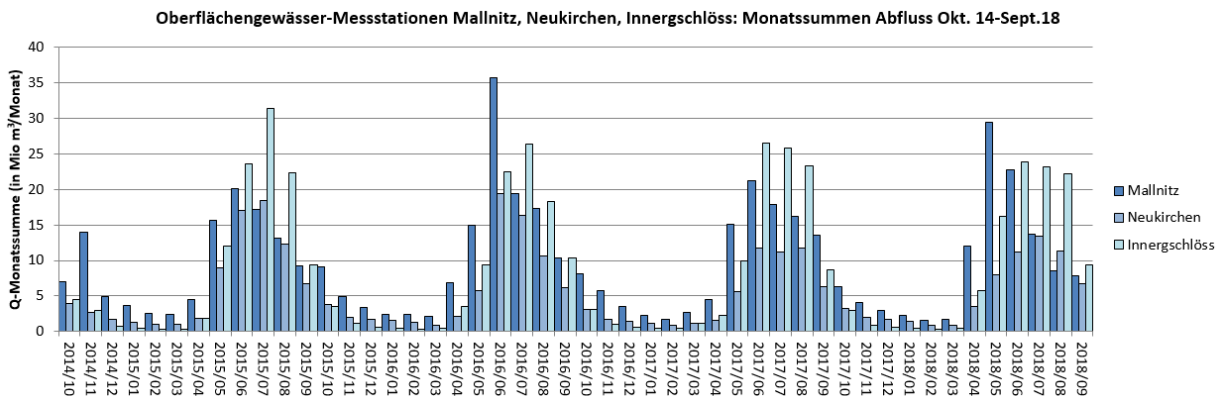


Abbildung 27: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1.10.2014–30.9.2018. Anmerkung: Q = Abflussmenge

Tabelle 12 schließlich beinhaltet die auf mm Wassersäule umgerechneten Abflussmengen pro Jahr, die unmittelbar mit den Niederschlagswerten verglichen werden können, wobei jedoch zu beachten ist, dass nur Stationsdaten der Niederschlagssummen und nicht Gebietsniederschläge vorliegen. Besonders die Werte an den Stationen Neukirchen und Innerschlöss sind stark von einer von den ungünstigen Bedingungen für die Gletscher (siehe die beiden nachfolgenden Abschnitte) verursachten Gletscherspende beeinflusst. In allen Jahren wurde für den Pegel Innerschlöss die bei weitem höchste Abflusshöhe ermittelt.

Tabelle 12: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die vier glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15 – 2017/18 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebietsfläche 85,3 km²), Neukirchen (40,5 km²) und Innerschlöss (39,3 km²).

Jahr	Abflusshöhe (in mm/a) für die Einzugsgebiet oberhalb der Stationen		
	Mallnitz	Neukirchen	Innerschlöss
2014/15	1342	1906	2799
2015/16	1513	1780	2462
2016/17	1318	1425	2631
2017/18	1331	1586	2703

c. Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten – Längenänderung

Wie im Kapitel Methodik und Datengrundlagen dargelegt, erfasst das Monitoring-Programm des Gletschermessdienstes des Alpenvereins 36 Gletscher im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern. Tabelle 13 listet die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen an diesen Gletschern nicht nur für die Projektlaufzeit (2016/17 – 2017/18), sondern für einen siebenjährigen Zeitraum (2011/12 – 2017/18) auf, um die Ergebnisse der letzten beiden glaziologischen Haushaltjahre in einen längeren zeitlichen Kontext zu bringen. Die Ergebnisse, geordnet nach Gebirgsgruppen, zeigen zum einen deutliche Schwankungen von Jahr zu Jahr – was zu erwarten ist –, aber auch von Gebirgsgruppe zu Gebirgsgruppe. So waren beispielsweise die Werte der Längenänderung in der Ankogelgruppe im Messjahr 2017/18 auffallend nieder, wohingegen die Werte in den anderen fünf Gebirgsgruppen als durchaus normal einzustufen sind.

Erwartungsgemäß dominieren in allen sieben Haushaltsjahren Gletscherrückzüge bei Weitem, nur vereinzelt finden sich geringfügige Vorstöße oder stationäres Verhalten (definiert als Längenänderung innerhalb von +/- 1 m). Diese sind jedoch in keinem Fall als aktives Vorrücken der Eisränder aufgrund anhaltend positiver Massenbilanzen zu interpretieren, sondern kommen meist durch besondere topographische Gegebenheiten oder lokal weit in den Sommer hinein liegende Schneebedeckung der Eisränder (wie im Jahr 2018 beim Stubacher Sonnblickkees) zustande. Vielmehr spiegeln die Daten einen dynamisch voranschreitenden Gletscherschwund wider, wobei die einzelnen Maxima (wie etwa 2016/17 am Winkelkees) meist durch Eiszerfallserscheinungen an den Gletscherstirnen verursacht werden.



Zur besseren Vergleichbarkeit der sieben Messjahre zeigt Abbildung 28 die mittlere Längenänderung von 22 Gletschern im Gebiet des Nationalparks Hohe Tauern, von denen für alle 7 Gletscherhaushaltsjahre Daten vorliegen (sodass immer dieselben Gletscher in die Berechnung einfließen und der Vergleich der Jahreswerte uneingeschränkt möglich ist). Klar ersichtlich ist darin, dass in den letzten vier Jahren die höchsten Mittelwerte (17,3 – 19,7 m) im siebenjährigem Beobachtungszeitraum erreicht wurden. Auffallend ist auch, dass im letzten Berichtsjahr der absolut höchste mittlere Rückzugswert ermittelt wurde, was vor allem damit zu begründen ist, dass mehrere Gletscher der Venedigergruppe zufällig zeitgleich besonders hohe Rückzugsbeträge zu verzeichnen hatten.

Tabelle 13: Auflistung der im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2011/12 – 2017/18. Lage siehe Abbildung 1.

Gruppe	Gletscher	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18
Venedigergruppe (n=9)	Untersulzbachkees*	-11,5	-39,3	-14,3	-50	(-41,5)		-53
	Obersulzbachkees	-36	-75,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Krimmlerkees I	-21	0,8	-5	-11,5	(-45,3)		-7
	Umbalkees ¹	-22	-22	-22	-25	-16	-29,3	-24
	Simonykees ¹	-4	-2	-8	-6	-17	0	0
	Zettalunitzkees ¹	-27,3	-16	-2	-30	-51	-54	-16
	Frosnitzkees ¹	-18,3	-18	-8	-30	-36	-49	-29
	Schlatenkees* ¹	-18,3	-16,5	-14,5	-60,3	-50	-70	-67
	Viltragenkees* ¹	-46,5	-29,5	-43	-26,8	-15	-28	-128
Granatspitzgruppe (n=3)	Sonnblickkees ¹	-3,9	-6,4	-5,3	-11,5	-8,8	-1,9	-0,1
	Landeckkees	-6,8	n.d.	n.d.	-18,1	1,1	-14,7	-7,9
	Kaiser Bärenkopfkees ¹	-1,4	2,5	0,9	-5,9	-4,9	-3,6	-3,1
Glocknergruppe (n=12)	Pasterze ¹	-97,3	-41	-53,6	-54,4	-44,3	-61	-31,9
	Wasserfallwinkelkees ¹	-13,1	-2,5	-12,2	-32,6	-39,4	-12,5	-13,9
	Freiwandkees	-5,7	-5,7	sn	-30,3	-7,9	-89,1	-6,9
	Brennkogelkees ¹	-15,5	-1,5	-6,4	-17,4	-7,5	-14,2	-6,4
	Bärenkopfkees	-14,8	-6,3	-6,5	n.d.	-6,5	-13,3	-5,4
	Karlingerkees	-16,4	-2	-6,2	n.d.	-28,2	-9	-10,1
	Schmiedlingerkees ¹	-17,2	-43,9	-14,6	-39,6	-12,1	-11,3	-33,1
	Maurerkees	-11,1	-2,3	-4,1	-6,9	-3,1	(-20,0)	
	Schwarzkarlkees	-10	-2,5	-1,4	-26,7	-14,7	(-45,8)	
	Unteres Rifflkees ¹	-5,2	-5,4	-2,1	-11,2	-2,9	-11,1	-17,2
	Totenkopfkees ¹	-15,1	-1,8	-2,3	-4,5	-0,5	-2,3	-6
	Ödenwinkelkees ¹	-5,1	-6,9	-15,8	-22,1	-17,8	-22,3	-4,7
Schobergruppe (n=3)	Hornkees ¹	-4,8	-3,3	-2,9	-8,6	-7,1	-12,1	-8
	Gössnitzkees ¹	-4,7	-2,1	-2,5	-4,3	-8,2	-8	-27,1
	Roter Knopf-Kees ¹	-0,3	-0,1	-0,1	0,2	-2,2	-1,5	-0,4
Goldberggruppe (n=3)	Kleinfleißkees ¹	-5	0	3	-7	-1,6	-4,5	-4,8
	Östl. Wurtenkees*	-13	-7	0	n.d.	-26	-11,4	-12,9
	Goldbergkees ¹	-12	-7	-3	-8	-10,5	-8,7	-4,4
Ankogel Hochalm- spitzgruppe (n=6)	Winkelkees*	-5,2	n.d.	-19,4	4,5	-0,8	-118,1	sn
	Westl Trippkees	-14,2	n.d.	9	-21,7	-35,4	-49,3	-2,2
	Hochalmkees	-27,4	n.d.	-10,6	-10,1	-7,1	-11,1	-3,3
	Großelendkees		-36,9	-9,3	-3,4	-4	-12,7	-4,9
	Kälberspitzkees ¹	-9,9	-8	-9,3	-10,1	-11,2	-13,7	-4,6
	Kleinelendkees ¹	-6,1	1,8	6,2	-6,2	-17,1	-9,1	-4,4

Anmerkung: Angaben in Klammern sind in den Originalquellen als Zweijahreswerte deklariert. Werte, die auf Jahre mit n.d. folgen, sind in der Regel ebenfalls Mehrjahreswerte. Datenbasis sind die publizierten Jahresberichte des ÖAV, die jährlich im Heft 2 der Zeitschrift „Bergauf“ erscheinen; n.d. = keine Daten. s.n. = unter Schnee. Die in den drei untersuchten Einzugsgebieten gelegenen Gletscher sind mit * markiert. Das östliche Wurtenkees liegt nicht innerhalb des Nationalparkgebietes. Gletscher, die mit ¹ markiert sind (n=22), wurden zur Mittelwertbildung berücksichtigt.

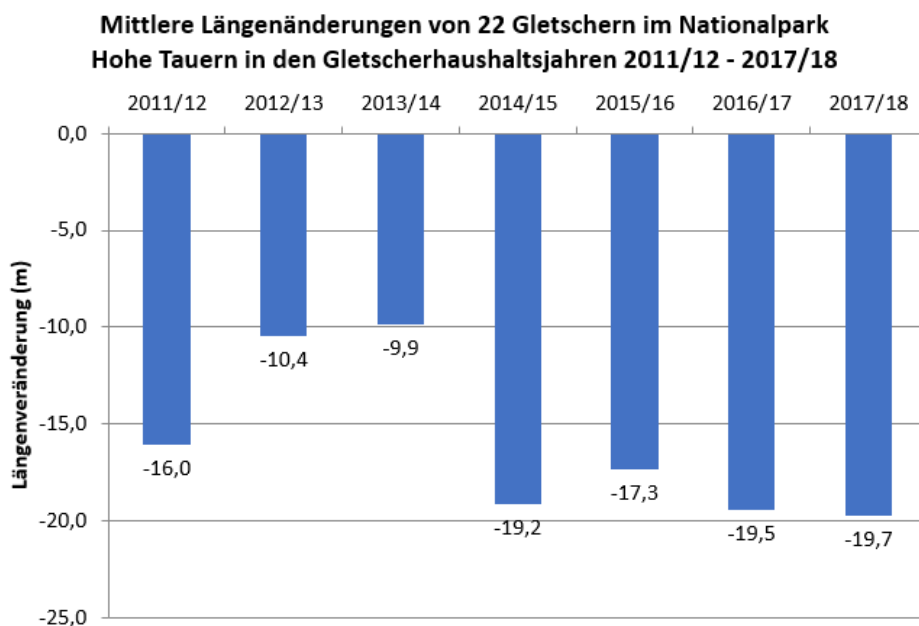


Abbildung 28: Mittlere Längenänderungen an 22 Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern, von denen für die gesamte Periode 2011/12 – 2017/18 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 13).

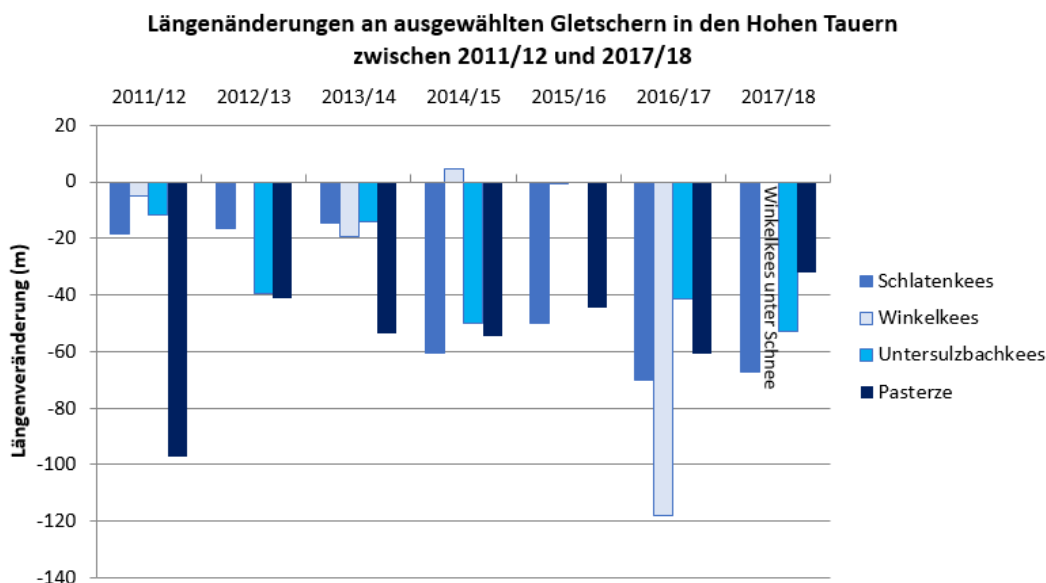


Abbildung 29: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlatenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12 – 2017/18.

