



Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen

Modul 07 – Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost
Zwischenbericht 2022

IMPRESSUM

forschungsraum

Zwischenbericht 2022 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:

© Alexander DORIĆ: Auslesen der Daten sowie Wartung des Bodentemperatur-Monitoringstandortes mit dem Code F-1K-NE-2860 in der Nordostflanke des Inneren Knorrkogels durch Andreas KELLERER-PIRKLBAUER. Der im Foto gezeigte Standort lag zum Zeitpunkt der Geländekampagne unter einer geschlossenen Schneedecke, welche die Geländearbeit an diesem Standort erschwerte und zur Vorsicht mahnte. Nur durch vorsichtiges Steigen und Spuren im Schnee konnte der Standort erfolgreich und sicher erreicht werden.

Zitiervorschlag:

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2022): Zwischenbericht 2022 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 10/22). Forschungsraum (unpubliziert).

[Weblink: http://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=51573](http://www.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=51573)

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

Graz, im Oktober 2022



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.....	12
3.1. Ergebnis Bereich Witterung und Klima 2020/21	12
3.2. Ergebnis Bereich Abfluss 2020/21	17
3.3. Ergebnis Bereich Gletscherverhalten 2020/21	21
3.4. Ergebnis Bereich Permafrost 2020/21	25
4. Interpretation und Diskussion	41
5. Fazit.....	42
Literaturverzeichnis.....	43
Abbildungsverzeichnis	45
Tabellenverzeichnis	48



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 2020/2021 (1. 10. 2020–30. 9. 2021) ausgewertet und interpretiert. Dieser Bericht ergänzt somit den Zwischenbericht von 2020 (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2020), der auf die Permafrost- und Bodentemperatur-Bedingungen auf der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels in der Venedigergruppe (Osttirol) im Gletscherhaushaltsjahr 2019/2020 fokussierte, sowie jenen von 2021 (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2021), der sämtliche im Modul 07 behandelten abiotischen Faktoren bzw. Prozesse im Gletscherhaushaltsjahr 2019/2020 behandelte. An ausgewählten Stellen werden in diesem Bericht Ergebnisse der Auswertungen für 2020/2021 mit den entsprechenden Daten der Vorjahre (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018, Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2021) 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 typischerweise häufig für die letzten Jahre nur ungeprüfte Rohdaten zur Verfügung (auf diesen Sachverhalt wird in der E-Mail-Korrespondenz mit den verschiedenen Landesstellen in Kärnten, Salzburg und Tirol 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) konkrete und v. a. valide Aussagen zu den Veränderungen der abiotischen Faktoren Witterung, Abfluss, Gletscher und Permafrost für das jeweilige Gletscherhaushaltsjahr 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, die zu einem großen Teil auch von den Zwischenberichtslegern betrieben werden. 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 nahegelegene Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und der hydrographischen Landesdienste der drei hier relevanten Bundesländer 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 2020/21, 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 klimatisch gesteuerter Phänomene wie Permafrost und Gletscher äußerst wichtig und fließt z. B. auch in die Beurteilung der österreichweiten Gletscherveränderungen in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren mit ein (wie zuletzt in Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2022).

Witterungs- bzw. klimarelevante Daten aus dem Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für den Zeitraum 1. 10. 2020–30. 9. 2021 wurden wiederum 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 diesen 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 in Kalenderjahr. Erläuterungen siehe Text. Lage der Stationen 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 für diesen Bericht Daten von sechs Klimastationen verwendet, die Tabelle 2 auflistet. Hierzu ist Folgendes anzumerken: HZB-Nr. ist die interne Stationsnummer, Lon, Lat, RW und HW bedeuten dasselbe wie in Tabelle 1. 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 vorgeprüfte Rohdaten und weder auf Vollständigkeit noch auf Plausibilität geprüft worden seien. Nur von Seiten des Amtes der Kärntner Landesregierung wurde darauf hingewiesen, dass die übermittelten Daten zwar vorkorrigiert wurden, aber sich bis zur Endkorrektur noch geringfügig ändern könnten. Weiters wurde von allen Dienststellen angemerkt, dass eine Weitergabe der Daten an Dritte nicht gestattet sei. Zuletzt ist zu beachten, dass es an den Messstationen Neukirchen und Bramberg keine Lufttemperaturaufzeichnungen gibt.

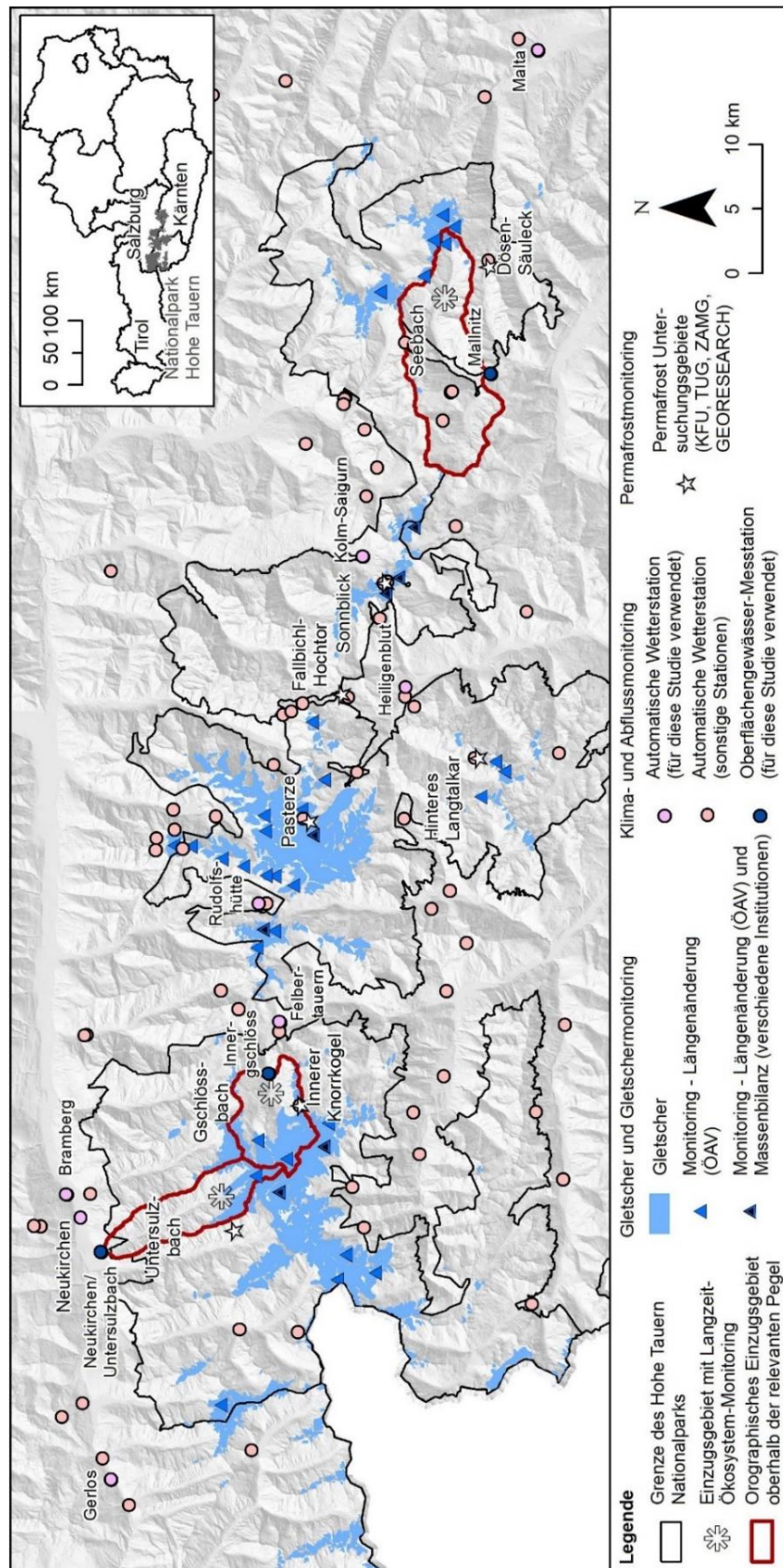


Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystemmonitoring sowie die Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (ZAMG- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher und der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (siehe hierzu 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 verschiedenen hydrographischen Landesdienste gesammelt 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 2020/21: Ende September 2021) reichen, sondern viele Monate oder sogar wenige Jahre zuvor enden. Beispielsweise konnte man am 1. 10. 2022 auf eHYD für die Messstelle Mallnitz die Abflusswerte (Q-Tagesmittel) nur für die Periode 1. 1. 1961 bis einschließlich 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 auch noch vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien bestätigt werden müssen.

Da eine Station pro Einzugsgebiet für dessen hydrographische Charakterisierung ausreicht (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2018), wurden wie in den letzten Jahren die Daten der Stationen Mallnitz (für den Seebach), Neukirchen (für den Untersulzbach) und Innergschlöss (für den Gschlössbach) für die Untersuchung herangezogen. 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. 2020 bis 30. 9. 2021 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, also nur vorläufig gültige Daten. Von Seiten von Frau Gutschi sowie Herrn Werner wurde in beiden Fällen der konkrete Hinweis auf „Rohdaten/nicht bilanziert“ mitgeteilt. 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 als 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]	o. Ezg. [km²]	Land
Mallnitz	212381	13,174722	46,983056	437986,0	204896,9	1174	85,3	Kärnten
Neukirchen	203042	12,263056	47,237222	369013,8	233699,6	848	40,5	Salzburg
Innergschlöss	212068	12,451944	47,124444	383174,2	220982,2	1686	39,3	Tirol

2.3. Methoden Bereich Gletscherverhalten

(a) 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. Wesentliche Änderungen im Sommer 2021 betrafen die Herausnahme des schwer zugänglichen Viltragenkeeses aus dem Messprogramm und im Gegenzug die Aufnahme des Venedigerkeeses (mit Neuanlage von Endmarken) in dieses Messprogramm, sodass in der Venedigergruppe die Anzahl der beobachteten Gletscher gleich blieb. 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. Jedoch ist das Messprogramm am Winkelkees aufgrund der erheblichen Steinschlag- und Eissturzgefahr in den Sommermonaten und der damit in Zusammenhang stehenden potenziellen Exponiertheit des dortigen Messteams unter der Leitung von Andreas Knittel und Jörg Färber gegenüber alpinen Naturgefahren aktuell ausgesetzt, soll aber in Zukunft in Form einer Fotodokumentation des Gletschers wieder aufgenommen werden.

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 vier der fünf stationären Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern im Jahr 2020/21 das Gletscherende entweder komplett (Roter-Knopf-Kees, Schobergruppe) oder teilweise (Freiwandkees, Glocknergruppe; Goldberg- und Kleinfleißkees, beide Goldberggruppe) unter Altschnee aus dem vorangegangenen Winter. Der fünfte stationäre Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern war offenbar erst knapp vor dem Messtermin ausgeapert (Bärenkopfkées, Glocknergruppe), sodass noch kein Zurückschmelzen des Eisrandes bis zum Messtermin an diesem Gletscher (21. 9. 2021) erfolgen konnte. Erneut war im Sommer 2021 die Wiederholungsmessung der Gletscherlänge am Obersulzbachkees nicht möglich, weil weiterhin ein davor liegender See den Gletscher mit vertretbarem Aufwand unerreichbar macht. Es lagen somit für 2020/21 von 30 Gletschern Längenänderungswerte vor, für einen Gletscher konnte zumindest ein Zweijahreswert ermittelt werden (Maurerkees, Glocknergruppe). Für die beiden Vorjahre betrug die Anzahl von Gletschern mit Längenänderungswerten 33 (2018/19) bzw. 32 (2019/20). Details zu den drei, für diesen Bericht relevanten Gletscherhaushaltsjahren 2018/19, 2019/20 und 2020/21 finden sich in Lieb & Kellerer-Pirklbauer (2020, 2021, 2022).

(b) Massenbilanz

Gletschermassenbilanzmessungen gehören nicht zu den Aktivitäten des ÖAV-Gletschermessdienstes, sondern werden von verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen an 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 Wien 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.

Daten des letzten, hier relevanten Massenbilanzjahres wurden entweder von der Datenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS 2022) bezogen (Kontakt: Isabelle Gärtner-Roer, WGMS Science Officer, Universität Zürich, isabelle.roer@geo.uzh.ch) – dies gilt für Goldbergkees, Kleinfleißkees und Pasterze – oder direkt bei den zuständigen Institutionen angefragt, welche diese dankenswerter Weise kostenfrei für diesen Bericht zur Verfügung stellten. Die Massenbilanzergebnisse für 2020/21 sind für die folgenden Gletscher auch publiziert: Stubacher Sonnblickkees (Zagel et al. 2022), Venedigerkees (Seiser & Fischer 2022) und Zettalunitz/Mullwitzkees

(Stocker-Waldhuber & Fischer 2022). Die Massenbilanz des Wurtenkeeses wird im Zweijahresrhythmus berechnet und lag für 2019/20 sowie 2020/21 zum Zeitpunkt der Berichtslegung auch vor, wobei für die Bereitstellung dieser Daten Stefan Reisenhofer von der ZAMG sehr herzlichst gedankt sei. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die Massenbilanzmessungen am Wurtenkees vor 40 Jahren federführend von Reinhard Böhm initiiert wurden, einem der größten Klimatologen, den Österreich wohl je gesehen hat. Seit Todestag jährte sich am 12. 10. 2022 zum zehnten Mal.

Tabelle 4: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2022, 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 u.a. (ZAMG)
Kleinfleißkees (Goldberggruppe)	B. Hynek, A. Neureiter u.a. (ZAMG)
Pasterze (Glocknergruppe)	B. Hynek, A. Neureiter u.a. (ZAMG)
Stubacher Sonnblickkees (Granatspitzgruppe)	B. Zagel, H. Wiesenegger, H. Slupetzky u.a. (Z_GIS/HD-Sbg/ÖAW)
Venedigerkees (Venedigergruppe)	B. Seiser, A. Fischer, H. Wiesenegger u.a. (ÖAW/HD-Sbg)
Wurtenkees (Goldberggruppe)	S. Reisenhofer, A. Neureiter u.a. (ZAMG)
Zettalunitz/Mullwitzkees (Venedigergruppe)	M. Stocker-Waldhuber, A. Fischer u.a. (ÖAW)

2.4. Methoden Bereich Permafrost

Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern (und in Österreich allgemein) 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 Langzeit-Projekt vom Team der Berichtsleger eingerichteten Bodentemperatur- und Permafrost-Messstellen am Inneren Knorrkogel (Venedigergruppe).

(a) Bodentemperatur- und Permafrostverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Für die Darstellung der Bodentemperaturverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten wird primär auf den im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten erstellten Zwischenbericht für 2020/21 zurückgegriffen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2022). Die Ergebnisse sind aufgrund der hohen Anzahl an Messstellen, die unterschiedliche Expositionen, Höhenlagen, Geländekonfigurationen und Substrate abdecken, in der Grundaussage der thermischen Reaktion des Permafrostes auf die großräumigen Witterungsverhältnisse der betreffenden Haushaltsjahre, auch auf den gesamten Nationalpark übertragbar. Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den 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 Langtalar-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, 2021a, 2022) 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 17 zeigt Auswertungen der jeweils grau hinterlegten Sensoren. HLC=Hinteres Langtalar-Kögelekar, FAL=Fallbichl, HOT=Hochtor, DOV=Dösen-Säuleck, PAG=Pasterze-Burgstall. GOE-PR ist ein Standort im Gößnitzkar, 2,6 km SW vom Kögelekar. 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 (h)	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 (f)	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 (g)	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/g)	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 (e)	404719	215779	328165	5216484	2078	0	0	0
PAG-PR2 (e)	404710	215824	328158	5216528	2080	0	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 PAG-FI wurde bedingt durch Lage auf einer Insel im Paterzensee im Sommer 2020 aufgelassen somit keine Daten für 2020/21; (c) 2020 reaktiver Standort HLC-SO-S; (d) 2020 neu eingerichteter Standort PAG-FIR; (e) ebene Lage, deshalb 0°; (f) 2021 witterungsbedingt nicht besucht – Schneelage; (g) 2021 mit neuen Sensor ausgestattet. * 2021 am Geländearbeitstermin unter Schnee (3 Standorte: HLC-RT, KC-UP und DOV-MI-N); (h) 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 ist dieser Standort auch in dieser Übersichtstabelle aufgelistet.

