



Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen

Modul 07 – Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost

Zwischenbericht 2021

IMPRESSUM

forschungsraum

Zwischenbericht 2021 zu Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen: Modul 07 – Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost

Projektleitung:

Andreas KELLERER-PIRKLBAUER und Gerhard Karl LIEB, beide Universität Graz (Arbeitsgruppe "CASCADE – The mountain processes and mountain hazards group", Institut für Geographie und Raumforschung)

Für den Inhalt verantwortlich:

Andreas KELLERER-PIRKLBAUER und Gerhard Karl LIEB

Titelbild:

© Andreas KELLERER-PIRKLBAUER: Der 3310 m hohe Gipfelaufbau der Kristallwand und Teile des Schlatenkeeses. Blick nach Westsüdwest vom Venediger-Höhenweg aus. September-Neuschnee charakterisiert die steile Nordwand sowie die vergletscherten Flächen im Nahbereich des Berges. Auffallend die geschlossene Schuttdecke im unteren Teil des Gletschers ab einer Höhe von ca. 2550 m ü. A. entstanden durch reichliche Schutttzufuhr aus den periglazial beeinflussten Felswänden. Veränderungen am Schlatenkees werden alljährlich durch den ÖAV-Gletschermessdienst dokumentiert.

Zitiervorschlag:

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2021): Zwischenbericht 2021 im Modul 07 - Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern (Version 10/21). Forschungsraum (unpubliziert).

Weblink: http://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=43285

Inhalt

1. Einleitung	1
2. Methodik und Datengrundlagen	2
2.1. Methoden Bereich Witterung und Klima	2
2.2. Methoden Bereich Abfluss.....	3
2.3. Methoden Bereich Gletscherverhalten	4
2.4. Methoden Bereich Permafrost.....	5
3. Ergebnisse.....	9
3.1. Ergebnis Bereich Witterung und Klima 2019/2020.....	9
3.2. Ergebnis Bereich Abfluss 2019/2020	14
3.3. Ergebnis Bereich Gletscherverhalten 2019/2020.....	16
3.4. Ergebnis Bereich Permafrost 2019/2020	21
4. Interpretation und Diskussion	31
5. Fazit.....	33
Literaturverzeichnis.....	34
Abbildungsverzeichnis	36
Tabellenverzeichnis.....	38

1. Einleitung

In diesem technischen Zwischenbericht 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 2019/2020 (1. 10. 2019–30. 9. 2020) ausgewertet und interpretiert. Dieser Bericht ergänzt somit den Zwischenbericht von 2020 (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2020), der auf die Permafrost- und Bodentemperaturbedingungen auf der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels in der Venedigergruppe (Osttirol) im Gletscherhaushaltsjahr 2019/2020 fokussierte. An ausgewählten Stellen werden in diesem Bericht Ergebnisse der Auswertungen für 2019/2020 mit den entsprechenden Daten der Vorjahre (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018) verglichen, wobei eine detaillierte Darstellung hierzu im Endbericht zu diesem Projekt (April 2023) präsentiert wird.

Die im ersten Bericht zum Modul 07 (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2017) konstatierte gute Verfügbarkeit der Daten zu Witterung/Klima, Abfluss, Gletscherverhalten und Permafrost musste nach den erfolgten Auswertungen im zweiten Teilbericht (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018) teilweise relativiert werden. Im Endbericht der Pilotprojektphase (Lieb et al. 2019) wurde dies entsprechend 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. So stehen beispielsweise häufig für die letzten Jahre nur ungeprüfte Rohdaten zur Verfügung (auf diesen Sachverhalt wird im Schriftverkehr mit den verschiedenen Landesstellen zumeist verwiesen), was die Ergebnisse im Detail relativieren, nicht jedoch die Grundaussagen in Frage stellen kann. Auch mit diesen kleineren Einschränkungen waren die 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.

Konkret liegen für die drei untersuchten Einzugsgebiete Seebachtal, Untersulzbachtal und Innergeschlöss Daten für den Abfluss (Pegel am unteren Ende der dadurch definierten hydrographischen Einzugsgebiete) und für die Gletscher-Längenänderungen vor. Für den Permafrost gibt es kontinuierliche Boden- bzw. Felstemperaturreihen seit Sommer 2018 im Einzugsgebiet Innergeschlöss (Messstandort Innerer Knorrkogel). Weitere Daten zu Permafrost im Nationalpark Hohe Tauern gibt es von anderen Monitoringprogrammen. Ähnliches gilt für Massenbilanzmessungen an Gletschern im Nationalparkgebiet. Die Daten zum Faktor Witterung/Klima stammen nicht aus den Einzugsgebieten (Gründe hierzu siehe Lieb et al. 2019). Stattdessen wird auf nahegelegende Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und der hydrographischen Landesdienste zurückgegriffen. Für eine detaillierte Beschreibung der Einzugsgebiete wird auf den ersten Teil des Syntheseberichtes verwiesen (Lieb et al. 2019).

2. Methodik und Datengrundlagen

Betreffend allgemeine Hinweise zur Methodik in diesem Modul siehe Kellerer-Pirklbauer & Lieb (2019b).

2.1. Methoden Bereich Witterung und Klima

Die Witterungsbeschreibung für das Messjahr 2019/20, die in diesem Bericht im Ergebnisteil präsentiert wird, beruht auf eigenen Beobachtungen sowie auf der Interpretation der von der ZAMG verfügbar gemachten Daten und Analysen. Eine solche Beschreibung des Witterungsgeschehens ist für das Verständnis klimatischgesteuerter Phänome wie Permafrost und Gletscher äußerst wichtig und fließt z.B. auch in die Beurteilung der österreichweiten Gletscherveränderungen in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren mit ein (z. B. Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2021).

Witterungs- bzw. klimarelevante Daten aus dem Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für den Zeitraum 1. 10. 2019–30. 9. 2020 wurden – wie in den Vorjahren – von Stationen der ZAMG sowie der Hydrographischen Landesdienste akquiriert, wobei Niederschlags- (Tagessummen) und Temperaturdaten (Tagesmittelwerte) verwendet wurden (Lage der Standorte siehe Abb. 1). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für den gegenständlichen Bericht verwendeten teilautomatischen Wetterstationen (TAWES) der ZAMG. Folgendes ist zu dieser Tabelle anzumerken: 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). Die Stationsdaten der ZAMG konnten für das gegenständliche Projekt bedingt durch eine Kooperationsvereinbarung zwischen der Universität Graz und der ZAMG kostenfrei verwendet werden.

Tabelle 1: TAWES-Stationen der ZAMG, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des jeweiligen Beginns der verfügbaren Datenreihe. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.

Stationsname	Synnr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	Land	Seit
Rudolfshütte	11138	12,625833	47,134998	396379,5	222021,0	2317	Sbg	1992
Kolm-Saigurn	11344	12,984722	47,069443	423573,8	214548,1	1626	Sbg	1995
Sonnblick	11343	12,957500	47,054167	421497,8	212859,4	3109	Sbg	1891

Von Seiten der hydrographischen Landesdienste wurden sechs Klimastationen verwendet, die Tabelle 2 auflistet. Hierzu ist Folgendes anzumerken: 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). Die Stationsdaten stammen vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 12: Wasserwirtschaft, Unterabteilung 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. Zu beachten ist ferner, dass es an den Messstationen Neukirchen und Bramberg keine Lufttemperaturaufzeichnungen gibt.

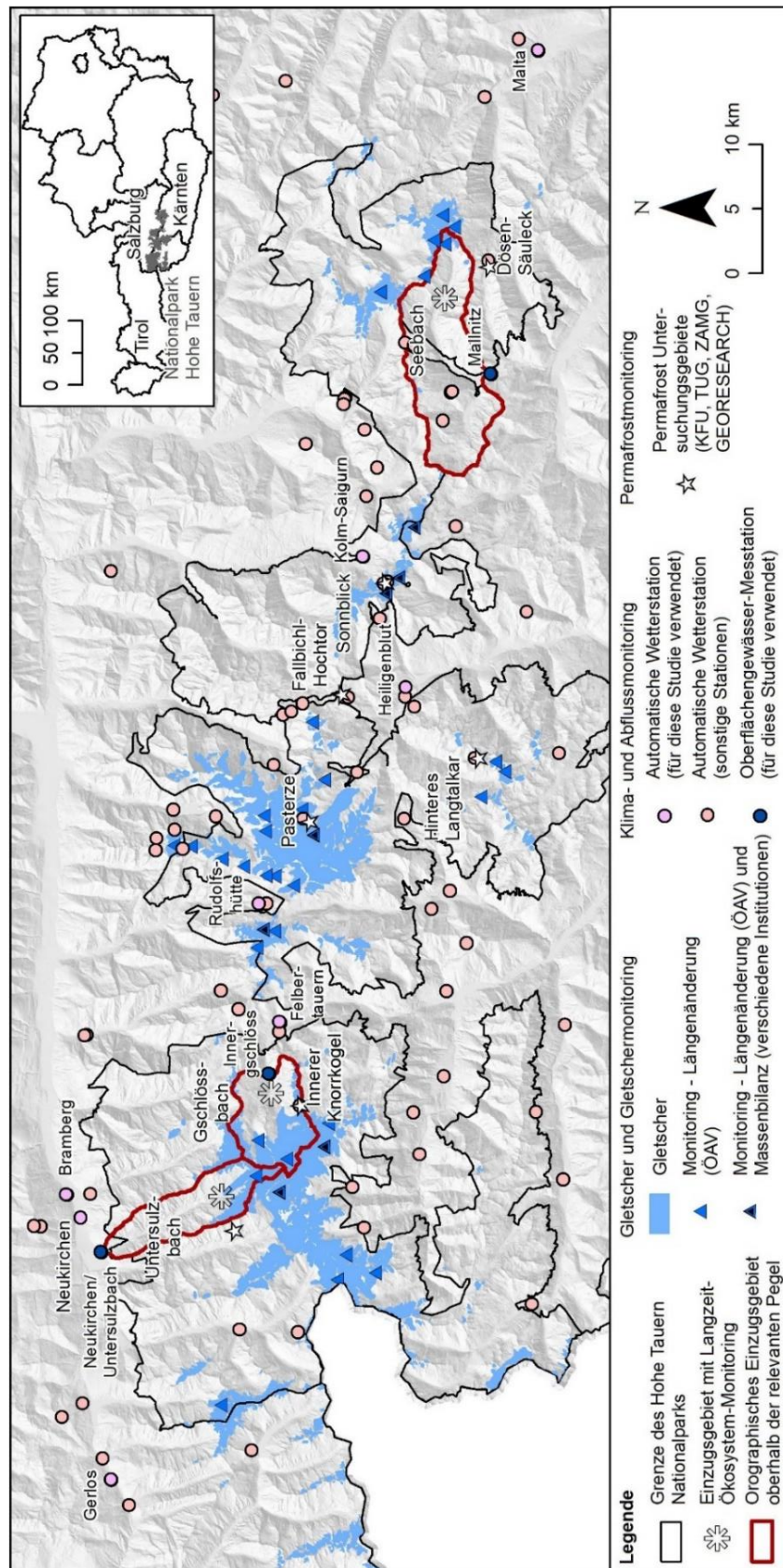


Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystemmonitoring sowie die Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (ZAMG- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher und der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (Lieb et al. 2019), verortet. HZB=Hydrographisches Zentralbüro, KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, TUG=Technische Universität Graz, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Tabelle 2: Klimastationen der hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit HZB-Code (Hydrographischer Dienst Österreichs) und Beginn der verfügbaren Datenreihe. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1. (1) Datenlücke von 1.-31. 3. 2019. (2) nur Niederschlagsdaten (keine Temperaturaufzeichnung).

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 (1)	113399	13,506944	46,954722	463268,6	201748,5	830	Ktn	1860
Neukirchen (2)	104059	12,297222	47,252222	371623,0	235332,2	857	Sbg	1973
Bramberg (2)	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

2.2. 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. Allgemein gilt für eHYD, dass die online verfügbaren Datenreihen meist nicht bis zum Ende des aktuellen Gletscherhaushaltsjahres (für 2020: Ende September 2020) reichen, sondern viele Monate oder sogar wenige Jahre zuvor enden. Beispielsweise konnte man am 1. 10. 2021 für die Messstelle Mallnitz die Abflusswerte (Q-Tagesmittel) nur bis 31. 12. 2018 abrufen. Diese mangelnde Aktualität der Datenreihen hängt in der Regel damit zusammen, dass die Rohdaten einen längeren Prüf- und eHYD-Einspielungsprozess durchlaufen und noch vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien bestätigt werden müssen.

Da eine Station pro Einzugsgebiet für dessen hydrographische Charakterisierung ausreicht (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018), wurden wiederum die Stationen Mallnitz (für den Seebach), Neukirchen (für den Untersulzbach) und Innergschlöss (für den Gschlössbach) näher untersucht. Tabelle 3 beinhaltet Metadaten zu den drei verwendeten Messstellen. Gleich wie bei Witterung und Klima wurde der Abfluss an den drei Messstellen für denselben einjährigen Zeitraum 1. 10. 2019 bis 30. 9. 2020 analysiert und in den Grafiken und Tabellen im Ergebniskapitel dargestellt.

Folgendes ist zur Tabelle 3 anzumerken: Höhe = Höhe des Pegelnullpunktes in m; o. Ezg. = orographisches Einzugsgebiet; übrige Abkürzungen wie in den Tabellen 1 und 2. 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. Allgemein gilt auch für diese Daten, dass eine Weitergabe an Dritte nicht gestattet ist, wobei Projektbeteiligte ausgenommen sind.

Tabelle 3: 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. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.

Stationsname	Synnr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	Land	Seit
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
Innergschlöss	212068	12,451944	47,124444	383174,2	220982,2	1686	39,3	Tirol

2.3. 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 Glockner- (12), gefolgt von der Venediger- (9) und der Ankogelgruppe (6). Jeweils drei Gletscher werden jährlich in der Granatspitz-, der Schober- 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 Schlattenkees für das Innergschlöss.

Wie in Lieb et al. (2019) darlegt, hängt es von unterschiedlichen Faktoren ab, wie viele Gletscher in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren tatsächlich vermessen werden. Beispielsweise sind dies die Zugänglichkeit in den Einzeljahren (z. B. Witterungseinfluss) oder die Bedeckung der Gletscherstirn durch Schnee aus dem Vorwinter. So etwa lag an den zwei stationären Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern im Jahr 2019/20 das Gletscherende des Gletschers am Roten Knopf (weithin) unter Altschnee aus dem vorangegangenen Winter, und der andere stationäre Gletscher war offenbar erst knapp vor dem Messtermin ausgeapert (Kleinelendkees, Ankogelgruppe), sodass noch kein Zurückschmelzen des Eisrandes erfolgen konnte. 2019 und 2020 waren auch die Wiederholungsmessungen der Gletscherlänge am Obersulzbachkees nicht möglich, weil ein davor liegender See den Gletscher mit vertretbarem Aufwand unerreichbar macht. Es lagen somit für 2018/19 von 33 und für 2019/20 von 32 Gletschern Längenänderungswerte vor. Details zu den beiden, für diesen Bericht relevanten Gletscherhaushaltsjahren 2018/19 und 2019/20 finden sich in Lieb & Kellerer-Pirklbauer (2020, 2021).

Massenbilanz

Gletschermassenbilanzmessungen gehören nicht zu den Aktivitäten des ÖAV-Gletschermessdienstes, sondern werden von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen an nur sieben Gletschern in den Hohen Tauern durchgeführt. Die Forscherteams bzw. Ansprechpersonen sowie die zuständigen Institutionen sind der Tabelle 4 zu entnehmen. Die laufenden Massenbilanzmessungen in der Tauernregion werden dabei durch das Hydrographische Zentralbüro in Kooperation mit den Bundesländern (insbesondere den jeweiligen Hydrographischen Diensten), dem Nationalpark Hohe Tauern, der Österreichischen Akademie der Wissenschaften sowie der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik gefördert.

Tabelle 4: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2021, ergänzt). ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg; Z_GIS= Fachbereich Geoinformatik, Universität Salzburg.