Auf der räumlichen Ebene der drei Flusseinzugsgebiete und damit von besonderer Relevanz für das Langzeit-Ökosystem-Monitoring im Nationalpark zeigt die Abbildung 29 die Längenänderungen der drei Gletscher Winkelkees (Seebachtal), Untersulzbachkees (Untersulzbachtal) und Schlatenkees (Innerschlöss). Im Vergleich dazu ist auch die Pasterze in der Glocknergruppe, immer noch der größte Gletscher Österreichs, für die sieben Gletscherhaushaltsjahre 2011/12 – 2017/18 dargestellt. Diese Grafik zeigt das zum Teil sehr unterschiedliche Verhalten der vier Gletscher in den einzelnen Jahren. Besonders stechen die extremen Rückzugswerte der Pasterze im Jahr 2011/12 (mit fast 100 m) und der



Extremwert vom Winkelkees im Jahr 2016/17 mit -118,1 m hervor. Demgegenüber lag im Messjahr 2017/18 der Stirnbereich des Winkelkeeses am 30. 8. 2018 unter Schnee.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die Gletscher im Nationalpark sich stetig in höhere Lagen zurückziehen, dieser Rückzug jedoch starken jährlichen Schwankungen unterworfen ist.

d. Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten – Massenbilanz

Die in Tabelle 14 wiedergegebenen Ergebnisse der spezifischen Massenbilanz-Bestimmungen und deren Visualisierung in Abbildung 30 bestätigen klar die schon im letzten Abschnitt dokumentierten langfristig vorherrschenden gletscherungünstigen Bedingungen. Mit Ausnahme des Haushaltsjahres 2013/14 waren nahezu an allen Gletschern ausschließlich hochnegative Massenbilanzen zu verzeichnen. Eine Ausnahme bildet nur das Stubacher Sonnblickkees, welches im 7-jährigen Beobachtungszeitraum sogar zwei positive Bilanzjahre aufwies.

Tabelle 14: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich der Hohe Tauern für die sieben Gletscherhaushaltsjahre 2011/12 – 2017/18 in mm Wasseräquivalent. Das Wurtenkees liegt nicht innerhalb des Nationalparkgebietes.

Gletscher	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Goldbergkees	-1563	-530	69	-1873	-860	-1806	-1697
Kleinfleißkees	-1220	-195	499	-1376	-432	-1791	-1377
Pasterze	-1298	-600	-509	-1434	-1163	-1593	-1400
Stubacher Sonnblickkees	-1369	60	274	-2734	-828	-1850	-1500
Venedigerkees	-1191	-368	-152	-1567	-467	-659	-1046
Wurtenkees	-1625	-666	-380	-1275	-1250	-1706	-1958
Zettalunitz/Mullwitzkees	-1276	-218	117	-1599	-858	-1340	-1239

In der Abbildung 30 wird – ähnlich wie Abbildung 29 – wiederum klar ersichtlich, dass die Unterschiede in den Einzeljahren zwischen den Gletschern sehr stark sein können. Auffallend ist aber, dass an vier der sieben Gletscher die größte negative spezifische Massenbilanz im Gletscherhaushaltsjahr 2014/15 erzielt wurde (Goldbergkees, Stubacher Sonnblickkees, Venedigerkees und Zettalunitz/Mullwitzkees). An zwei Gletschern wurde im Jahr 2016/17 der größte Massenverlust ermittelt (Pasterze, Kleinfleißkees). Am Wurtenkees, dem östlichsten Gletscher mit Massenbilanzbestimmung, war das letzte Beobachtungsjahr das negativste. Diese Ergebnisse zeigen somit einmal mehr, dass regionale Gegebenheiten die Extremwerte – in diesem Fall des Massenverlustes – stark beeinflussen, die Gesamtrendenz einer in höchstem Maße gletscherungünstigen Witterungs- und Klimaentwicklung davon aber unberührt bleibt.

Wichtig erscheint an dieser Stelle aber auch der Hinweis, dass keiner der Gletscher von Tabelle 14 in einem der durch das Langzeit-Ökosystem-Monitoring erfassten Einzugsgebiete liegt. Für diese liegen also nur die Informationen aus den Längenänderungsmessungen vor.

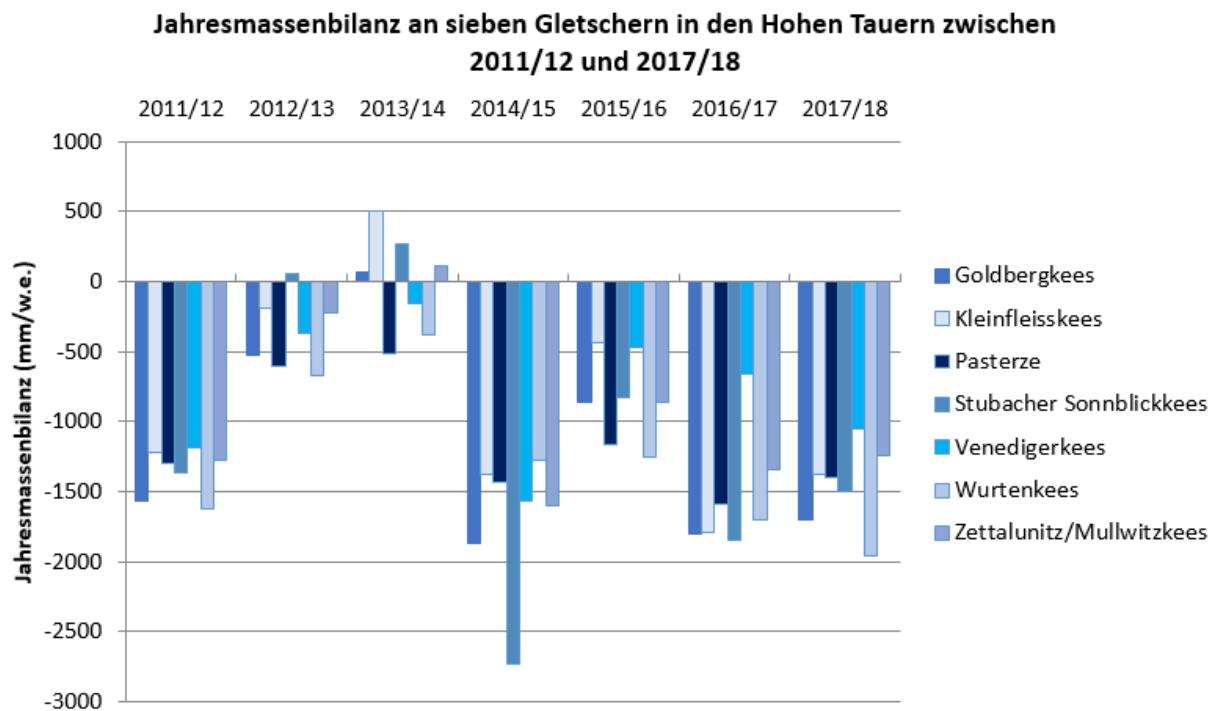


Abbildung 30: Spezifische Jahresmassenbilanz an sieben Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2011/12 und 2017/18. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.

e. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Dieses Messnetz wird durch die Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, betreut. Die an den Standorten ermittelten Jahresmitteltemperaturen für die fünf Messjahre 2013/14 – 2017/18 sind in Abbildung 31, aufgeteilt auf die vier Teilgebiete, dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass als Messjahr die Periode 1. 8. bis 31. 7. des Folgejahres definiert ist, was damit zu begründen ist, dass entweder im August oder im September die einzelnen Messstandorte aufgesucht und gewartet werden und folglich die aktuellsten Jahresdatenreihen häufig Ende Juli enden. Standorte, die mit ND (= no data) gekennzeichnet sind, weisen Datenlücken auf, die keine Ermittlung von entsprechenden Mittelwerten zuließen. Alle vier Teildiagramme sind auf der Ordinate gleich skaliert, um sie besser vergleichbar zu machen.

Wie diesen Graphiken zu entnehmen ist, liegen die Jahresmitteltemperaturen vieler Standorte nahe dem Gefrierpunkt, was bedeutet, dass saisonaler Frost und häufige Frostwechsel die potentielle physikalische Verwitterung des Gesteins fördern. Abbildung 31 zeigt auch, dass die höchsten und tiefsten Jahresmitteltemperaturen vielfach auf unterschiedliche Jahre fallen. Dies belegt die für die Beurteilung von Veränderungen im Permafrost sowie im saisonalen Frost wichtige Tatsache, dass die Lufttemperatur nur wenig mit den Temperaturen im Untergrund korreliert, sondern diese stark von anderen lokalen Faktoren beeinflusst wird. Hierbei hat die saisonale Schneedecke und ihre Veränderung sowohl über das Jahr als auch zwischen mehreren Jahren die größte Bedeutung.

Die Graphiken zeigen weiters, dass im Messjahr 2016/17 an den meisten Standorten die tiefsten Jahresmittelwerte gemessen wurden, im Gebiet Fallbichl-Schareck war dies etwa an zwei von drei Standorten der Fall. Beachtenswert ist auch die Tatsache, dass die Jahresmittelwerte in den Gebieten Fallbichl-Schareck und Pasterze-Burgstall jeweils um weniger als 1 °C schwankten. Ganz anders verhält es sich in den beiden anderen Gebieten, wo z. T. Unterschiede in den Jahresmittelwerten von über 2 °C (Maximum am Standort DOV-UP-N mit 2,3 °C) in den fünf Jahren zu verzeichnen waren. Dies unterstreicht einmal mehr die Wichtigkeit von längeren Datenreihen bei der Erfassung der Auswirkungen des Klimawandels auf kryosphärische Phänomene im Hochgebirge.

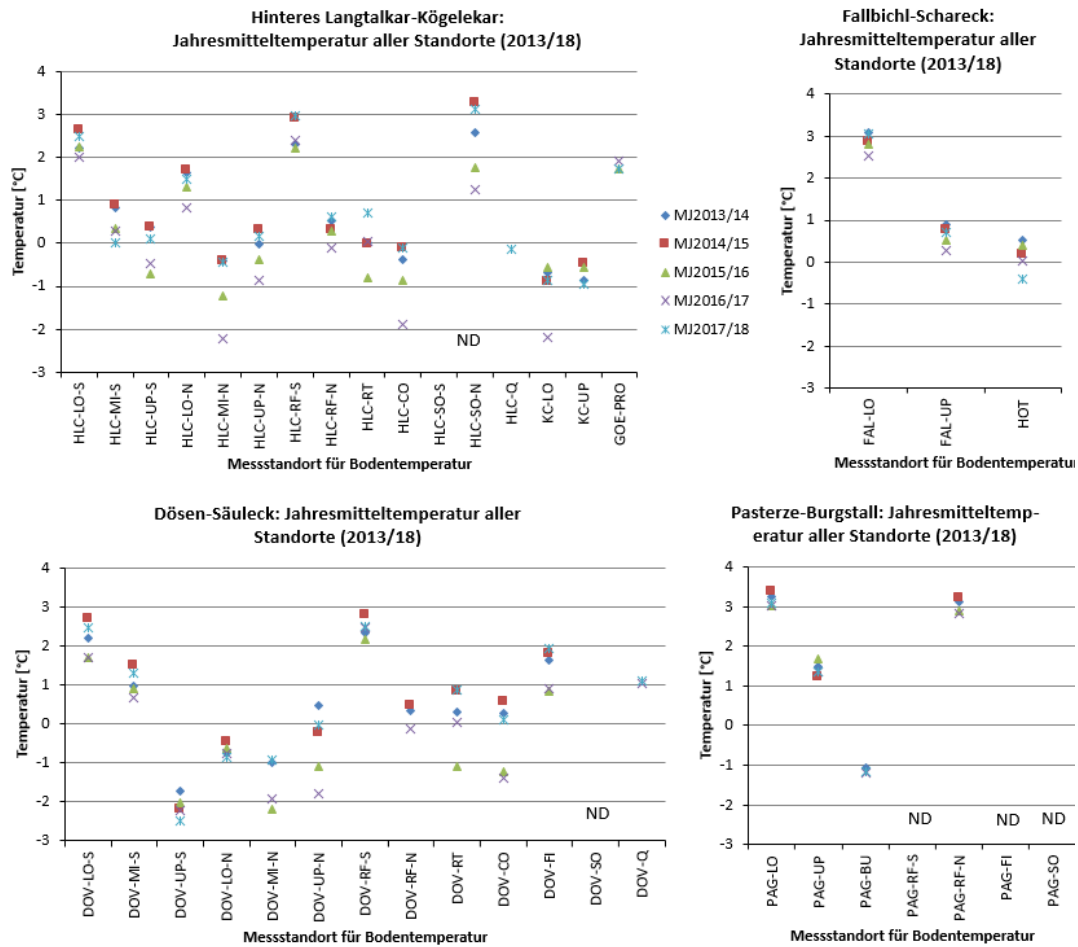


Abbildung 31: Jahresmitteltemperatur an/nah der Bodenoberfläche (Zeitraum 1.8. bis 31.7. des Folgejahres) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für die fünf Messjahre (MJ) 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18. Nur Messjahre mit lückenlosen Datenreihen sind dargestellt. Standorte, die 2017 oder 2018 aufgelassen wurden (siehe Text), sind mit ND (no data) gekennzeichnet.

In der Abbildung 32 werden auch die Jahresmittelwerte aller Standorte mit entsprechend vorhandenen Datenreihen einander gegenübergestellt. Die Darstellungsweise in diesen Grafiken ist so gewählt, dass Datenpunkte, die oberhalb der strichlierten Linie liegen, Standorte zeigen, an denen die Jahresmitteltemperatur im Messjahr 2017/18 höher als im jeweiligen Vergleichsjahr war. Wie dieser Abbildung zu entnehmen ist, waren die thermischen Bedingungen in den Messjahren 2013/14, 2014/15 und 2017/18 einander sehr ähnlich, während in den beiden Messjahren 2015/16 und 2016/17 an den meisten Standorten deutlich tiefere Bodentemperaturen registriert wurden.