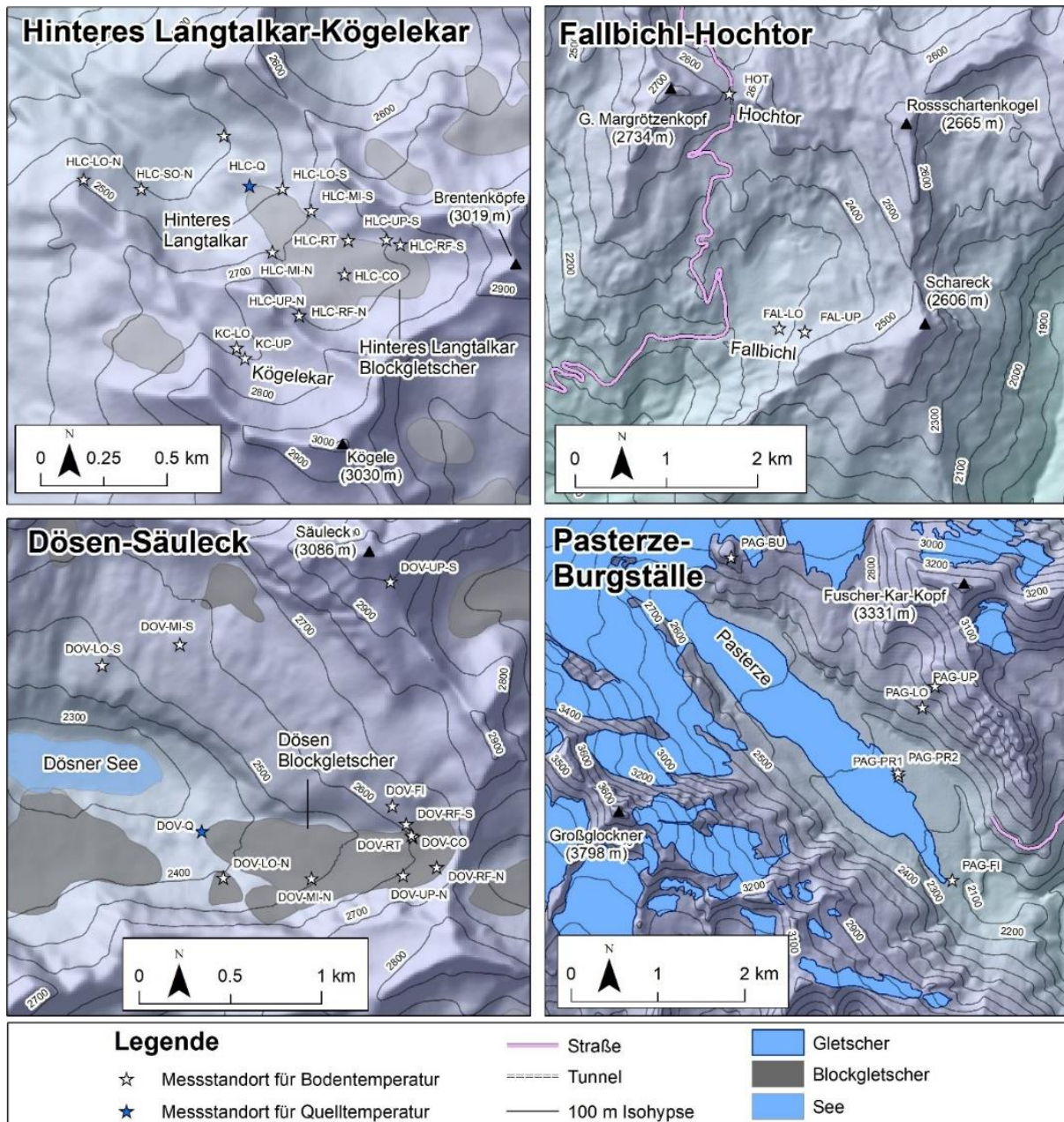


Abbildung 2: Detailkarten der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind (vgl. Tab. 5). Zu beachten ist, dass zusätzlich auch Quelltemperatur-Messstandorte im Bereich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



(b) 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 relativ geschlossenste Datenreihe besitzen und somit eine Kontinuität zu früheren Berichten, welche im Rahmen dieses Langzeit-Projektes verfasst wurden, mit sich bringen.

Anzumerken sind folgende Aspekte zum Bohrloch 3 am Hohen Sonnblick für den Messzeitraum 1. 10. 2020 bis 30. 9. 2021 (pers. Mitteilung Claudia Riedl): Im Sommer 2020 kam es durch einen Blitzeinschlag zur Zerstörung der Temperatursensoren-Messkette der Firma Geoprecision, weshalb für den Zeitraum 8. 7. 2020 bis 11. 10. 2020 keine Permafrost-Temperaturdaten vorliegen. Ab 12. 10. 2020 ging eine neue Temperatursensoren-Messkette in Betrieb, die einwandfrei bis zum 30. 6. 2021 Temperaturwerte in mehreren Tiefen (bis max. 20 m) erfasste. Ab 1. 7. 2021 bis einschließlich 30. 9. 2021 konnten – bedingt durch ein technisches Gebrechen – keine Daten mehr vom untersten Sensor in 20 m Tiefe erfasst werden. Zusätzlich kam es auch noch im Zeitraum 20. 7. 2021 bis 3. 8. 2021 (15 Tage) zu einem kompletten Datenausfall, welcher mit den Auswirkungen von Gewittern in Zusammenhang zu bringen ist. Schließlich wurde noch von Seiten der ZAMG darauf hingewiesen, dass die uns übermittelten Daten zwar geprüft, aber nicht endgültig homogenisiert seien.

(c) 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. 2022). Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen finden in den beiden Untersuchungsgebieten Dösen-Säuleck (Dösender Blockgletscher) und Hinteres Langtalkar-Kögelekar (Hinteres Langtalkar Blockgletscher) statt (Abbildung 2).

(d) Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Die Geländearbeiten im Untersuchungsgebiet Innerer Knorrkogel, Venedigergruppe, wurden im Zeitraum 4. 9. 2021 bis 6. 9. 2021 durchgeführt. Die Anreise ins Innergschlöss erfolgte am Samstag 4. 9. 2021. Die eigentliche Geländearbeit am Hochgebirgsstandort Innerer Knorrkogel konnte am Sonntag 5. 9. 2021 erfolgreich durchgeführt werden, wobei Neuschnee (Kaltlufteinbruch mit Schneefall unter 2500 m im Zeitraum 28. 8. bis 31. 8. 2021) die Geländearbeit erschwerte. Grundsätzlich waren die Schneeverhältnisse im Bereich der Gipfelpyramide Anfang September 2021 ähnlich jenen von Anfang September 2020 (Abb. 3).

An einigen Standorten lag Restschnee, an zwei Standorten war eine nahezu geschlossene Schneedecke (F-1K-NE-2860, F-1K-NE-2840) vorhanden. Diese beiden Standorte konnten nur unter größter Vorsicht (d. h. vorsichtige Schrittsetzung in der geneigten Schneedecke) besucht werden (Abb. 4.; siehe auch Bild auf der Titelseite). Der abtauende Schnee verursachte an manchen Stellen erschwerende weil rutschige Wegverhältnisse. Ein Standort musste im Jahr 2021 unbesucht bleiben, da die Schneesituation in Kombination mit der Steilheit des Geländes im Bereich des Zustieges zum Standort vom Messteam als zu gefährlich eingestuft wurde. Der Auf- und Abstieg zum bzw. vom Arbeitsgebiet erfolgte wie im Vorjahr vom Innergschlöss über das Löbbentörl. Die Geländearbeit selbst konnte bei optimalen Witterungsverhältnissen trotz der beschriebenen Schneelage relativ gut durchgeführt werden, wodurch auch zeiteffizient an einem langen Arbeitstag zumindest 17 der 18 Standorte aufgesucht und gewartet werden konnten. Die Abreise aus dem Innergschlöss erfolgte am Montag 6. 9. 2021.



Abbildung 3: Vergleich der Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeit am 3. 9. 2020 (links) und 5. 9. 2021 (rechts) im Bereich der Gipfelpyramide (hier zu sehen die Süd- und Westflanken) vom Löbbentörl aus betrachtet. Neuschnee war in den höheren Lagen in beiden Jahren vielerorts anzutreffen und behinderte im Jahr 2021 an manchen Standorten auch die Geländearbeiten. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer.



Abbildung 4: Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeit am 5. 9. 2021 im Bereich der beiden Standorte F-1K-NE-2860 (links) und F-1K-NE-2840 (rechts). Diese Verhältnisse geboten größte Vorsicht. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer.

Die einzelnen Messtandorte wurden in der in Tabelle 6 aufgelisteten Abfolge aufgesucht. Diese Abfolge ähnelt jener der Vorjahre und ergibt sich aus einer möglichst zeiteffizienten Durchführung der Geländearbeit entlang dieser Route. An allen bis auf einem Standort wurden via Funkverbindung die Temperaturdaten von den jeweiligen Datenloggern auf den Computer übertragen und als csv-Datei abgespeichert (siehe Tabelle 6). Ebenso wurde an diesen Standorten die Batterien der Datenlogger getestet. Am Standort F-1K-S-2860 stellte sich heraus, dass mit 15. 10. 2020 die interne Batterie leer war und folglich für diesen Standort ein Datenloch für den Zeitraum 15. 10. 2020 bis 05. 9. 2021 zu beklagen ist. An diesem Standort wurde im Zuge der Geländearbeit eine neue Lithiumbatterie eingebaut.

Im Zuge der Wartungsarbeiten zeigte es sich in Summe, dass an fast allen Standorten problemlos Daten von September 2020 bis Anfang September 2021 aufgezeichnet wurden und nur zwei Standorte einen Datenausfall hatten. Neben dem Standort mit der leeren Batterie (F-1K-S-2860) gab es wiederum Probleme beim Lufttemperaturmessstandort S-AT-2878, wo erst im Sommer 2019 ein neuer Logger eingebaut wurde (A5223E). Wie sich in der Datenanalyse offenbarte, wurden an diesem Standort nur in der Periode 3. 9. 2020 bis 4. 12. 2020 problemlos Lufttemperaturdaten aufgezeichnet. Mehrmalige automatische „Resets“ des Datenloggers veränderten die Einstellung der internen Uhr nach dem 4. 12. 2020, weshalb keine seriösen Langzeitdaten von diesem Standort für den Zeitraum 5. 12. 2020 bis 4. 9. 2021 vorliegen.

Tabelle 6: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interner Loggernummer, Tiefe des Sensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) sowie die Bezeichnungen der diesem Bericht angehängten Dateien in Bezug auf Rohdaten (chronologische Codierung) sowie bearbeitete Daten (Codierung in Anlehnung an den vorjährigen Bericht). Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20211025.csv“ und „bearb_daten_metadaten_20211025.csv“.

Code	Log. Nr.	Sensor- tiefe (cm)	Dateibezeichnung Rohdaten	Dateibezeichnung bearbeitete Daten und ggf. Anmerkung
G-1K-SW-2840	A5223B	0	01-G-1K-SW-2840-A5223B_18-21.csv	01-G-1K-SW-2840-A5223B_18-21.xlsx
F-1K-W-2840	A52220	0	02-F-1K-W-2840-A52220_18-21.csv	02-F-1K-W-2840-A52220_18-21.xlsx
G-1K-SW-2860	A5223F	0	03-G-1K-SW-2860-A5223F_18-21.csv	03-G-1K-SW-2860-A5223F_18-21.xlsx
F-1K-W-2860	A52244	0	04-F-1K-W-2860-A52244_18-21.csv	04-F-1K-W-2860-A52244_18-21.xlsx
G-1K-NW-2840	A52223	0	05-G-1K-NW-2840-A52223_18-21.csv	05-G-1K-NW-2840-A52223_18-21.xlsx
G-1K-NW-2860	A52227	0	06-G-1K-NW-2860-A52227_18-21.csv	06-G-1K-NW-2860-A52227_18-21.xlsx
F-3K-W-2869	A538B7	3	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21.csv	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21-3cm.xlsx
	A538B7	10	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21.csv	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21-10cm.xlsx
	A538B7	40	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21.csv	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-21-40cm.xlsx
S-GT-2886	A521B7	0	08-S-GT-2886-A521B7_18-21.csv	09-S-GT-2886-A521B7_18-21.xlsx
S-GT-2878	A52194	0	09-S-GT-2878-A52194_18-21.csv	10-S-GT-2878-A52194_18-21.xlsx
S-AT-2878	A53A9E	0	10-S-AT-2878-A53A9E_19-21.csv	Logger A53A9E wurde erst im Jahr 2019 eingebaut, jedoch gab es sowohl 2019/20 (3. 11. 2019 bis 2. 9. 2020) als auch 2020/21 (5. 12. 2020 bis 4. 9. 2021) Datenausfälle bedingt durch Loggerprobleme (autom. Reset) Eine Zusammenfassung der „brauchbaren“ Ergebnisse wird im Endbericht präsentiert.
F-3K-S-2871	A538B1	3	11-F-3K-S-2871-A538B1_18-21.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-21-3cm.xlsx
	A538B1	10	11-F-3K-S-2871-A538B1_18-21.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-21-10cm.xlsx
	A538B1	40	11-F-3K-S-2871-A538B1_18-21.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-21-40cm.xlsx
G-1K-E-2860	A521CB	0	12-G-1K-E-2860-A521CB_18-21.csv	13-G-1K-E-2860-A521CB_18-21.xlsx
G-1K-E-2845	A5222E	0	13-G-1K-E-2845-A5222E_18-21.csv	14-G-1K-E-2845-A5222E_18-21.xlsx
F-1K-NE-2840	A521A0	0	14-F-1K-NE-2840-A521A0_18-21.csv	15-F-1K-NE-2840-A521A0_18-21.xlsx
F-1K-NE-2860	A5226E	0	15-F-1K-NE-2860-A5226E_18-21.csv	16-F-1K-NE-2860-A5226E_18-21.xlsx
F-1K-S-2860	A5222A	0	16-F-1K-S-2860-A5222A_18-21.csv	Batterie war mit 15.10.2020 leer, somit Datenausfall im Zeitraum 15. 10. 2020 bis 05. 9.2021 17-F-1K-S-2860-A5222A_18-21.xlsx
F-1K-S-2840	A52230	0	17-F-1K-S-2840-A52230_18-21.csv	18-F-1K-S-2840-A52230_18-21.xlsx
F-3K-NE-2871	A538AC			Standort konnte 2021 nicht besucht werden

Anmerkungen: GT=Bodentemperatur, AT=Lufttemperatur



Nach Abschluss der Geländearbeiten am Inneren Knorrkogel erfolgte der Abstieg ins Tal, wo am Abend die gesammelten Daten auf einen externen Datenträger gesichert wurden. Die Langzeit-Datensichtung und die Analyse der Daten wurden am Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz durchgeführt, wobei für die Auswertung die Software Excel verwendet wurde.

Die Bezeichnung der Dateien in Bezug auf bearbeitete Daten für alle Standorte sowie für jeden Sensor bei 3-Kanaldatenloggern ist der Tabelle 6 zu entnehmen. In der Auswertung in Excel wurde auf die Stundenwerte, Monatsmittelwerte und – für diesen Bericht – insbesondere Jahresmittelwerte fokussiert, um hier ein übersichtliches Bild über die Zustände sowie Unterschiede der Bodentemperatur in den drei Messjahren 2018/19 (1. 9. 2018 bis 31. 8. 2019), 2019/20 (1. 9. 2019 bis 31. 8. 2020) sowie 2020/21 (1. 9. 2020 bis 31. 8. 2021) zu erhalten.

(e) 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 bis 30. 9. 2021 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. Wie im Kapitel 3.4. detailliert ausgeführt wird, gab es jedoch bis zum 30. 9. 2021 wesentliche Datenausfälle im Sattelkar bedingt durch Stromversorgungsprobleme einiger Datenlogger.