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



Daten der letzten Jahre wurden entweder direkt bei den zuständigen Institutionen angefragt, welche diese dankenswerter Weise kostenfrei für diesen Bericht zur Verfügung stellten, oder aber direkt von der Datenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS 2021) bezogen (Kontakt: Michael Zemp, WGMS-Direktor, Universität Zürich, michael.zemp@geo.uzh.ch). Die Massenbilanz des Wurtenskees wird im Zweijahresrhythmus berechnet und lag für 2019/20 zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht vor (pers. Mitteilung Stefan Reisenhofer).

2.4. 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 in mehreren Karen im Obersulzbachtal (seit 2015) zu nennen sind. Hervorzuheben sind die speziell für das gegenständliche Projekt vom Team der Berichtsleger eingerichteten Messstellen am Inneren Knorrkogel (Venedigergruppe).

Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Für die Darstellung der Bodentemperaturverhältnisse wird primär auf den im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten erstellten Zwischenbericht für 2019/20 zurückgegriffen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2021). Die Ergebnisse sind aufgrund der hohen Anzahl an Messstellen, die unterschiedliche Expositionen, Höhenlagen, Geländekonfigurationen und Substrate abdecken, in der Grundaussage der thermischen Reaktion des Permafrosts auf die großräumigen Witterungsverhältnisse der betreffenden Haushaltsjahre, auch auf den gesamten Nationalpark übertragbar. Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den in Abbildung 1 ersichtlichen Untersuchungsgebieten statt.

Abbildung 2 und Tabelle 5 geben eine detaillierte Übersicht über die Lage und Instrumentierung der in den vier Permafrost-Untersuchungsgebieten in Kärnten gelegenen Messstandorte. In zwei der Gebiete (Dösen-Säuleck, Hinteres Langtarkar-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 Kellerer-Pirklbauer et al. (2018, 2019, 2020, 2021) verwiesen.

Tabelle 5: Auflistung der vier lokalen Untersuchungsgebiete im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und ihrer Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage der Einzelstationen siehe Abbildung 2. Abbildung 15 zeigt Auswertungen der jeweils grau hinterlegten Sensoren. HLC=Hinteres Langtalar-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 Kürzeln. 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-S (c)	407560	205840	330795	5206487	2393	253	32	0, 10, 40
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
GOE-PR**	406099	202925	329272	5203604	2598	90	4	0, 30
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	(b)
PAG-PR1	404719	215779	328165	5216484	2078	0 (e)	0	0
PAG-PR2	404710	215824	328158	5216528	2080	0 (e)	0	0, 10, 40
PAG-FIR (d)	403015	219187	326535	5219927	3049	256	7	0

Anmerkungen zu Tabelle 5: (a) Daten vom Sensor in 100 cm Tiefe; (b) Standort wurde bedingt durch Lage auf einer Insel im Paterzensee 2020 aufgelassen; (c) 2020 reaktivierter Standort HLC-SO-S; (d) 2020 neu eingerichteter Standort PAG-FIR; (e) ebene Lage, deshalb 0°. * 2020 am Geländearbeitstermin unter Schnee (4 Standorte: HLC-RT, KC-LO, KC-UP und DOV-MI-N). ** Der Standort GOE-PR wurde 2015 eingerichtet, liegt rund 2,6 km SW vom Kögelekar bzw. 3 km SW vom Hinteren Langtalkar und misst in 0 und 30 cm Tiefe. Zur besseren Übersicht wurde dieser Standort nun auch in die Übersichtstabelle aufgenommen.

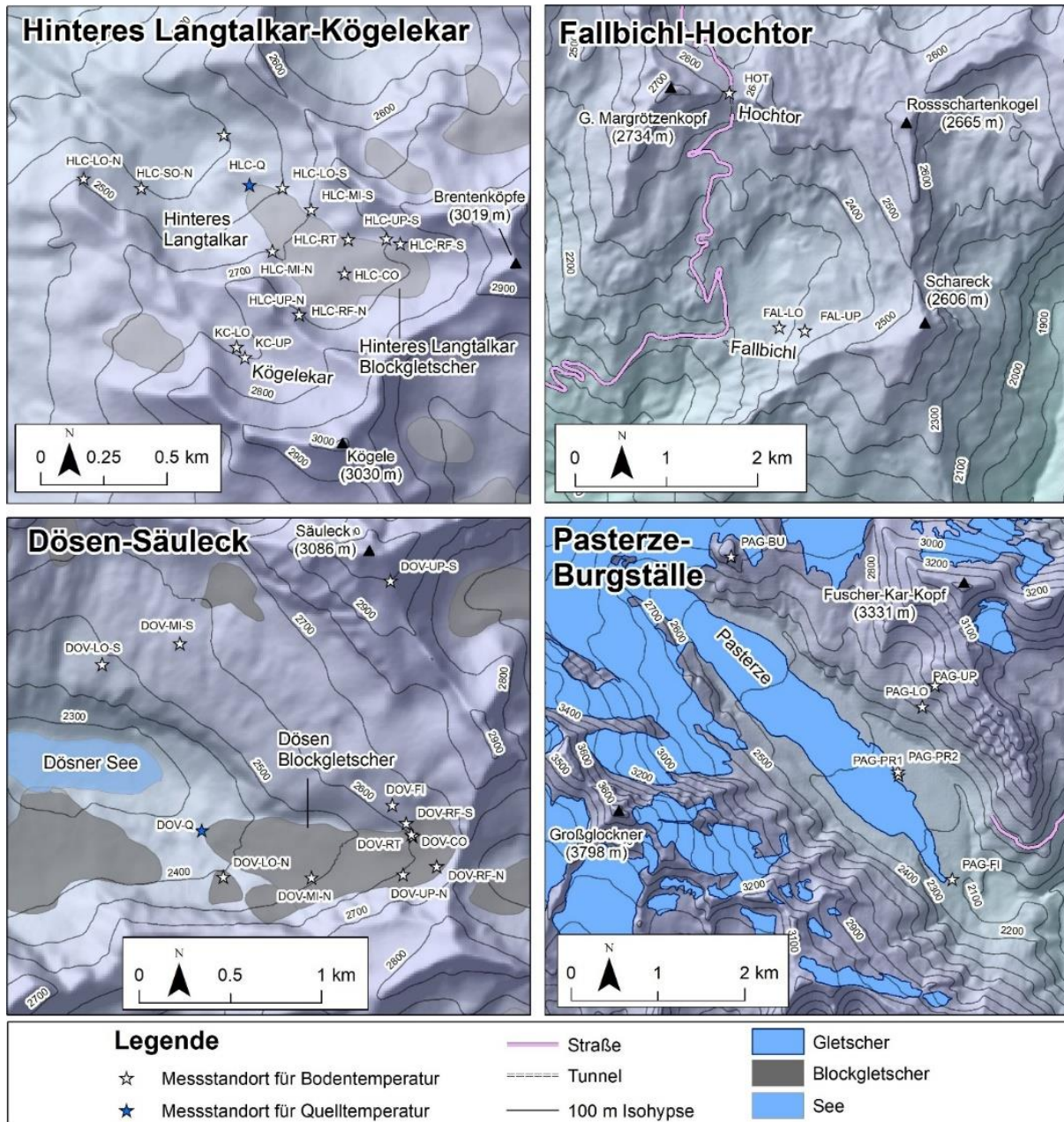


Abbildung 2: Detailkarten der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind (vgl. Tab. 5). Zu beachten ist, dass zusätzlich auch Quelltemperatur-Messstandorte im Bereich zweier Blockgletscherstirnen eingerichtet sind (HLC-Q und DOV-Q). PAG-FI musste aufgegeben werden (Gletschermaske Pasterze nach Buckel et al. 2018).



Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Von den im Umfeld des Hohen Sonnblicks (ZAMG) und am Kitzsteinhorn (Kooperation verschiedener Institutionen und des Seilbahnunternehmens unter der Leitung der Firma GEORESEARCH) betriebenen Bohrlöchern werden in diesem Bericht die Messergebnisse des Bohrlochs 3 am Hohen Sonnblick verwendet, da diese die geschlossenste Datenreihe darstellen.

Anzumerken ist hierzu jedoch, dass von Seiten der ZAMG im Sommer/Herbst 2019 die Bohrlochinstrumentierung verändert wurde, wobei von den Loggern bzw. Sensoren der Firma Sommer zu denen der Firma Geoprecision gewechselt wurde. Durch diese Adaptierung entstand eine Datenlücke für den Zeitraum 21. 7. 2019 bis 3. 10. 2019. Im Sommer 2020 kam es durch einen Blitzeinschlag zur Zerstörung der Geoprecision-Messkette, weshalb auch für den Zeitraum 8. 7. 2020 bis 30. 9. 2020 keine Permafrost-Temperaturdaten vorliegen. Die Daten sind geprüft, aber nicht endgültig homogenisiert (pers. Mitteilung Claudia Riedl).

Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Auch für die Darstellung der Bewegungsraten in kriechendem Permafrost (Blockgletscher) wird auf die Berichte im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten zurückgegriffen (zuletzt Kellerer-Pirklbauer et al. 2021). Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den beiden Untersuchungsgebieten Dösen-Säuleck (Dösener Blockgletscher) und Hinteres Langtalkar-Kögelekar (Hinteres Langtalkar Blockgletscher) statt (Abbildung 2).

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Wie im letzten Zwischenbericht (Kellerer-Pirklbauer und Lieb 2020) dargestellt, konnte die Geländearbeiten im Untersuchungsgebiet Innerer Knorrkogel in der Woche 31. 8. 2020 bis 4. 9. 2020 durchgeführt werden. Die Anreise nach Innergschlöss erfolgte am Montag, 31. 8. 2020, die Geländearbeit am Inneren Knorrkogel konnte witterungsbedingt (Kaltlufteinbruch mit Schneefall unter 2500 m zu Wochenbeginn) erst am Donnerstag, 3. 9. 2020, erfolgreich durchgeführt werden, wobei der Auf- und Abstieg zum bzw. vom Arbeitsgebiet wie im Vorjahr von Innergschlöss über das Löbbentörl erfolgte.

Die Geländearbeit selbst konnte bei optimalen Witterungsverhältnissen trotz Neuschneeresten effizient durchgeführt werden. Alle 18 Messstandorte wurden an einem langen Arbeitstag erfolgreich aufgesucht und gewartet. Weitere Details siehe Kellerer-Pirklbauer und Lieb (2020).

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Seit 2015 werden auch im Bereich des Sattelkars, Obersulzbachtal (Venedigergruppe, Salzburg), Bodentemperaturen kontinuierlich gemessen, wobei diese Aktivitäten gemeinsam vom Nationalpark Hohe Tauern Salzburg, dem Hydrographischen Dienst des Landes Salzburg sowie der Firma GEORESEARCH Forschungsgesellschaft durchgeführt werden. Ebenso zeichnen seit dem Sommer 2018, in den südlich an das Sattelkar anschließenden Karen (Ofen-, Mitter- und Steinkar), Datenlogger kontinuierlich Bodentemperaturen auf.

In Summe liegen in den vier genannten Karen 30 Datenlogger, die alle in rund 10 cm Tiefe im Lockermaterial platziert sind (Details siehe hierzu Keuschnig 2018 sowie Lieb et al. 2019). Die Daten von 13 Standorten im Sattelkar für den Gesamtzeitraum 22. 10. 2015–9. 7. 2020 wurden uns freundlicherweise von der Firma GEORESEARCH (Ingo Hartmeyer sei an dieser Stelle für die Übermittlung herzlichst gedankt) zur Verfügung gestellt und für den Ergebnisteil ausgewertet.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse zum Bereich Witterung und Klima 2019/2020

In der Tabelle 6 sind die Jahreswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags für das Projektjahr 2019/20 sowie – für Vergleichszwecke – der fünf vorangegangenen Jahre für neun ausgewählte Klimastationen in der Nationalparkregion wiedergegeben. Diese neun Standorte können prinzipiell als repräsentativ für größere Gebiete angesehen werden (Lieb et al. 2019).

Die Unterschiede der Werte zwischen den Stationen sind wegen der Lage zum Hauptkamm, vor allem aber wegen der unterschiedlichen Seehöhe groß. Die Veränderlichkeit von einem Jahr auf das andere verläuft jedoch relativ gleichsinnig – so etwa ist das relativ niederschlagsreiche Jahr 2019/20 an sechs der neun Stationen das Niederschlagsreichste und an den restlichen drei Stationen (Sonnblick, Gerlos, Rudolfshütte) das Zweitniederschlagsreichste der sechs Jahre. Der generelle Witterungscharakter der Jahre wird also mit hinreichender Genauigkeit durch diese Stationen abgebildet.

In den Werten der Tabelle 6 ist erkennbar, dass das Jahresmittel der Temperatur an einigen Standorten im Jahr 2019/20 im Vergleich zu den fünf Jahren zuvor sehr hoch war. An einigen Standorten wurden sogar neue Maximalwerte der Jahresmitteltemperatur im gezeigten Zeitraum erreicht (Kolm-Saigurn, Sonnblick, Gerlos). Die außergewöhnlich hohen Niederschläge im Winterhalbjahr 2019/20 wirkten sich auch auf die Gesamtjahresniederschlagssumme aus und erbrachten im hier gezeigten sechsjährigen Beobachtungszeitraum neue Maximalniederschlagssummen an den Stationen Kolm-Saigurn, Heiligenblut, Malta, Neukirchen, Bramberg und Felbertauern.

Diese Sachverhalte werden sehr gut in den Abbildung 3 und 4 sichtbar, worin die Werte der beiden letzten Beobachtungsjahre für Temperatur und Niederschlag einander gegenübergestellt werden. Bei der Gegenüberstellung der Temperaturwerte der letzten beiden Jahre lag nur an den beiden Stationen Heiligenblut und Malta der Jahresmittelwert im Jahr 2018/19 um jeweils 0,2°C höher als im Folgejahr, an allen anderen Stationen war das letzte Beobachtungsjahr um 0,01°C (Felbertauern) bis 0,7°C (Sonnblick) wärmer. Beim Vergleich der Niederschlagssummen von 2019/20 und 2018/19 ist auffällig, dass an sieben der neun Stationen (die Ausnahmen hierbei ist der Sonnblick sowie im geringen Umfang Gerlos – um 23 mm), das letzte Beobachtungsjahr höhere Niederschlagssummen aufwies als das Jahr zuvor. An der Station Malta fiel dieser Unterschied mit 771 mm im Jahr 2018/19 im Gegensatz zu 1232 mm im Folgejahr am stärksten aus.

Tabelle 6: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den sechs Jahren 2014/15 bis 2019/20 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehenen, Klimastationen in den Hohen Tauern. Grau hinterlegt ist der für diesen Zwischenbericht relevante Projektzeitraum. (* Datenlücke 1. 03. 2019–31. 3. 2019)

	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
2018/19	1,3	2366	5,8	1866	-4,0	2036	7,3	885	9,6	771
2019/20	1,5	2573	6,2	2073	-3,3	1902	7,1	1170	9,4	1232*

	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
2018/19	n.d.	1061	n.d.	1164	5,8	1442	5,2	1494
2019/20	n.d.	1230	n.d.	1287	6,2	1419	5,21	1712

Vergleich Lufttemperatur 2019/20 vs. 2018/19

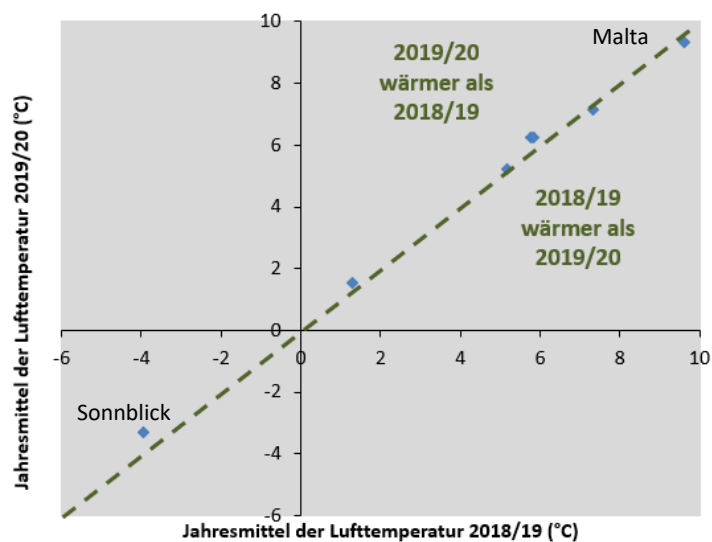


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2019/20 mit 2018/19 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 6 bilden.