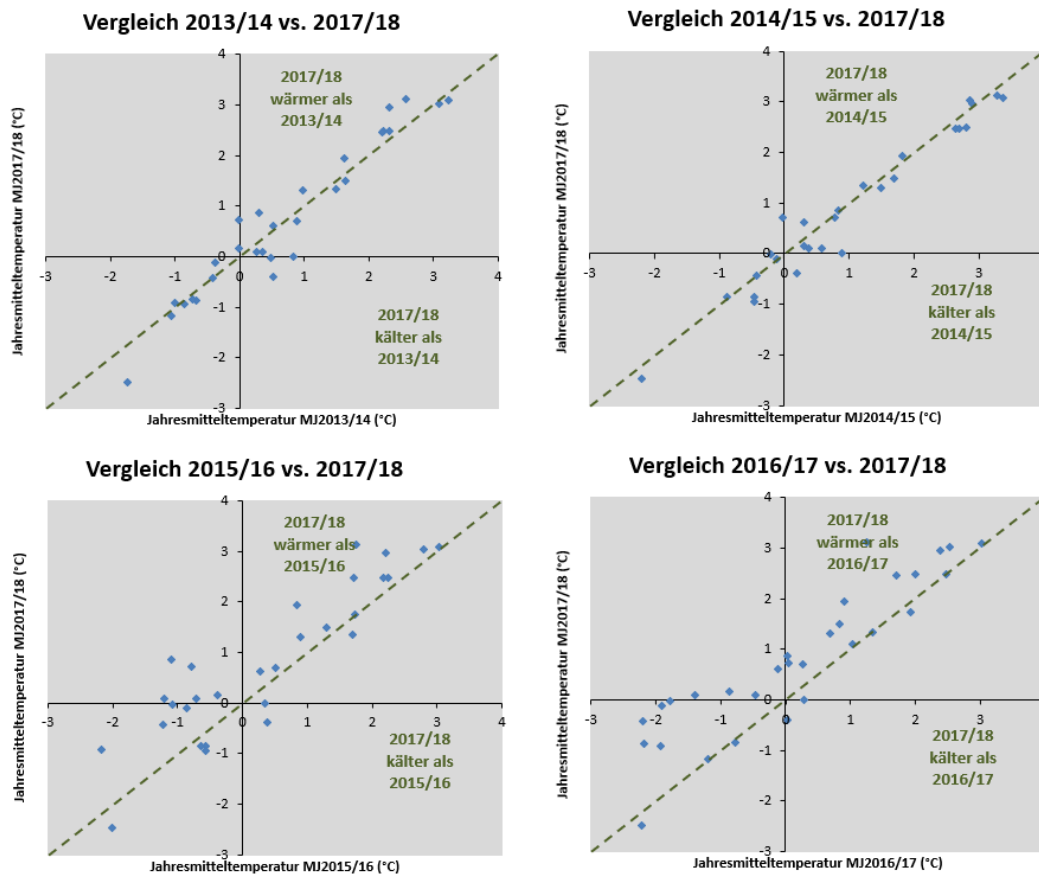


Abbildung 32: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2013/14, 2014/15, 2015/16 und 2016/17 mit jenen von 2017/18 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten.

Abbildung 33 zeigt die Tagesmitteltemperaturen der vier in Tabelle 7 grau hinterlegten Standorte (einer pro Untersuchungsgebiet) im Zeitraum 1. 8. 2013–31. 7. 2018 (fünf Messjahre). Zu den einzelnen Graphiken sind folgende wesentliche Punkte anzumerken:

- (1) Im Jahresgang am ausgewählten Standort im Hinteren Langtalar-Kögelekar (HLC-UP-N) ist klar zu erkennen, dass sich eine winterliche Schneedecke in allen fünf Winter dämpfend auf Schwankungen der Bodentemperatur auswirkte, wobei diese dämpfende Wirkung 2015/16 und 2016/17 deutlich geringer ausfiel und daher tiefere Temperaturen bei gleichzeitig höherer Schwankung gemessen wurden.
- (2) Im Jahresgang am ausgewählten Standort im Bereich Fallbichl-Hochtor (FAL-UP) sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Messjahren sehr markant. Während der erste (2013/14) und der letzte Winter (2017/18) sich durch die starke Dämpfung der Temperaturgänge als relativ schneereich zu erkennen geben, waren die drei anderen Winter deutlich schneeärmer. Dies äußert sich in einem zur Lufttemperatur weitgehend parallelen Verlauf der Bodentemperatur-Kurve. Die bei weitem tiefsten Tagesmitteltemperaturen wurden im Winter 2016/17 erreicht.
- (3) Am ausgewählten Standort im Untersuchungsgebiet Dösen-Säuleck (DOV-UP-S) ist in keinem der fünf Messjahre eine wesentliche Dämpfung der Lufttemperatur durch eine Schneedecke zu erkennen. Die Bodenoberflächentemperatur zeigt deutliche Schwankungen über den gesamten Messzeitraum mit einem Minimum von -19,0 °C im Winter 2016/17 und einem Maximum von 15,4 °C im Sommer 2016.
- (4) Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse am letzten hier gezeigten Standort vom Untersuchungsgebiet Pasterze-Burgstall (PAG-UP). Auch hier kam es in keinem der fünf Jahre zur Ausbildung einer Schneedecke, welche eine vollständige Entkoppelung der Luft- von der Bodentemperatur hätte bewirken können. Die Folge sind erneut hohe Temperaturschwankungen über den gesamten Messzeitraum, worin die Minima bei jeweils rund -15 °C lagen.

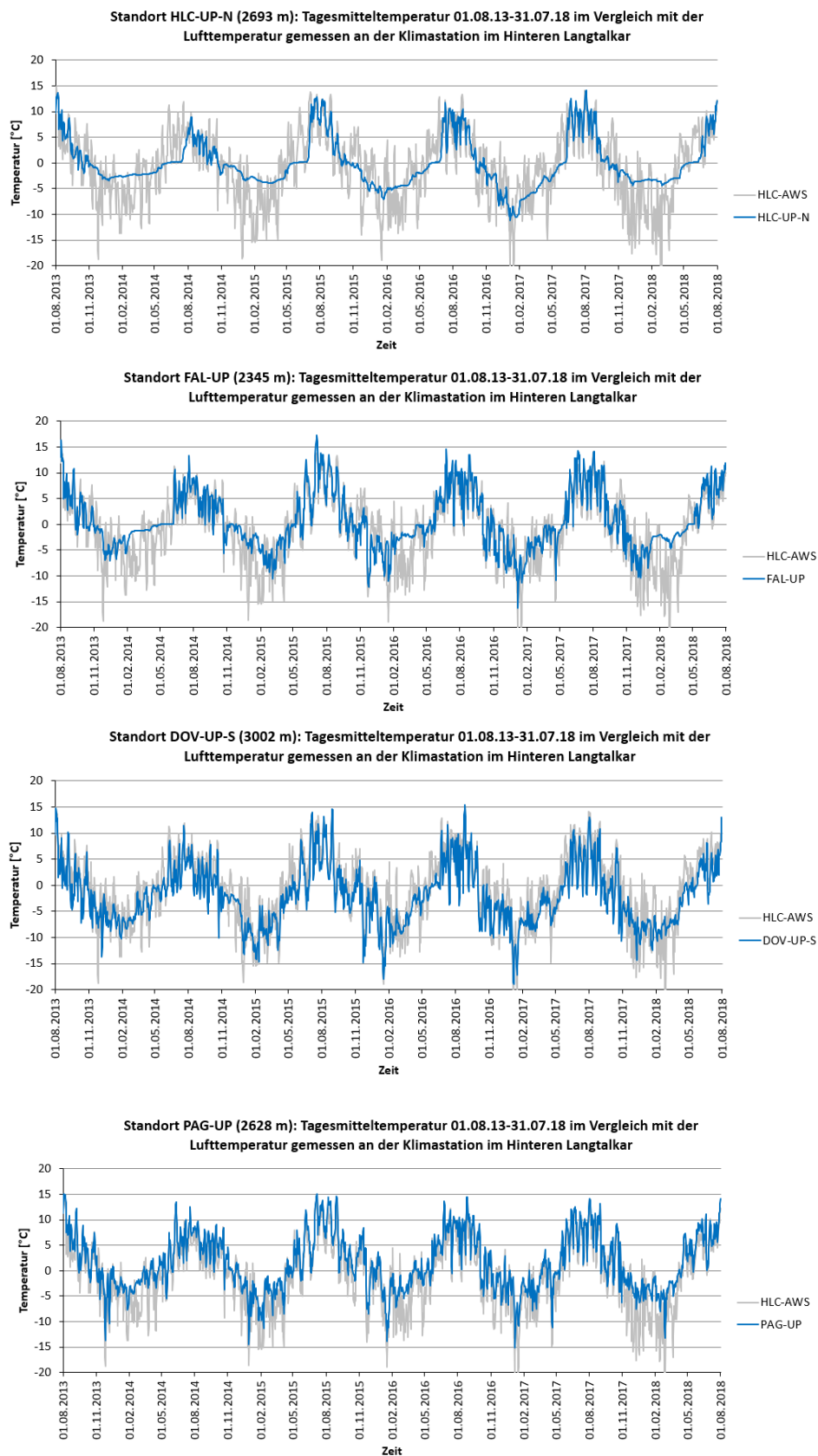


Abbildung 33: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für den Zeitraum 1. 8. 2013 bis 31. 7. 2018 sowie deren Vergleich zur Lufttemperatur am Standort HLC-AWS.



Insgesamt repräsentieren die in Abbildung 33 dargestellten Temperaturkurven gut das Spektrum von Bodentemperatur-Messstandorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten von solchen mit dämpfender winterlicher Schneedecke in allen (auch in schneearmen) Jahren bis zu solchen, an denen selbst in schneereichen Wintern eine länger anhaltende Schneedecke fehlt.

Die Abbildung 34 veranschaulicht die langjährige Entwicklung der Temperatur an denselben vier ausgewählten Standorten wie in Abbildung 33. Zu diesem Zweck sind die Jahresmittel der Bodentemperaturen aller einzelnen Jahre seit Installierung des jeweiligen Messstandortes eingetragen. Da die Einrichtung des Messnetzes erst im August oder September 2006 erfolgte, gibt es für keinen Standort Jahresmitteltemperaturen für das erste Messjahr 2006/07 (da ja das Messjahr mit 1. 8.–31. 7. des Folgejahres definiert ist). Alle nachfolgend als „Trends“ geschilderten Entwicklungen sind statistisch nur zum Teil signifikant, was die Sinnhaftigkeit der Fortführung dieser Zeitreihen unterstreicht. Zu den vier Graphiken ist Folgendes anzumerken:

(1) Der Standort HLC-UP-N (Hinteres Langtalkar-Kögelekar) lässt über die Jahre einen Erwärmungstrend erkennen, obwohl die Werte nur um ca. 1 °C schwanken. Deutliche „Ausreißer“ in dieser Entwicklung sind aber die Messjahre 2015/16 und insbesondere 2016/17, in welchem der tiefste Wert in der 10-jährigen Messreihe registriert wurde.

(2) Der Standort FAL-UP (Fallbichl-Schareck) lässt demgegenüber einen schwach negativen Trend erkennen; die Werte schwanken um 1,1 °C und werden offensichtlich besonders stark von wechselnden Schneeverhältnissen beeinflusst (wie schon in Zusammenhang mit Abbildung 33 erläutert).

(3) Am Standort DOV-UP-S (Dösen-Säuleck) bleibt die Temperatur in allen Jahren deutlich unter 0 °C und somit im permafrosttypischen Bereich. Die Schwankungsbreite von 1,7 °C ist jedoch größer als bei den anderen Standorten. Der Erwärmungstrend an diesem Standort ist deutlicher – und statistisch signifikant – als der am Standort HLC-UP-N.

(4) Ähnlich verhält es sich am allgemein schneearmen Standort PAG-UP (Pasterze-Burgstall). Die Jahresmitteltemperatur bleibt immer deutlich über 0 °C und weist Schwankungen von 1,2 °C auf, wobei der Trend der Jahresmitteltemperatur jenem des Standortes DOV-UP-S ähnelt und ebenso signifikant ist.

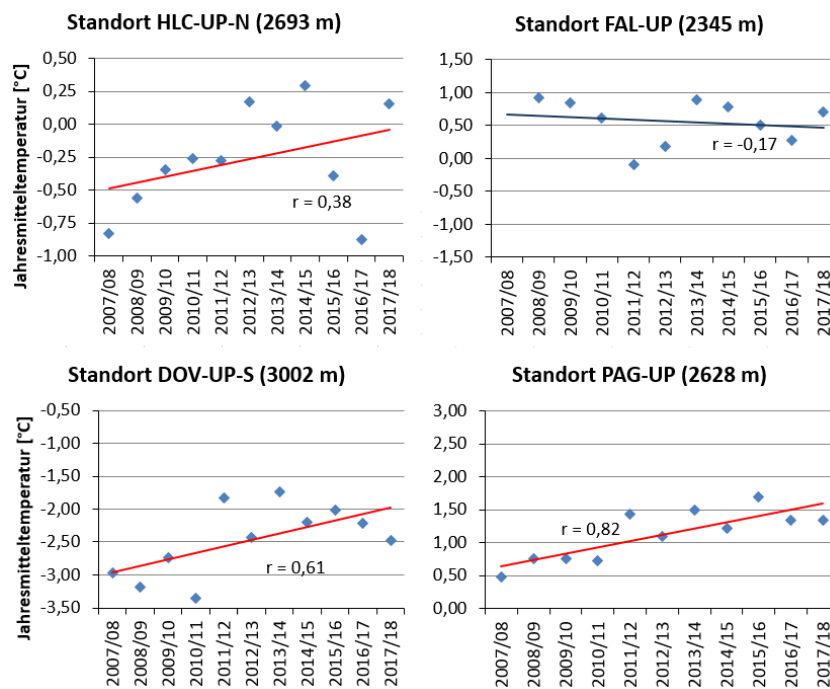


Abbildung 34: Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten für den Zeitraum 1. 8.–31. 7. des Folgejahres für die Messjahre von 2007/2008 bis 2017/18. Lineare Trends sowie entsprechende Korrelationskoeffizienten sind dargestellt. Jene für DOV-UP-S und PAG-UP sind auch statistisch signifikant.

f. Ergebnisse Bereich Permafrost – Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Von den drei auf dem Sonnblick befindlichen Bohrlöchern besitzt das Bohrloch 3 die geschlossenste Datenreihe, weshalb Messergebnisse von diesem in Abbildung 35 gezeigt werden. Zum Vergleich mit den atmosphärischen Bedingungen wurden auch die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur, gemessen am Sonnblick, in dem Diagramm dargestellt. Klar erkennbar ist die weitgehende Koppelung der Luft- und Bodentemperatur nahe der Oberfläche in den Sommermonaten ohne Schneedecke. Ein früher Aufbau der winterlichen Schneedecke führt bereits im Laufe des Septembers zu einer beginnenden Entkoppelung der Luft- von der Bodentemperatur. Der Hochwinter ist gekennzeichnet von einer gedämpften Reaktion der Boden- auf die Lufttemperatur, was auf eine generell dünne saisonale Schneedecke hinweist.