3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse zum Bereich Witterung und Klima 2020/21

In der Tabelle 7 sind die Jahreswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags für das Projekt- bzw. Gletscherhaushaltsjahr 2020/21 sowie – für Vergleichszwecke – der sechs 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 bedingt durch die unterschiedlichen Seehöhen sowie der unterschiedlichen Lagen zum Hauptkamm groß. Die Veränderlichkeit von einem Jahr auf das andere verläuft jedoch relativ gleichsinnig – so etwa ist das relativ niederschlagsreiche Jahr 2019/20 an fünf der neun Stationen (Kolm-Saigurn, Heiligenblut, Malta, Neukirchen, Bramberg) das niederschlagsreichste und an den restlichen vier Stationen (Rudolfshütte, Sonnblick, Gerlos, Felbertauern) das zweitniederschlagsreichste der sechs Jahre (wobei die Niederschlagswerte für Felbertauern für die letzten beiden Jahre nahezu ident waren). Der generelle Witterungscharakter der Jahre wird also mit hinreichender Genauigkeit durch diese Stationen abgebildet.

In den Werten der Tabelle 7 ist auffallend, dass das Jahresmittel der Temperatur an allen neun Standorten im Jahr 2020/21 im Vergleich zu den sechs Jahren zuvor deutlich niedriger war und überall ein neues Minimum erzielt wurde, was deutlich zum äußerst warmen Vorjahr kontrastiert. Die Niederschläge waren von der Jahressumme her betrachtet eher im Mittel angesiedelt, nur am Standort Felbertauern wurde ein neuer Maximalwert erzielt, was mit hohen frühwinterlichen Niederschlägen im Winterhalbjahr 2020/21 in Verbindung zu bringen ist. An den übrigen Stationen lagen Gesamtjahresniederschlagssummen im Beobachtungsjahr unter den Werten des Vorjahres.

Diese Sachverhalte werden sehr gut in den Abbildungen 5 und 6 sichtbar, worin die Werte der beiden letzten Beobachtungsjahre für Temperatur und Niederschlag einander gegenübergestellt sind. Bei der Gegenüberstellung der Temperaturwerte der letzten beiden Jahre fällt auf, dass an allen sieben Stationen mit entsprechenden Daten der Jahresmittelwert im Jahr 2020/21 um rund 1°C niedriger war als im Vorjahr, wobei die negativen Abweichungen zum Vorjahr zwischen 0,7°C (Heiligenblut) und 1,4°C (Malta) betrugen. Beim Vergleich der Niederschlagssummen von 2020/21 und 2019/20 ist – wie schon angedeutet – auffällig, dass an sieben der neun Stationen das letzte Beobachtungsjahr deutlich geringere Niederschlagssummen aufwies als das Jahr zuvor. An den beiden niederschlagsreichen Stationen Rudolfshütte und Kolm-Saigurn fiel dieser Unterschied mit -215 mm bzw. -244 mm im Jahr 2020/21 gegenüber dem Vorjahr am stärksten aus. Die Station Heiligenblut hatte hingegen nur 32 mm weniger Niederschlag als im Vorjahr 2020/21 und die Station Felbertauern sogar um 1 mm mehr.

Tabelle 7: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den sieben Jahren 2014/15 bis 2020/21 (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. 3. 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*
2020/21	0,6	2358	5,1	1829	-4,5	1850	6,4	1138	8,0	1018

	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
2020/21	n.d.	1129	n.d.	1150	5,3	1351	4,1	1713

Vergleich Lufttemperatur 2020/21 vs. 2019/20

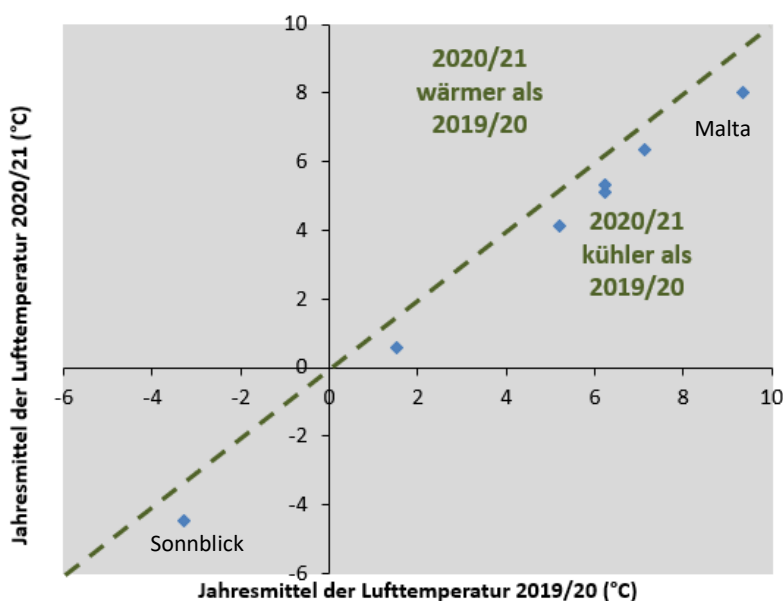


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2020/21 mit 2019/20 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Der wärmste Standort ist die Station Malta, die kälteste die Station Sonnblick.

Vergleich Niederschlag 2020/21 vs. 2019/20

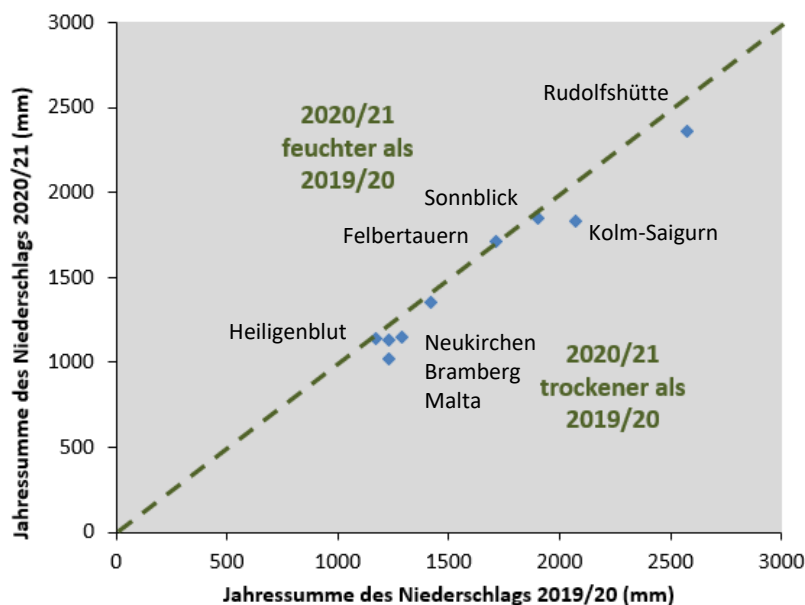


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2020/21 mit 2019/20 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Die Station mit dem höchsten Niederschlag im Jahr ist jene an der Rudolfshütte, wohingegen die Stationen Malta oder Heiligenblut in den meisten Jahren die geringsten Niederschläge aufweisen.

Der Witterungscharakter des Projektjahres 2020/21 ist wie folgt zu charakterisieren: Der von einem bedeutenden Schneefallereignis verursachte Beginn der winterlichen Akkumulationsperiode war an den meisten Gletschern der 25. 9. 2020. Es folgte ein wechselhafter, unterdurchschnittlich temperierter Oktober und ein außergewöhnlich milder, niederschlagsarmer November. Im Dezember und über den Jahreswechsel gab es südlich des Alpenhauptkammes reichlich Schneefälle, was noch am Ende des Projektjahres an der weitreichenden Altschneebedeckung so mancher Gletscher in den Hohen Tauern (z.B. Roter Knopf-Kees, Schobergruppe) zu erkennen war. An der Alpennordseite setzten hingegen erst im Lauf des Jänners intensive Schneefälle ein, die aber auch hier die Niederschlagswerte noch weit überdurchschnittlich werden ließen. Der Februar war deutlich zu mild und niederschlagsarm, der März hingegen entsprach annähernd den Erwartungen. Wichtig für Permafrost und die Gletscher waren der April und vor allem der Mai, die beide deutlich zu kühl und letzterer auch sehr schneereich waren: Im Niveau der Gletscher-Nährgebiete in den Hohen Tauern nahmen die Schneehöhen bis Ende Mai zu. Dies war mit ein Grund dafür, dass die Schneedecken der starken sommerlichen Abschmelzung lange trotzen. Im Gegensatz dazu war der Juni viel zu warm und mit unternormalen Niederschlägen in seinem Witterungscharakter ausgesprochen hochsommerlich, sodass es zu einer raschen Reduktion der Schneereserven kam. Der Juli 2021 war geringfügig zu warm, der darauffolgende August etwas zu kühl, der Hochsommer somit insgesamt annähernd normal temperiert. Daher waren die Bedingungen für die Kryosphäre in den Hohen Tauern zwar etwas weniger ungünstig als in den Vorjahren, jedoch ist auch eine annähernd dem 30jährigen Mittel entsprechende Sommertemperatur so hoch, dass sie die Fortsetzung des herrschenden Gletscherschwundes sowie der Degradation von Permafrost bewirkte. Nachdem ein Wettersturz Ende August 2021 die Hochlagen in den Hohen Tauern mit Schnee bedeckt hatte, kam es im deutlich zu warmen und niederschlagsarmen September zum Abbau dieser Neuschneedecke und noch zu bedeutender Eisschmelze, bis mit dem Kaltfrontdurchgang vom 5./6. 10. 2021 das Gletscherhaushaltsjahr in den Hohen Tauern endete.

Abbildung 7 zeigt in einer Zusammenschau die Kurven der Monatsmitteltemperaturen aller in Tabelle 7 enthaltenen Stationen mit entsprechenden Daten über den siebenjährigen Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2021. 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 $-3,9^{\circ}\text{C}$), (c) die Station Rudolfshütte am zweitkühlsten ist ($1,2^{\circ}\text{C}$), (d) die Stationen Kolm-Saigurn ($5,7^{\circ}\text{C}$), Gerlos ($5,8^{\circ}\text{C}$) und Felbertauern ($5,2^{\circ}\text{C}$) relativ ähnlich sind und (e) die Stationen Heiligenblut (Mittel $7,1^{\circ}\text{C}$) und Malta ($9,1^{\circ}\text{C}$) die höchsten Jahresmittelwerte für diesen Zeitraum aufweisen, was im Wesentlichen der regelhaften Temperaturabnahme mit der Höhe entspricht. Hervorzuheben sind die auffallend tiefen Monatsmittel im Jänner 2017, im Februar 2018, im Jänner 2019 sowie nun auch im Jänner 2021. 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 7-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 in geringem Ausmaß (um $0,2$ bis $0,4^{\circ}\text{C}$) im Juni 2019 übertroffen. Der absolut höchste Monatsmittelwert in dem 7-jährigen Beobachtungszeitraum wurde für die Station Malta im Juni 2019 mit $20,3^{\circ}\text{C}$ errechnet.

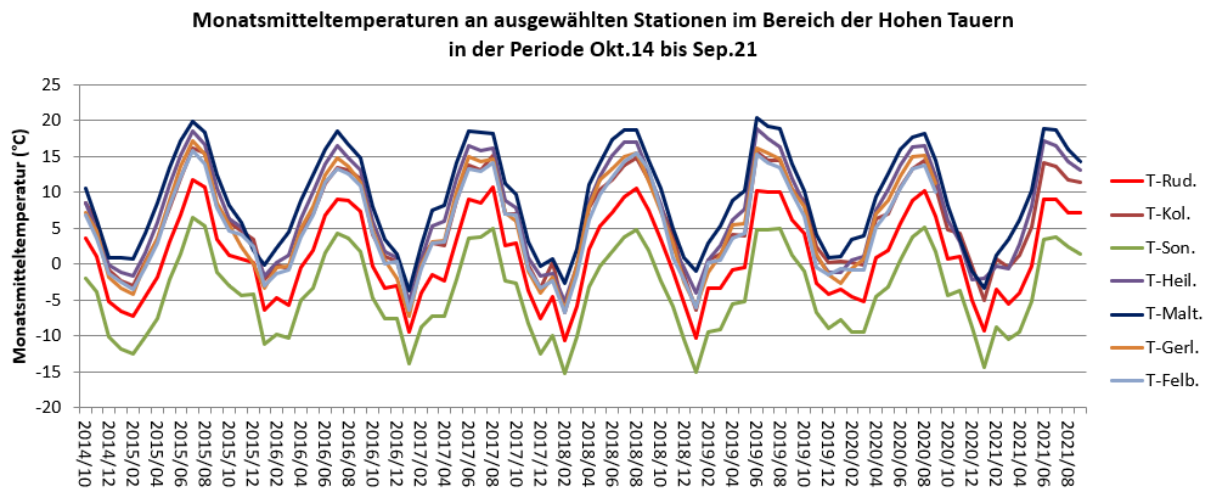


Abbildung 7: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2021 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.

Die Monatswerte der Temperatur an der Station Sonnblick im Projektjahr 2020/21 werden in Abbildung 8 und Tabelle 8 den entsprechenden Werten der Klimanormalperiode 1981–2010 gegenübergestellt. Im Mittel lagen die Monatsmitteltemperaturen des letzten Beobachtungsjahres nur wenig über denen der genannten Klimanormalperiode, auf das Gesamtjahr gesehen betrug die Abweichung $+0,5^{\circ}\text{C}$. Im Jahresverlauf ist auffällig, dass sechs Monate im Berichtsjahr 2020/21 kälter waren als in der Klimanormalperiode, und zwar Oktober, Jänner, März (jedoch nur geringfügig), April, Mai und August. Der Jänner 2021 war sogar um 3°C zu kalt, gefolgt vom Mai (um $2,4^{\circ}\text{C}$) und April (um $2,2^{\circ}\text{C}$). Bei den übernormal warmen Monaten sticht vor allem der November hervor, der um $4,1^{\circ}\text{C}$ zu warm war, gefolgt vom Februar 2021 ($+3,5^{\circ}\text{C}$) und Juni ($+2,9^{\circ}\text{C}$). Das Beobachtungsjahr 2020/21 kann somit aus thermischer Sicht als leicht abträglich für Schnee, Gletscher und Permafrost im Nationalpark Hohe Tauern gesehen werden und war somit für diese Naturerscheinungen deutlich günstiger als das Vorjahr (vgl. Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2021).

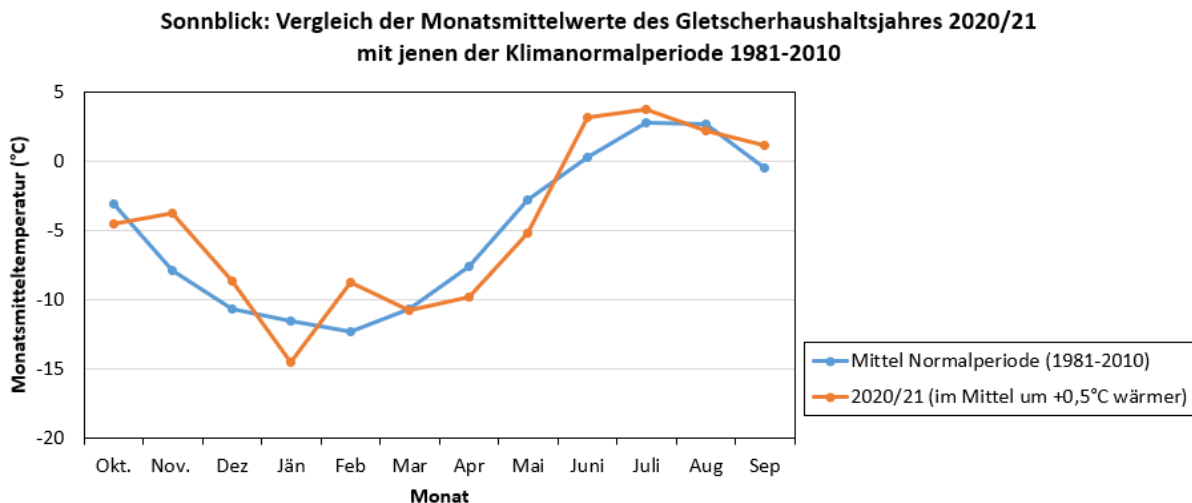


Abbildung 8: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) des Gletscherhaushaltsjahres 2020/21 mit jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 an der Station Sonnblick (3109 m).

Tabelle 8: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte des Gletscherhaushaltsjahres 2020/21 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der Station Sonnblick (3109 m).