Vergleich Niederschlag 2019/20 vs. 2018/19

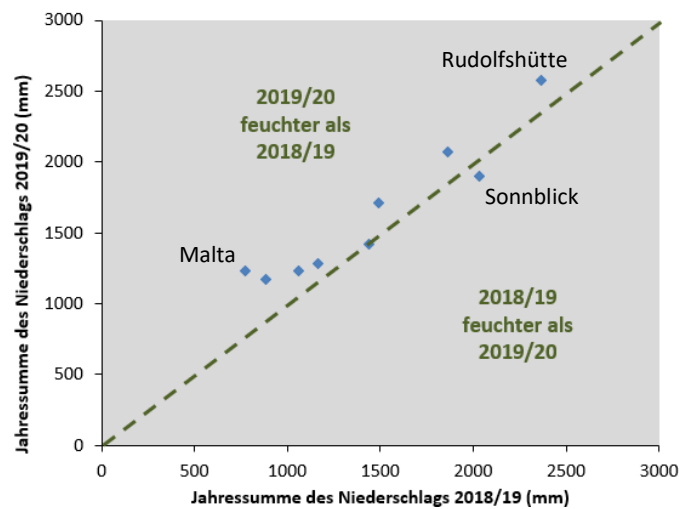


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2019/20 mit 2018/19 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 6 bilden.

Der Witterungscharakter des Projektjahres 2019/20 ist wie folgt zu charakterisieren: Der Oktober 2019 war antizyklonal und warm, während der November bezüglich der Temperaturen regional unterschiedlich verlief und im Süden des Tauernhauptkamms ergiebige Schneefälle brachte. In den übrigen Teilen der Hohen Tauern erfolgte der Aufbau der hochwinterlichen Schneedecke langsamer. Insgesamt lagen die Niederschlagsmengen in den Hohen Tauern jedoch deutlich über dem langjährigen Mittel, vor allem aber südlich des Hauptkammes als Folge der langandauernden, intensiven Niederschläge im November 2019. Im Norden des Hauptkammes waren die Schneefälle etwas gleichmäßiger über den Winter verteilt, regional mit Schwerpunkt im Spätwinter.

Im Spätwinter stach der sehr milde und sehr niederschlagsarme April 2020 hervor, jedoch wurde die Ausaperung der Hochregionen in der Folge durch die zyklonale Witterung des Zeitraums zwischen Mai und Juli entscheidend verzögert, sodass für die Gletscher der glaziologische Sommer mit einer für sie günstigen, Schneebedeckung begann. So blieben höher liegende Gletscherbereiche vielfach bis in die erste Augustdekade hinein zu mehr als der Hälfte der sichtbaren Fläche schneebedeckt. Im Hochsommer gab es mehrere Schneefallereignisse mit kurzlebigen, die Gletscher einige Tage lang vor Ablation schützenden, Schneedecken in den Hochlagen (über 2500–2800 m). Nach dem in den gesamten österreichischen Alpen wirksamen Schneefallereignis vom 31. 8./1. 9. 2020 folgten regional noch zwei weitere im September, ohne dessen ausgesprochen spätsommerlichen Charakter zu ändern. Als Ende des Gletscherhaushaltsjahres – und somit auch der Ungustperiode für den Permafrost – kann österreichweit der 25. 9. 2020 festgelegt werden, obwohl tief gelegene Gletscherteile, wie etwa des Schlatenkeeses, in der ersten Oktoberdekade noch einmal ausaperten. Insgesamt lassen diese geschilderten Bedingungen das Gletscherhaushaltsjahr dem vorigen (2018/19) ähnlich erscheinen, was auch die an Gletschern in den Hohen Tauern gemessenen Massenbilanzen belegen (siehe weiter unten). An den meisten Gletschern waren diese in beiden Jahren weniger negativ als in den Jahren zuvor.

Abbildung 5 zeigt in einer Zusammenschau die Kurven der Monatsmitteltemperaturen aller in Tabelle 6 genannten Stationen mit entsprechenden Daten über den sechsjährigen Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2020. 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 sechs Jahre $-3,8^{\circ}\text{C}$), (c) die Station Rudolfshütte am zweitkühlsten ist ($1,3^{\circ}\text{C}$), (d) die Stationen Kolm-Saigurn ($5,8^{\circ}\text{C}$), Gerlos ($5,8^{\circ}\text{C}$) und Felbertauern ($5,2^{\circ}\text{C}$) relativ ähnlich sind und (e) die Stationen Heiligenblut (Mittel $7,2^{\circ}\text{C}$) und Malta ($9,2^{\circ}\text{C}$) die höchsten Werte aufweisen, was großteils der regelhaften Temperaturabnahme mit der Höhe entspricht. Hervorzuheben sind die auffallend tiefen Monatsmittel im Jänner 2017, im Februar 2018 und im Jänner 2019. Demgegenüber stehen die milden Winter 2015/16 und vor allem der außergewöhnlich warme Winter 2019/20, der als der zweitwärmste Winter der 253-jährigen Messgeschichte der ZAMG (nach jenem von

2006/07) gilt. Die höchsten Monatsmittelwerte in dem 6-jährigen Beobachtungszeitraum wurden an fünf der sieben Stationen (Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Gerlos, Felbertauern) im Juli 2015 registriert. An zwei Stationen Heiligenblut und Malta wurden die dort gemessenen Juli-2015er Werte im geringen Umfang (um 0,2 bis 0,4°C) im Juni 2019 übertroffen. Der absolute höchste Monatsmittelwert in dem 6-jährigen Beobachtungszeitraum wurde für die Station Malta im Juni 2019 mit 20,3°C errechnet.

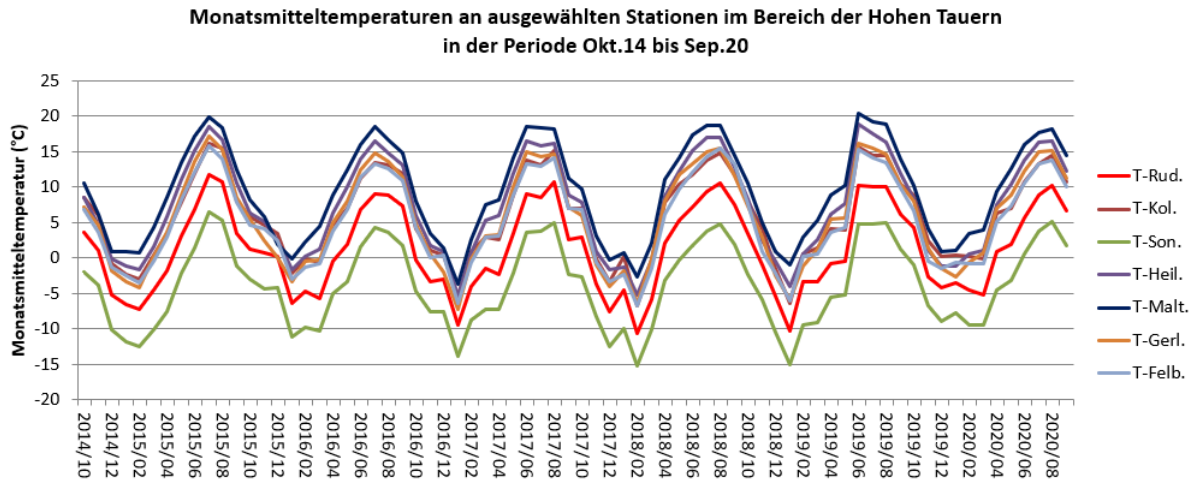


Abbildung 5: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2020 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.

Die Monatswerte der Temperatur an der Station Sonnblick im glaziologischen Haushaltsjahr 2019/20 werden in Abbildung 6 und Tabelle 7 den entsprechenden Werten der Klimanormalperiode 1981–2010 gegenübergestellt. Im Mittel lagen die Temperaturen des letzten Beobachtungsjahres weit über denen der genannten Klimanormalperiode, auf das Gesamtjahr gesehen betrug die Abweichung +1,7°C. Im Jahresverlauf ist auffällig, dass nur ein einziger Monat im Berichtsjahr 2019/20 kälter war als in der Klimanormalperiode (Mai 2020 um 0,5°C). Oktober 2019 sowie Februar, April und September 2020 waren sogar um mehr als 2°C zu warm, den größten Ausreißer stellte jedoch der Jännerwert mit 3,8°C über dem Monatsnormalwert dar. Das Beobachtungsjahr 2019/20 kann somit aus thermischer Sicht als extrem abträglich für Schnee, Gletscher und Permafrost im Nationalpark Hohe Tauern gesehen werden.

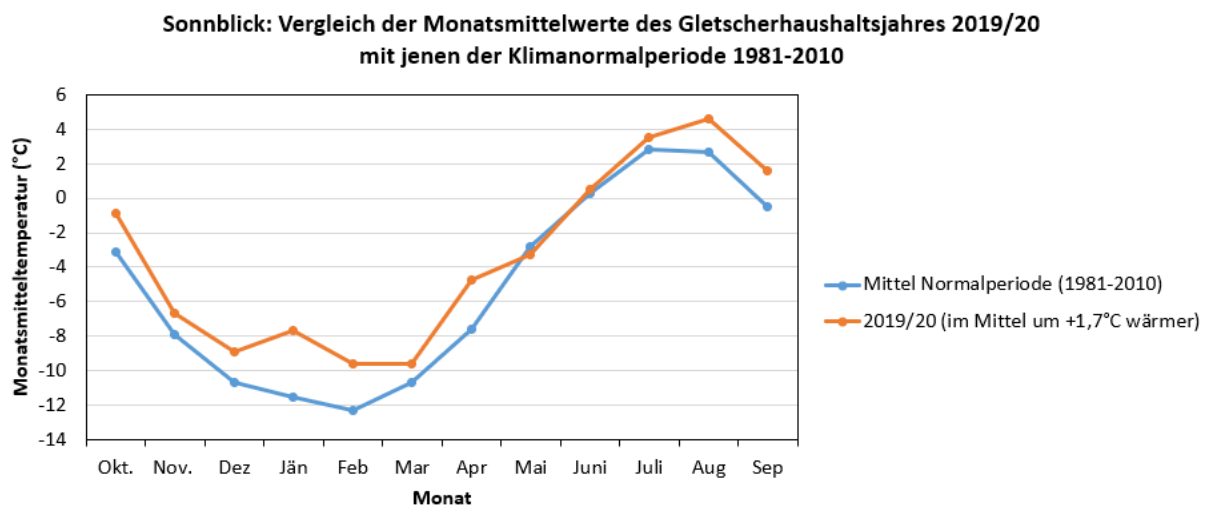


Abbildung 6: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) des Gletscherhaushaltsjahres 2019/20 mit jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).

Tabelle 7: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte des Gletscherhaushaltsjahres 2019/20 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).

Monat	Monatsmittelwerte (°C)		Abweichung (°C)
	1981–2010	2019/20	2019/20
Okt.	-3,1	-0,9	2,2
Nov.	-7,9	-6,7	1,2
Dez.	-10,7	-8,9	1,8
Jän.	-11,5	-7,7	3,8
Feb.	-12,3	-9,6	2,7
März	-10,7	-9,6	1,1
Apr.	-7,6	-4,7	2,9
Mai	-2,8	-3,3	-0,5
Juni	0,3	0,5	0,2
Juli	2,8	3,5	0,7
Aug.	2,7	4,6	1,9
Sep.	-0,5	1,6	2,1
Mittel	-5,1	-3,4	1,7

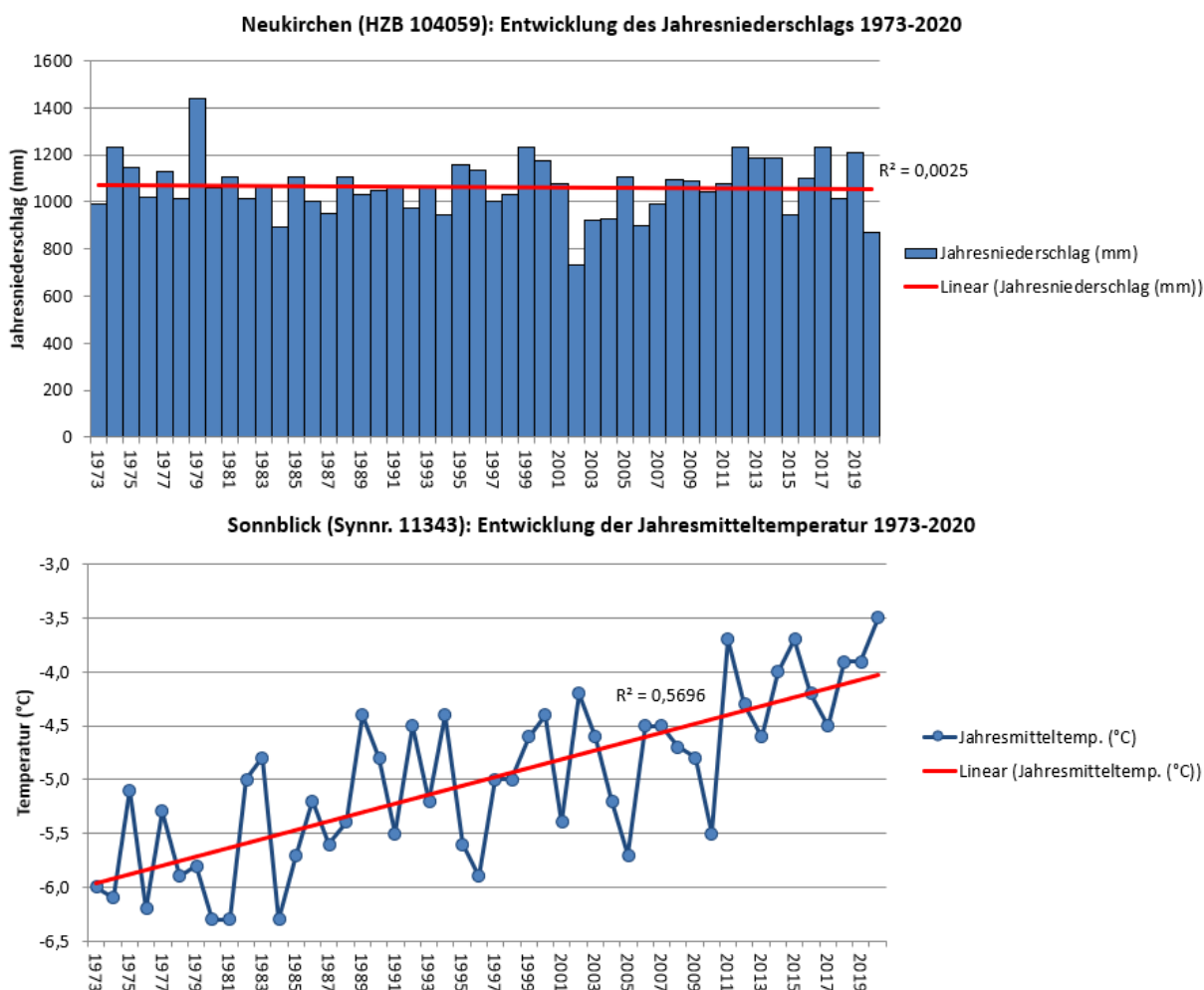


Abbildung 7: Langzeitentwicklung von Niederschlag und Temperatur am Beispiel der Stationen Neukirchen und Sonnblick. Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2020 und entsprechende Trends. Niederschlag: keine signifikante Veränderungen erkennbar. Temperatur: klarer Erwärmungstrend.

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 Abbildung 7 sind die Jahressummen (Kalenderjahre) des Niederschlags für den Zeitraum 1973–2020 sowie ein entsprechender 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 Mittelwerte im 45-jährigen Beobachtungszeitraum liegt bei 1065 mm, das Maximum wurde im Jahr 1979 mit 1440 mm gemessen, während das Minimum (2002) mit 731 mm nur knapp die Hälfte des Maximalwertes betrug.

Zusätzlich ist in der Abbildung 7 unten auch die Entwicklung der Jahresmittel der Lufttemperatur an der Station Sonnblick über denselben 48-jährigen Zeitraum dargestellt. Ganz deutlich ist unabhängig von großen Schwankungen von Jahr zu Jahr ein Erwärmungstrend zu erkennen. In 6 der letzten 10 Jahren betrug die Jahresmitteltemperatur $\geq -4^{\circ}\text{C}$, wobei das Kalenderjahr 2020 als das absolut wärmste hervorsticht: Die $-3,5^{\circ}\text{C}$ stellen auch einen neuen Stationsrekord in der gesamten Messreihe seit 1887 dar. Das bisher wärmste Jahr war am Sonnblick das Jahr 2011 mit einem Jahresmittel von $-3,7^{\circ}\text{C}$.