Der Vergleich der Bodentemperatur in den unterschiedlichen Tiefen zeigt Folgendes: Zu beachten ist neben der regelhaften Abnahme der Temperaturschwankungen mit der Tiefe, das im Beobachtungszeitraum 2016/17 gegenüber dem Vor- und dem Folgejahr deutlich tiefere Temperaturniveau in den Wintermonaten (bis $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Deutlich ist erkennbar, dass dies eine Folge der ab Ende Oktober dynamischen Auskühlung des Untergrundes aufgrund geringer Schneelage ist. Der Jahresgang der Temperatur wird naturgemäß nach unten, in den Untergrund hinein, immer mehr gedämpft. Beträgt beispielsweise der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefen Tagesmittelwert an der Oberfläche $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, so liegt dieser in einer Tiefe von 4 m nur mehr bei $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ und in 12 m Tiefe bei $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

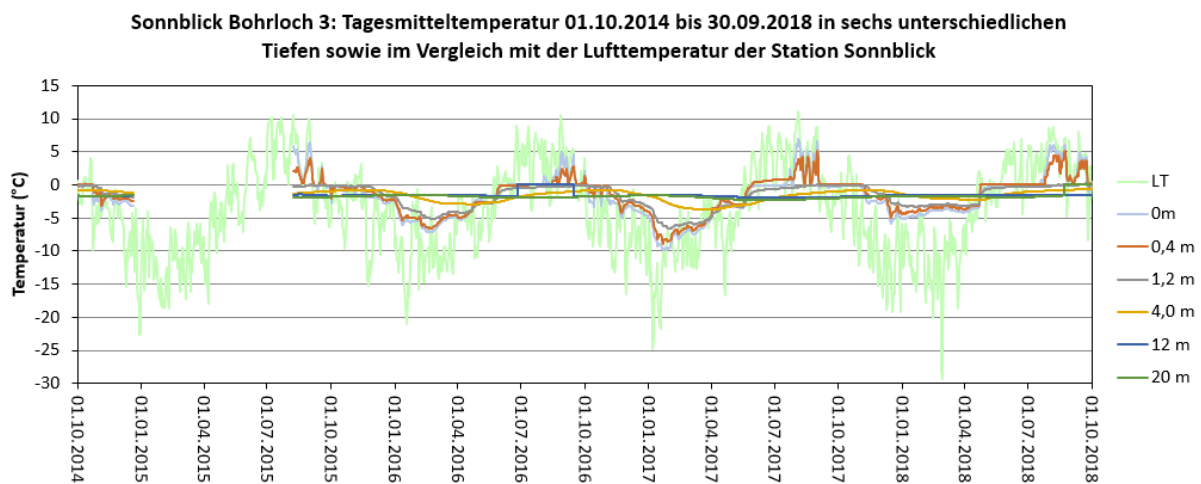


Abbildung 35: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2018 in sechs unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (LT) an der TAWES-Station Sonnblick. Zwischen 21. 12. 2014 und 7. 8. 2015 wurden bedingt durch technische Probleme keine Daten aufgezeichnet (Daten: ZAMG Kundenservice Salzburg und Oberösterreich; Kontaktperson: Claudia Riedl, claudia.riedl@zamg.ac.at)

Der Vergleich der Bodentemperatur an der Oberfläche, in den unterschiedlichen Tiefen sowie der Lufttemperatur an der nahen Klimastation am Hohen Sonnblick für die beiden Kalenderjahr 2016 und 2017 in Abbildung 36 zeigt, dass sowohl die Lufttemperatur, als auch die Bodentemperatur in unterschiedlichen Tiefen nahezu überall im Jahr 2017 kühler war als im Jahr 2016. Einzige Ausnahme war der Sensor in 1,2 m Tiefe, wo das erste der beiden Kalenderjahre um $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ kühler war.

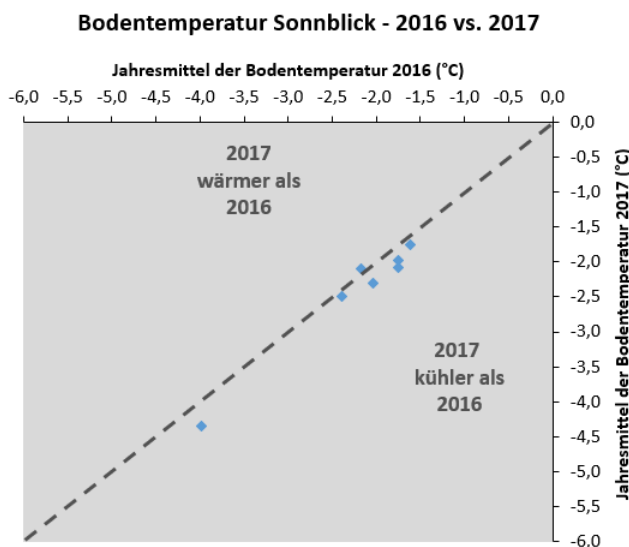


Abbildung 36: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2016 und 2017 für alle sechs Tiefen im Bohrloch 3 am Hohen Sonnblick. Zum Vergleich ist auch die Lufttemperatur (der Extremwert links unten in der Grafik) für die beiden Kalenderjahre dargestellt.

g. Ergebnisse Bereich Permafrost – Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Wie im Kapitel Methodik und Datengrundlagen erläutert, wird für die Darstellung der Bewegungsraten in kriechendem Permafrost (Blockgletscher) auf die von den Mitarbeitern des „Grazer-Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ erstellten Berichte zu diesem Thema im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten (Kellerer-Pirklbauer et al. 2018, 2019) zurückgegriffen. Für die beiden vom Monitoring erfassten Blockgletscher können folgende Aussagen getätigt werden.

Dösener Blockgletscher

Die Bewegungsmessungen am Dösener Blockgletscher beziehen sich auf ein geodätisches Datum, das durch 12 markierte, stabile Punkte im Nahbereich des Blockgletschers definiert ist. Im Jahr 2014 erfolgte die Umstellung der geodätischen Messung von der konventionellen Messung mittels Totalstation auf RTK-GNSS-Technologie. Im Rahmen der alljährlichen Vermessung werden ab 2014 nur mehr die Bewegungsraten der 34 am Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte bestimmt. Lage dieser Punkte siehe Abbildung 37. Tabelle 15 fasst die zeitliche Änderung des Fließverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittel- und Maximalwerten der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) für den Zeitraum 2012/13–2017/18 zusammen.

Tabelle 15: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2012/13–2017/18. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden jeweils im Punkt 15 festgestellt.

Werte (in cm/Jahr)	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Mittelwert	37,0	44,0	53,6	52,0	43,2	38,0
Maximalwert (Punkt)	44,9 (15)	52,2 (15)	65,9 (15)	64,7 (15)	53,1 (15)	46,4 (15)



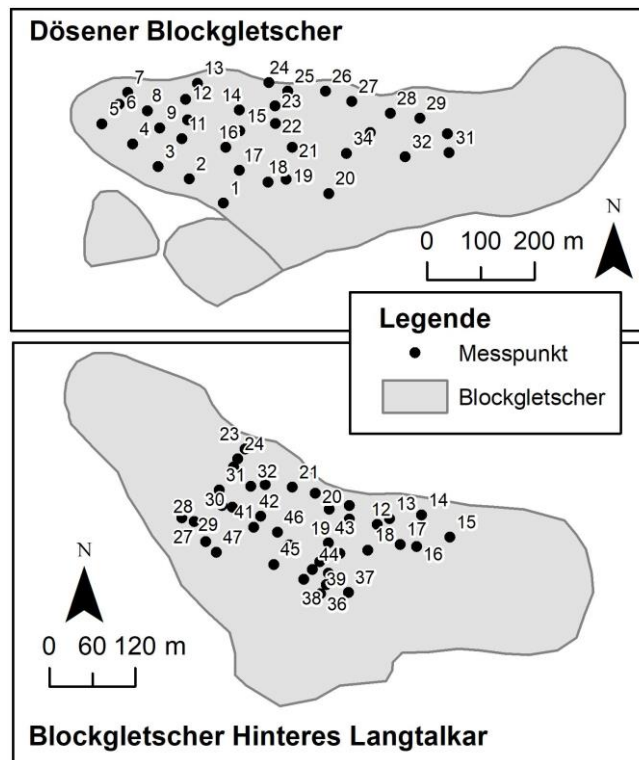


Abbildung 37: Übersichtskarten der Messpunkte zur Bestimmung der Bewegungsraten am Döener Blockgletscher (oben) sowie am Blockgletscher Hinteres Langtalkar (unten). Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Blockgletscher=Kellerer-Pirklbauer et al. (2012), Positionen der Messpunkte=Viktor Kaufmann, TU-Graz.

Blockgletscher Hinteres Langtalkar

Am Blockgletscher im Hinteren Langtalkar erfolgte ebenfalls im Jahr 2014 die oben angesprochene Umstellung von der traditionellen Vermessung auf die moderne Satellitenpositionierung. Das geodätische Datum an diesem Blockgletscher ist durch insgesamt 15 Festpunkte definiert. Für die Charakterisierung der zeitlichen Änderung des Fließverhaltens des Blockgletschers Hinteres Langtalkar wurden für zwei ausgewählte Punktgruppen A (oberer Bereich) und B (unterer Bereich) die Mittel- und Maximalwerte der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) in Tabelle 16 für den Zeitraum 2012/13–2017/18 zusammengestellt. Lage dieser Punkte siehe Abbildung 37.

Tabelle 16: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2012/13–2017/18 für zwei ausgewählte Punktgruppen A (oberer Bereich) und B (unterer Bereich). Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten aller Punkte der jeweiligen Punktgruppe gerechnet. Die Maximalwerte beziehen sich auf die jeweiligen Punktgruppen.

Punktgruppe A (Punkte 10-17, 37)

Wert (in cm/Jahr)	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Mittelwert	17,7	20,4	28,9	27,3	19,4	16,3
Maximalwert (Punkt)	21,0 (11)	25,9 (11)	33,2 (11)	32,6 (11)	22,3 (11)	20,6 (11)

Punktgruppe B (Punkte 23-25, 27-31)

Wert (in m/Jahr)	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Mittelwert	3,53	4,52	6,00	6,00	4,60	4,77
Maximalwert (Punkt)	4,22 (25)	5,92 (25)	8,40 (25)	9,83 (31)	5,66 (24)	6,64 (24)

Anmerkung: Bei den Mittelwertberechnungen ab 2015/16 wurden nur die Punkte 23, 24, 27 und 28 berücksichtigt. Die ermittelte Relativänderung wurde quantitativ auf einen sinnvollen Tabellenwert umgerechnet.



Oberflächenbewegung im Vergleich

Die vergleichende Darstellung der zeitlichen Änderung der Fließgeschwindigkeit der beiden untersuchten Blockgletscher ist Inhalt der Abbildung 38. Für Vergleichszwecke wurden die fehlenden mittleren jährlichen Bewegungsraten am Dösenener Blockgletscher für die Zeiträume 2002/03 und 2003/04 aus dem gemessenen zweijährigen Mittelwert und entsprechenden Jahreswerten, welche am Blockgletscher Hinteres Langtalkar gemessen wurden, abgeleitet. Aus dem Bild der Geschwindigkeitsgraphen ist gut zu erkennen, dass (1) die Bewegungsraten der drei Blockgletscher gut miteinander korrelieren, (2) zwei Bewegungsmaxima (2003/04 bzw. 2014/15) gegeben sind und (3) die aktuellen Bewegungsraten etwa jenen des ersten, kleineren Bewegungsmaximums entsprechen.

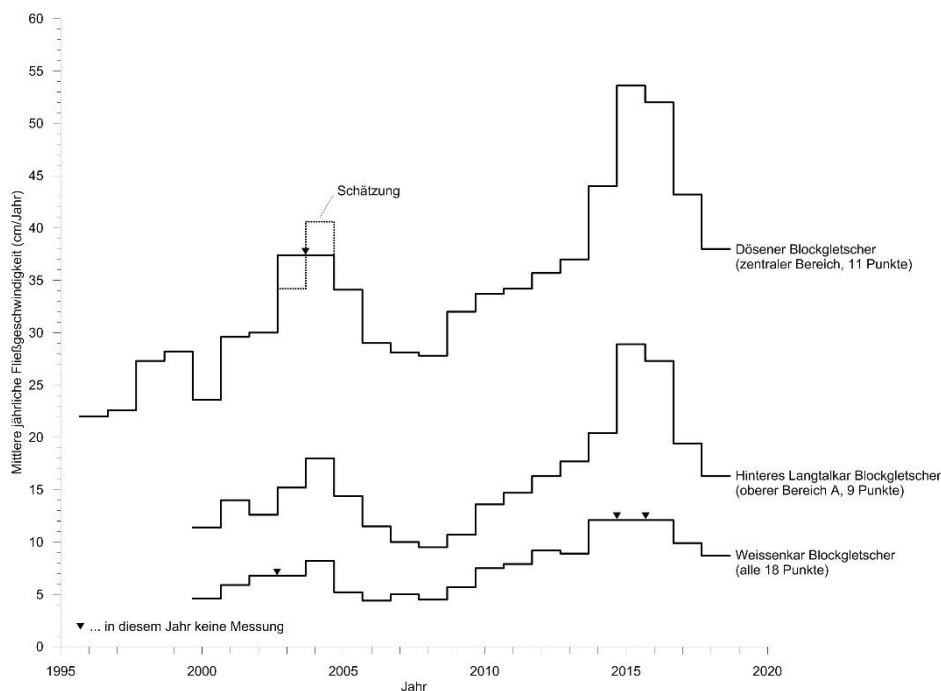


Abbildung 38: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Fließgeschwindigkeit der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995–2018. Mittelbildung über 11 Punkte (10-17, 21-23) am Dösenener Blockgletscher und 9 Punkte (10-17, 37) am Blockgletscher Hinteres Langtalkar. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Fließgeschwindigkeit am Weissenkar-Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt.

h. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Da die Installation des neuen Permafrostmonitoring-Standortes auf dem Inneren Knorrkogel als ein Ergebnis des Moduls 07 aufgefasst werden kann, wird die (bei den im Kapitel Methodik und Datengrundlagen geschilderten Aktivitäten) erstellte Messkonfiguration in diesem Abschnitt erläutert. Die Abbildung 39 zeigt die Lage des Inneren Knorrkogels und der dort eingerichteten 18 Messstellen, deren Kenndaten Tabelle 17 beinhaltet. In Abbildung 39 sind in roter Farbe die drei Datenlogger des Typs M-Log5W-DALLAS für das Monitoring der Felstemperatur bis in eine Tiefe von 40 cm hervorgehoben, die alle drei Hangexpositionen der Gipfelpyramide (Nordost, West und Süd) abdecken.