Monat	Monatsmittelwerte (°C)		Abweichung (°C)
	1981–2010	2020/21	2020/21
Okt.	-3,1	-4,5	-1,4
Nov.	-7,9	-3,8	4,1
Dez.	-10,7	-8,7	2
Jän.	-11,5	-14,5	-3
Feb.	-12,3	-8,8	3,5
März	-10,7	-10,8	-0,1
Apr.	-7,6	-9,8	-2,2
Mai	-2,8	-5,2	-2,4
Juni	0,3	3,2	2,9
Juli	2,8	3,7	0,9
Aug.	2,7	2,2	-0,5
Sep.	-0,5	1,1	1,6
Mittel	-5,1	-4,7	0,5

Für eine Betrachtung der Langzeitentwicklung des Jahresniederschlages wurden wiederum die Stationsdaten von Neukirchen verwendet, wo seit 1973 kontinuierlich durch den Hydrographischen Dienst des Landes Salzburg gemessen wird. In Abbildung 9 sind die Jahressummen (Kalenderjahre) des Niederschlags für den Zeitraum 1973–2021 sowie ein entsprechender linearer Trend dargestellt. Wie die Grafik gut zeigt, ist an dieser Station weder ein Trend noch eine signifikante Änderung der Jahressummen des Niederschlags zu erkennen, jedoch weisen diese eine starke Variabilität auf: Der Mittelwert im 49-jährigen Beobachtungszeitraum liegt bei 1068 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.

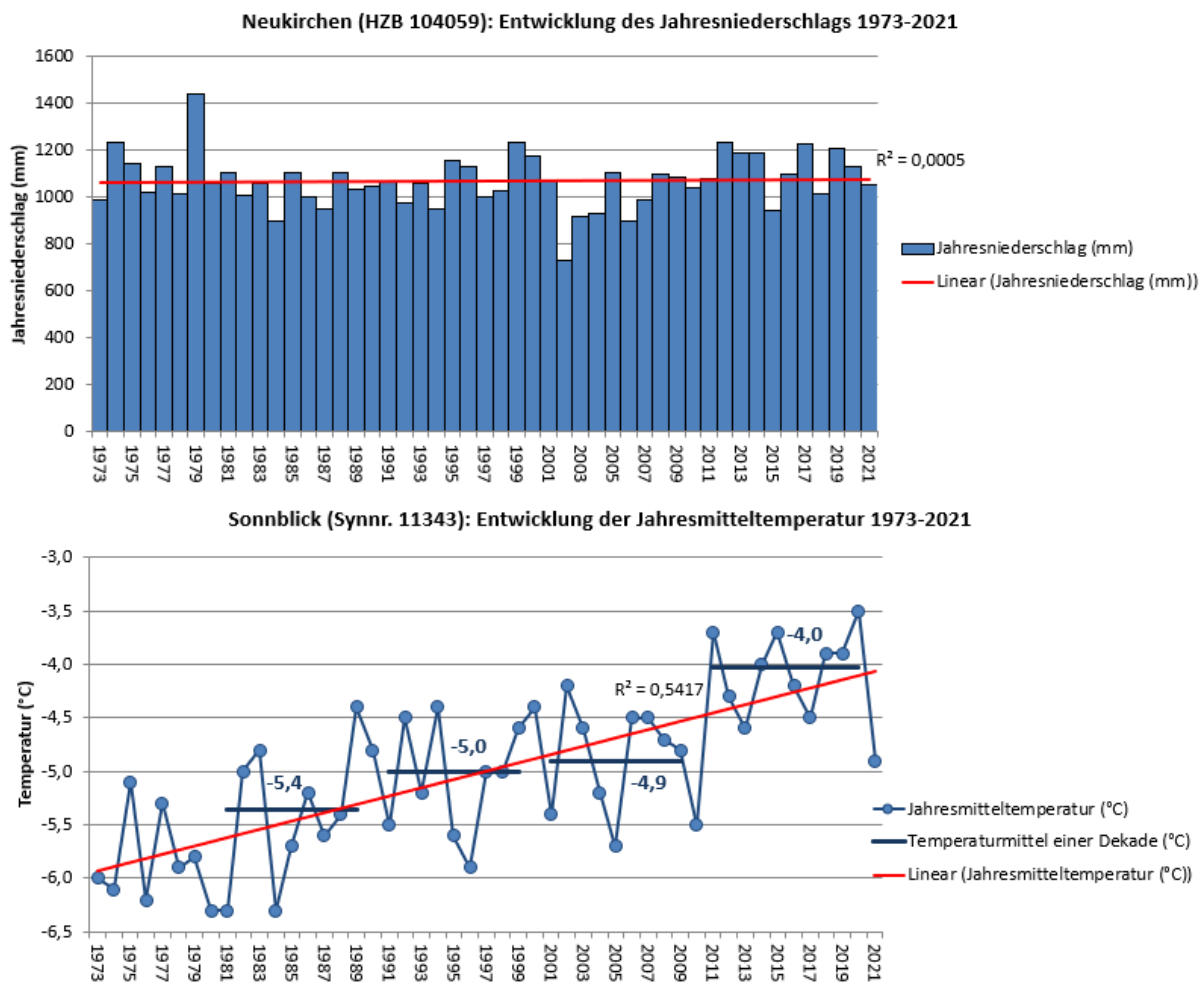


Abbildung 9: Langzeitentwicklung von Niederschlag (Station Neukirchen) und Temperatur (Station Sonnblick). Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2021 und entsprechende Trends. Niederschlag: Keine signifikanten Veränderungen erkennbar. Temperatur: Klarer Erwärmungstrend. Für die Temperatur sind zusätzlich auch Dekadenmittelwerte (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2020) angegeben.

Zusätzlich ist in der Abbildung 9 unten auch die Entwicklung der Jahresmittel der Lufttemperatur an der Station Sonnblick über denselben 49-jährigen Zeitraum dargestellt. Ganz deutlich ist, unabhängig von großen Schwankungen von Jahr zu Jahr, ein klarer Erwärmungstrend zu erkennen. In fünf der letzten 10 Jahre 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 $-3,7^\circ\text{C}$. Das Jahr 2021 war hingegen wieder besonders kalt mit einer Jahresmitteltemperatur, die den Mittelwert der Dekade 2001–2011 ($-4,9^\circ\text{C}$) entspricht. Abbildung 9 gibt auch die Veränderung der Dekadenwerte der Temperatur an der Station Sonnblick wieder: Lag der 10-Jahresmittelwert im Zeitraum 1981–1990 noch bei $-5,4^\circ\text{C}$, so liegt dieser Wert in der jüngsten Dekade bei nur mehr $-4,0^\circ\text{C}$.

3.2. Ergebnis Bereich Abfluss 2020/21

Die Abflusswerte der drei Pegel Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) wurden für den Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2021 ausgewertet. Abbildung 10 zeigt die Tagesmittel der gemessenen Abflüsse an den drei Stationen für den siebenjährigen Zeitraum. Die schon bei Lieb et al. (2019) beschriebenen Merkmale des Abflussgeschehens kommen besonders gut auch in Tabelle 9 mit Minima im Februar oder März (in Ausnahmen Jänner) und Maxima in den Monaten Juni oder Juli (in Ausnahmen Mai oder August) zur Geltung. Insgesamt verliefen die hier

dargestellten Beobachtungsjahre in Bezug auf die Abflüsse zumindest bis Mitte Juli 2021 recht unauffällig, sieht man von einzelnen Hochwasserspitzen (am Pegel Innerschlöss mit Abflusswerte von > 25 m³/s im Sommer 2019 bzw. sogar > 30 m³/s im Sommer 2020) ab.

Extrem hohe Werte des mittleren täglichen Abflusses wurden am 18. 7. 2021 an den benachbarten Messstellen Neukirchen und Innerschlöss gemessen, wobei an beiden – zumindest für die Periode 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2021 – jeweils neue Maximalwerte erzielt wurden (Pegel Neukirchen: 55,02 m³/s; Pegel Innerschlöss: 50,94 m³/s). Die allgemein schweren Hochwässer im Juli 2021 in Österreich wurden durch das Tiefdruckgebiet „Bernd“ verursacht, welches im Zeitraum 12. bis 19. 7. 2021 über Mitteleuropa wirksam war und großen Schaden in mehreren Ländern Mitteleuropas verursachte (Junghänel et al. 2021). Am Pegel Mallnitz wirkte sich dieses Tiefdruckgebiet weniger stark aus, wobei dort am 18. 7. 2021 immerhin 17,14 m³/s gemessen wurden (Rekord an diesem Pegel im oben genannten Zeitraum ist 23,49 m³/s gemessen am 17. 6. 2016).

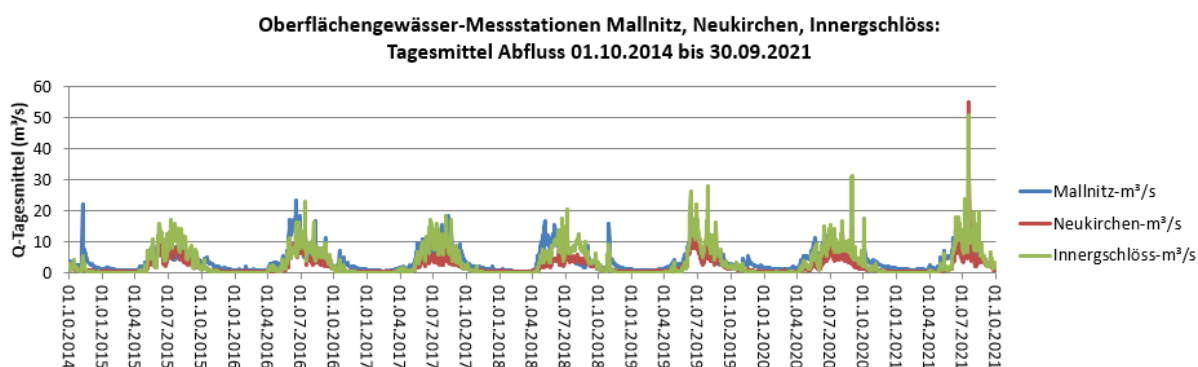


Abbildung 10: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m³/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 –30. 9. 2021.

Tabelle 9: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2021; 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)
2020/21	123,27	27,84 (Juni)	2,61 (Februar)	76,48	25,73 (Juli)	1,01 (Februar)	114,17	38,39 (Juli)	0,38 (Februar)

Der Mallnitzbach weist wegen der Größe des Einzugsgebietes die höchsten aller Jahres- sowie zumeist auch Monatswerte – wie in Tabelle 9 ersichtlich – auf, wenngleich der Gschlössbach in manchen Beobachtungsjahren den höchsten Monatswert der drei Bäche (zuletzt Juni 2019, August 2020 und Juli 2021) verzeichnete. Auffallend für 2021 sind die neuen Monatsmaxima im Juli für Neukirchen und Innerschlöss, was mit dem zuvor genannten Tiefdruckgebiet „Bernd“ in Verbindung zu bringen ist. Interessant ist auch der Vergleich der Abflussmengen in den Einzeljahren. Im Einzugsgebiet Innerschlöss variierte die Summe des Jahresabflusses in den sieben Messjahren um nur 16 %, während der relative Unterschied zwischen dem maximalen und minimalen Jahreswert an den Pegeln Mallnitz sowie Neukirchen 23% bzw. 28 % beträgt.

Abbildung 11 stellt die Jahresgänge des aktuellen Beobachtungsjahres für die drei Standorte dar. Die untere Grafik in dieser Abbildung zeigt zur besseren Veranschaulichung die Verhältnisse bei niedrigen Abflüssen von 0 bis 6 m³/s. Auffällig sind die nahezu gleichförmigen, relativ ruhigen Verläufe (Auslauf des Basisspeichers) bis etwa Anfang April 2021 und ein darauffolgendes erstes markantes großräumiges Niederschlagsereignis an allen drei Stationen mit markanter Abflusswirksamkeit Anfang April. Am Pegel Innerschlöss, der generell durch die großflächige Vergletscherung im Einzugsgebiet in sehr hohem Ausmaß von der Gletscherschmelze beeinflusst wird, kam es im dreitägigen Zeitraum 17. bis 19. 7. 2021 zu mittleren Abflusswerten von 36,8, 50,9 sowie 21,6 m³/s. Ähnlich hohe Abflusswerte wurden an der Station Neukirchen im selben dreitägigen Zeitraum ermittelt mit 22,7, 55,0 und 34,7 m³/s. An der Station Mallnitz spiegelte sich im wesentlich dieses Muster von sehr hohen Werten an diesen drei Tagen mit 12,5, 17,1 und 13,8 m³/s wider. An allen drei Stationen wurde im aktuellen Berichtsjahr am 18. 7. 2021 der deutlich höchste Wert gemessen. Stimmig dazu wurden sehr hohe Tagesniederschlagssummenwerte am 17. 7. 2021 an den Stationen Rudolfshütte (96,9 mm), Gerlos (94,0 mm), Felbertauern (82,4 mm), Kolm-Saigurn (51,0 mm), Bramberg (53,0 mm), Neukirchen (42,6 mm) und Heiligenblut (38,2 mm) erfasst. An den Stationen Malta und Sonnblick hingegen zeigten die Niederschlagsmesser für den 17. 7. 2021 nur 4,7 mm bzw. 17,0 mm Niederschlag. Nach den sehr hohen Abflusswerten im Juli ebnete das Abschlussgeschehen wieder langsam ab. Ab ca. Mitte August 2021 nahm der Abfluss stetig ab, was gut ausgeprägten Auslaufkurven in diesem Zeitraum entspricht. Eine letzte Periode mit etwas höheren Werten gab es nochmals Mitte August.

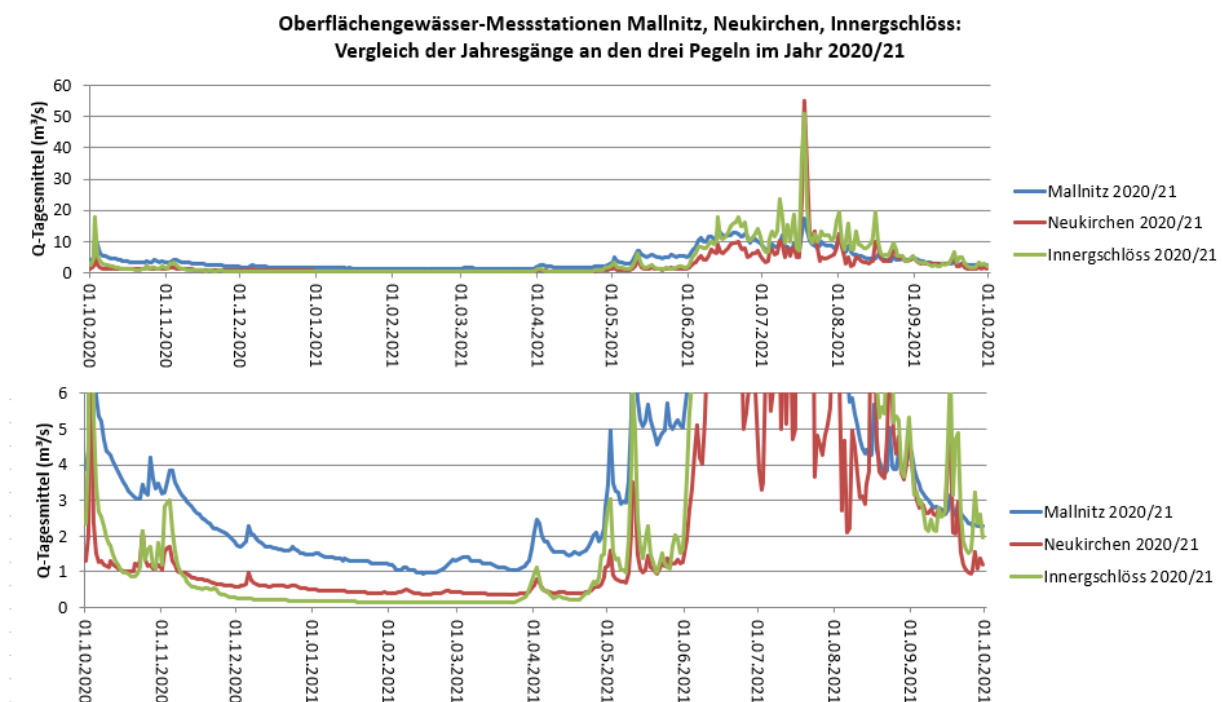


Abbildung 11: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q im m³/s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2019–30. 9. 2021. Die untere Kurve ist ein Ausschnitt aus der oberen mit veränderter Skalierung der Ordinate und fokussiert auf den Bereich bis zu 6 m³/s.