3.2. Ergebnis Bereich Abfluss 2019/2020

Die Abflusswerte der drei Pegel Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) wurden für den Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2020 näher betrachtet. Abbildung 8 zeigt die Tagesmittel der gemessenen Abflüsse an den drei Stationen für den sechsjährigen Zeitraum. Die schon bei Lieb et al. (2019) beschriebenen Merkmale des Abflussgeschehens kommen besonders gut auch in Tabelle 8 zur Geltung. Insgesamt verliefen die hier dargestellten Beobachtungsjahre in Bezug auf die Abflüsse recht unauffällig, sieht man von einzelnen Hochwasserspitzen (am Pegel Innerschlöss mit Abflusswerte von $> 25 \text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2019 bzw. sogar $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2020) ab.

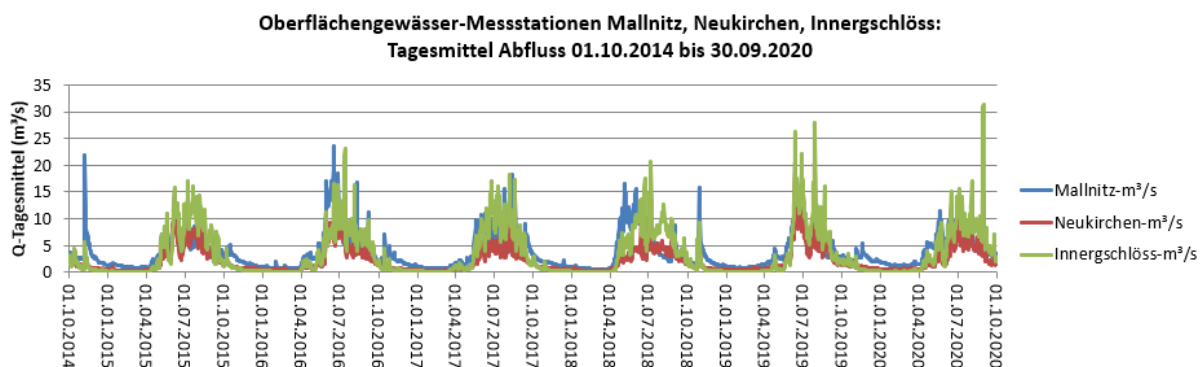


Abbildung 8: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m^3/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 –30. 9. 2020.

Der Mallnitzbach weist wegen der Größe des Einzugsgebietes die höchsten aller Jahres- sowie zumeist auch Monatswerte – wie in Tabelle 8 ersichtlich – auf, wenngleich der Gschlössbach in manchen Beobachtungsjahren den höchsten Monatswert der drei Bäche (zuletzt Juni 2019 bzw. August 2020) verzeichnete. 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 %, während der relative Unterschied zwischen dem maximalen und minimalen Jahreswert am Pegel Neukirchen 28 % beträgt.

Tabelle 8: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2020; Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima.

Jahr	Q-Mallnitz (Mio. m³)			Q-Neukirchen (Mio. m³)			Q-Innerschlöss (Mio. m³)		
	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)
2018/19	102,20	24,97 (Juni)	2,14 (Februar)	77,16	23,49 (Juni)	1,28 (Februar)	103,20	32,92 (Juni)	0,27 (Februar)
2019/20	122,65	20,80 (Juni)	3,15 (Februar)	68,50	15,49 (Aug.)	1,44 (Februar)	109,37	27,34 (Aug.)	0,41 (Jänner)

Abbildung 9 stellt die Jahresgänge des aktuellen Beobachtungsjahres für die drei Standorte dar. Auffällig sind die nahezu gleichförmigen Verläufe (Auslauf des Basisspeichers) bis etwa Mitte April 2020, der relativ langsame Anstieg der Schüttung an den Pegeln Mallnitz und Neukirchen sowie im Gegensatz dazu der etwas variablere Anstieg des Abflusses an der Station Innerschlöss. Am Pegel Innerschlöss, der in sehr hohem Ausmaß von der Gletscherschmelze beeinflusst wird, kam es am 29. und 30. 8. 2020 zu Abflusswerten von $>30 \text{ m}^3/\text{s}$, was mit hohen Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum (28. 8.–31. 8. 2020; in Summe 164 mm an der Station Felbertauern) in Verbindung steht. Diese Abflussspitze ist auch an den Pegeln Mallnitz und Neukirchen zu sehen, wenngleich dort ab der ersten Augustwoche der Abfluss stetig abnahm, was gut ausgeprägten Auslaufkurven in diesem Zeitraum entspricht.

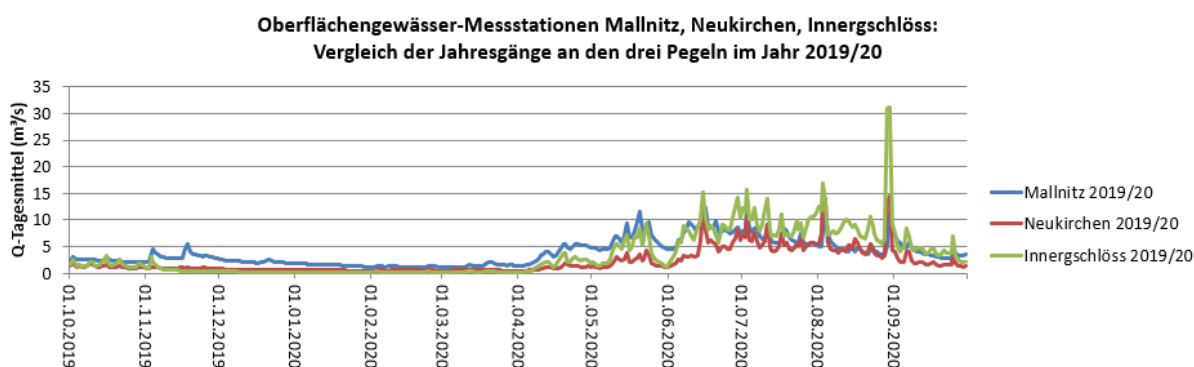


Abbildung 9: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q im m^3/s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2019–30. 9. 2020.

Abbildung 10 zeigt die mittleren monatlichen Abflüsse – wiederum für die sechs Beobachtungsjahre und für alle drei Stationen – im Zeitraum Okt. 2014–Sept. 2020. Klar erkennbar sind hier zu einem die alljährlich ähnlichen Bedingungen in den Wintermonaten (vor allem Dez.–Apr.). Zum anderen ist auffällig, dass die Monatssummen in den übrigen Monaten stark von Jahr zu Jahr, aber auch von Standort zu Standort variieren, was wiederum auf lokale Effekte – Niederschlag bzw.

Schnee-/Eisschmelze – zurückzuführen ist. Beispielsweise fallen in den letzten beiden Beobachtungsjahren die relativ hohen Werte für Innerschlöss (Juni bis August 2019, Juli und August 2020) auf.

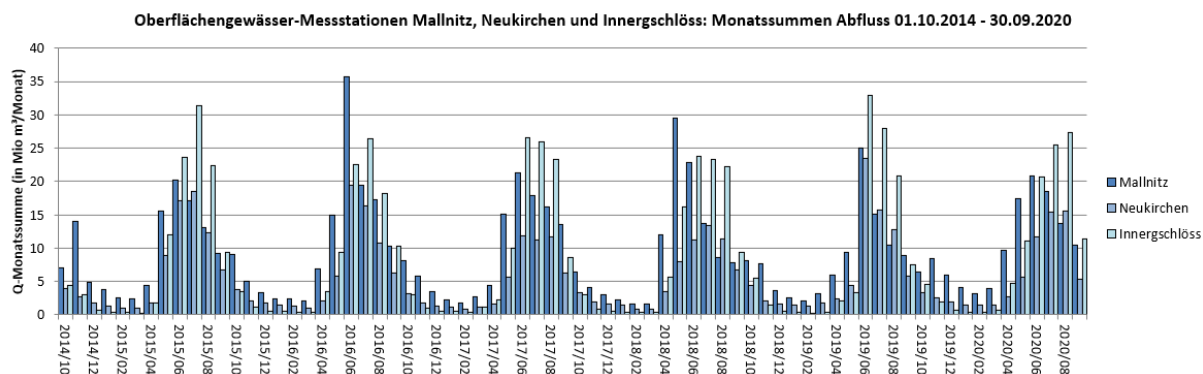


Abbildung 10: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2014 – 30.09.2020.

Tabelle 9 schließlich beinhaltet die auf mm Wassersäule umgerechneten Abflussmengen pro Jahr, die unmittelbar mit den Niederschlagswerten in den drei Untersuchungsgebieten verglichen werden können, wobei jedoch zu beachten ist, dass nur Stationsdaten der Niederschlagssummen (und somit nur an den Stationen gültig) und nicht gemittelte Gebietsniederschläge (repräsentativ für das ganze Gebiet) vorliegen. Besonders die Werte an den Stationen Neukirchen und Innerschlöss sind stark von einer von den ungünstigen Bedingungen für Gletscher verursachten Gletscherspende (siehe die beiden nachfolgenden Abschnitte) beeinflusst. In allen Jahren wurde für den Pegel Innerschlöss die bei weitem höchste Abflusshöhe ermittelt.

Tabelle 9: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die sechs glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15–2019/20 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebiet 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
2018/19	1198	1905	2626
2019/20	1438	1691	2783

3.3. Ergebnis Bereich Gletscherverhalten 2019/2020

Längenänderung

Tabelle 10 listet die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen an den 36 vom Gletschermessdienst des Alpenvereins erfassten Gletschern nicht nur für das aktuelle Berichtsjahr 2019/20, sondern auch für die vier Jahre zuvor (2015/16–2018/19) auf, um die Ergebnisse des letzten glaziologischen Haushaltjahres in einen etwas 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 in den letzten drei Messjahren 2017/18–2019/20 auffallend nieder, wohingegen die Werte in den anderen fünf Gebirgsgruppen im Wesentlichen als normal einzustufen sind.

Tabelle 10: Auflistung der im Nationalpark Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16–2017/18. Lage siehe Abbildung 1.

Gruppe	Gletscher	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20
Venedigergruppe (n=9)	Untersulzbachkees*	(-41,5)		-53	-21,5	-44
	Obersulzbachkees	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Krimmlerkees I	(-45,3)		-7	-14,1	-13,2
	Umbalkees	-16	-29,3	-24	-22	-26
	Simonykees	-17	0	0	0	-6
	Zettalunitzkees	-51	-54	-16	-24	-35
	Frosnitzkees	-36	-49	-29	-7	-10
	Schlatenkees*	-50	-70	-67	-23	-50
	Viltragenkees*	-15	-28	-128	-27	-11
Granatspitzgruppe (n=3)	Sonnblickkees	-8,8	-1,9	-0,1	-2,5	-1,5
	Landeckkees	1,1	-14,7	-7,9	sn	-1,1
	Kalser Bärenkopfkees	-4,9	-3,6	-3,1	-2,8	-1,03
Glocknergruppe (n=12)	Pasterze	-44,3	-61	-31,9	-60	-52,5
	Wasserfallwinkelkees	-39,4	-12,5	-13,9	-11,4	-14,9
	Freiwandkees	-7,9	-89,1	-6,9	-5,9	-34
	Brennkogelkees	-7,5	-14,2	-6,4	-8,6	-13,7
	Bärenkopfkees	-6,5	-13,3	-5,4	-86,9	-9,7
	Karlingerkees	-28,2	-9	-10,1	-71,7	-23,5
	Schmiedlingerkees	-12,1	-11,3	-33,1	-15,9	-15,8
	Maurerkees	-3,1	(-20,0)		2,2	n.d.
	Schwarzkarlkees	-14,7	(-45,8)		-7,7	-11,8
	Unteres Riffelkees	-2,9	-11,1	-17,2	-6,2	-7,3
	Totenkopfkees	-0,5	-2,3	-6	-2,4	-2,8
	Ödenwinkelkees	-17,8	-22,3	-4,7	-10,6	-15
Schobergruppe (n=3)	Hornkees	-7,1	-12,1	-8	-5,4	-2,6
	Gössnitzkees	-8,2	-8	-27,1	-6,7	-3,1
	Roter Knopf-Kees	-2,2	-1,5	-0,4	0	sn
Goldberggruppe (n=3)	Kleinfleißkees	-1,6	-4,5	-4,8	-0,2	-2,6
	Östl. Wurten-/	-26	-11,4	-12,9	-5	-25,5
	Goldbergkees	-10,5		-4,4	-6,4	-7,6
Ankogel Hochalm- spitzgruppe (n=6)	Winkelkees*	-0,8	-118,1	sn	sn	sn
	Westl Trippkees	-35,4	-49,3	-2,2	-1,3	-1,7
	Hochalmkees	-7,1	-11,1	-3,3	-2,3	-2,3
	Großelendkees	-4	-12,7	-4,9	-4,0	-2,2
	Kälberspitzkees	-11,2	-13,7	-4,6	-4,5	-5,1
	Kleinelendkees	-17,1	-9,1	-4,4	1,0	-0,3

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.

Als besonders erwähnenswert gilt der „Vorstoß“ eines Gletschers im Messjahr 2018/19: An der Stubachtaler Seite der Glocknergruppe lag mit dem Maurerkees der einzige Gletscher Österreichs, der im Beobachtungszeitraum 2018/19 einen Vorstoß (+2,2 m) zu verzeichnen hatte. Dieser vermeintliche Vorstoß begründete sich jedoch nicht aus einem aktiven Vorrücken, sondern aus dem Nach-Vorne-Kippen eines Teils der Gletscherstirn. Von den 32 Gletschern mit Daten im Messjahr 2019/20 wurde ein einziger Gletscher, das Kleinellendkees in der Ankogelgruppe, auf Basis von Messungen als „stationär“ eingestuft, d. h. mit einer Längenänderung innerhalb von ± 1 m. Ein Gletscher lag nur knapp über diesem Wert (Kalser Bärenkopfkees, Granatspitzgruppe). Ein weiterer Gletscher, dessen Stirn unter Altschnee zum Zeitpunkt der Messung lag, wurde ebenfalls als stationär eingestuft (Roter Knopf-Kees, Schobergruppe).

Allgemein kann gesagt werden, dass erwartungsgemäß in allen fünf Haushaltsjahren Gletscherrückzüge bei Weitem dominieren und nur vereinzelt geringfügige Vorstöße oder stationäres Verhalten vorkommen. Diese sind jedoch in keinem Fall als aktives Vorrücken der Eistränder aufgrund anhaltend positiver Massenbilanzen zu interpretieren, sondern kommen meist durch besondere topographische Gegebenheiten oder lokal weit in den Sommer hinein liegende Schneebedeckung der Eistränder (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 fünf Messjahre zeigt Abbildung 11 die mittlere Längenänderung von 22 Gletschern im Gebiet des Nationalparks Hohe Tauern, von denen für alle fünf Gletscherhaushaltsjahre Daten vorliegen. Dadurch fließen immer dieselben Gletscher in die Berechnung des Mittelwertes ein und der Vergleich der Jahreswerte ist dadurch uneingeschränkt möglich. Klar ersichtlich ist darin, dass in den letzten beiden Jahren geringere Mittelwerte erreicht wurden (-11,2 bis 12,9 m) als in den drei Jahren zuvor (17,3 – 19,7 m). Auffallend ist auch, dass im drittletzten 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.