Abbildung 40 gibt visuelle Eindrücke von den Bohraktivitäten an den Felsloggerstandorten wieder. Die 15 Einkanaldatenlogger wurden bis auf eine Ausnahme für das Monitoring der Bodenoberfläche verwendet. Die eine Ausnahme ist Logger Nr. A52194, welcher für das Monitoring der Lufttemperatur nahe dem Gipfel des Inneren Knorrkogels eingesetzt wurde. Der Standort liegt weniger Meter unterhalb des Gipfels und ca. 50 m östlich davon. Dieser Standort wurde bewusst dort ausgewählt, um die mögliche Störung des Messsystems in Gipfelnähe (Bergsteiger, Gipfelkreuz selbst - Blitzeinschlag) zu reduzieren. Der Logger A52194 wurde in einen Strahlungsschutz (einfache



Wetterhütte der Firma Young) eingebaut. Der Strahlungsschutz selbst wurde an einem 2,5 m langen Alurohr befestigt, welches in eine Kluft und beschwert mit Steinen eingebaut wurde. Abbildung 41 zeigt die Situation vor Ort. Im Bereich des geschichteten Steinhaufens wurde ebenso ein Bodentemperaturdatenlogger eingebaut.

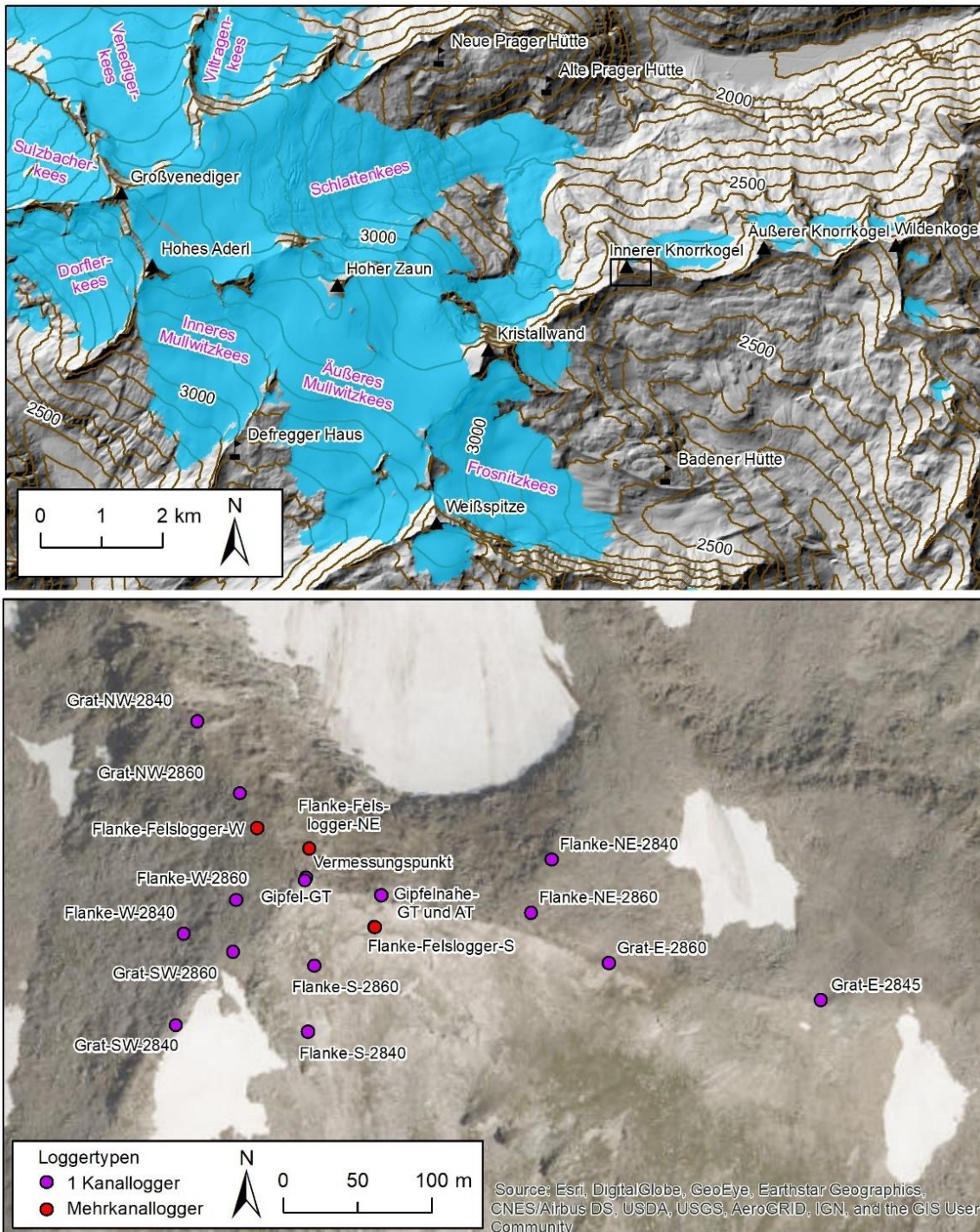


Abbildung 39: Übersichtskarte (oben) des neuen Permafrost-Monitoringstandorts Innerer Knorrkogel (mit Gletschern, markanten Gipfeln und Hütten zur Orientierung) und Detailkarte (unten) mit allen 18 neu eingerichteten Standorten (siehe hierzu Tabelle 17). Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Karte oben: Geländemodell Geoland (2019), Gletscherflächen Buckel et al. (2018); Karte unten: Satellitenbild DigitalGlobe.

Tabelle 17: Übersicht über die 18 neuen Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, Koordinaten, Höhe, Bezeichnung, Art des installierten Datenloggers (1 K=Einkanaldatenlogger, 3 K=Dreikanaldatenlogger für Messungen im Fels bis in eine Tiefe von 40 cm) und Loggernummer. F=Flanke, G=Grat, S=Gipfel

Code	Koord. BMN-M31 (EPSG 31258)		Höhe (m)	Bezeichnung	Logger Typ	Log.Nr.
	RW (m)	HW (m)				
F-3K-NE-2871	380 710,93	218 517,35	2870,98	Flanke-Felslogger-NE	3K	A538AC
F-3K-W-2869	380 712,79	218 530,55	2869,11	Flanke-Felslogger-W	3K	A538B7
G-1K-NW-2840	380 688,91	218 540,31	2840,52	Grat-NW-2840	1K	A52223
G-1K-NW-2860	380 662,18	218 589,38	2860,53	Grat-NW-2860	1K	A52227
S-GT-2878	380 681,37	218 556,33	2878,21	Gipfelnahe - GT	1K	A5223E
S-AT-2878	380 745,34	218 508,86	2878,21	Gipfelnahe - AT	1K	A52194
F-3K-S-2871	380 745,34	218 508,86	2871,94	Flanke-Felslogger-S	3K	A538B1
F-1K-S-2860	380 742,12	218 494,28	2860,73	Flanke-S-2860	1K	A5222A
F-1K-S-2840	380 714,32	218 476,79	2839,63	Flanke-S-2840	1K	A52230
G-1K-SW-2840	380 711,02	218 446,82	2840,96	Grat-SW-2840	1K	A5223B
G-1K-SW-2860	380 650,71	218 450,25	2860,55	Grat-SW-2860	1K	A5223F
F-1K-W-2860	380 677,31	218 483,64	2861,03	Flanke-W-2860	1K	A52244
F-1K-W-2840	380 678,98	218 507,31	2840,19	Flanke-W-2840	1K	A52220
S-GT-2886	380 654,70	218 492,24	2885,80	Gipfel - GT	1K	A521B7
G-1K-E-2860	380 710,59	218 515,84	2861,09	Grat-E-2860	1K	A521CB
F-1K-NE-2860	380 849,29	218 476,50	2860,53	Flanke-NE-2860	1K	A5226E
F-1K-NE-2840	380 813,98	218 500,02	2840,68	Flanke-NE-2840	1K	A521A0
G-1K-E-2845	380 823,76	218 524,21	2845,60	Grat-E-2845	1K	A5222E

Anmerkungen: GT=Bodentemperatur, AT=Lufttemperatur, RW=Rechtswert, HW=Hochwert. Die Koordinatenangaben beziehen sich auf die im Gelände direkt mit Differential-GPS gemessenen Daten.



Abbildung 40: Bohraktivitäten an den drei Felslogger-Standorten am Inneren Knorrkogel. Oben links – Standort Flanke-Felslogger-NE; oben rechts – Standort Flanke-Felslogger-W; unten links – Standort Flanke-Felslogger-S; unten rechts – fertig installierter 3-Kanaldatenlogger am Standort Flanke-Felslogger-NE mit Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer)



Abbildung 41: Der Lufttemperatur-Monitoringstandort nahe dem Gipfel des Inneren Knorrkogels mit Blick nach Westen. Erläuterungen im Text. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer)

Die restlichen 13 Standorte mit Einkanaldatenloggern dienen dem Bodentemperatur-Monitoring in den drei Flanken (West-, Nordost-, Südflanke) und an den drei Graten (Nordwest-, Südwest-, Ostgrat) oder im Gipfelbereich selbst. Im Bereich der Grate und Flanken wurden jeweils in ca. 2840 m sowie in ca. 2860 m die Logger ausgelegt, um bei jeweils gleicher Exposition und morphologischer Form (Flanke oder Grat) zusätzlich Information über Temperaturveränderungen in Bezug zur Höhe zu untersuchen. An all diesen Standorten wurden die Sensoren selbst unter dünne Steinplatten gelegt, um sie vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen. Alle Standorte wurden mit Differential-GPS vermessen und z. T. mit Spraymarkierungen versehen, um die Wiederauffindung zu erleichtern. Die Abbildungen 42 und 43 zeigen exemplarische Eindrücke von den Standorten.



Abbildung 42: Geländesituation im Bereich von Bodentemperatur-Monitoringstandorten an Graten: Links – Standort Grat-NW-2840 (Code G-1K-NW-2840); rechts – Standort Grat-SW-2840 (G-1K-SW-2840). (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer)



Abbildung 43: Geländesituation im Bereich von Bodentemperatur-Monitoringstandorten in Flanken: Links – Standort Flanke-W-2840 (Code F-1K-W-2840); rechts – Standort Flanke-NE-2860 (F-1K-NE-2860). (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer)

i. Ergebnisse Bereich Permafrost – Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Bodentemperaturmessdaten aus dem Sattelkar, einem der nach Westen ausgerichteten Kare im Obersulzbachtal (siehe Abbildung 7), lagen für 13 Standorte für den Zeitraum 22. 10. 2015 bis 25. 6. 2018 vor. Die Tageswerte aller 13 Standorte sind zusammengefasst für die gesamte Periode in Abbildung 44 dargestellt. Auffallend ist die starke Variation der Kurven untereinander, was mit den unterschiedlichen Standorttypen – wie z. B. Bereichen mit früher Schneebedeckung und thermisch stabilisierender Schneedecke sowie fehlendem Permafrost (konstante Wintertemperatur bei 0 °C) oder Bereichen mit geringmächtiger winterlicher Schneedecke (und möglichem Permafrost) – zusammenhängt. Klar erkennbar ist auch, dass der Sommer 2017 deutliche höhere Werte aufwies als der Sommer 2016. Prinzipiell kann hier gesagt werden, dass – wie auch in den Untersuchungsgebieten im Kärntener Anteil des Hohe Tauern Nationalparks – die winterliche Schneedecke und ihre Ausprägung und Variabilität eine wichtige Rolle in der Permafrostverbreitung innehat.

Auf Jahresbasis verglichen (Abbildung 45) – in diesem Fall Kalenderjahre bedingt durch die vorliegende Datenreihe – kann gesagt werden, dass das zweite Jahr mit einer geschlossenen Datenreihe (2017) um 0,4 bis 0,8 °C wärmer war als das erste (2016) war. Diese Tatsache ist an allen Standorten nahezu gleich stark ausgeprägt, unabhängig davon wie lange die winterliche Schneedecke in den beiden Jahren für den Untergrund thermisch wirksam war. Diese Ergebnisse stehen nicht im Widerspruch zu denen des „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten, die methodisch gleichartig gewonnen wurden.