Abbildung 12 zeigt die mittleren monatlichen Abflüsse – wiederum für die sieben Beobachtungsjahre und für alle drei Stationen – im Zeitraum Okt. 2014–Sept. 2021. 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. Auffallend ist der hohe Wert für Innergesschlöss im Monat Juli 2021, der ein neues Maximum im gezeigten Zeitraum darstellt.

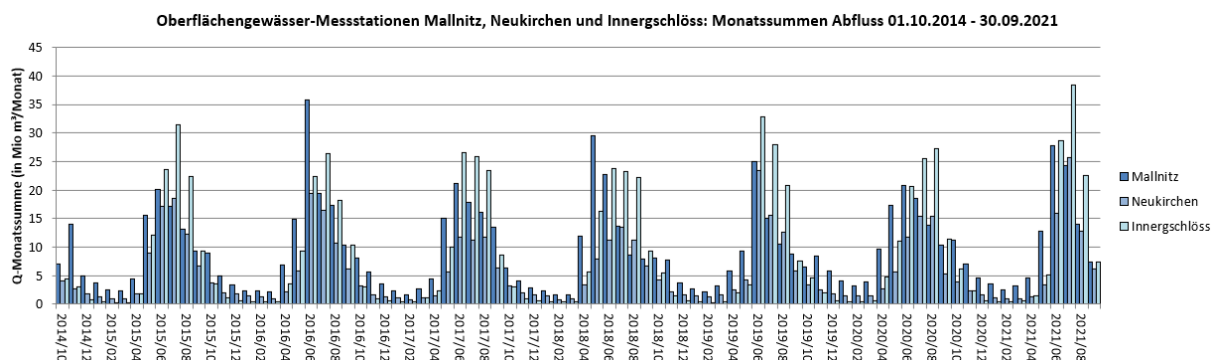


Abbildung 12: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergesschlöss (Tirol) im Zeitraum 01. 10. 2014 – 30. 09. 2021.

Tabelle 10 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 die drei Einzugsgebiete oberhalb der jeweiligen Pegel) vorliegen. Besonders die Werte an den Stationen Neukirchen und Innergesschlöss sind stark von einer von den ungünstigen Bedingungen für Gletscher verursachten Gletscherspende (siehe Kapitel 3.3) beeinflusst. In allen Jahren wurde für den Pegel Innergesschlöss die bei weitem höchste Abflusshöhe ermittelt. Auffallend ist auch der – zumindest in den hier gezeigten sieben Jahren – neue Rekord der Abflusshöhe an der Station Innergesschlöss mit erstmals über 2900 mm, was ziemlich genau dem Doppelten des Wertes von Mallnitz entspricht.

Tabelle 10: 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 Innergesschlöss (39,3 km²).

Jahr	Abflusshöhe (in mm/a) für die Einzugsgebiete oberhalb der drei Stationen		
	Mallnitz	Neukirchen	Innergesschlöss
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
2020/21	1445	1888	2905

3.3. Ergebnis Bereich Gletscherverhalten 2020/21

(a) Längenänderung

Tabelle 11 listet die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen an den 36 vom Gletschermessdienst des Alpenvereins erfassten Gletschern nicht nur für das aktuelle Berichtsjahr 2020/21, sondern auch für die fünf glaziologischen Haushaltsjahre zuvor (2015/16–2019/20) auf, um die Ergebnisse des letzten Haushaltjahres in einen etwas längeren zeitlichen Kontext einzubetten.

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 drei Messjahren 2017/18–2019/20 auffallend niedrig, wohingegen die Werte in den anderen fünf Gebirgsgruppen im Wesentlichen als normal einzustufen sind.

Tabelle 11: Auflistung der im Nationalpark Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16 bis 2020/21. Lage siehe Abbildung 1.

Gruppe	Gletscher	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21
Venedigergruppe (n=9)	Untersulzbachkees*	(-41,5)		-53	-21,5	-44,0	-35,3
	Obersulzbachkees	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	R (F)
	Krimmlerkees I	(-45,3)		-7,0	-14,1	-13,2	-15,8
	Umbalkees	-16,0	-29,3	-24,0	-22,0	-26,0	-22,0
	Simonykees	-17,0	0	0	0	-6,0	-6,0
	Zettalunitzkees	-51,0	-54,0	-16,0	-24,0	-35,0	-17,0
	Frosnitzkees	-36,0	-49,0	-29,0	-7,0	-10,0	-8,0
	Schlatenkees*	-50,0	-70,0	-67,0	-23,0	-50,0	-54,5
	Viltragenkees*	-15,0	-28,0	-128	-27,0	-11,0	aufg.
Granatspitzgruppe (n=3)	Sonnblickkees	-8,8	-1,9	-0,1	-2,5	-1,5	-8,6
	Landeckkees	1,1	-14,7	-7,9	sn	-1,1	n.d.
	Kalser Bärenkopfkees	-4,9	-3,6	-3,1	-2,8	-1,03	-3,0
Glocknergruppe (n=12)	Pasterze	-44,3	-61	-31,9	-60,0	-52,5	-42,7
	Wasserfallwinkelkees	-39,4	-12,5	-13,9	-11,4	-14,9	-11,9
	Freiwandkees	-7,9	-89,1	-6,9	-5,9	-34	-1,0
	Brennkogelkees	-7,5	-14,2	-6,4	-8,6	-13,7	-2,0
	Bärenkopfkees	-6,5	-13,3	-5,4	-86,9	-9,7	0
	Karlingerkees	-28,2	-9,0	-10,1	-71,7	-23,5	-7,2
	Schmiedlingerkees	-12,1	-11,3	-33,1	-15,9	-15,8	-7,6
	Maurerkees	-3,1	(-20,0)		2,2	(-15,3)	
	Schwarzkarlkees	-14,7	(-45,8)		-7,7	-11,8	-11,4
	Unteres Riffelkees	-2,9	-11,1	-17,2	-6,2	-7,3	-12,3
	Totenkopfkees	-0,5	-2,3	-6,0	-2,4	-2,8	-1,3
	Ödenwinkelkees	-17,8	-22,3	-4,7	-10,6	-15,0	-25,5
Schobergruppe (n=3)	Hornkees	-7,1	-12,1	-8,0	-5,4	-2,6	-3,1
	Gössnitzkees	-8,2	-8,0	-27,1	-6,7	-3,1	-5,8
	Roter Knopf-Kees	-2,2	-1,5	-0,4	0	sn	sn
Goldberggruppe (n=3)	Kleinfleißkees	-1,6	-4,5	-4,8	-0,2	-2,6	-0,2
	Östl. Wurten-/ Schareckkees	-26	-11,4	-12,9	-5	-25,5	-6,8
	Goldbergkees	-10,5		-4,4	-6,4	-7,6	-0,2
Ankogel Hochalm- spitzgruppe (n=6)	Winkelkees*	-0,8	-118,1	sn	sn	sn	n.d.
	Westl Trippkees	-35,4	-49,3	-2,2	-1,3	-1,7	-4,2
	Hochalmkees	-7,1	-11,1	-3,3	-2,3	-2,3	-2,6
	Großelendkees	-4	-12,7	-4,9	-4,0	-2,2	-11,9
	Kälberspitzkees	-11,2	-13,7	-4,6	-4,5	-5,1	-7,3
	Kleinelendkees	-17,1	-9,1	-4,4	1,0	-0,3	-3,9

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; R (F) = Rückzug auf Basis von Fotovergleich zu Vorjahr; aufg. = aufgelassene Messreihe eines Gletschers (an seiner Stelle wurde in der Venedigergruppe ein neuer Gletscher ins Messnetz aufgenommen, das Venedigerkees, von dem ab dem Messjahr 2021/22 berichtet wird). Die in den drei untersuchten Einzugsgebieten gelegenen Gletscher sind mit * markiert.

Von den 33 Gletschern mit Daten oder zumindest Hinweisen zur Längenänderung (entweder Zweijahreswerte oder Fotovergleich) im Messjahr 2020/21 wurden immerhin fünf Gletscher auf Basis von Messungen oder Beobachtungen (Stirn teilweise oder komplett unter Altschnee zum Zeitpunkt der Messung) als „stationär“ eingestuft, d. h. mit einer Längenänderung innerhalb von +/- 1 m. Diese fünf Gletscher sind: Freiwandkees und Bärenkopfskees, beide Glocknergruppe, Roter Knopf-Kees, Schobergruppe, sowie Kleinfleißkees und Goldbergkees, beide Goldberggruppe. Ein Gletscher lag mit -1,3 m nur knapp über diesem Wert (Totenkopfskees, Glocknergruppe).

Allgemein kann bekräftigt werden, dass erwartungsgemäß in allen sechs Haushaltsjahren Gletscherrückzüge bei Weitem dominieren und nur in Ausnahmen geringfügige Vorstöße oder stationäres Verhalten vorkommen, wobei das Berichtsjahr 2020/21 mit fünf stationären und 28 in Rückzug-befindlichen Gletschern als noch relativ (!) günstig angesehen werden kann. Die Daten spiegeln einen dynamisch voranschreitenden Gletscherschwund wider, wobei die einzelnen Maxima meist durch Eiszerfallserscheinungen an den Gletscherstirnen verursacht werden (wie etwa 2016/17 am Winkelkees), wobei v.a. die noch relativ großen Gletscher wie die Pasterze, das Schlatenkees oder das Untersulzbachkees unter diesen Zerfallserscheinungen am meisten leiden.

Zur besseren Vergleichbarkeit der fünf Messjahre zeigt Abbildung 13 die mittlere Längenänderung von jenen 21 Gletschern im Gebiet des Nationalparks Hohe Tauern, von denen für alle sechs Gletscherhaushaltsjahre Daten vorliegen. Im Gegensatz zum Vorjahr reduzierte sich somit die Anzahl der hier berücksichtigten Gletscher um eins, da das Vltragenkees im Jahr 2021 aus dem Gletschermessprogramm genommen werden musste, da keine sinnvolle Längenänderungsmessung dort mehr möglich war.

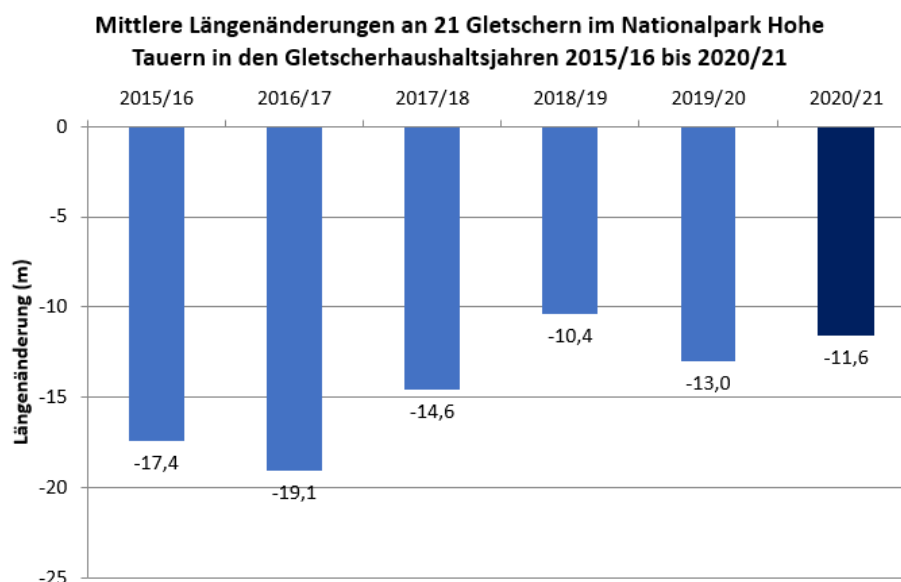


Abbildung 13: Mittlere Längenänderungen an 21 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die sechsjährigen Periode 2015/16–2020/21 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 11). Im Gegensatz zum Zwischenbericht für 2019/20 musste die Liste um einen Gletscher verkürzt werden. Erläuterung hierzu siehe Text.

Durch die Berücksichtigung der nunmehr 21 Gletscher mit Daten der letzten sechs Jahre 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 drei Jahren geringere Mittelwerte erreicht wurden (-10,4 bis -13,0 m)

als in den drei Jahren zuvor (-14,6 bis -19,1 m). Auffallend ist auch, dass im viertletzten 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. Der mittlere Rückzugswert der 21 Gletscher für 2020/21 (-11,6 m) liegt zumindest noch unter dem Durchschnitt der letzten sechs Jahre (-14,3 m) was mit den etwas reduzierten Ablationswerten im Sommer 2021 in Verbindung zu bringen ist.

Auf der räumlichen Ebene der drei Flusseinzugsgebiete zeigt die Abbildung 14 die Längenänderungen der drei Gletscher Winkelkees (Seebachtal), Untersulzbachkees (Untersulzbachtal) und Schlatenkees (Innergsklössl). Im Vergleich dazu ist auch die Pasterze in der Glocknergruppe, immer noch der größte Gletscher Österreichs, für die – in diesem Fall – zehn Gletscherhaushaltsjahre 2011/12–2020/21 dargestellt. Diese längere Zeitreihe wurde an dieser Stelle gewählt, da es beim Winkelkees in den letzten mittlerweile schon vier Gletscherhaushaltsjahren zu messtechnischen Einschränkungen kam, die eine erfolgreiche Durchführung der Messungen dort nicht erlaubten und somit ein längerfristiges Bild der Entwicklung bei diesem Gletscher nicht gezeigt werden kann. Dies zeigt aber auch die Problematik der GletschermesserInnen auf, die alljährlich hier versuchen, „ihre“ wertvollen langjährigen Messreihen fortzuführen. Das Winkelkees wird in Zukunft durch Fotovergleiche beobachtet werden, sodass weiterhin zumindest Angaben über die Tendenz der Längenänderung zur Verfügung stehen werden, während am Viltragenkees, wie erwähnt, die Messungen im Sommer 2021 aufgegeben werden mussten.

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 der letzten 10 Messjahre gemessen. Am wenigsten zog sich im Mittel das Winkelkees (-27,8 m) zurück, wobei jedoch die letzten vier Messjahre nicht berücksichtigt werden können und insofern dieser Wert nur wenig aussagekräftig ist. Knapp dahinter liegt das Untersulzbachkees mit -34,5 m im Mittel (ein Jahr ohne Daten), gefolgt vom Schlatenkees mit -42,4 m. Der höchste Mittelwert für die Zehnjahres-Periode wurde für die Pasterze mit -53,9 m ermittelt. Allgemein kann somit festgehalten werden, dass die Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern – so wie auch in anderen Teilen Österreichs und der Alpen – 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 – wie z. B. an der Pasterze [Kellerer-Pirklbauer et al. 2021b] – oder Abreißen eines Teiles) bestimmt ist.

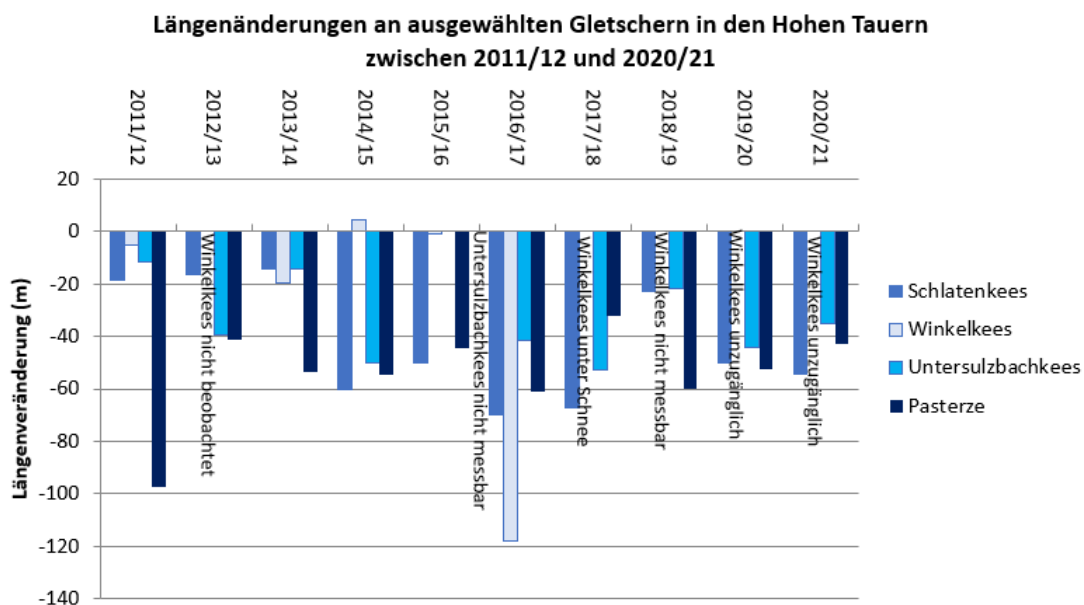


Abbildung 14: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlatenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2020/21. Erläuterungen im Text.