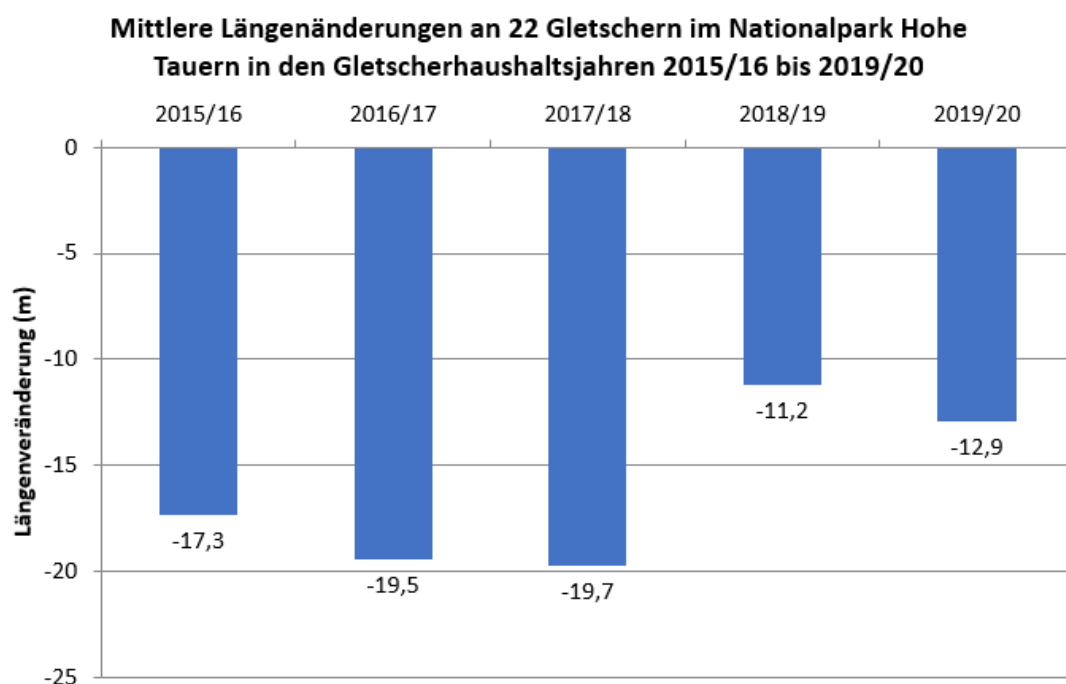


Abbildung 11: Mittlere Längenänderungen an 22 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die gesamte fünfjährigen Periode 2015/16–2019/20 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 10).

Auf der räumlichen Ebene der drei Flusseinzugsgebiete zeigt die Abbildung 12 die Längenänderungen der drei Gletscher Winkelkees (Seebachtal), Untersulzbachkees (Untersulzbachtal) und Schlattenkees (Innergsschlöss). Im Vergleich dazu ist

auch die Pasterze in der Glocknergruppe, immer noch der größte Gletscher Österreichs, für die – in diesem Fall – neun Gletscherhaushaltsjahre 2011/12–2019/20 dargestellt. Die längere Zeitreihe wurde deshalb gewählt, da es beim Winkelkees in den letzten drei Gletscherhaushaltsjahren zu messtechnischen Einschränkungen kam, die eine erfolgreiche Durchführung der Messungen dort nicht erlaubten und somit ein längerfristigeres Bild der Entwicklung bei diesem Gletscher nicht gezeigt werden kann.

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 wurden am Schlatenkees 2016/17 mit -70 m und am Untersulzbachkees 2017/18 mit -53 m die maximalen Rückzugsbeträge gemessen. Am wenigsten zog sich im Mittel das Winkelkees (-27,8 m) zurück, wobei jedoch die letzten drei Messjahre nicht berücksichtigt werden können. Knapp dahinter liegt das Untersulzbachkees mit -34,4 m im Mittel (ein Jahr ohne Daten), gefolgt vom Schlatenkees mit -41,1 m. Der höchste Mittelwert für die Neunjahres-Periode wurde für die Pasterze mit -55,1 m ermittelt. Allgemein kann somit festgehalten werden, dass die Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern – so wie auch in anderen Teilen Österreichs – sich stetig in höhere Lagen zurückziehen, dieser Rückzug jedoch starken jährlichen Schwankungen unterworfen ist und nicht nur klimatisch, sondern auch von lokalen Gegebenheiten (z.B. Seebildung Abreißen eines Teiles) bestimmt ist.

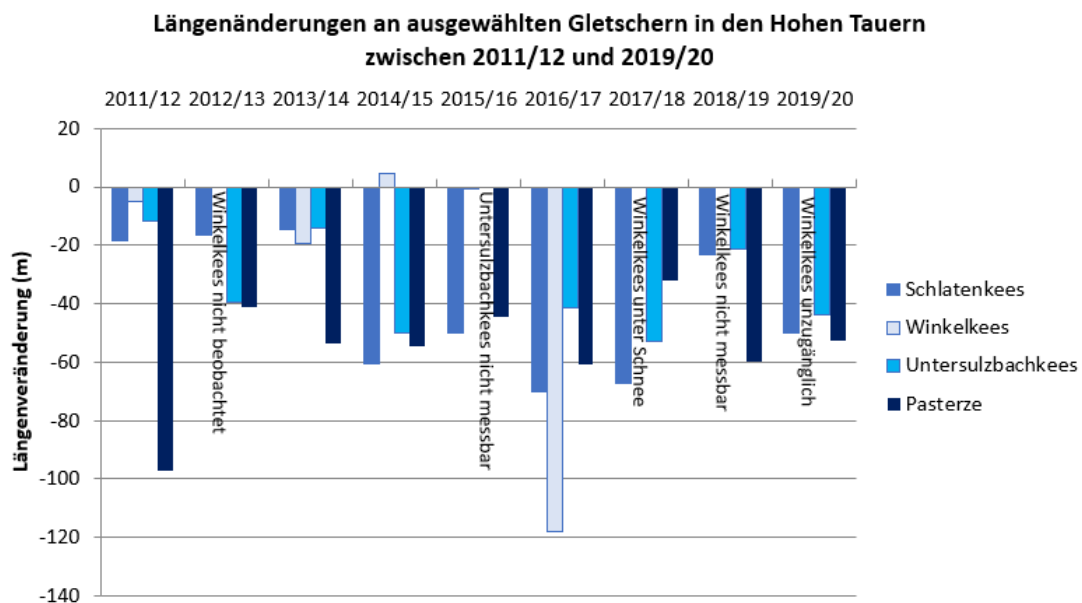


Abbildung 12: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlatenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2019/20.

Massenbilanz

Die in Tabelle 11 wiedergegebenen Ergebnisse der spezifischen Massenbilanz-Bestimmungen und deren Visualisierung für vier ausgewählte Gletscher in Abbildung 13 bestätigen klar die schon im letzten Abschnitt dokumentierten langfristig vorherrschenden gletscherungünstigen Bedingungen. Mit keiner einzigen Ausnahme im fünfjährigen Beobachtungszeitraum 2015–2020 waren an allen Gletschern ausschließlich negative bis hochnegative Massenbilanzen zu verzeichnen. Als relativ gletschergünstigstes Jahr kann das vorletzte Beobachtungsjahr gesehen werden, mit einer spezifischen Massenbilanz von -816 mm im Mittel von den sieben Gletschern. Das letzte Beobachtungsjahr kann hier nicht berücksichtigt werden, da keine entsprechenden Daten vom Venedigerkees vorliegen.

Tabelle 11: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2019/20 in mm Wasseräquivalent.

Gletscher	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Goldbergkees	-860	-1806	-1697	-845	-1100
Kleinfleißkees	-432	-1791	-1377	-723	-750
Pasterze	-1163	-1593	-1420	-1100	-1200
Stubacher Sonnblickkees	-828	-1850	-1507	-699	-627
Venedigerkees	-467	-659	-1045	-505	-392
Wurtenkees	-1250	-1706	-1957	-1232	n.d.
Zettalunitz/Mullwitzkees	-858	-1340	-1239	-611	-393

Anmerkung: n.d. = keine Daten.

In Abbildung 13 wird – ähnlich wie zuvor in Abbildung 12 – wiederum klar ersichtlich, dass die Unterschiede in den Einzeljahren zwischen den Gletschern sehr hoch sein können. Auffallend ist aber in den Werten von Tabelle 11, dass an fünf der sieben Gletscher die größte negative spezifische Massenbilanz im Gletscherhaushaltsjahr 2016/17 erzielt wurde (Goldbergkees, Kleinfleißkees, Pasterze, Stubacher Sonnblickkees und Zettalunitz/Mullwitzkees). An zwei Gletschern wurde 2017/18 der größte Massenverlust ermittelt (Venedigerkees und Wurtenkees). Dem gegenüber stehen die – relativ gesehen – günstigeren Jahre für die Gletscher in den Hohen Tauern. An drei Gletschern wurden die relativ niedrigsten spezifischen Massenbilanzen im Jahr 2018/19 ermittelt (Goldbergkees, Pasterze und Wurtenkees), an drei weiteren Gletschern war dies sogar im aktuellen Berichtsjahr (Stubacher Sonnblickkees, Venedigerkees und Zettalunitz/Mullwitzkees). Am Kleinfleißkees war das relativ gesehen günstigste Jahr – mit einer negativen spezifischen Jahresmassenbilanz von immer noch -432 mm – das Jahr 2015/16. Im Mittel der fünf Jahre weisen die beiden Gletscher Goldbergkees (-1262 mm) und Pasterze (-1295 mm) ähnlich hohe Werte auf. Darüber liegt im Mittel nur das Wurtenkees, mit einem Mittelwert von (aus in dem Fall von nur vier Jahren) -1536 mm. Zu den im Mittel relativ gut abschneidenden Gletschern gehört das Zettalunitz/Mullwitzkees mit -888 mm und schließlich das Venedigerkees mit „nur“ -614 mm.

Diese Ergebnisse zeigen wiederum, dass regionale Gegebenheiten die Extremwerte, aber auch die Variabilität des Massenverlustes stark beeinflussen, die Gesamtrendenz einer in höchstem Maße gletscherungünstigen Witterungs- und Klimaentwicklung davon aber unberührt bleibt.

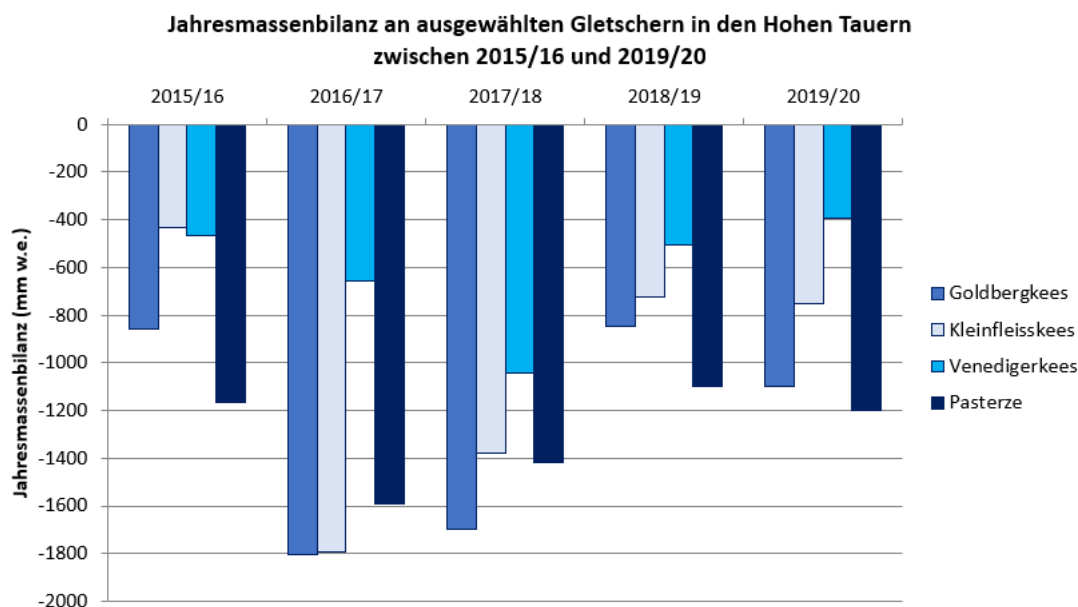


Abbildung 13: Spezifische Jahresmassenbilanz an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2019/20. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.

3.4. Ergebnis Bereich Permafrost 2019/2020

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 das Messjahr 2019/20 sind in Abbildung 14, 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 und damit direkt vergleichbar. Der Großteil der in diesem Kapitel präsentierten Ergebnisse sind dem Bericht von Kellerer-Pirklbauer et al. (2021) entnommen.

Im Arbeitsgebiet Hinteres Langtalkar-Kögelekar (inklusive dem Vergleichsstandort im benachbarten Gößnitzkar; GOE-PRO) wurden an 12 Standorten Jahresmitteltemperaturen ermittelt. Drei Standorte lagen zum Zeitpunkt des Geländetermins unter Schnee (HLC-RT, KC-LO und KC-UP) und ein Standort wurde im August 2020 nach einer mehrjährigen Unterbrechung erneut instrumentiert (HLC-SO-S). An 10 (!) Standorten ergaben sich – wie weiter unten im langjährigen Vergleich noch gezeigt wird – erneut neue Wärmerekorde für die Jahresmitteltemperatur. Erst im Berichtsjahr zuvor hatte es an mehr als der Hälfte der Standorte neue Rekordwerte gegeben, die nun schon wieder überschritten wurden. Kein einziger Standort wies eine negative Jahresmitteltemperatur auf, wobei jedoch ergänzt werden muss, dass einige Standorte im Sommer 2020 bedingt durch Schneebedeckung wie schon im Jahr zuvor nicht gewartet und folglich auch keine Messdaten ausgelesen werden konnten. Der wärmste Standort in diesem Arbeitsgebiet wies einen Jahresmittelwert von 3,5 °C auf. Wie im Vorjahr – damals mit 3,3 °C – war dies der südexponierte Felstemperaturstandort HLC-RF-S.

Auch im Arbeitsgebiet Fallbichl-Schareck wurde an allen drei Standorten je ein neuer Temperaturrekord gemessen. Die neuen Rekorde in diesem Arbeitsgebiet lagen zwischen 0,25 °C (HOT) und 0,8 °C (FAL-UP) über den bisherigen Maxima. Auch in diesem Arbeitsgebiet wies kein einziger Standort eine negative Jahresmitteltemperatur auf. Der kälteste Standort lag im Bereich des Hochtors (Jahresmitteltemperatur 0,8 °C).

Von den neun Standorten mit entsprechenden Jahresdaten im Arbeitsgebiet Dösen-Säuleck wurde an einem Standort ein negativer Jahresmittelwert gemessen, wobei der in über 3000 m gelegene Standort DOV-UP-S mit -1,9 °C sogar eine geringfügig tiefere Temperatur als im vorangegangenen Messjahr (2018/19: -1,8 °C) aufwies. An sieben der neun Standorte wurden neue Wärmerekorde gemessen, wobei die neuen Rekorde zwischen 0,08 °C (DOV-LO-S) und 0,94 °C (DOV-LO-N) über den bisherigen Maxima lagen. Ein Standort lag im August 2020 noch unter Schnee (DOV-MI-N) und an zwei Standorten gab es Probleme mit dem Datenlogger (DOV-RF-N: Batterie leer; DOV-Q: Geräteausfall im Zeitraum 17. 11. 2019–3. 5. 2020 möglicherweise durch Wasser im Gehäuse).

Schließlich konnten noch im Arbeitsgebiet Pasterze-Burgstall für vier Standorte Jahresmittelwerte errechnet werden, wobei ein Standort einen leicht negativen Mittelwert der Jahresbodentemperatur aufwies (PAG-BU: -0,1 °C). An zwei Standorten mit einer mehrjährigen Messreihe wurden neue Rekordwerte der Temperatur ermittelt. Am Standort PAG-PR2 war die interne Batterie im März 2020 leer, der Standort PAG-FI wurde, wie beschrieben, bedingt durch die nicht mehr gegebene Erreichbarkeit aufgelassen und der Standort PAG-FIR wurde am 15. 9. 2020 neu eingerichtet.

In Summe wurden somit an 22 (!) der 27 Standorte mit mehrjährigen Messreihen neue Rekordwerte der Bodentemperatur registriert. Bereits im Vorjahr wurden an 14 von 27 Standorten neue Rekordwerte erzielt, was auf außergewöhnliche warme Bodentemperaturen in beiden Messjahren hinweist.