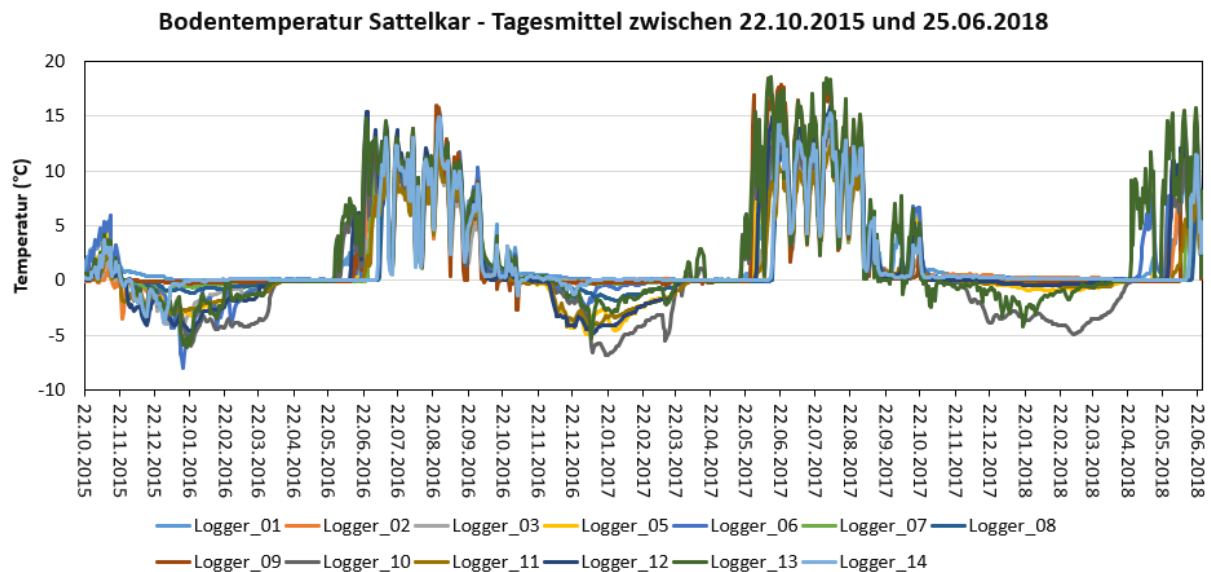


Abbildung 44: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentempersensoren im Sattelkar im Zeitraum 22.10.2015 bis 25.06.2018 (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at)

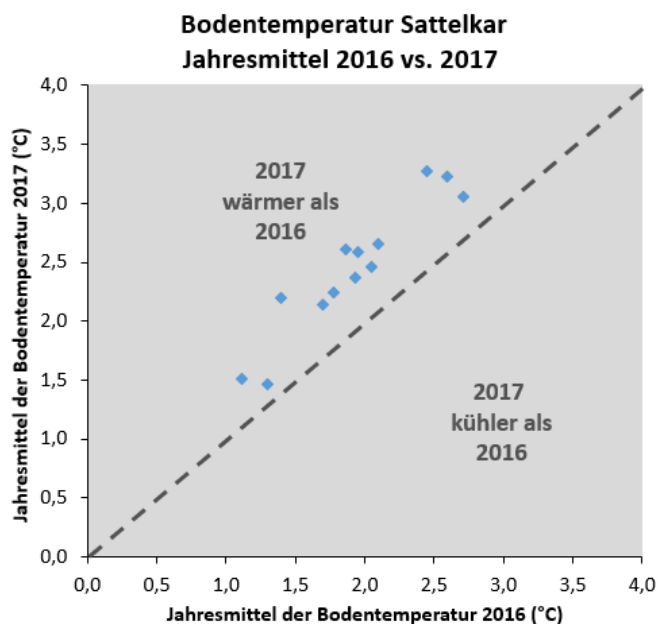


Abbildung 45: Vergleich der Jahresmittelwerte von 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar für die beiden Kalenderjahre mit geschlossener Datenreihe (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at)

Interpretation und Diskussion

a. Interpretation und Diskussion nach Methoden

Das Modul 07 beruht primär auf der Verwendung von Daten, die standardisiert durch darauf spezialisierte Stellen erhoben und bereitgestellt werden. Die angebotenen Auswertungen von unserer Seite stellen einfache Mittelwert-, Extremwert-, Zeitreihen- und Trendanalysen dar, die eine grobe Beurteilung der Entwicklung der betrachteten abiotischen Parameter erlauben. Genauere Analysen sind selbstverständlich möglich – auch für weitere Parameter (siehe hierzu Hinweise im Methoden-Handbuch des gegenständlichen Pilotprojektes [zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch keine zitierfähige Angabe möglich]) – waren aber nie vorgesehen, weil sie höchst personal- und kostenaufwändig wären und von Anfang an – nicht zuletzt auch aus unseren bisherigen Erfahrungen mit Monitoring im Hochgebirge – klar war, dass nur einfache Methoden die Aufrechterhaltung eines langfristigen Monitorings garantieren. In diesem Zusammenhang ist auch zu betonen, dass erst langfristige Messreihen gesichertere Aussagen über Langzeitentwicklungen sagen, wie beispielsweise für die potentielle Verwitterung im Bereich von alpinen Felswänden im Nationalpark Hohe Tauern auf Basis von Felstemperaturdaten gezeigt wurde (Kellerer-Pirklbauer 2017).

Sinngemäß gilt dies auch für die großteils von den Autoren als Teil des „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ betriebenen Permafrost-Untersuchungen: Auch hierfür böten sich alternative Methoden an (z. B. Dauerbeobachtung des Untergrundes durch Electrical Resistivity Tomography (ERT) – wie beispielhaft für das Arbeitsgebiet Hinteres Langtalkar eingesetzt (Kellerer-Pirklbauer & Kaufmann 2017) – oder weitere Bohrlöcher), die jedoch unvergleichlich kostspieliger, in der Wartung extrem aufwändig und daher sowohl in Hinblick auf Finanzierung als auch insbesondere langfristige Sicherstellung für den Nationalpark unrealistisch wären.

Es darf somit in Bezug auf Daten und Methoden konstatiert werden, dass die gemäß den Zielsetzungen 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 selbstverständlich ausgefeiltere Methoden, als sie hier zur Anwendung kamen, zur Verfügung stehen.





b. Interpretation und Diskussion nach Faktoren

Der Faktor Witterung und Klima kann auf der Ebene des gesamten Nationalparks charakterisiert werden. In Bezug auf die beiden in der Projektlaufzeit enthaltenen Jahre 2016/17 und 2017/18 kann festgestellt werden, dass sie beide ein deutlich überdurchschnittliches Temperaturniveau aufwiesen, dass sich nahtlos in den aktuellen Erwärmungstrend einfügt, auch wenn die beiden Jahre zuvor im Mittel noch etwas wärmer waren. Im Gegensatz dazu wichen die jährlichen Niederschlagsmengen wenig von den langjährigen Mitteln ab, sehr wohl aber die Monatswerte, was der für das Niederschlagsgeschehen generell hohen Variabilität entspringt. Bei Betrachtung langer Reihen zeigt sich der erwähnte Temperaturanstieg deutlich, während die Jahresniederschlagssummen keinen Trend erkennen lassen.

Das Abflussgeschehen wies keine Besonderheiten auf, sieht man davon ab, dass die erhöhte Abflusspende durch die Schneeschmelze 2017/18 deutlich früher als im Jahr zuvor einsetzte. Im Übrigen zeigen die Abflussgänge einerseits den Einfluss lokaler Starkniederschläge in den Einzugsgebieten – welche selbst mangels entsprechender Messstationen in den Einzugsgebieten nur mit anderen Methoden (z. B. Niederschlagsradar) rekonstruiert werden könnten – und andererseits das aus den spezifischen Charakteristiken der Oberflächenbeschaffenheit der Einzugsgebiete resultierende Geschehen, etwa in der Form, dass am Gschlöss- und Untersulzbach die sommerliche Gletscherspende in hohem Maße am Zustandekommen des Abflusses beteiligt ist.

Die Massenbilanzen der Gletscher waren in den beiden Haushaltsjahren 2016/17 und 2017/18 hochnegativ, und auch bei Betrachtung längerer Zeiträume überwiegen negative Massenbilanzen bei Weitem – positive treten nur in einzelnen Jahren bei Einzelgletschern auf. Lange Folgen von Jahren mit negativen Massenhaushalten müssen sich auf die Gletschergeometrie durch eine Reduktion von Fläche und Volumen auswirken – als Proxy hierfür dienen die Längenänderungen, die ebenfalls weit überwiegend negativ sind. Ausnahmen gibt es erneut nur in Einzeljahren und in besonderen topographischen Positionen (an denen beispielsweise 2017/18 für drei Gletscher der Hohen Tauern stationäres Verhalten ausgewiesen wurde; Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2019). Langfristig ist für die Hohen Tauern – wie auch für die gesamten Alpen – ein drastischer Gletscherschwund zu konstatieren.


Im Permafrost liegen für den morphodynamischen Aspekt der Blockgletscherbewegung Datenreihen vor, die deutlich über ein Jahrzehnt hinausgehen. Darin zeigt sich kein einfacher Trend, sondern eine zeitverzögerte Reaktion der Kriechdynamik des Permafrostes auf die Temperatur- und Schneeverhältnisse der Vorjahre (vgl. Kellerer-Pirklbauer & Kaufmann 2012). Insgesamt sind die Bewegungsraten jedoch auf hohem Niveau, weil auch die Temperaturen des Untergrundes warm sind und an den meisten der entsprechenden Messstandorte auch einen klaren Erwärmungstrend seit der zweiten Hälfte der 2000er Jahre erkennen lassen. Bezogen auf die beiden Projektjahre war 2016/17 für den Permafrost vergleichsweise günstig, 2017/18 hingegen ungünstig. Für den Permafrost gilt hierbei, dass von einer direkten Wirkung des Klimawandels noch keinesfalls gesprochen werden darf, da alle Datenreihen noch viel zu kurz sind.

c. Interpretation und Diskussion in Zusammenschau der Faktoren

Das hohe und langfristig weiter steigende Temperaturniveau äußert sich – in Kombination mit hohen sommerlichen Strahlungsintensitäten und fehlendem Schneeniederschlag in der warmen Jahreszeit – besonders augenfällig im umfangreich dokumentierten Gletscherschwund. Dieser wiederum setzt in den warmen Sommern in den noch stark vergletscherten Einzugsgebieten eine bedeutende Gletscherspende frei und gibt den Bächen im Mittel ein glaziales Regime mit extrem ausgeprägten, kurzem Sommermaximum des Abflusses. Dieses ist im Einzeljahr jedoch primär von sommerlichen Niederschlagsspitzen geprägt. Diese werden langfristig ebenfalls höher, weil eine wärmere und somit energiereichere Atmosphäre zu höheren Frequenzen und Magnituden von Extremereignissen tendiert. Es ist jedoch unzulässig, einzelne Starkniederschläge als direkte Wirkung des Klimawandels zu interpretieren. Im untersuchten Zeitraum gab es jedoch keine herausragenden Abfluss- (Hochwasser-) Ereignisse.

Die jährlichen Niederschlagsmengen bleiben langfristig relativ konstant, hervorzuheben sind jedoch von Jahr zu Jahr sehr beträchtliche Unterschiede in Bezug auf die monatliche bzw. jahreszeitliche Verteilung. So etwa erwies sich das letzte Beobachtungsjahr 2017/18 im Winter als in den gesamten Hohen Tauern sehr schneereich, während der Sommer niederschlagsarm war. Der Schneereichtum führte im warmem Frühjahr mit frühem Einsetzen der Schneeschmelze zu





einer gegenüber dem Vorjahr deutlich verfrühten hohen Wasserführung der Bäche in tiefer gelegenen Einzugsgebieten; andererseits schützte die mächtige Schneedecke die hoch gelegenen Gletschergebiete noch bis weit in den Sommer hinein vor der Abschmelzung. Sehr bedeutend sind die herbstlichen Niederschlagsverhältnisse für den Permafrost: Spätes Einschneien der Permafroststandorte durch lang andauernde antizyklonale Wetterlagen erlaubt ein starkes Auskühlen des Untergrundes und damit eine Regeneration des Permafrostes (durch Abbau der sommerlichen Auftauschicht), wie dies im Herbst 2016 der Fall war. Der Einfluss des schmelzenden Permafrostes auf das Abflussgeschehen ist wegen der prinzipiellen eher geringen Mengen des im Permafrost enthaltenen Eises nur lokal, kaum jedoch auf der Ebene der gesamten Einzugsgebiete, von Bedeutung.

d. Interpretation und Diskussion nach Einzugsgebieten

In Bezug auf die Faktoren Witterung/Klima und Permafrost, für die keine Messstellen mit langjährigen Datenreihen in den untersuchten Einzugsgebieten vorhanden sind, können auch keine spezifischen Informationen gegeben werden. Wie mehrfach ausgeführt, kann aber davon ausgegangen werden, dass die bei den entsprechenden Abschnitten im Ergebnis-Kapitel getätigten Aussagen auch für die einzelnen Einzugsgebiete zutreffen.

Die Besonderheit des Seebachtals ist seine nur sehr geringe Vergletscherungsfläche, die – so wie das überall der Fall ist – auch weiterhin in starkem Rückgang begriffen ist. Der außerordentlich hohe Rückzugswert des Winkelkees im Haushaltsjahr 2016/17 erklärt sich daraus, dass sich der Eisrand über eine Felsstufe zurückgezogen hat (ein beim gegenwärtigen Gletscherschwund sehr häufiger, viele Gletscher betreffender Prozess). Im Abflussgeschehen am Pegel Mallnitz spielt dementsprechend die Gletscherspende kaum eine Rolle mehr, sondern der Abflussgang wird primär von der Schneeschmelze (die hier wegen der relativ hohen Flächenanteile der Höhenstufe unter 1500 m im gesamten Einzugsgebiet) und von Strakregenereignissen bestimmt.


Das Untersulzbachtal besitzt neben mehreren Kargletschern mit dem Untersulzbachkees einen großen, nach wie vor „perfekt“ ausgebildeten Talgletscher, der das glaziale Geschehen dominiert. Auch dieser ist in massivem Rückzug begriffen (zuletzt -53 m allein im Haushaltsjahr 2017/18) und trägt mit einer beträchtlichen Gletscherspende zur hohen sommerlichen Wasserführung des Untersulzbaches bei.

Das Innerschlöss wird am stärksten von Gletschern geprägt, indem es zwei der großen (und bekannten) Gletscher der Venedigergruppe beherbergt, das Schlaten- und das Viltragenkees. Auch diese beiden Gletscher sind stark im Rückzug, wobei das Schlatenkees in den letzten vier Haushaltsjahren kontinuierlich hohe Rückzugswerte (-50 bis -70 m) aufwies, während das Viltragenkees mit einem einmaligen Rückzug von -128 m im Haushaltsjahr 2017/18 sogar den österreichischen Rekord für dieses Jahr stellte (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2019). Entsprechend stark wird das Abflussgeschehen vom Schmelzwasser der beiden großen Gletscher dominiert – in keinem anderen Einzugsgebiet ist die sommerliche Abflussspitze so deutlich ausgeprägt wie hier.

Ausblick

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

Die Ergebnisse des Moduls 07 haben keine unmittelbare Relevanz in naturschutzfachlicher Sicht. Man könnte hier allenfalls an Fragen des Prozess- oder Geotopschutzes denken, welche jedoch in einem ohnehin hochwertig geschützten Schutzgebiet obsolet erscheinen. Demgegenüber sind die im Modul 07 untersuchten Prozesse vor dem Hintergrund der Forschungs- und Bildungsaufgabe des Nationalparks von Bedeutung. Dies ist für den Bereich Witterung und Klima, die in Zeiten des Klimawandels von höchstem gesellschaftlichem Interesse sind, wohl nicht gesondert zu begründen. Ähnliches gilt für die Gletscher, deren Schwund als am leichtesten auch visuell wahrnehmbare Klimawandelfolge sie längst zu einer „Ikone des Klimawandels“ gemacht hat. Weniger verbreitet ist Wissen über das Abflussgeschehen und sein Zustandekommen sowie über Permafrost und seine Dynamik, auch wenn Permafrost – gerade im Kontext von Naturgefahren – in den letzten Jahrzehnten verstärkt medial wahrgenommen worden ist. Hierzu kann der Nationalpark



als „Freiluftlabor“ und ideales Anschauungsobjekt eine zentrale Rolle in der Umweltbildung bzw. Bildung für nachhaltige Entwicklung übernehmen – und das Modul 07 stellt die exakten Daten hierfür zur Verfügung.