(b) Massenbilanz

Die in Tabelle 12 wiedergegebenen Ergebnisse der Massenbilanz-Bestimmungen und deren Visualisierung für vier ausgewählte Gletscher in Abbildung 15 bestätigen klar die schon im Abschnitt über die Längenänderungen dokumentierten langfristig vorherrschenden gletscherungünstigen Bedingungen. Mit keiner einzigen Ausnahme im sechsjährigen Beobachtungszeitraum 2015/16 bis 2020/21 waren an allen Gletschern ausschließlich negative bis hochnegative Massenbilanzen zu verzeichnen. Nichtsdestotrotz kann das letzte Beobachtungsjahr als relativ gletschergünstigstes Jahr gesehen werden, mit einer spezifischen Massenbilanz von -506 mm im Mittel von den sieben Gletschern. In den Vorjahren betrug dieser Mittelwert -824 mm (2019/20), -816 mm (2018/19), -1463 mm (2017/18), -1535 mm (2016/17) und -837 mm (2015/16). Somit kann festgehalten werden, dass auf Basis der Massenbilanzdaten an den sieben hier berücksichtigten Gletschern und in Bezug auf die letzten sechs Jahre das letzte Beobachtungsjahr das bei weitem Günstigste von allen in diesem Zeitabschnitt war.

Tabelle 12: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die sechs Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2020/21 in mm Wasseräquivalent.

Gletscher	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Goldbergkees	-860	-1806	-1697	-845	-1093	-504
Kleinfleißkees	-432	-1791	-1377	-723	-738	-291
Pasterze	-1163	-1593	-1420	-1100	-1200	-900
Stubacher Sonnblickkees	-828	-1850	-1507	-699	-627	-688
Venedigerkees	-467	-659	-1045	-505	-392	-251
Wurtenkees	-1250	-1706	-1957	-1232	-1326	-458
Zettalunitz/Mullwitzkees	-858	-1340	-1239	-611	-393	-447

Anmerkung: n.d. = keine Daten.

In Abbildung 15 wird – ähnlich wie in Abbildung 13 – wiederum klar ersichtlich, dass die Unterschiede in den Einzeljahren zwischen den Gletschern sehr hoch sein können. Auffallend ist aber in den Werten von Tabelle 12, 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). Demgegenüber stehen die – relativ gesehen – günstigeren Jahre für die Gletscher in den Hohen Tauern. An fünf Gletschern wurden die relativ niedrigsten spezifischen Massenbilanzen im Jahr 2020/21 ermittelt (Goldbergkees, Kleinfleißkees, Pasterze, Venedigerkees und Wurtenkees), an den beiden anderen Gletschern war dies im Berichtsjahr 2019/20 (Stubacher Sonnblickkees, und Zettalunitz/Mullwitzkees) der Fall. Im Mittel der sechs Jahre weisen die beiden Gletscher Goldbergkees (-1134 mm) und Pasterze (-1229 mm) ähnlich hohe Werte auf. Darüber liegt im Mittel nur das Wurtenkees, mit einem Mittelwert von -1322 mm. Zu den im Mittel relativ gut abschneidenden Gletschern gehört das Kleinfleißkees mit -892 mm, das Zettalunitz/Mullwitzkees mit -815 mm und schließlich das Venedigerkees mit „nur“ -553 mm. Am Stubacher Sonnblickkees beträgt dieser sechsjährige Mittelwert -1033 mm, was in etwa dem Mittel aller sieben hier berücksichtigten Gletschern entspricht (-977 mm).

Diese Ergebnisse zeigen wie schon in den früheren Berichten, dass regionale Gegebenheiten die Extremwerte, aber auch die Variabilität des Massenverlustes stark beeinflussen, die Gesamttendenz einer in höchstem Maße gletscherungünstigen Witterungs- und Klimaentwicklung davon aber unberührt bleibt.

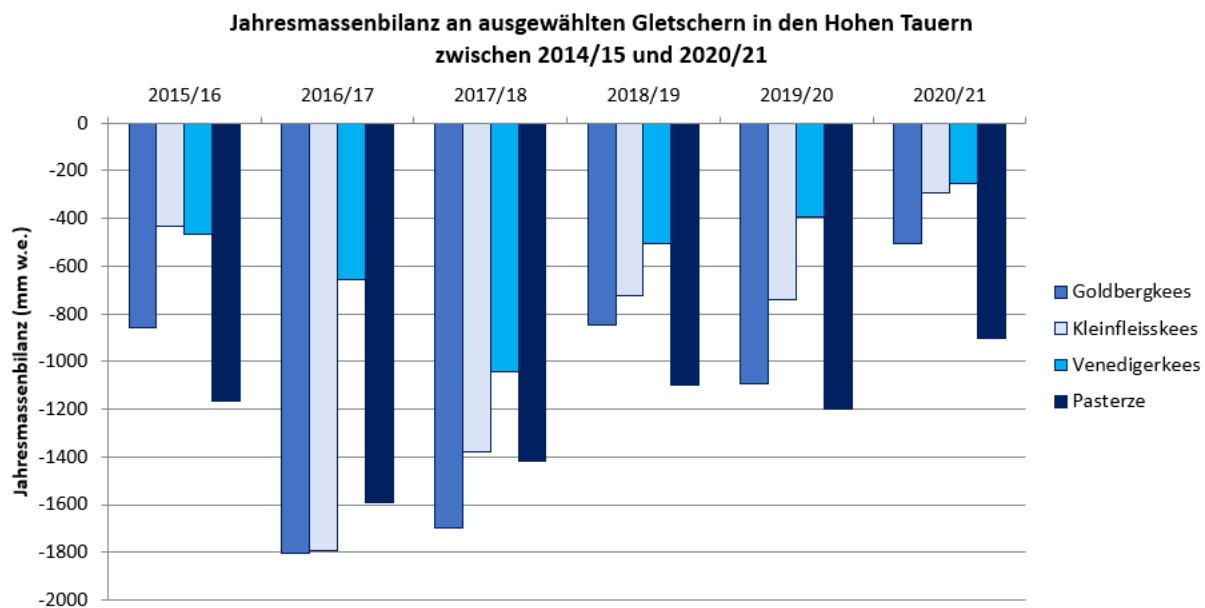


Abbildung 15: Spezifische Jahresmassenbilanz an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2020/21. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.

3.4. Ergebnis Bereich Permafrost 2020/21

(a) 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 2020/21 sind in Abbildung 16, 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 Teildigramme 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. (2022) entnommen.

Im Arbeitsgebiet Hinteres Langtalar-Kögelekar (inklusive dem Vergleichsstandort im benachbarten Gößnitzkar; GOE-PRO) wurden an 12 Standorten Jahresmitteltemperaturen ermittelt. Zwei Standorte lagen zum Zeitpunkt des Geländetermins unter Schnee (HLC-RT und KC-UP) und an einem Standort musste ein zerstörter Datenlogger (KC-LO) geborgen werden, wobei an diesem Standort eine Neuinstrumentierung bedingt durch die große Instabilität des Standortes nicht als sinnvoll erschien. Nur an zwei Standorten lag die Jahresmitteltemperatur (knapp) unter 0°C, dies waren HLC-MI-N sowie HLC-CO. Die höchsten Jahresmittelwerte wurden hingegen mit ca. 3°C am südexponierten Felsstandort HLC-RF-S sowie am deutlich tiefer gelegenen südexponierten Soliflukationsmessstandort HLC-SO-S erzielt. Der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur an den 12 Standorten mit entsprechenden Werten liegt bei 1,2°C. Im Vergleich zum Vorjahr lagen die Jahresmitteltemperaturen 2020/21 an 10 von 11 Standorten mit Werten in beiden Messjahren unter jenen des Vorjahres, was auf – relativ gesehen – permafrostgünstigere Bedingungen hinweist.

Auch im Arbeitsgebiet Fallbichl-Schareck wurde an allen drei Standorten im Messjahr 2020/21 jeweils tiefere Temperaturen als im Vorjahr gemessen, wobei die Unterschiede zwischen 0,5 und 0,7°C betrugen. An keinem der drei Standorte wurde eine negative Jahresmitteltemperatur erzielt, wobei am Standort HOT – der kälteste Standort in diesem Gebiet auf 2580 m gelegen – die Mitteltemperatur ganz knapp (0,05°C) über dem Nullpunkt lag.

Im Arbeitsgebiet Dösen-Säuleck liegen für 2020/21 Ergebnisse von 10 Standorten vor. Gleich dem ersten Untersuchungsgebiet wurden auch in diesem nur für zwei Standorte eine negative Jahresmitteltemperatur ermittelt; beides sind nordexponierte Standorte mit Jahresmittelwerten von $-0,6^{\circ}\text{C}$ (DOV-UP-N) und $-1,1^{\circ}\text{C}$ (DOV-LO-N). Der „traditionell“ kälteste Standort in diesem Arbeitsgebiet (DOV-UP-S; im Vorjahr mit einer Jahresmitteltemperatur von $-1,9^{\circ}\text{C}$) konnte aufgrund der Schneelage 2021 nicht besucht werden. An allen neun Standorten mit Messwerten in 2019/20 und 2020/21 wurden für das letztgenannte Jahr tiefere Temperatur gemessen, wobei die negative Abweichung zum Vorjahr zwischen $0,3^{\circ}\text{C}$ (DOV-RT) und $1,6^{\circ}\text{C}$ (DOV-LO-N) betrug. Der Standort DOV-MI-N war – wie in den beiden Messjahren zuvor – unter Schnee und konnte somit zum dritten Mal in Folge nicht gewartet werden.

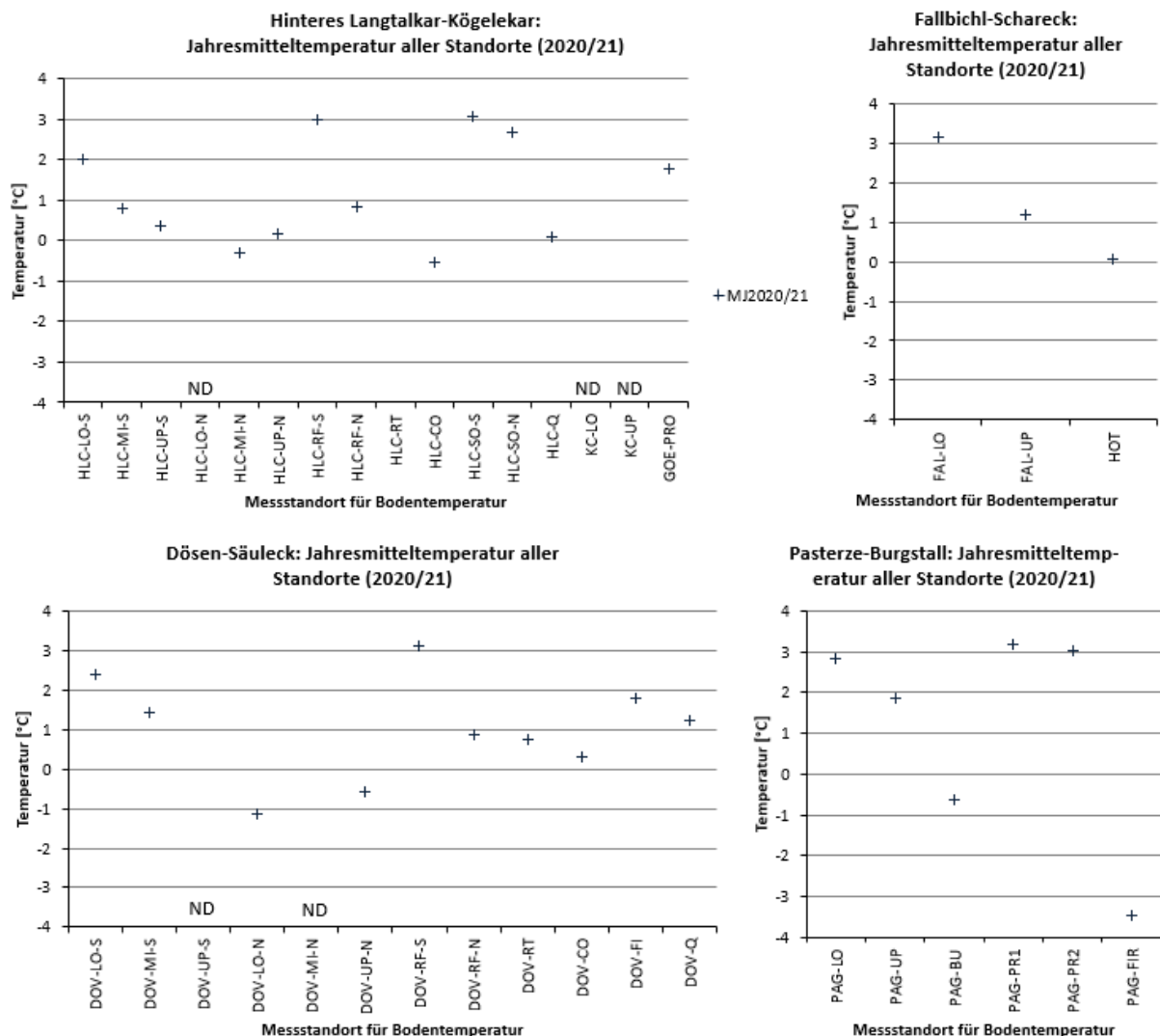


Abbildung 16: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. 2020 bis 31. 7. 2021) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für das Berichts- bzw. Messjahr 2020/21. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, waren im Sommer/Herbst 2021 unter Schnee (HLC-RT, KC-UP, DOV-MI-N), hatten einen technischen Defekt (KC-LO) oder konnten witterungsbedingt nicht erreicht werden (DOV-UP-S).

Schließlich konnten noch im Arbeitsgebiet Pasterze-Burgstall für sechs Standorte (2 mehr als im Vorjahr) Jahresmittelwerte errechnet werden, wobei zumindest ein Standort einen leicht negativen Mittelwert der Jahresbodentemperatur (PAG-BU: $-0,6^{\circ}\text{C}$) und ein zweiter (der 2020 eingerichtete Standort PAG-FIR) 2020/21 mit $-3,5^{\circ}\text{C}$ den tiefsten Jahresmittelwert der Temperatur des gesamten Messnetzes aufwies. An allen vier Standorten mit Messwerten in 2019/20 und 2020/21 waren jene vom letztgenannten zwischen $0,02^{\circ}\text{C}$ (PAG-UP) und $0,65^{\circ}\text{C}$



(PAG-PR1) tiefer. Der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur an den sechs Standorten in diesem Messgebiet liegt bei 1,1°C.

In Summe konnte im Messjahr 2020/21 an 31 Standorten ein Jahresmittelwert der Bodentemperatur ermittelt werden, davon wiesen 6 Standorte einen negativen und 25 Standorte einen positiven Mittelwert auf. Der Mittelwert der Temperatur für 2020/21 liegt an diesen 31 Standorten bei 1,1°C, wobei die Werte zwischen 3,2°C und -3,5°C liegen. An 26 Standorten lagen Jahresmittelwerte für 2019/20 und 2020/21 vor, an nur einem einzigen Standort (!) war der Wert 2019/20 niedriger als 2020/21, was klar auf günstigere Bedingungen für den Permafrost im Kärntner Teil des Nationalparks im letzten Beobachtungsjahr hinweist.

Abbildung 17 zeigt die Tagesmitteltemperaturen von drei der vier in Tabelle 2 grau hinterlegten Standorte (einer pro Untersuchungsgebiet; Ausnahme DOV-UP-S) im Messjahr 2020/21. 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 für 2020/21 am Standort HLC-UP-N ist deutlich zu erkennen, dass eine winterliche Schneedecke sich dämpfend auf Schwankungen der Bodentemperatur ab Anfang Oktober 2020 und bis Anfang Juli 2021 auswirkte. Einerseits verhinderte diese neunmonatige 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 liegt die Jahresmitteltemperatur an diesem Standort mit 0,2°C knapp über dem Gefrierpunkt und war um 0,4°C unter dem Rekordwert des Vorjahres (jedoch über jenem von 2018/19). Somit kann man immer noch von einer Permafrostungunst für diesen Standort für 2020/21 sprechen.