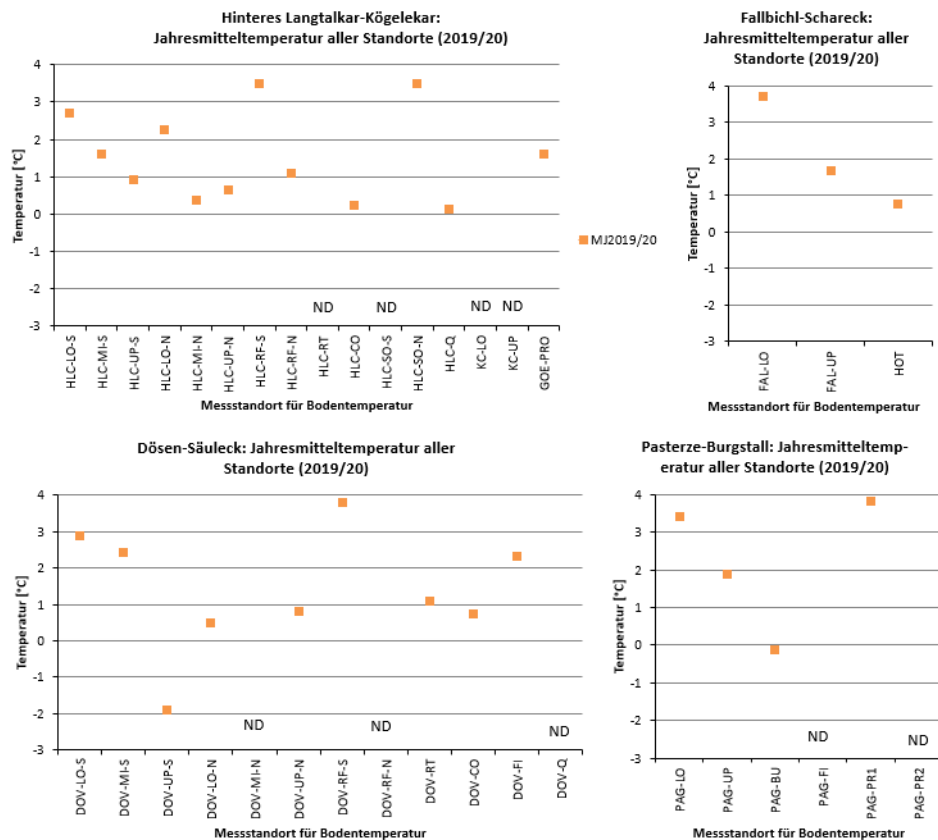


Abbildung 14: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. 2019 bis 31. 7. 2020) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für das Berichts- bzw. Messjahr 2019/20. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, waren im Sommer/Herbst 2020 unter Schnee (HLC-RT, KC-LO, KC-UP, DOV-MI-N), hatten einen technischen Defekt (DOV-RF-N, DOV-Q, PAG-PR2), wurden 2020 erneut instrumentiert (HLC-SO-S) oder wurden aufgrund schwieriger Erreichbarkeit aufgelassen (PAG-FI).

Abbildung 15 zeigt die Tagesmitteltemperaturen der vier, in Tabelle 5 grau hinterlegten, Standorte (einer pro Untersuchungsgebiet) im Messjahr 2019/20. Zur besseren Unterscheidung der Perioden innerhalb des Messjahres mit (d. h. relativ geringe Schwankungen der Bodentemperatur) und ohne (d. h. starke Schwankungen) thermischer Schneepufferwirkung wurde jeweils auch die Lufttemperaturkurve der Klimastation im Hinteren Langtalkar für denselben Zeitraum hinterlegt.

Im Jahresgang am Standort HLC-UP-N ist deutlich zu erkennen, dass eine winterliche Schneedecke sich dämpfend auf Schwankungen der Bodentemperatur zwischen Anfang November 2019 und Anfang Juli 2020 auswirkte. Einerseits verhinderte diese achtmonatige Schneedecke im Herbst und Winter eine effektive Ausstrahlung und somit Abkühlung des Bodens (Permafrost-ungünstig), andererseits wurde der Untergrund durch die Schneedecke bis Anfang Juli vor der solaren Einstrahlung effizient geschützt (Permafrost-günstig). Nichtsdestotrotz wurde an diesem Standort ein um 0,33 °C über dem bisherigen liegender neuer Wärmerekord ermittelt, woraus erneut erkennbar ist, dass die Faktoren der Permafrostungunst klar überwogen.

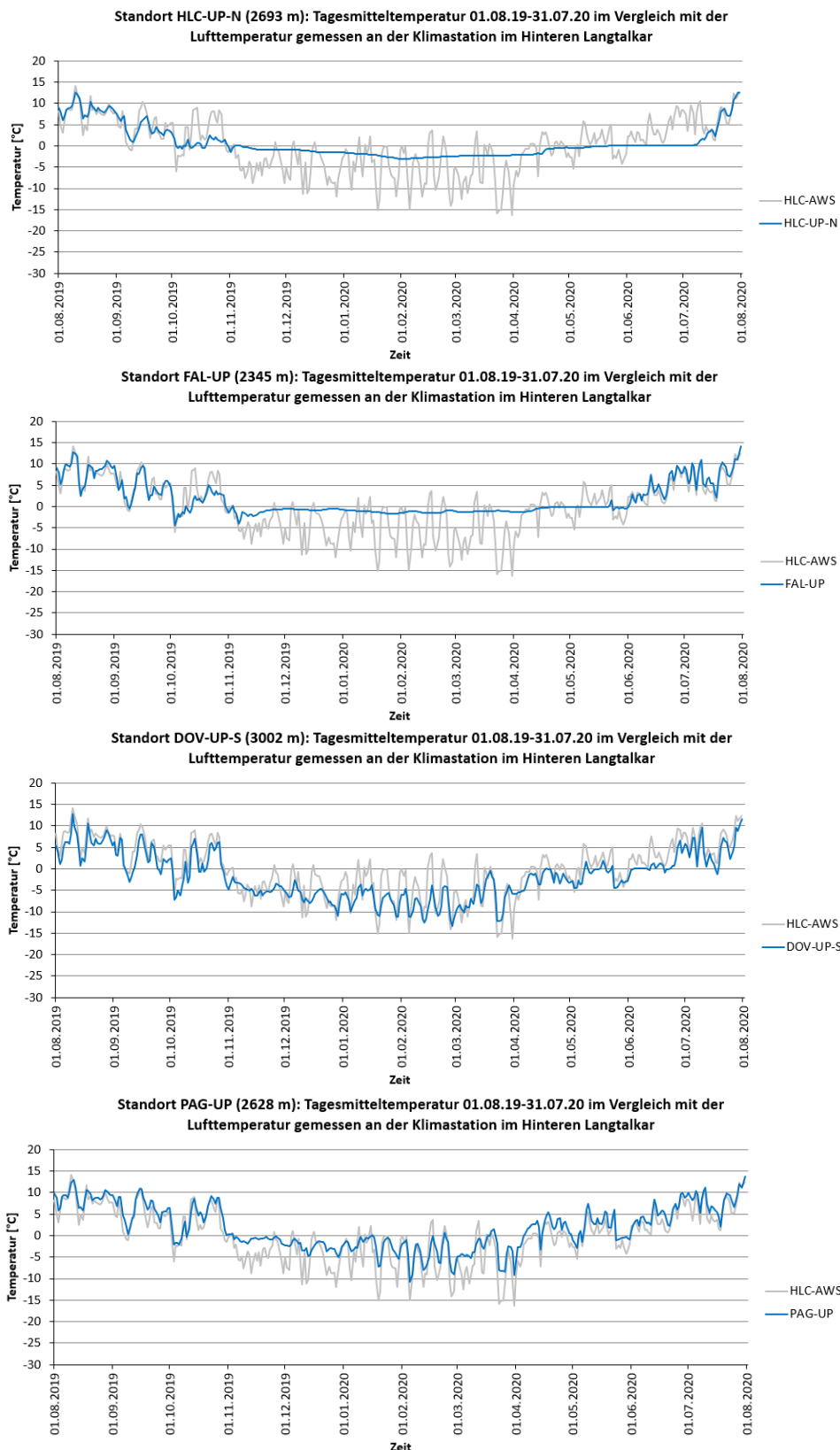


Abbildung 15: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für das Messjahr 2019/20 (1. 8. 2019 bis 31. 7. 2020). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtigere Schneedecke (>80 cm) hin. In Grau sind die Tagesmitttelwerte der automatischen Klimastation im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt.

Während im Jahresgang am Standort FAL-UP im Berichtsjahr 2018/19 keine langanhaltende saisonale und thermisch isolierende Schneedecke zu erkennen war, gab es eine solche im aktuellen Berichtsjahr vom 10. 11. 2019 bis 24. 5. 2020 sehr wohl. Bedingt durch die Dämpfung des Lufttemperatursignals im Winter wurden an diesem Standort nur relativ milde Wintertemperaturen von bis zu -5 °C gemessen. Auch gab es an diesem Standort einen neuen Wärmerekord mit +0,8 °C gegenüber dem bisherigen Höchstwert.

Am Standort DOV-UP-S (bis 2020 der höchste im gesamten Messnetz) ist im geringen Umfang eine Dämpfung der Lufttemperatur Anfang Juni erkennbar. Die Messwerte in diesem Zeitraum weisen auf eine wasserdurchtränkte, isotherme Schneedecke hin. Dem tiefsten Wert im Winter mit -13,4 °C Ende Februar 2020 steht der höchste Wert mit 12,7 °C im August 2019 gegenüber. D. h. an diesem Standort ist von einer zumeist nur dünnen saisonalen Schneedecke auszugehen, was aufgrund der Windexponiertheit auch zu erwarten ist.

Am letzten gezeigten Standort PAG-UP zeigt sich ein ähnliches Bild wie am Standort DOV-UP-S mit weitgehend fehlendem Schneedämpfungseffekt. Eine dünne, nur wenig isolierende winterliche Schneedecke ist an diesem Standort aber häufig vorhanden, wenn man die gedämpften Bodentemperaturminima im Winterhalbjahr im Vergleich zur Lufttemperatur betrachtet. Im Jahresmittel brachte der Standort PAG-UP mit 1,9 °C einen neuen Maximalwert in der Periode 2013–2020 (um 0,1 °C über dem alten Rekordwert aus dem Messjahr 2018/19).

In Abbildung 16 werden Jahresmittelwerte aller Standorte des aktuellen mit entsprechenden Daten der beiden vorangegangenen Messjahre einander gegenübergestellt. Die Darstellungsweise ist so gewählt, dass Datenpunkte, die oberhalb der strichlierten Linie liegen, Standorte zeigen, an denen die Jahresmitteltemperatur im Messjahr 2019/20 höher als im jeweiligen Vergleichsjahr war. Abbildung 16 zeigt noch klarer, dass 2019/20 wesentlich wärmer als die beiden ohnehin schon warmen Vorjahre war.

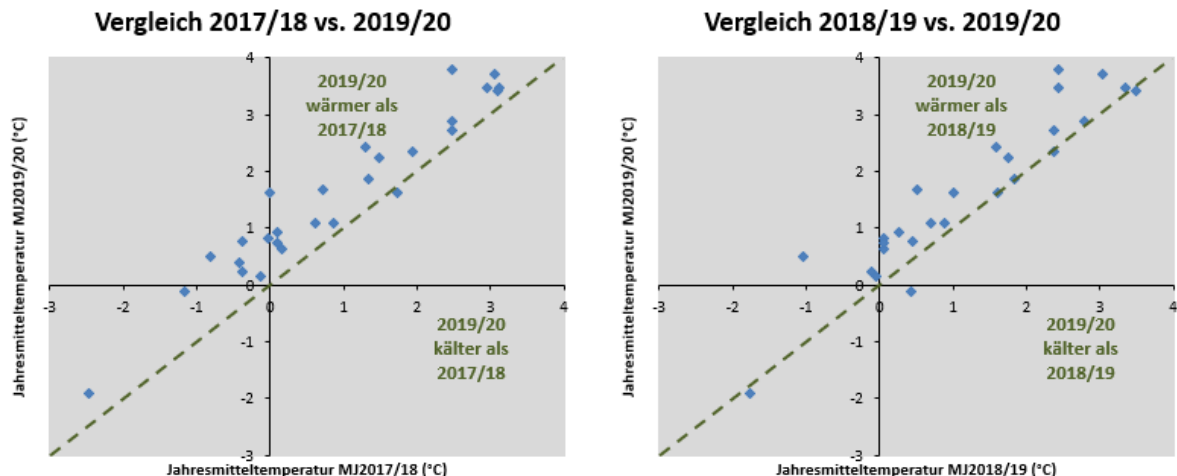


Abbildung 16: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2017/18 und 2018/19 mit jenen von 2019/20 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten.

Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Abbildung 17 zeigt die Messergebnisse vom Bohrloch 3 auf dem Sonnblick. Zum Vergleich mit den atmosphärischen Bedingungen wurden auch die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur, gemessen am Sonnblick, im Diagramm dargestellt. Klar erkennbar ist die weitgehende Koppelung der Luft- und Bodentemperatur nahe der Oberfläche in der zweiten Sommerhälfte bei Bedingungen ohne Schneedecke. Ein früher Aufbau der winterlichen Schneedecke führte bereits im Laufe des Septembers wiederum 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 eher 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°C). Deutlich ist erkennbar, dass dies eine Folge der ab Ende Oktober dynamischen Auskühlung des Untergrundes aufgrund geringer Schneelage ist. In den drei Folgejahren wurden – trotz sehr tiefer Temperaturen von nahe -30°C – so niedrigere Bodentemperaturen nicht mehr erreicht. Die Minima liegen zwischen nur ca. $-5,5^{\circ}\text{C}$ im Winter 2017/18 und ca. $-7,5^{\circ}\text{C}$ im Winter 2019/20.

Der Jahresgang der Temperatur wird naturgemäß nach unten, in den Untergrund hinein, immer mehr gedämpft. Beträgt beispielsweise der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Tagesmittelwert an der Oberfläche $16,8^{\circ}\text{C}$, so liegt dieser in einer Tiefe von 4 m nur mehr bei $3,1^{\circ}\text{C}$ und in 12 m Tiefe bei $0,5^{\circ}\text{C}$.

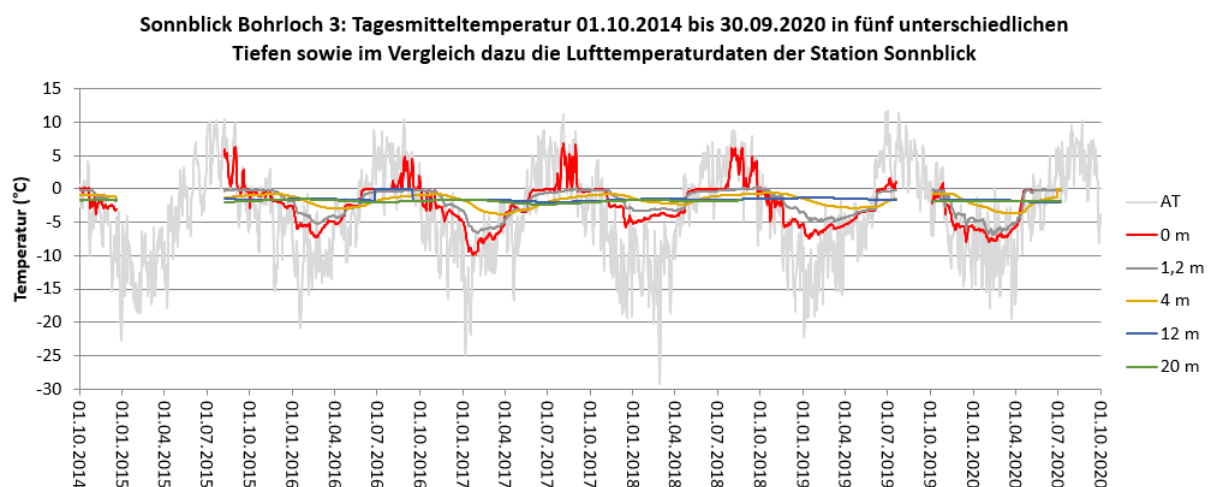


Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2020 in fünf unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die Lücken in den Kurven zeigen Zeiträume, in denen bedingt durch technische Probleme oder Wartungstätigkeiten keine Daten aufgezeichnet wurden (Daten: ZAMG Kundenservice Salzburg und Oberösterreich; Kontaktperson: Claudia Riedl, claudia.riedl@zamg.ac.at).