Zwei weitere Aspekte seien noch ergänzt. Zum einen bieten die Berichte des Moduls 07 erstmals eine synthetisch-vernetzende Zusammenschau der untersuchten Faktoren Witterung, Abfluss, Gletscher und Permafrost, die es in dieser Form bisher nicht gegeben hat. Dies darf als bedeutender Mehrwert sowohl für Forschende als auch für interessierte Besucherinnen und Besucher des Nationalparks bzw. die Bevölkerung der Nationalparkregion gelten. Zum anderen wirken sich die im Modul 07 untersuchten hydroklimatischen und kryosphärischen Prozesse im Hochgebirge auch massiv auf tiefere Höhenstufen aus. Von den untersuchten Prozessen wird dies am deutlichsten beim Abfluss, dessen Ausmaß stark von Vorgängen in den höchsten Lagen des jeweiligen Einzugsgebietes gesteuert wird. Aber auch Veränderungen im Gletscher- und Permafrost-Milieu können sich in Gebieten in tieferen Lagen mitteilen, wenn man etwa an Muren denkt, die von Arealen mit abtauemdem und dadurch destabilisiertem Permafrost ihren Ausgang nehmen. Gerade der hierin implizit angesprochene Naturgefahrenaspekt ist – auch wenn das Modul 07 ihn nicht direkt adressieren konnte – gerade für praktische Belange des Nationalpark-Managements (z. B. Begehrbarkeit von Wegen) von großem Interesse.

b. Einbettung in internationale Forschungsnetzwerke

Das Modul 07 verwendet – mit Ausnahme der Erfassung der Veränderungen im Permafrost – von „offiziellen“ Stellen erhobene Daten, welche von den Organisationen selbst, bzw. von nationalen Korrespondenten, in internationale Netzwerke eingebracht werden. Ein Beispiel hierfür die Integration der Messergebnisse des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (Längenänderung) in die Datenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS). Für die Übermittlung dieser Gletscherlängendaten sind seit kurzem zwei der Autoren dieses Berichts (Gerhard Lieb und Andreas Kellerer-Pirklbauer) zuständig. Für die Übermittlung der Massenbilanzdaten von Österreich ist hingegen ein sogenannter „national correspondent“ hauptverantwortlich (aktuell Dr. Andrea Fischer, ÖAW, Innsbruck). Diese Person hat die Aufgabe die nationalen „internen“ Daten zu sammeln und entsprechend weiterzuleiten. Ein weiteres Beispiel ist das sogenannte Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P) wo ähnlich wie beim WGMS ein nationaler Korrespondent (in diesem Fall Mag. Claudia Riedl, ZAMG, Salzburg) entsprechende Daten national sammelt und gebündelt an die GTN-P Datenbank weitergibt.

Die erfassten kryologischen Daten im Nationalpark Hohe Tauern sind in weiterer Folge auch relevant für das „Global Climate Observing System“ (GCOS) Programm, welche eine Gemeinschaftsinitiative der World Meteorological Organization (WMO), der Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO), der United Nations Environment Programme (UN Environment), und der International Science Council (ISC) ist. Der jüngste GCOS-Österreich Bericht (Adler & Fürst 2017) stellt eine Übersicht der klimarelevanten Messnetze in Österreich dar und beschreibt im Kapitel „Terrestrial Observations - Cryosphere“ auch die für Österreich relevanten sogenannten „Essential Climate Variables“ (ECVs) die für Permafrost beispielsweise die beiden ECVs Temperatur des Permafrosts und Mächtigkeit der saisonalen Auftauschicht sind. Beide ECVs werden in Österreich auch wesentlich durch die entsprechenden Aktivitäten im Nationalpark Hohe Tauern „bedient“.

Wie schon im Kapitel „Zielsetzung“ erläutert, steckt Modul 07 gewissermaßen einen abiotischen Rahmen für die anderen Module des Langzeit-Ökosystem-Monitorings im Nationalpark Hohe Tauern ab, generiert aber keine von diesen direkt nutzbaren Daten. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die im Modul 07 analysierten Prozesse auf vielfältige Weise Rückwirkungen auf Ökosysteme haben können und somit in langfristiger Perspektive zum Verständnis ökosystemarer Prozesse – national wie international – beitragen. So etwa repräsentieren die Daten zum Gletscherschwund (sowohl Längenänderungen als auch Massenbilanzen) letztlich die Entstehung neuer eisfreier Gebiete (Gletschervorfelder) und somit potenzieller Lebensräume für Pflanzen und Tiere. Eine andere mögliche Wirkung sind von Permafrost-Degradation oder Gletscherschwund ausgelöste Sedimentflüsse, die im hochalpinen Steilrelief tiefer gelegene Ökosysteme beeinflussen können. Erkenntnisse aus dem Modul 07 sind daher für das Verständnis der Veränderungen – speziell auf den Maßstabsebenen der Einzugsgebiete und des gesamten Nationalparks – von Prozessdynamiken auch weit über die Kryosphäre hinaus wertvoll.

Kostenanalyse

Die Kostenzusammensetzung für das gegenständliche Modul setzt sich aus den Bereich In-Kind Leistung sowie finanzielle Leistung durch den Fördergeber zusammen, wobei zwei unterschiedliche Arbeitspakete zu unterscheiden sind. Das Arbeitspaket 1 umfasst die Wartung und Betreuung des Permafrostmonitoring-Standortes am Inneren Knorrkogel, Venedigergruppe. Das Arbeitspaket 2 umfasst Datenakquise (hydrologische, klimatologische, kryologische), Datenauswertung und Berichtslegung.

Tabelle 18 listet die entsprechenden Kosten für ein Mess- bzw. Berichtsjahr auf die unterschiedlichen Arbeitspakete sowie Kostenkategorien auf, wobei für diese Kalkulation die aktuell gültigen Kostensätze verwendet wurden. In Summe ergibt sich ein Betrag von rund 6260 Euro. Unter Berücksichtigung einer grob kalkulierten In-Kind Leistung durch Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer (3 Geländetage, 1 Vorbereitungstag, 5 Bürotage; Kostensatz ca. 50€/h) sowie Ao. Prof. Dr. Gerhard Karl Lieb (5 Bürotage; Kostensatz ca. 70€/h), ergibt sich eine summierte In-Kind Leistung von 6400 €.

Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass bei Vergabe des Folgeauftrages an die Universität Graz ein **Förderbetrag von ca. 6260 € (49,4%)** einer **Eigenleistung von ca. 6400 € (50,6%)** gegenüberstehen würde. Diese Beträge gelten für 2019 und berücksichtigen keine zu erwartenden Indexanpassungen für die Folgejahre.

Tabelle 18: Abschätzung der Kosten im Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost für die beiden unterschiedlichen Arbeitspakete. In-Kind Leistungen durch Andreas Kellerer-Pirklbauer und Gerhard Karl Lieb, die sich auf ca. 6400 € belaufen sind in dieser Aufstellung nicht enthalten. Die Aufstellung gilt für 2019.

Arbeitspaket	Bezeichnung	€
AP1	Permafrostmonitoring Standort Innerer Knorrkogel	
Kostenkategorie	Personalkosten	1549,37
	<i>Studentischer Mitarbeiter A (1/2 Monat á 20h, laut Uni. KV)</i>	774,69
	<i>Studentischer Mitarbeiter B (1/2 Monat á 20h, laut Uni. KV)</i>	774,69
Kostenkategorie	Reisekosten	666,64
	<i>Geplant ist ein Geländetrip mit je 3 Personen pro Jahr, 3 Tage, 1 Auto</i>	
	<i>Kilometergeld: Graz-Inneregenschlöss-Graz 652 km (652x0,52€)</i>	339,04
	<i>Nachtgeld (laut Reisegebührevorschrift) 15€/Person/Nacht: 2N*3P</i>	90,00
	<i>Taggeld (laut Reisegebührevorschrift) 26,4€/Person/Tag:3T*3P</i>	237,60
Kostenkategorie	Materialkosten	1000,00
	<i>Wartungskosten, ggf. Austausch von Sensoren, eventuell auch ein zweiter Geländetrip hierzu notwendig (Pauschale)</i>	1000,00
Kostenkategorie	Overhead (20%)	643,20
	<i>Kosten Overhead</i>	643,20
	Summe alle Kostenkategorien in AP1	3859,21
AP2	Datenakquise, Datenauswertung und Berichtslegung	
Kostenkategorie	Personalkosten	1549,37
	<i>Studentischer Mitarbeiter (1 Monat á 20h, laut Uni. KV)</i>	1549,37
Kostenkategorie	Reisekosten	0,00
	<i>keine</i>	0,00
Kostenkategorie	Materialkosten	450,00
	<i>ZAMG-Stationsdaten (Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick) für 1 Jahr</i>	450,00
Kostenkategorie	Overhead (20%)	399,87
	<i>Kosten Overhead</i>	399,87
	Summe alle Kostenkategorien in AP2	2399,24
AP1+2	Summe beider Arbeitspakete	6258,46



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystem-Monitoring sowie die Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (ZAMG- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher und der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (siehe Tabelle 1), verortet. KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, TUG=Technische Universität Graz, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, HZB=Hydrographisches Zentralbüro, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018). Geländemodell Geoland (2019).....	2
Abbildung 2: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Seebachtal oberhalb des Pegels Mallnitz. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018), Geländemodelle KAGIS (2019) und SAGIS (2019).....	3
Abbildung 3: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Untersulzbachtal oberhalb des Peges Neukirchen. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018). Geländemodelle SAGIS (2019) und TIRIS (2019).....	4
Abbildung 4: Überblickskarte zum Arbeitsgebiet Innergschlöss oberhalb des Peges Innergschlöss. Karte erstellt: Christian Ziesler; Quellen: Permafrost=Boeckli et al. (2012), Gletscher=Fischer et al. (2015) und Buckel et al. (2018). Geländemodelle SAGIS (2019) und TIRIS (2019).....	5
Abbildung 5: Detailkarten der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind (vgl. Tabelle 7). Zu beachten ist, dass seit dem Berichtsjahr 2016/17 auch Quelltemperatur-Messstandorte im Bereich zweier Blockgletscherstirnen eingerichtet wurden (HLC-Q und DOV-Q). PAG-FI musste aufgegeben werden. PAG-PR1 und PAG-PR2 kamen neu hinzu. Karten erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quelle: Gletscher= Buckel et al. (2018). Geländemodelle Geoland (2019).....	9
Abbildung 6: Messteam der Universität Graz sowie des Nationalparks Hohe Tauern Tirol zur Durchführung der Geländetätigkeiten im Bereich des Inneren Knorrkogels. Foto links (von links nach rechts): C. Lieb, C. Ziesler, A. Kellerer-Pirklbauer, A. Dorić, E. Egger; Foto rechts (von vorne nach hinten): C. Ziesler, G. K. Lieb, A. Dorić. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer).....	10
Abbildung 7: Übersichtskarte der Verteilung von Messstandorten in den vier benachbarten Karen Sattelkar, Ofenkar, Mitterkar und Steinkar im Obersulzbachtal, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind. Die Daten aus dem Sattelkar werden im Ergebnisteil präsentiert. Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quelle: Gletscher= Buckel et al. (2018). Geländemodell SAGIS (2019)	11
Abbildung 8: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2017/18 und 2016/17 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 9 bilden.....	13
Abbildung 9: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2017/18 und 2016/17 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 9 bilden.....	14





Abbildung 10: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Rudolfshütte (2317 m).....	15
Abbildung 11: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Kolm-Saigurn (1626 m).....	15
Abbildung 12: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Sonnblick (3109 m).	16
Abbildung 13: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Heiligenblut (1380 m).	16
Abbildung 14: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2018 an der Klimastation Malta (830 m).....	16
Abbildung 15: Monatswerte des Niederschlags im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2017 an der Klimastation Neukirchen (857 m). Achtung: Datenlücke im April 2018 (keine Lufttemperaturmessung an diesem Standort!).....	17
Abbildung 16: Monatswerte des Niederschlags im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2017 an der Klimastation Bramberg (844 m) (keine Lufttemperaturmessung an diesem Standort!)	17
Abbildung 17: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2018 an der Klimastation Gerlos (1263 m).	17
Abbildung 18: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2018 an der Klimastation Felbertauern (1650 m).	18
Abbildung 19: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2019 an den sieben Klimastation Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.....	18
Abbildung 20: Vergleich der Monatsmittelwerte der Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 und 2017/18 mit jenen der Klimanormalperiode 1981-2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).	19
Abbildung 21: Langzeitentwicklung von Niederschlag und Temperatur am Beispiel der Stationen Neukirchen und Sonnblick. Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973 bis 2017 und entsprechende Trends. Niederschlag: keine signifikante Veränderungen erkennbar. Temperatur: klarer Erwärmungstrend.	20
Abbildung 22: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (m ³ /s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2018.	21
Abbildung 23: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an der HZB-Station Mallnitz (Kärnten).....	22
Abbildung 24: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an an der HZB-Station Neukirchen (Salzburg).	22
Abbildung 25: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den beiden Jahren 2016/17 und 2017/18 an an der HZB-Station Innerschlöss (Tirol).....	23