Ähnlich wie im Berichtsjahr zuvor gab es auch im aktuellen Berichtsjahr am Standort FAL-UP eine langanhaltende saisonale und thermisch isolierende Schneedecke, und zwar von Anfang Dezember 2020 bis zum 11. 6. 2021. Bedingt durch die deutliche Dämpfung des Lufttemperatursignals im Winter wurden an diesem Standort nach dem 6. 12. 2020 nur relativ milde Wintertemperaturen von wenig unter 0°C gemessen. In Summe blieb dieser Standort zumindest im Mittel um 0,5°C kälter als im Vorjahr. Auch gab es an diesem Standort einen neuen Wärmerekord mit +0,8°C gegenüber dem bisherigen Höchstwert. Auffallend ist an diesem Standort für 2020/21 auch, dass die sogenannte Zero-Curtain-Periode (Periode mit 0°C, welche auf eine im Abbau begriffene, durchtränkte Schneedecke hinweist) rund 40 Tage lang dauerte, was auf den langsamen, mehrfach unterbrochenen Abbau der winterlichen Schneedecke im Mai durch unterdurchschnittliche Temperaturen und überdurchschnittlichen, meist als Schnee fallenden Niederschlag (siehe Kapitel 3) zurückzuführen ist.

Am letzten gezeigten Standort PAG-UP zeigt sich ein deutlich anderes Bild mit weitgehend fehlendem Dämpfungseffekt der Schneedecke. Eine dünne, nur wenig isolierende winterliche Schneedecke ist an diesem Standort aber häufig vorhanden (v. a. Dezember 2020 und Jänner 2021), wenn man die gedämpften Bodentemperaturminima im Winterhalbjahr im Vergleich zur Lufttemperatur betrachtet. Im Jahresmittel wiederholte der Standort PAG-UP mit 1,86°C fast den Maximalwert des Vorjahres, als die Jahresmitteltemperatur bei 1,88°C lag.

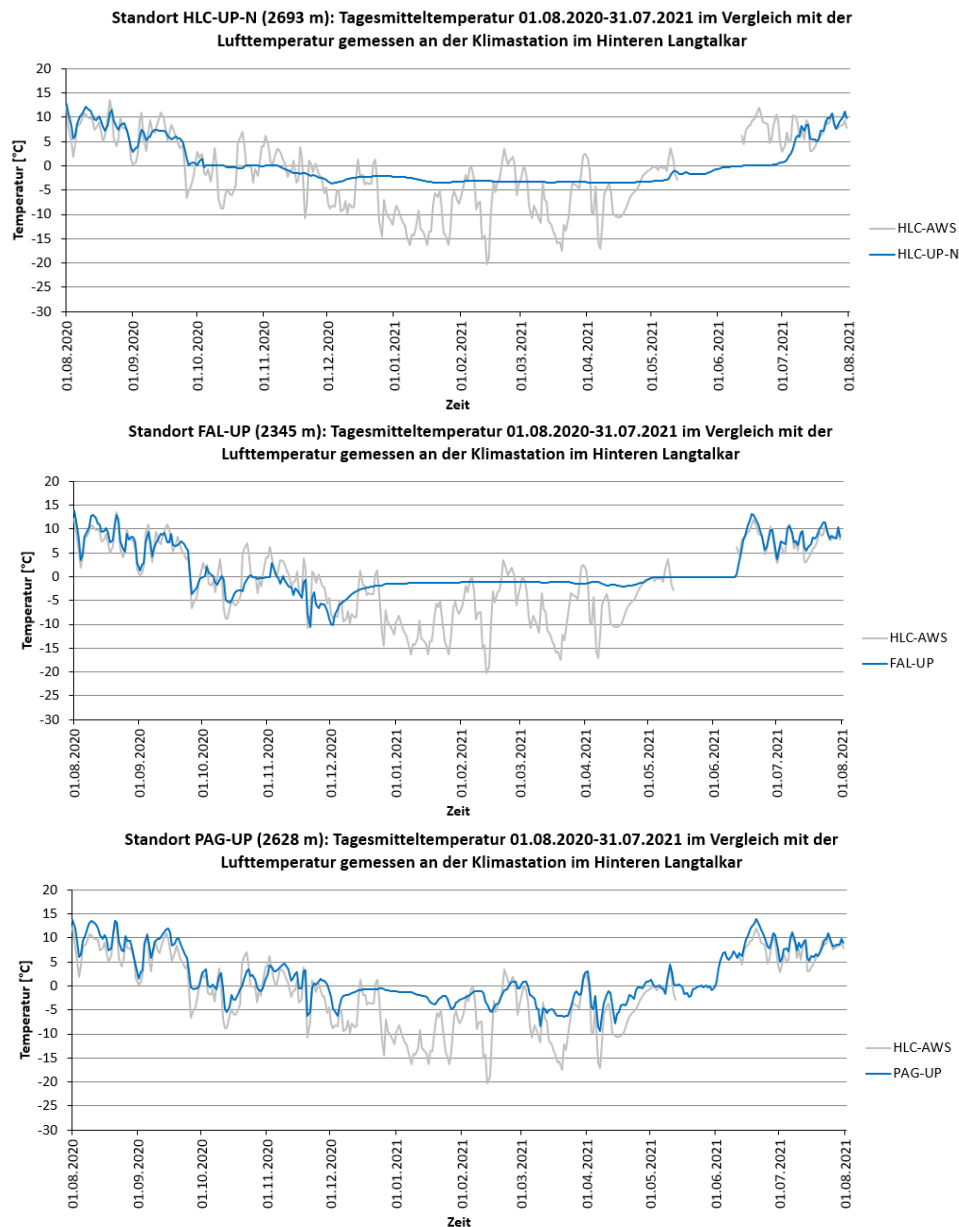


Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an drei ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für das Messjahr 2020/21 (1. 8. 2020 bis 31. 7. 2021). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtigere Schneedecke (>80 cm) hin. In Grau sind die Tagesmittelwerte der automatischen Klimastation im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt. Bedingt durch Probleme mit der Stromversorgung an der Klimastation im Hinteren Langtalkar (vgl. Kapitel 2), liegen von dort keine Lufttemperaturdaten für den Zeitraum 14. 5. 2021 bis 12. 6. 2021 vor. Für den vierten „klassischen“ Vergleichsstandort DOV-UP (siehe Vorjahrsberichte) lagen 2020/21 keine Daten vor.

In der Abbildung 18 werden die drei Jahresmittelwerte aller Standorte der dreijährigen Periode 2018/19 bis 2020/2021 miteinander verglichen und gegenübergestellt. Die Darstellungsweise ist so gewählt, dass Datenpunkte, die oberhalb der strichlierten Linie liegen, Standorte zeigen, an denen die Jahresmitteltemperatur im jeweiligen Messjahr, welches an der Y-Achse ausgewiesen ist, höher als im jeweiligen Vergleichsjahr (X-Achse) war. Der Vergleich der Werte von 2018/19 mit jenen von 2019/20 zeigt, dass nahezu an allen Standorten das Monitoringjahr 2019/20 deutlich (bis zu 1,5°C) bis leicht wärmer war als das Jahr zuvor. Nur an vier Standorten war dies umgekehrt, jedoch deutlich weniger ausgeprägt (bis zu 0,5°C).

Der Vergleich der Werte von 2018/19 mit jenen von 2020/21 zeigt ein wesentlich differenzierteres Bild. Von den 28 Standorten mit ermittelten Mittelwerten für beide Jahre waren im letzten Beobachtungsjahr 2020/21 jeweils

14 Standorte entweder wärmer oder kälter als zwei Jahre zuvor. Der dritte Vergleich in dieser Abbildung zwischen den letzten beiden Monitoringjahren zeigt klar, dass das Jahr 2020/21 gering bis deutlich (bis zu 1,6°C) kälter war als das Vorjahr. Nur an einem einzigen Standort war dies nicht der Fall; am Standort GOE-PRO war das letzte Jahr um jeweils 0,2°C wärmer als die beiden Vorjahre. Abbildung 18 zeigt noch übersichtlicher, dass einerseits 2019/20 wesentlich wärmer als das Jahr davor und danach sowie andererseits die beiden Jahre 2018/19 und 2020/21 in Bezug auf die Temperaturmittel einander ähnlich waren.

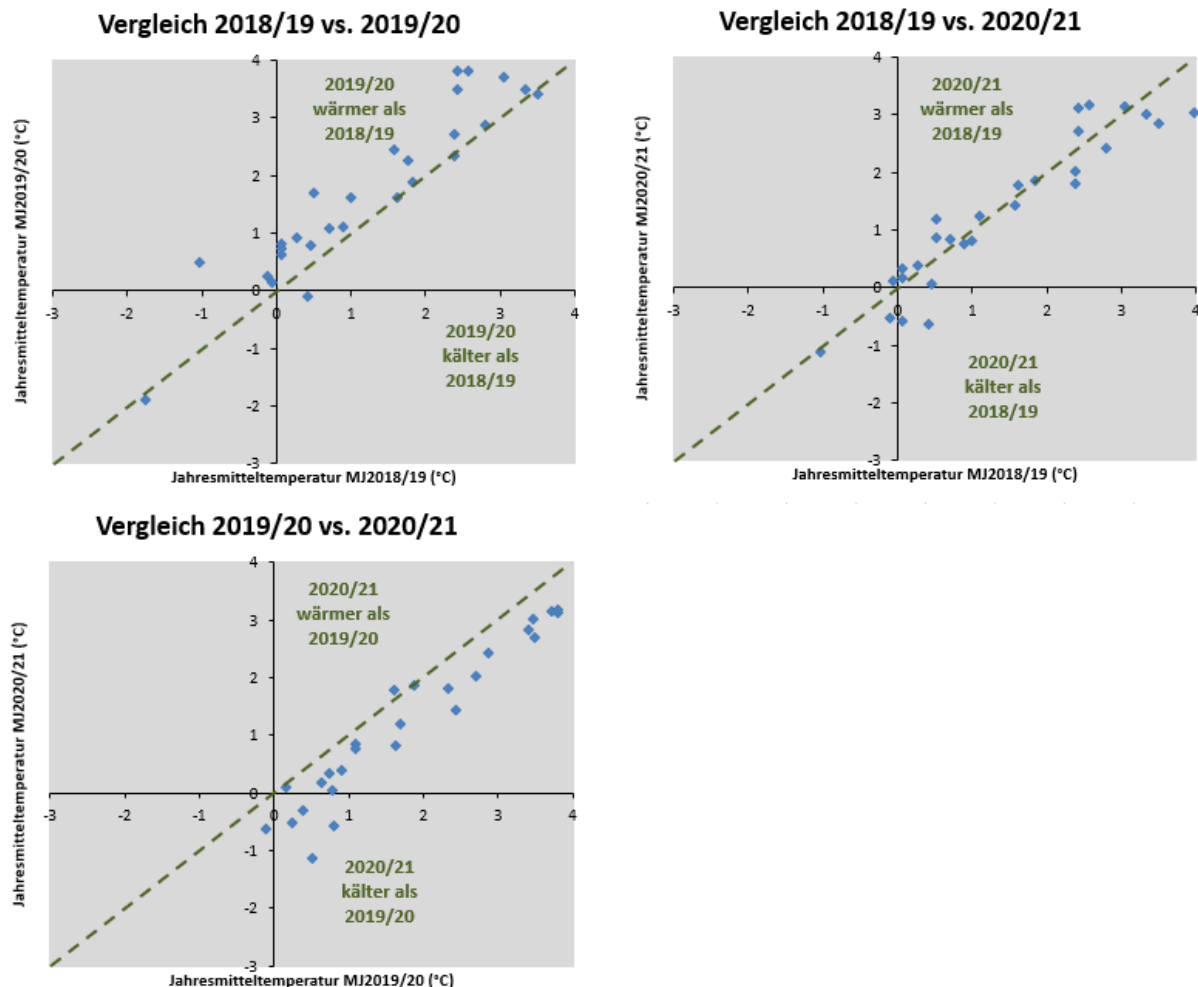


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte aller drei Projektjahre von 2018/19 bis 2020/21 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten (2018/19 vs. 2019/20: n=26; 2018/19 vs. 2020/21: n=28; 2019/20 vs. 2020/21: n=26).

(b) Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Abbildung 19 zeigt die Messergebnisse vom Bohrloch 3 auf dem Sonnblick für die Periode 1. 10. 2020 bis 30. 9. 2021. 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 (20. 7. 2021 bis 3. 8. 2021 kompletter Datenausfall; danach Koppelung in der Datenreihe klar ersichtlich) bei Bedingungen ohne Schneedecke. Das Ausbleiben eines frühen Aufbaus der winterlichen Schneedecke im Laufe des Septembers 2021 verhinderte eine Entkoppelung der Luft- von der Bodentemperatur. Der Herbst 2020 und Hochwinter 2020/21 ist gekennzeichnet von einer gedämpften Reaktion der Boden- auf die Lufttemperatur, was auf eine generell eher dünne saisonale Schneedecke hinweist. Erst gegen Ende

Februar 2021 war die Luft- von der Bodentemperatur endgültig entkoppelt, wobei dieser Effekt zumindest bis zum Ausfall der Sensoren am 20. 7. 2021 anhielt.

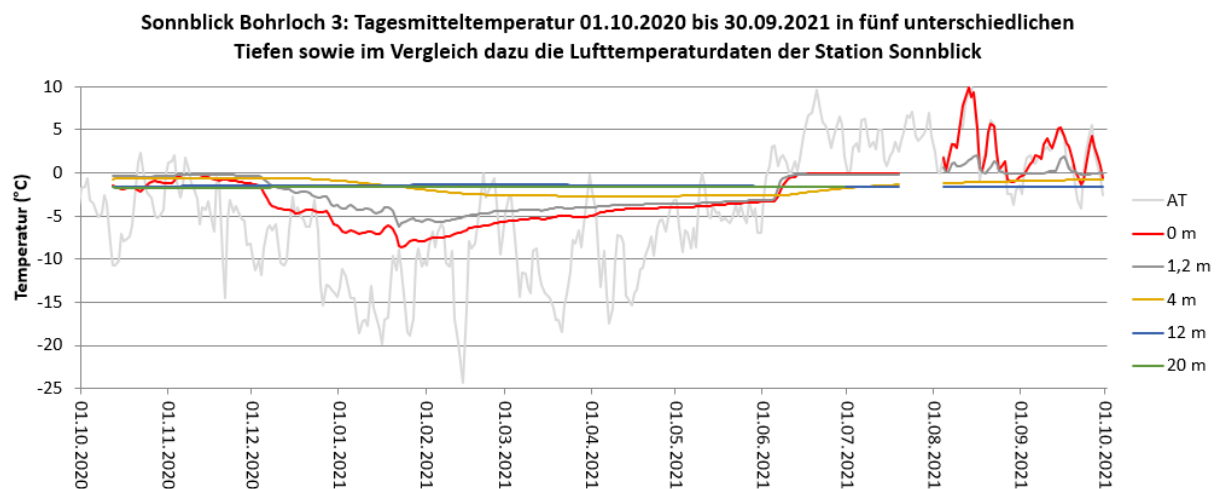


Abbildung 19: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2020–30. 9. 2021 in fünf unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die Lücken in den Kurven zeigen Zeiträume, in denen bedingt durch 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 in den unterschiedlichen Tiefen in der Periode 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2021 (Abb. 20) 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 vier Folgewintern wurden – trotz sehr tiefer Lufttemperaturen von nahe -30°C – so niedere Bodentemperaturen nicht mehr erreicht, wobei im letzten Beobachtungsjahr zumindest noch $-8,7^{\circ}\text{C}$ erreicht wurden. Die Minima der drei Winter dazwischen liegen bei $-5,5^{\circ}\text{C}$ im Winter 2017/18 bis $-7,5^{\circ}\text{C}$ im Winter 2019/20.