Der Vergleich der Bodentemperatur an der Oberfläche und in den unterschiedlichen Tiefen sowie der Lufttemperatur an der nahen Klimastation am Hohen Sonnblick für die drei Kalenderjahre 2016, 2017 und 2018 (jene Jahre ohne Datenlücken seit 2014) in Abbildung 18 zeigt, dass sowohl die Luft- als auch die Bodentemperatur in unterschiedlichen Tiefen nahezu überall im Jahr 2017 tiefer war als im Jahr 2016 und 2018. Einzige Ausnahme war der Sensor in 1,2 m Tiefe, wo das erste der beiden Kalenderjahre um $0,3^{\circ}\text{C}$ kühler war. Das Kalenderjahr 2018 wies in allen Tiefen höhere Temperaturen auf als in den beiden Vorjahren. Die ist im Wesentlichen stimmig zu den Lufttemperaturdaten.

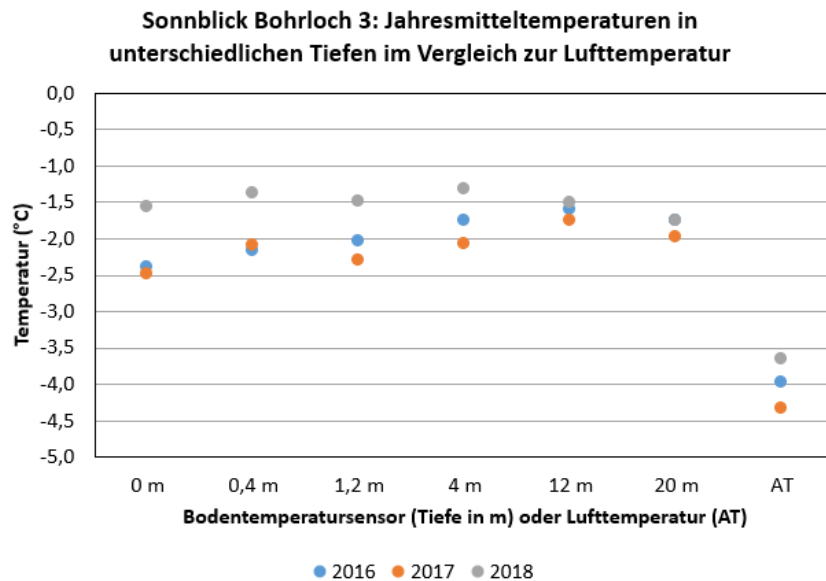


Abbildung 18: Jahresmitteltemperaturen für drei Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen in der jüngeren Vergangenheit im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 17.

Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Auch für die Darstellung der Bewegungsraten in kriechendem Permafrost (Blockgletscher) wird auf den Bericht im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten (Kellerer-Pirklbauer et al. 2021) zurückgegriffen.

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 Rahmen der alljährlichen Vermessung werden ab 2014 nur mehr die Bewegungsraten der 34 am Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte bestimmt. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2019/20 wurden durch Epochenvergleich (12. 8. 2019 mit 18. 8. 2020) ermittelt. Als Basisstation (= Referenzpunkt) für die differentielle GNSS-Messung im Echtzeitmodus (Real-Time Kinematic/RTK) wurde der Triangulationspunkt (interne Bezeichnung AVS) in der Nähe des Arthur-v.-Schmidhauses gewählt. Tabelle 12 fasst die zeitliche Änderung des Fließverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittel- und Maximalwerten der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) für den Zeitraum 2014–2020 zusammen.

Die aktuelle Fließgeschwindigkeit am Dösener Blockgletscher hat sich im Vergleich zum Vorjahr signifikant um weitere 17,2 % (im zentralen Bereich) vergrößert. Die aktuellen Bewegungsraten sind die dritthöchsten seit Messbeginn 1995; sie liegen jedoch noch immer betragsmäßig im Durchschnitt um 6,2 % unter jenen des Jahres 2015, als die größten jemals gemessenen Bewegungsraten festgestellt wurden. Auffallend ist die beschleunigte Bewegung des Punktes 1. Der ermittelte Verschiebungsvektor lässt vermuten, dass die ermittelte Jahresbewegung auf eine lokale Rutschung zurückzuführen ist.



Tabelle 12: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2014–2020. 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)	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Mittelwert	53,6	52,0	43,2	38,0	42,9	50,3
Maximalwert (Punkt)	65,9 (15)	64,7 (15)	53,1 (15)	46,4 (15)	51,1 (15)	58,9 (15)

Blockgletscher Hinteres Langtalar

Das geodätische Datum an diesem Blockgletscher ist durch insgesamt 15 Festpunkte definiert. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2019/20 wurden durch Epochenvergleich (16. 8. 2019 mit 21. 8. 2020) ermittelt. Im betrachteten Zeitraum sind leider die Punkte 21 und 24 durch starke Rutschprozesse verloren gegangen. Der im Beobachtungszeitraum 2015/16 verloren gegangene Punkt 25 wurde im vorigen Jahr erfolgreich im Nahbereich durch einen gleich benannten Ersatzpunkt wieder ins Messschema aufgenommen. Als Basisstation für den RTK-Einsatz diente der Festpunkt 7. Für die Charakterisierung der zeitlichen Änderung des Fließverhaltens des Blockgletschers Hinteres Langtalar wurden für die zwei ausgewählten Punktgruppen A (oberer Bereich) und B (unterer Bereich) die Mittel- und Maximalwerte der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) tabellarisch (Tab. 13) für den Zeitraum 2014–2020 zusammengestellt.

Mit den hohen Bewegungsraten geht weiterhin eine morphologisch gut beobachtbare Destabilisierung der Blockgletscheroberfläche einher. Die Messung der Punkte im Einflussbereich der unteren Rutschzone ist weiterhin nur mit erheblichem Gefahrenpotential möglich. Die aktuell festgestellten Bewegungsraten haben sich im Vergleich zum vorjährigen Beobachtungszeitraum signifikant (Punktgruppe A mit 45,0 %) vergrößert.

Tabelle 13: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2014/15 bis 2019/20 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)

Werte (in cm/Jahr)	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Mittelwert	28,9	27,3	19,4	16,3	19,1	27,7
Maximalwert (Punkt)	33,2 (11)	32,6 (11)	22,3 (11)	20,6 (11)	21,9 (17)	31,8 (10)

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

Werte (in m/Jahr)	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Mittelwert	6,00	6,00	4,60	4,77	5,20	5,48
Maximalwert (Punkt)	8,40 (25)	9,83 (31)	5,66 (24)	6,64 (24)	7,45 (24)	8,07 (25)

Anmerkung: Bei den Mittelwertberechnungen ab 2015/16 wurden nur die Punkte 23, 24, 27 und 28 berücksichtigt. Die ermittelte Relativänderung wurde auf einen sinnvollen Tabellenwert umgerechnet. Eine ähnliche Vorgangsweise wurde für die Auswertung 2018/19 (ohne Punkt 25) bzw. 2019/20 (ohne Punkt 24) gewählt.



Oberflächenbewegung im Vergleich

Die vergleichende Darstellung der zeitlichen Änderung der Oberflächenbewegung der beiden untersuchten Blockgletscher (und des Blockgletschers im Weißenkar, Schobergruppe) ist Inhalt der Abbildung 19. Für die Jahre ohne Messungen wurden die mit Pfeilen gekennzeichneten Werte aus dem Zweijahreswert und dem Messwert am Blockgletscher Hinteres Langtalkar rekonstruiert. Aus dem Bild der Geschwindigkeitsgraphen ist gut zu erkennen, dass (1) die Bewegungsraten der drei Blockgletscher gut miteinander korrelieren, (2) zwei zeitlich zurückliegende Bewegungsmaxima (2003/04 bzw. 2014/15) gegeben sind und (3) die aktuellen Bewegungsraten einem weiteren Bewegungsmaximum zustreben. Die aktuellen Bewegungsraten liegen knapp unterhalb jener von 2014/15.

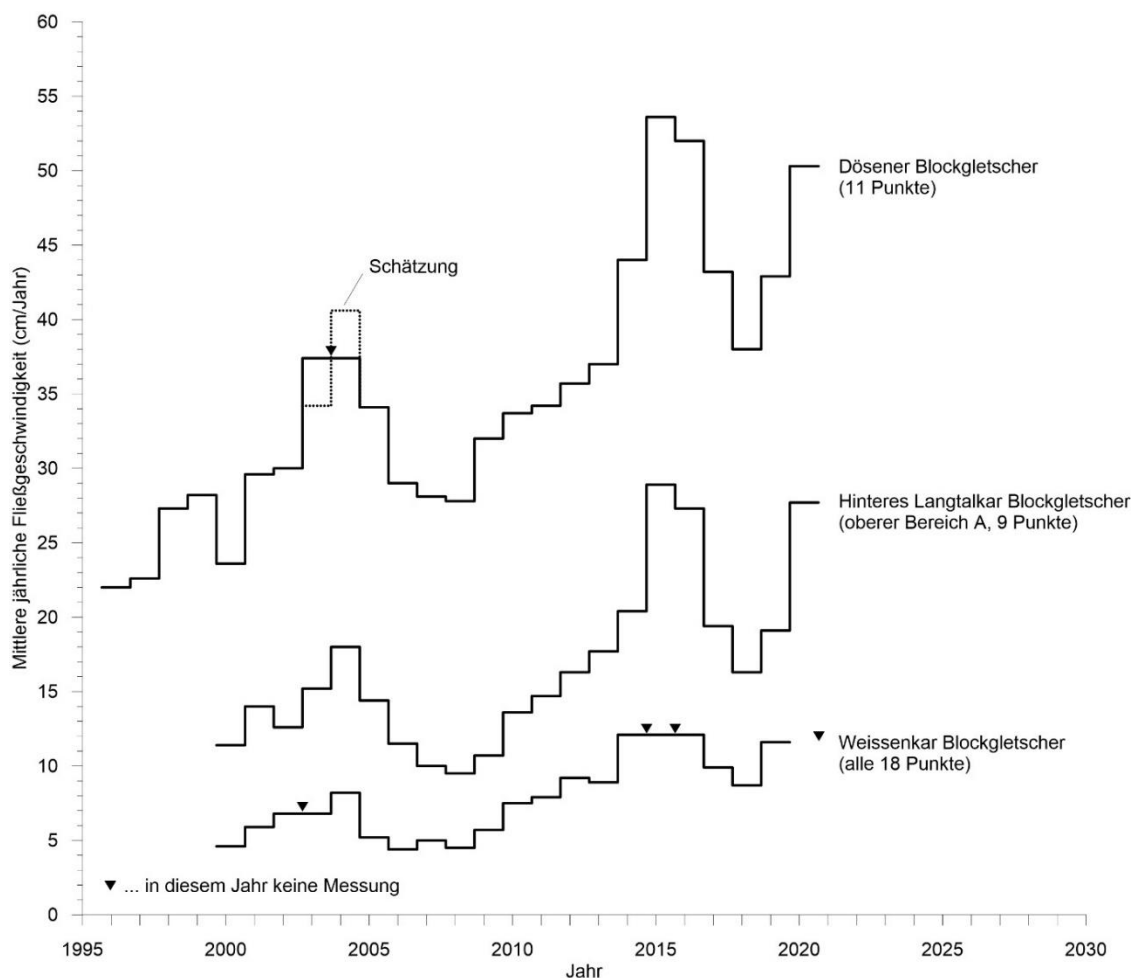


Abbildung 19: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Fließgeschwindigkeit der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995–2020. Mittelbildung über 11 Punkte (10–17, 21–23) am Döserer Blockgletscher und 9 Punkte (10–17, 37) am Blockgletscher Hinteres Langtalkar. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Fließgeschwindigkeit am Weißenkar-Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt.

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Über die Bodentemperatur- und Permafrostbedingungen 2019/20 wurde ausführlich im Zwischenbericht von Kellerer-Pirklbauer & Lieb (2020) berichtet, weshalb an dieser Stelle nur auf die Interpretation der Messdaten des zweijährigen Messzeitraums 2018/20 eingegangen wird. Mit dem erfolgreichen Auslesen der Bodentemperaturdatenreihen am Inneren Knorrkogel im September 2020 liegen mittlerweile zwei volle



Jahresdatenreihen (1. 9. bis zum 31. 8 des Folgejahres) von 17 Monitoringstandorten (der in Summe 18 Standorte, nur 1 Ausfall) bzw. 23 einzelnen Sensoren vor. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist anzumerken, dass diese auch nach zwei Jahren Messreihen selbstverständlich erst den Beginn eines Monitorings darstellen und keine Aussagen erlauben, die über den Untersuchungszeitraum hinausreichen.

Die Tatsache, dass an 11 Messstandorten – bzw. an 15 Sensoren (2 Felsstandorte mit jeweils drei Sensoren in Tiefen von 3, 10 und 40 cm) – im Messjahr 2018/19 negative Jahresmitteltemperaturen registriert wurden, kann als Hinweis darauf gelten, dass der bislang messtechnisch noch nicht in seiner Existenz verifizierte Permafrost an der Gipfelkalotte des Inneren Knorrkogels tatsächlich existiert, so wie dies entsprechende Modellierungsergebnisse und die Beobachtung indirekter Hinweise (Vegetationsbedeckung und Geländeformen) nahegelegt hatten (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2019a).

Wie die neuen Daten für das im Schnitt (im Mittel um ca. 0,5 °C) wärmere Messjahr 2019/20 jedoch zeigen, muss die für das erste Messjahr getätigte Aussage jedoch etwas relativiert werden. Im zweiten Messjahr 2019/20 konnten nur an 8 Messstandorten – bzw. an 9 Sensoren – negative Jahresmitteltemperaturen registriert werden. Dies kann durchaus als klarer Hinweis auf die Existenz von Permafrost im Untersuchungsgebiet hinweisen, zeigt jedoch die große Bedeutung von längeren Messreihen zur besseren Charakterisierung von thermischen Verhältnissen im Hochgebirge, wie beispielsweise Permafrost (Kellerer-Pirklbauer et al. 2019), Solifluktion (Kellerer-Pirklbauer 2018) oder potentielle Verwitterung (Kellerer-Pirklbauer 2017).

Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Bodentemperaturmessdaten aus dem Sattelkarlagen für 13 Standorte für den Zeitraum 22. 10. 2015 bis 8. 7. 2020 vor. Die Tageswerte aller 13 Standorte sind zusammengefasst für die gesamte Periode in Abbildung 20 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 2016 deutlich höhere Werte aufwies als der Sommer 2017. Prinzipiell kann hier gesagt werden, dass – wie auch in den Untersuchungsgebieten im Kärntener Anteil des Nationalparks Hohe Tauern – die winterliche Schneedecke und ihre Ausprägung und Variabilität eine wichtige Rolle in der Permafrostverbreitung innehat.

Auf Jahresbasis verglichen (Abb. 21) – in diesem Fall Kalenderjahre – kann gesagt werden, dass das Jahr 2019 an 10 der 13 Standorte kühler war als 2018, und zwar um 0,02 bis 0,81 °C. Nur an drei Standorten lagen im Kalenderjahr 2019 die Jahresmittelwerte über jenen des Vorjahres (um 0,05 bis 0,38°C). 2018 war nahezu an allen Standorten auch das Wärmste seit 2016. Diese Ergebnisse stimmen im Wesentlichen mit denen des „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten, die methodisch gleichartig gewonnen wurden, überein.