Abbildung 26: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2017 – 30. 9. 2018.	23
Abbildung 27: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 1.10.2014–30.9.2018. Anmerkung: Q = Abflussmenge	24
Abbildung 28: Mittlere Längenänderungen an 22 Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern, von denen für die gesamte Periode 2011/12 – 2017/18 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 13).	26
Abbildung 29: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlatenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12 – 2017/18.....	26
Abbildung 30: Spezifische Jahresmassenbilanz an sieben Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2011/12 und 2017/18. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.....	28
Abbildung 31: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1.8. bis 31.7. des Folgejahres) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für die fünf Messjahre (MJ) 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18. Nur Messjahre mit lückenlosen Datenreihen sind dargestellt. Standorte, die 2017 oder 2018 aufgelassen wurden (siehe Text), sind mit ND (no data) gekennzeichnet.	29
Abbildung 32: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2013/14, 2014/15, 2015/16 und 2016/17 mit jenen von 2017/17 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten.....	30
Abbildung 33: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für den Zeitraum 1. 8. 2013 bis 31. 7. 2018 sowie deren Vergleich zur Lufttemperatur am Standort HLC-AWS.	31
Abbildung 34: Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten für den Zeitraum 1. 8.–31. 7. des Folgejahres für die Messjahre von 2007/2008 bis 2017/18. Lineare Trends sowie entsprechende Korrelationskoeffizienten sind dargestellt. Jene für DOV-UP-S und PAG-UP sind auch statistisch signifikant.	32
Abbildung 35: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2018 in sechs unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (LT) an der TAWES-Station Sonnblick. Zwischen 21. 12. 2014 und 7. 8. 2015 wurden bedingt durch technische Probleme keine Daten aufgezeichnet (Daten: ZAMG Kundenservice Salzburg und Oberösterreich; Kontaktperson: Claudia Riedl, claudia.riedl@zamg.ac.at).....	33
Abbildung 36: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2016 und 2017 für alle sechs Tiefen im Bohrloch 3 am Hohen Sonnblick. Zum Vergleich ist auch die Lufttemperatur (der Extremwert links unten in der Grafik) für die beiden Kalenderjahre dargestellt.	34
Abbildung 37: Übersichtskarten der Messpunkte zur Bestimmung der Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher (oben) sowie am Blockgletscher Hinteres Langtalkar (unten). Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Blockgletscher=Kellerer-Pirklbauer et al. (2012), Positionen der Messpunkte=Viktor Kaufmann, TU-Graz.	35





Abbildung 38: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Fließgeschwindigkeit der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995–2018. Mittelbildung über 11 Punkte (10-17, 21-23) am Dösener Blockgletscher und 9 Punkte (10-17, 37) am Blockgletscher Hinteres Langtalkar. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Fließgeschwindigkeit am Weissenkar-Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt.	36
Abbildung 39: Übersichtskarte (oben) des neuen Permafrost-Monitoringstandorts Innerer Knorrkogel (mit Gletschern, markanten Gipfeln und Hütten zur Orientierung) und Detailkarte (unten) mit allen 18 neu eingerichteten Standorten (siehe hierzu Tabelle 17). Karte erstellt: Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Karte oben: Geländemodell Geoland (2019), Gletscherflächen Buckel et al. (2018); Karte unten: Satellitenbild DigitalGlobe.	37
Abbildung 40: Bohraktivitäten an den drei Felslogger-Standorten am Inneren Knorrkogel. Oben links – Standort Flanke-Felslogger-NE; oben rechts – Standort Flanke-Felslogger-W; unten links – Standort Flanke-Felslogger-S; unten rechts – fertig installierter 3-Kanaldatenlogger am Standort Flanke-Felslogger-NE mit Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer).....	38
Abbildung 41: Der Lufttemperatur-Monitoringstandort nahe dem Gipfel des Inneren Knorrkogels mit Blick nach Westen. Erläuterungen im Text. (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer).....	39
Abbildung 42: Geländesituation im Bereich von Bodentemperatur-Monitoringstandorten an Graten: Links – Standort Grat-NW-2840 (Code G-1K-NW-2840); rechts – Standort Grat-SW-2840 (G-1K-SW-2840). (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer).....	39
Abbildung 43: Geländesituation im Bereich von Bodentemperatur-Monitoringstandorten in Flanken: Links – Standort Flanke-W-2840 (Code F-1K-W-2840); rechts – Standort Flanke-NE-2860 (F-1K-NE-2860). (Fotos: A. Kellerer-Pirklbauer).....	39
Abbildung 44: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentempersensoren im Sattelkar im Zeitraum 22.10.2015 bis 25.06.2018 (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at).....	40
Abbildung 45: Vergleich der Jahresmittelwerte von 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar für die beiden Kalenderjahre mit geschlossener Datenreihe (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at).....	41





Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste von Klimastationen mit Angaben zu den Betreibern innerhalb und im Nahbereich des Nationalparks Hohe Tauern - Übersicht. An neun Stationen des HD wird auf hydrographische Messungen fokussiert. Lage siehe Abbildung 1.....	6
Tabelle 2: Detailauflistung der 85 Klimastationen mit Angaben zu den Betreibern innerhalb und im Nahbereich des Nationalparks Hohe Tauern. Lage siehe Abbildung 1. Abkürzungen der Betreiber siehe Tabelle 1. RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258). K-El.=Anzahl der gemessenen Klimaelemente. Angaben zu den Klimastationen sowie weitere Informationen zu den Stationen siehe Lawis (2019), eHYD (2019), ZAMG (2019) und eigenen Angaben (für die Stationen der Universität Graz).	2
Tabelle 3: TAWES-Stationen der ZAMG, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des Beginns der verfügbaren Datenreihe. Synnr. ist die ZAMG-interne Stationsnummer, Lon ist die geographische Länge und Lat die geographische Breite; RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258).....	4
Tabelle 4: Klimastationen der hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit HZB-Code (Hydrographischer Dienst Österreichs) und Beginn der verfügbaren Datenreihe. HZB-Nr. ist die interne Stationsnummer, Lon die geographische Länge und Lat die geographische Breite; RW/Rechtswert und HW/Hochwert sind die Koordinatenangaben auf Basis der Projektion BMN-M31 (ESPG 31258).	4
Tabelle 5: HZB-Oberflächengewässer-Messstellen der Hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe der verwendeten Datenreihe. Koordinaten sind in geographische Koordinaten sowie in BMN – M31 (EPSG 31258) angegeben. Höhe = Höhe des Pegelnullpunktes in m ü. A.; o. Ezg. = orographisches Einzugsgebiet; übrige Abkürzungen wie in den Tabellen 3 und 4.....	5
Tabelle 6: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2018, ergänzt). ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg.	6
Tabelle 7: Auflistung der vier lokalen Untersuchungsgebiete im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und ihrer Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage siehe Abbildung 5. Abbildungen 33 und 34 zeigen Auswerteergebnisse der jeweils grau hinterlegten Sensoren. HLC=Hinteres Langtalkar-Kögelekar, FAL=Fallbichl, HOT=Hochtor, DOV=Dösen-Säuleck, PAG=Pasterze-Burgstall. Der Code für jeden Standort besteht (bis auf eine Ausnahme) aus diesen Bezeichnungen in Kombination mit weiteren, internen Kürzel. Z.B. N=Nord, S=Süd.	8
Tabelle 8: Ablauf der Geländetätigkeiten 2018 zum Bereich Permafrost am Inneren Knorrhogel (Venedigergruppe, Osttirol).	10
Tabelle 9: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den vier Jahren 2014/15 bis 2017/18 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehene Klimastationen in den Hohen Tauern, welche entweder durch die ZAMG oder durch die hydrographischen Landesdienste betrieben werden. Graue hinterlegt sind die beiden Jahre innerhalb des Projektzeitraumes. n.d.=no data/keine Daten..	13





Tabelle 10: Monatsmittelwerte und Abweichungen der Monatsmittelwerte der Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 und 2017/18 von jenen der Klimanormalperiode 1981-2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).	19
Tabelle 11: Jahresmenge des Abflusses an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2018, aufsummiert auf den Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima.	21
Tabelle 12: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die vier glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15 – 2017/18 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebietsfläche 85,3 km ²), Neukirchen (40,5 km ²) und Innerschlöss (39,3 km ²).....	24
Tabelle 13: Auflistung der im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2011/12 – 2017/18. Lage siehe Abbildung 1.....	25
Tabelle 14: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich der Hohe Tauern für die sieben Gletscherhaushaltsjahre 2011/12 – 2017/18 in mm Wasseräquivalent. Das Wurtenkees liegt nicht innerhalb des Nationalparkgebietes.	27
Tabelle 15: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2012/13–2017/18. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden jeweils im Punkt 15 festgestellt.	34
Tabelle 16: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2012/13–2017/18 für zwei ausgewählte Punktgruppen A (oberer Bereich) und B (unterer Bereich). Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten aller Punkte der jeweiligen Punktgruppe gerechnet. Die Maximalwerte beziehen sich auf die jeweiligen Punktgruppen.	35
Tabelle 17: Übersicht über die 18 neuen Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, Koordinaten, Höhe, Bezeichnung, Art des installierten Datenloggers (1 K=Einkanaldatenlogger, 3 K=Dreikanaldatenlogger für Messungen im Fels bis in eine Tiefe von 40 cm) und Loggernummer. F=Flanke, G=Grat, S=Gipfel	38
Tabelle 18: Abschätzung der Kosten im Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost für die beiden unterschiedlichen Arbeitspakete. In-Kind Leistungen durch Andreas Kellerer-Pirklbauer und Gerhard Karl Lieb, die sich auf ca. 6400 € belaufen sind in dieser Aufstellung nicht enthalten. Die Aufstellung gilt für 2019.	45





Literaturverzeichnis

Adler S. & Fürst H. (eds.) (2017) Global Climate Observing System - Austrian Inventory Report. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 113 Seiten.

Boeckli L., Brenning A., Gruber S., Noetzi J. (2012): Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics. *The Cryosphere* 6: 807-820.

Buckel J., Otto J.C., Prasicek G. & Keuschnig M. (2018): Glacial lakes in Austria - Distribution and formation since the Little Ice Age. *Global and Planetary Change* 164, 39–51.

Fischer A., Seiser B., Stocker-Waldhuber M., Mitterer C. & Abermann J. (2015): Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. *The Cryosphere* 9: 753-766.

Geoland (2019): Digitales 10m-Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten. <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/dgm> (zuletzt geprüft 08.07.2019)

Geoprecision (2019): Wireless data logger (433 / 915 MHz) / M-Log5W. <http://www.geoprecision.com/en/produkten/funk-datenlogger-433mhz-en> (zuletzt geprüft 08.07.2019)

KAGIS (2019): Digitales Höhenmodell (10m). Abteilung für Umwelt, Energie und Naturschutz. https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-ktn_digitales-gelandemodell-10m-karnten (zuletzt geprüft 06.07.2019)

Kellerer-Pirklbauer A. (2017): Potential weathering by freeze-thaw action in alpine rocks in the European Alps during a nine-year monitoring period. *Geomorphology*, 296,113-131.

Kellerer-Pirklbauer A. & Kaufmann V. (2012): About the relationship between rock glacier velocity and climate parameters in central Austria. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 94-112.

Kellerer-Pirklbauer A. & Kaufmann V. (2017): Deglaciation and its impact on permafrost and rock glacier evolution: New insight from two adjacent cirques in Austria. *Science of the Total Environment*, 621, 1397-1414.

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. & Kleinfelchner H. (2012): A new rock glacier inventory in the eastern European Alps. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105/2, 78-93.

Kellerer-Pirklbauer A., Bartsch A., Gitschthaler C., Reisenhofer S., Weyss G., Riedl C. & Avian M. (2015): permAT - Langzeitmonitoring von Permafrost und periglazialen Prozessen und ihre Bedeutung für die Prävention von Naturgefahren: Mögliche Strategien für Österreich. Endbericht von StartClim2014.F in StartClim2014: Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWWF, ÖBF, Land Oberösterreich, 49 Seiten.

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V. & Avian M. (2018): Permafrost im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2016/17. Unveröffentlichter Bericht, Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 33 Seiten.

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V. & Avian M. (2019): Permafrost-Monitoring Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2016-2018 – Projektendbericht. Unveröffentlichter Bericht, Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 41 Seiten.

Keuschnig M. (2018). Klimasensitive, hochalpine Kare: Projekt Sattelkar - Zwischenbericht 1: 2018, Nationalpark Hohe Tauern, 13 Seiten

Land Tirol (2019): Luftbildinterpretation Nationalpark Hohe Tauern – HIK0. Projekt Habitallp - Entnommen aus: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-tirol_nationalparkhohetauernirolluftbildinterpretation (Stand der Kartierungen in den drei Untersuchungsgebieten 2004 oder 2005) (zuletzt geprüft 07.07.2019)

Lieb G.K. & Kellerer-Pirklbauer A. (2017): Langzeit-Monitoring abiotischer Prozesse im Nationalpark Hohe Tauern – Erster Zwischenbericht zum Modul 07 „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“ im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen,



systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern. Unveröffentlichter Bericht, Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 9 Seiten.

Lieb G.K. & Kellerer-Pirklbauer A. (2018a): Langzeit-Monitoring abiotischer Prozesse im Nationalpark Hohe Tauern – Zweiter Zwischenbericht zum Modul 07 „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“ im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern. Unveröffentlichter Bericht, Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 32 Seiten.

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2018b): Gletscherbericht 2016/2017 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2017. Bergauf 02(2018): 20–27.

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2019): Gletscherbericht 2017/2018 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2018. Bergauf 02(2019): 20–29.

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A., Kaufmann V. & Avian M. (2016): The Graz permafrost monitoring network in the Hohe Tauern National Park (Austria). *Joannea Geol. Paläont.* 12: 9-16.

Reisenhofer S. (2019): Etablierung des Sonnblicks (Hohe Tauern) als Global Cryosphere Watch Supersite - Endbericht 2014-2018. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

SAGIS (2019): Digitales Höhenmodell (5m). Befliegungszeitraum 2007-2016. Land Salzburg, Referat Geodateninfrastruktur. <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/digitales-gelandemodell-des-landes-salzburg-5m> (zuletzt geprüft 06.07.2019)

Schönwiese, C.D. (2013): *Klimatologie - 4. überarbeitete und aktualisierte Auflage.* Stuttgart: Ulmer, 489 S.

Seiser B. & Fischer A. (2018): Venedigerkees - Massenhaushalt 2017/2018. Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck.

Stocker-Waldhuber M & Fischer A. (2018): Äußeres Mullwitzkees - Massenhaushalt 2017/2018. Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

TIRIS (2019): Digitales Höhenmodell (10m). Befliegungszeitraum 2006-2016, Land Tirol, Abteilung für Geoinformation. https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-tirol_tirolgelnde (zuletzt geprüft 06.07.2019)

WGMS (Hg.) (2018): Latest glacier mass balance data: 1 Summary of the balance years 2013/14, 2014/15 and 2015/16. <http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/> (zuletzt geprüft am 02.10.2018)

Zagel B. (2019): Glaziologisches Monitoring Stubachtal | Sonnblickkees, 2015-2019 Beiträge zur Glazialhydrologie eines hochalpinen Einzugsgebietes im Oberen Stubachtal, Hohe Tauern, Land Salzburg. Berichtsjahr 2018. Auftraggeber: Land Salzburg, Hydrographischer Dienst.

WMO (2014): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Published by WMO (2014 edition updated in 2017). URL https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.XOPafkxuKUI (zuletzt geprüft 10.05.2019)





Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

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



www.hohetauern.at