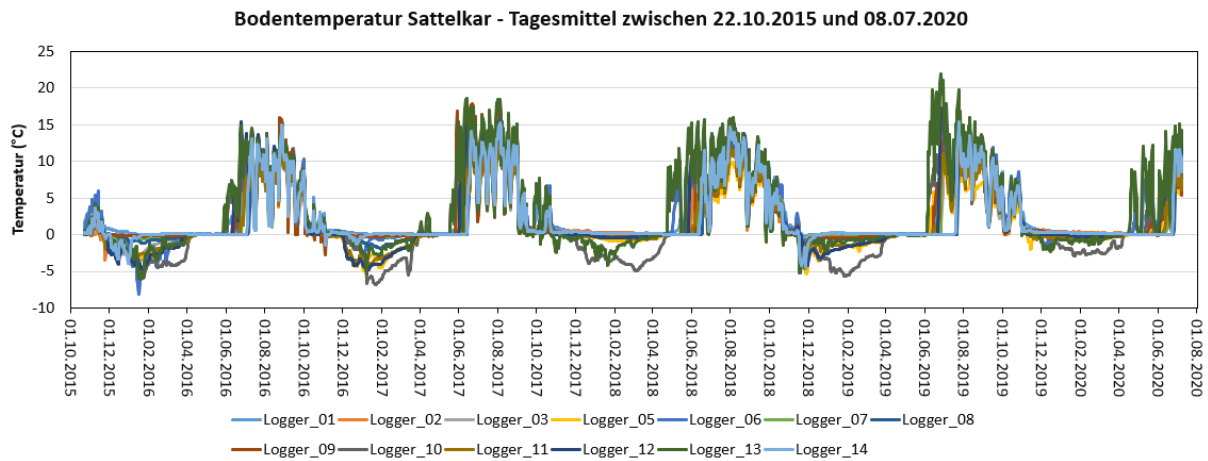


Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentempersensoren im Sattelkar im Zeitraum 22. 10. 2015 bis 8. 7. 2020 (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at)

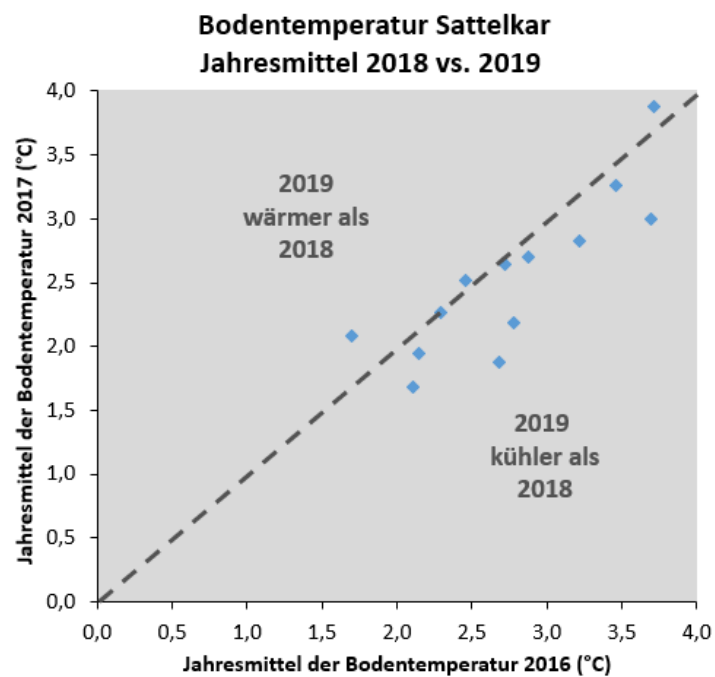


Abbildung 21: Vergleich der Jahresmittelwerte von 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar für die beiden Kalenderjahre 2018 und 2019 mit geschlossener Datenreihe. Datenbasis hierzu siehe Abb. 20.

4. Interpretation und Diskussion

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, 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 zulassen.

Der Faktor Witterung und Klima kann auf der Ebene des gesamten Nationalparks charakterisiert werden. In Bezug auf das Projektjahr 2019/20 ist festzustellen, dass dieses ein deutlich überdurchschnittliches Temperaturniveau aufwies, das sich nahtlos in den aktuellen Erwärmungstrend einfügt. An der ZAMG-Station am Hohen Sonnblick wurde im Jahr 2020 ein neuer Rekord für die Jahresmitteltemperatur seit Beginn der Messreihe im Jahr 1887 erzielt – ein eindrucksvolles Zeugnis der deutlichen klimatischen Veränderungen in den Hochlagen der österreichischen Alpen. Im Gegensatz dazu wichen die jährlichen Niederschlagsmengen 2020 weniger von den langjährigen Mitteln ab, auch wenn an der Station Neukirchen der zweitniedrigste Jahressummenwert (nach 2002) im Zeitraum 1973–2020 erzielt wurde. Im Gegensatz zur Temperatur lässt sich jedoch aus den langjährigen Entwicklungen der Jahressummen des Niederschlags kein klarer Trend erkennen (Abb. 7). Faktum bleibt, dass bei Betrachtung langer Reihen sich der erwähnte Temperaturanstieg deutlich zeigt, während die Jahresniederschlagssummen keinen Trend erkennen lassen.

Das Abflussgeschehen wies keine Besonderheiten auf, sieht man davon ab, dass die erhöhte Abflussspende durch die Schneeschmelze 2018/19 deutlich früher und markanter als im Folgejahr einsetzte. Im Übrigen zeigen die Abflussgänge einerseits den Einfluss lokaler Starkniederschläge (wie am Pegel Innergschlöss Ende August 2020) 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 2018/19 und 2019/20 wiederum hochnegativ. Auch bei Betrachtung eines fünfjährigen Zeitraumes (2015–2020) überwiegen negative Massenbilanzen bei Weitem – positive treten nur in einzelnen Jahren bei Einzelgletschern auf, wobei dies das letzte Mal – zumindest im Bereich der Hohen Tauern – im glaziologischen Haushaltsjahr 2013/14 der Fall war (Lieb et al. 2019). Lange Folgen von Jahren mit negativen Massenhaushalten wirken sich auf die Gletschergeometrie durch eine Reduktion von Fläche und Volumen aus. Als repräsentativer und (relativ) einfach zu erhebender „Proxy“ hierfür dienen die Längenänderungen, die ebenfalls überwiegend negativ sind. Die mittlere Längenänderungen von 22 Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16 bis 2019/20 war zumindest in den letzten beiden Beobachtungsjahren etwas geringer (-11,2 bis -12,9 m) als in den drei Jahren zuvor (-17,3 bis -19,7 m). Ausnahmen im Sinne von stationären Gletschern gibt es nur in Einzeljahren und in besonderen topographischen Positionen. Langfristig ist für die Hohen Tauern, gleich 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 (Kellerer-Pirklbauer & Kaufmann 2012). Insgesamt waren die Bewegungsraten 2019/20 auf sehr hohem Niveau und streben offenbar auf ein weiteres Bewegungsmaximum zu. Die aktuellen Bewegungsraten liegen knapp unterhalb jener von 2014/15. Bezogen auf die Temperaturen im Untergrund, die noch wesentlich höher als in den beiden ohnehin schon warmen Vorjahren waren, ist 2019/20 für den Permafrost als extrem ungünstig zu beurteilen. Für den Permafrost gilt hierbei jedoch, dass von einer direkten Wirkung des Klimawandels nur eingeschränkt gesprochen werden kann, da alle Datenreihen noch relativ kurz sind und bei weitem nicht diese Aussagekraft besitzen wie die langen Messreihen der Lufttemperatur oder des Niederschlags.

5. Fazit

Das in diesem Bericht primär untersuchte glaziologische Jahr 2019/2020 (1. 10. 2019–30. 9. 2020) fügt sich nach allen hier untersuchten Parametern uneingeschränkt in die bekannte aktuelle Klimaentwicklung mit den bekannten Klimawandelfolgen ein:

- Das wohl wesentlichste Merkmal des Witterungsgeschehens war das bezogen auf langjährige Mittelwerte überhöhte Temperaturniveau, das auch mit neuen Rekordwerten verbunden war. Da es sich dabei nicht um eine Besonderheit dieses Einzeljahres handelt, sondern ähnliche Aussagen auch für die meisten Jahre seit dem ausgehenden 20. Jahrhundert getroffen werden können, darf der thermische Charakter im untersuchten Zeitraum als direkte Wirkung des aktuellen Klimawandels gewertet werden. Demgegenüber bleibt das Niveau der Niederschlagsmengen über die Jahre hinweg annähernd konstant.
- Die Abflussverhältnisse waren im untersuchten Zeitraum unauffällig, sieht man von einem – am Pegel Innergschloß besonders deutlich ausgeprägten – Hochwasserereignis Ende August 2020 ab, das sich aus einem Niederschlagsereignis erklärt, das die gesamten Hohen Tauern betraf.
- Der Gletscherschwund als medial bekannteste (und visuell am leichtesten wahrnehmbare) Klimawandelfolge im Hochgebirge hat sich unvermindert fortgesetzt – negative Massenbilanzen über lange Zeiträume hinweg sorgen für z. T. drastische Rückgänge der Gletscherflächen und -volumina, die mit dem Proxy der Längenänderung erfasst sind. Einzelne, sich in der Länge nicht verändernde (stationäre) Gletscher bedeuten keine Einschränkung der Gültigkeit dieser Aussage. Als Wechselwirkung zu den untersuchten Parametern wird im Sommer eine erhöhte Gletscherspende abflusswirksam.
- Auch die Bedingungen im Permafrost spiegeln das hohe Temperaturniveau wider. Zum einen gab es bei vielen Bodentemperatur-Messstationen neue Maximalwerte der Jahresmittel (in einer allerdings noch kurzen Reihe) und zum anderen nähern sich die Bewegungsraten im kriechenden Permafrost den bisher gültigen Höchstwerten (erneut) an. Diese Effekte hängen nicht in einfacher Kausalität mit den Temperaturen, sondern über die Schneeverhältnisse und den Bodenwasserhaushalt auch mit dem Niederschlag sowie mit lokalen Effekten zusammen.

Die zuletzt genannten Aspekte deuten auch Lücken im Prozessverständnis (Einfluss unterschiedlicher Energiebilanzfaktoren auf die Oberfläche und den oberflächennahen Untergrund) an, für deren Schließung die Weiterführung der gegenständlichen Monitoring-Aktivitäten ebenso wünschenswert ist, wie für die statistische Absicherung der sich aktuell erst abzeichnenden Trends.

Literaturverzeichnis

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.

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 (2017), 113–131.

Kellerer-Pirklbauer A. (2018): Solifluction rates and environmental controls at local and regional scales in central Austria, *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*, 72:1, 37–56.

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., Lieb G.K. (2019a): Permafrostmonitoring am Inneren Knorrkogel 2018-2019 - Modul 07: „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“ im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern (Version 12/19). Wissenswert (unpubliziert). <http://www.parc.at/npht>

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2019b) Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost. Methoden-Handbuch. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien. ISBN-Online: 978-3-7001-8755-4, doi: 10.1553/GCP_LZM_NPHT_Modul07. http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38065

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2020): Zwischenbericht 2020 im Modul 07 - Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern (Version 10/20). Wissenswert (unpubliziert). http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=40611

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, BMWFW, 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. http://www.parc.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=42111

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V., Avian M. (2020): Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2018/19. Zwischenbericht (unpubliziert), 41 Seiten. http://www.parc.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=39747

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V., Avian M. (2021): Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2019/20. Zwischenbericht (unpubliziert), 48 Seiten. http://www.parc.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=42106

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

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.

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. (2018): 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. (2020): Gletscherbericht 2018/2019 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2019. Bergauf 02/2020: 6–15.

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2021): Gletscherbericht 2019/2020 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2020. Bergauf 02/2021: 6–15.

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A., Ziesler C. (2019): Langzeit-Monitoring abiotischer Prozesse im Nationalpark Hohe Tauern – Modul 07 „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“ im Rahmen des interdisziplinären, integrativen Monitoring- und Forschungsprogramms zur langfristigen, systematischen Ökosystembeobachtung im Nationalpark Hohe Tauern, Endbericht (unpubliziert). http://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38030.

WGMS (Hg.) (2021): Latest glacier mass balance data: 1 Summary of the balance years 2017/18, 2018/19 and 2019/20. <http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/> (zuletzt geprüft am 02.10.2021)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystemmonitoring 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 (Lieb et al. 2019), verortet. HZB=Hydrographisches Zentralbüro, KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, TUG=Technische Universität Graz, ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.....	2
Abbildung 2: Detailkarten der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind (vgl. Tab. 5). Zu beachten ist, dass zusätzlich auch Quelltemperatur-Messstandorte im Bereich zweier Blockgletscherstirnen eingerichtet sind (HLC-Q und DOV-Q). PAG-FI musste aufgegeben werden (Gletschermaske Pasterze nach Buckel et al. 2018).....	7
Abbildung 3: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2019/20 mit 2018/19 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 6 bilden.....	10
Abbildung 4: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2019/20 mit 2018/19 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 6 bilden.....	11
Abbildung 5: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2020 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.....	12
Abbildung 6: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) des Gletscherhaushaltsjahres 2019/20 mit jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).	12
Abbildung 7: Langzeitentwicklung von Niederschlag und Temperatur am Beispiel der Stationen Neukirchen und Sonnblick. Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2020 und entsprechende Trends. Niederschlag: keine signifikante Veränderungen erkennbar. Temperatur: klarer Erwärmungstrend.	13
Abbildung 8: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m³/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2020.....	14
Abbildung 9: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q in m³/s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2019– 30. 9. 2020.....	15
Abbildung 10: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2014 – 30.09.2020.....	16
Abbildung 11: Mittlere Längenänderungen an 22 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die gesamte fünfjährigen Periode 2015/16–2019/20 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 10).....	18

Abbildung 12: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlattenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2019/20.....	19
Abbildung 13: Spezifische Jahresmassenbilanz an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2019/20. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.	20
Abbildung 14: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. 2019 bis 31. 7. 2020) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für das Berichts- bzw. Messjahr 2019/20. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, waren im Sommer/Herbst 2020 unter Schnee (HLC-RT, KC-LO, KC-UP, DOV-MI-N), hatten einen technischen Defekt (DOV-RF-N, DOV-Q, PAG-PR2), wurden 2020 erneut instrumentiert (HLC-SO-S) oder wurden aufgrund schwieriger Erreichbarkeit aufgelassen (PAG-FI).	22
Abbildung 15: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für das Messjahr 2019/20 (1. 8. 2019 bis 31. 7. 2020). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtigere Schneedecke (>80 cm) hin. In Grau sind die Tagesmittelwerte der automatischen Klimastation im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt.....	23
Abbildung 16: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte von 2017/18 und 2018/19 mit jenen von 2019/20 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten.....	24
Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2020 in fünf unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die Lücken in den Kurven zeigen Zeiträume, in denen bedingt durch technische Probleme oder Wartungstätigkeiten keine Daten aufgezeichnet wurden (Daten: ZAMG Kundenservice Salzburg und Oberösterreich; Kontaktperson: Claudia Riedl, claudia.riedl@zamg.ac.at).	25
Abbildung 18: Jahresmitteltemperaturen für drei Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen in der jüngeren Vergangenheit im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 17.	26
Abbildung 19: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Fließgeschwindigkeit der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995–2020. 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.....	28
Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentempersensoren im Sattelkar im Zeitraum 22. 10. 2015 bis 8. 7. 2020 (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at).....	30
Abbildung 21: Vergleich der Jahresmittelwerte von 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar für die beiden Kalenderjahre 2018 und 2019 mit geschlossener Datenreihe. Datenbasis hierzu siehe Abb. 20.	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TAWES-Stationen der ZAMG, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des jeweiligen Beginns der verfügbaren Datenreihe. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.	2
Tabelle 2: Klimastationen der hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit HZB-Code (Hydrographischer Dienst Österreichs) und Beginn der verfügbaren Datenreihe. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1. (1) Datenlücke von 1.-31. 3. 2019. (2) nur Niederschlagsdaten (keine Temperaturlaufzeichnung).	3
Tabelle 3: 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. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.	3
Tabelle 4: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2021, ergänzt). ZAMG=Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg; Z_GIS= Fachbereich Geoinformatik, Universität Salzburg.	4
Tabelle 5: Auflistung der vier lokalen Untersuchungsgebiete im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und ihrer Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage der Einzelstationen siehe Abbildung 2. Abbildung 15 zeigt Auswertungen 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 Kürzeln. Z. B. N=Nord, S=Süd.	6
Tabelle 6: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den sechs Jahren 2014/15 bis 2019/20 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehenen, Klimastationen in den Hohen Tauern. Grau hinterlegt ist der für diesen Zwischenbericht relevante Projektzeitraum. (* Datenlücke 1. 03. 2019–31. 3. 2019)	10
Tabelle 7: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte des Gletscherhaushaltsjahres 2019/20 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der TAWES-Station Hoher Sonnblick (3109 m).	13
Tabelle 8: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2020; Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima.	15
Tabelle 9: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die sechs glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15–2019/20 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebiet 85,3 km²), Neukirchen (40,5 km²) und Innergschlöss (39,3 km²).	16
Tabelle 10: Auflistung der im Nationalpark Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16–2017/18. Lage siehe Abbildung 1.	17



Tabelle 11: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2019/20 in mm Wasseräquivalent.	20
Tabelle 12: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2014–2020. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden jeweils im Punkt 15 festgestellt.	27
Tabelle 13: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2014/15 bis 2019/20 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.	27



Herausgeber:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

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

www.hohetauern.at