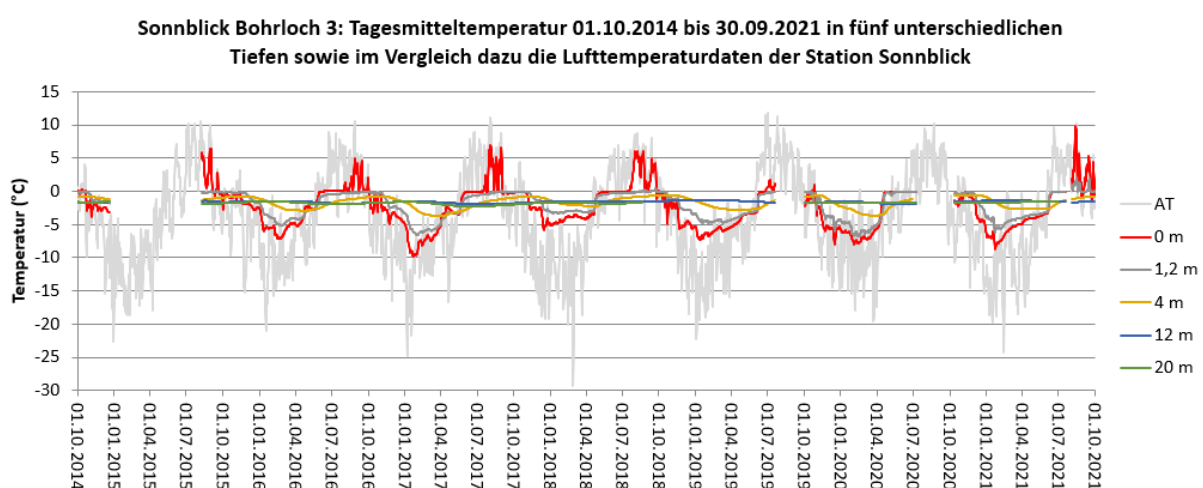


Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2021 in fünf unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Hinweise zu Datenlücken und Quelle siehe Abbildung 19.

Auffällig für den Sommer 2021 ist im Vergleich zur langjährigen Messreihe, dass in keinen der Sommer davor bis einschließlich 2015 so hohe Temperaturen in beispielsweise 0 m Tiefe gemessen wurden. Einschränkend muss jedoch hierzu gesagt werden, dass sommerliche Datenausfälle bedingt durch rege Gewittertätigkeit im Bereich des Sonnblickgipfels zu mehrmaligen Aufzeichnungsproblemen bzw. -lücken in den Sommermonaten mehrmals seit 2014 auftraten (2015, 2019 und 2020). 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°C, so liegt dieser in einer Tiefe von 4 m nur mehr bei 3,1°C und in 12 m Tiefe bei 0,5°C.

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 21 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 0,4 m Tiefe, wo das erste der beiden Kalenderjahre um 0,3°C kühler war als 2017. Das Kalenderjahr 2018 wies in allen Tiefen höhere Temperaturen auf als in den beiden Vorjahren. Die ist im Wesentlichen stimmig zu den Lufttemperaturdaten. Datenausfälle verhindern die Darstellung von geschlossenen Jahresmittelwerten für 2019, 2020 und 2021.

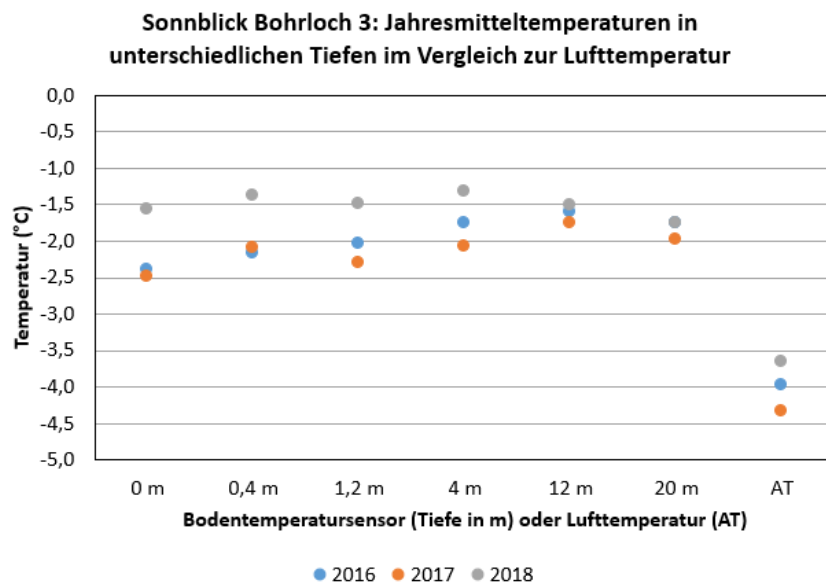


Abbildung 21: Jahresmitteltemperaturen für drei Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen in der jüngeren Vergangenheit im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 19.

Abbildung 22 zeigt die Mitteltemperatur für den Monat Jänner für die sechs Jahre zwischen 2016 bis 2021. Auf Basis dieser Werte erkennt man, dass der Jänner 2017 die tiefsten Werte im oberflächennahen Untergrund mit sich brachte, wohingegen der Jänner 2018 am wärmsten war. Der Unterschied in beiden Jänner-Monaten betrug 3,6°C. Diese Unterschiede schwächen sich nach unten hin stark ab und in Tiefen von 12 und 20 m verringern sich diese Unterschiede zu Größenordnungen von 0,2°C, was auf noch relativ thermisch stabile Verhältnisse in größeren Tiefen im Bereich des Sonnblicks hinweist.

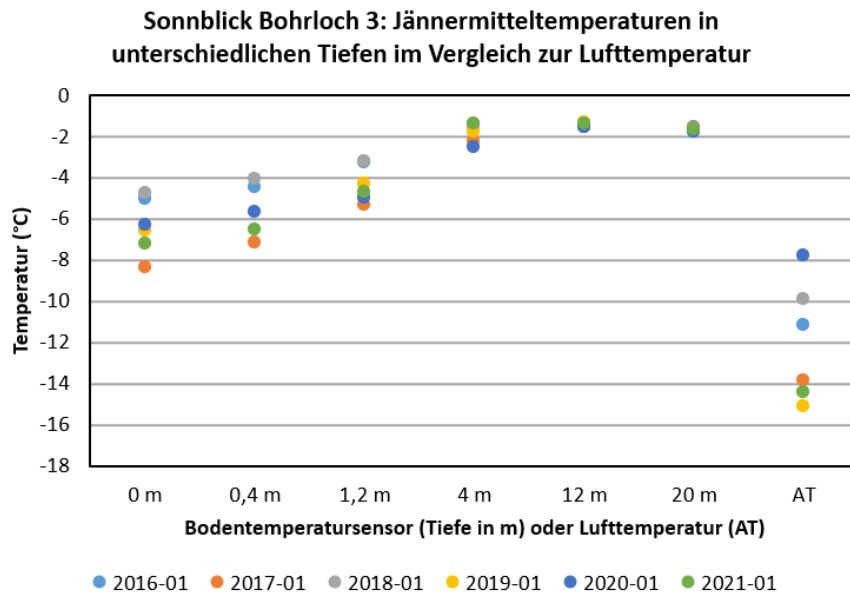


Abbildung 22: Jännermitteltemperaturen für die sechs Jahre von 2016 bis einschließlich 2021 im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 19.

(c) 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. 2022) 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, dem Jahr der Umstellung auf RTK-GNSS-Technologie, nur mehr die Bewegungsraten der 34 am Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte bestimmt. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2020/21 wurden durch Epochenvergleich (18. 8. 2020, 17. 8. 2021) ermittelt.

Die horizontalen Bewegungsvektoren der 34 Beobachtungspunkte sind in Abbildung 23 graphisch dargestellt. 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-von-Schmidhauses gewählt. Tabelle 13 fasst die zeitliche Änderung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers durch Angabe von Mittel- und Maximalwerten der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) für den Zeitraum 2015-2021 zusammen.

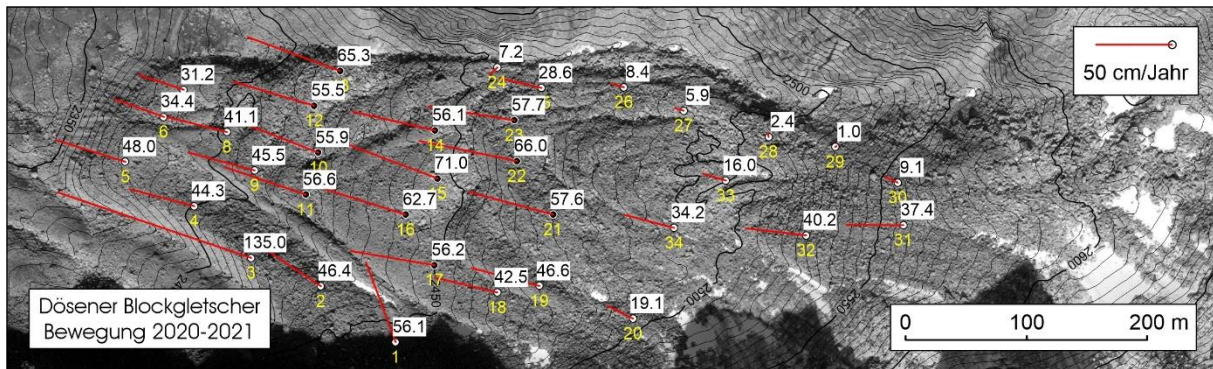


Abbildung 23: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Döneser Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2020/21. Punktnummern in Gelb, Fließgeschwindigkeiten (cm/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2-3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Fließgeschwindigkeit von 71,0 cm/Jahr wurde im Punkt 15 gemessen. Ein betragsmäßig größerer Wert von 135,0 cm/Jahr, gemessen im Punkt 3, ist nicht repräsentativ, da er von einer lokalen Rutschung rührt. Orthophoto 20. 9. 2010 © Land Kärnten.

Tabelle 13: Bewegungsraten am Döneser Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2015/16 bis 2020/21. 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)	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Mittelwert	52,0	43,2	38,0	42,9	50,3	60,0
Maximalwert (Punkt)	64,7 (15)	53,1 (15)	46,4 (15)	51,1 (15)	58,9 (15)	71,0 (15)

Die aktuelle Oberflächenbewegung am Döneser Blockgletscher hat sich im Vergleich zum Vorjahr signifikant um weitere 19,3 % (im zentralen Bereich) vergrößert. Die aktuellen Bewegungsraten sind somit die höchsten seit Messbeginn 1995.

Blockgletscher Hinteres Langtarkar

Das geodätische Datum an diesem Blockgletscher ist durch insgesamt 15 Festpunkte definiert. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2020/21 wurden durch Epochenvergleich (21. 8. 2020, 21. 8. 2021) ermittelt. Im betrachteten Zeitraum sind zwei weitere Punkte, nämlich 25 und 31, im Stirnbereich des Blockgletschers durch anhaltend starke Rutschprozesse verloren gegangen. Die horizontalen Bewegungsvektoren der verbliebenen 34 Beobachtungspunkte sind in der Abbildung 24 graphisch dargestellt. Für die Charakterisierung der zeitlichen Änderung des Bewegungsverhaltens des Blockgletschers Hinteres Langtarkar wurden für zwei ausgewählte Punktgruppen A (oberer Bereich) und B (unterer Bereich) die Mittel- und Maximalwerte der Bewegungsraten (Fließgeschwindigkeit) in Tabelle 14 für den Zeitraum 2015/16 bis 2020/21 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 unter erheblichen Gefahren möglich. Die aktuell festgestellten Bewegungsraten haben sich im Vergleich zum vorjährigen Beobachtungszeitraum signifikant (Punktgruppe A mit 34,7 %) vergrößert.

Tabelle 14: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2015/16 bis 2020/21 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)	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Mittelwert	27,3	19,4	16,3	19,1	27,7	37,3
Maximalwert (Punkt)	32,6 (11)	22,3 (11)	20,6 (11)	21,9 (17)	31,8 (10)	42,8 (11)

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

Werte (in m/Jahr)	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Mittelwert	6,00	4,60	4,77	5,20	5,48	5,74
Maximalwert (Punkt)	9,83 (31)	5,66 (24)	6,64 (24)	7,45 (24)	8,07 (25)	3,94 (23)

Anmerkung: Bei den Mittelwertberechnungen ab 2015-2016 wurden nur die messbaren Punkte berücksichtigt. Die ermittelte Relativänderung wurde quantitativ auf einen sinnvollen Tabellenwert umgerechnet. Eine ähnliche Vorgangsweise wurde auch für die Auswertung 2020/21 (ohne die Punkt 24, 25 und 31) eingeschlagen. Die angegebenen Maximalwerte sind die tatsächlich gemessenen Größen.

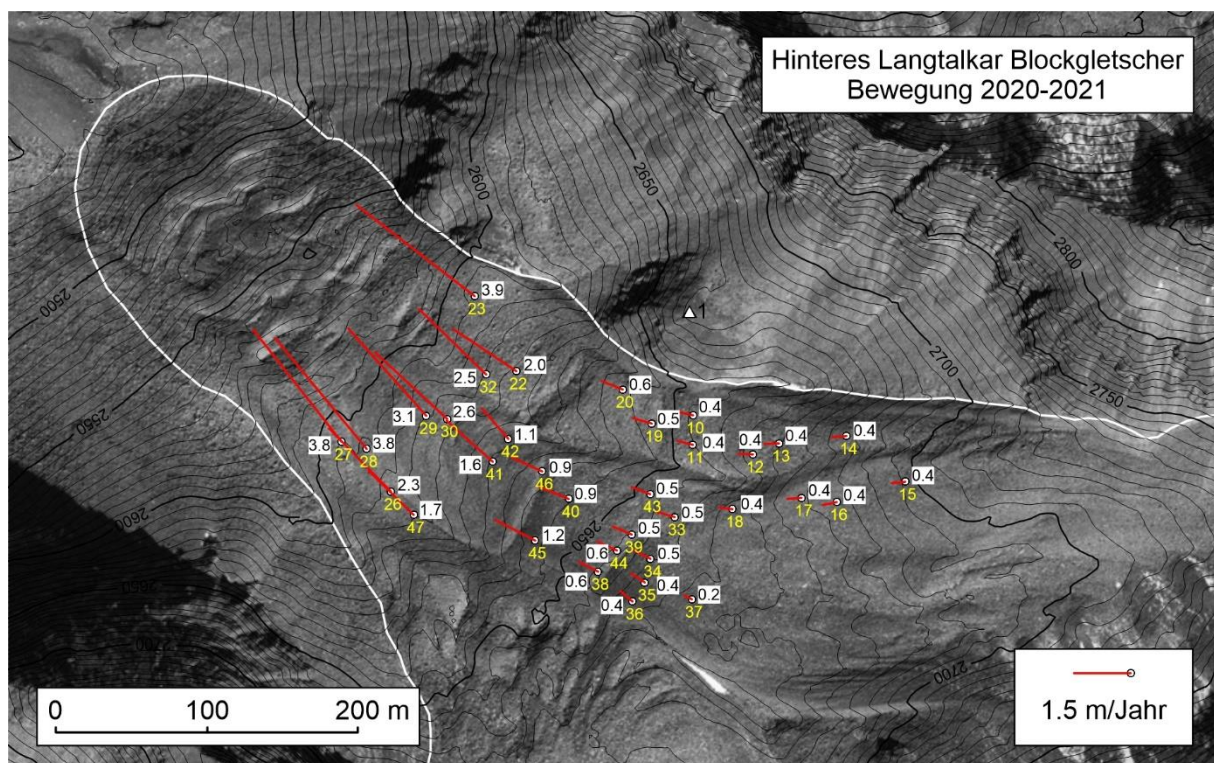


Abbildung 24: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Blockgletscher Hinteres Langtalkar mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2020/21. Punktnummern in Gelb, Fließgeschwindigkeiten (m/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2-3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Fließgeschwindigkeit von 3,94 m/Jahr wurde im Punkt 23 gemessen. Orthophoto 28. 8. 2012 © Land Kärnten.

Oberflächenbewegung im Vergleich

Die vergleichende Darstellung der zeitlichen Änderung der Oberflächenbewegung der beiden untersuchten Blockgletscher und eines weiteren ist Gegenstand der Abbildung 25. Für Vergleichszwecke wurden die fehlenden mittleren jährlichen Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Zeiträume 2002/03 und 2003/04 aus dem gemessenen zweijährigen Mittelwert und entsprechenden Jahreswerten, welche am Blockgletscher Hinteres

Langtalkar gemessen wurden, abgeleitet. Aus dem Bild der Bewegungsgraphen ist gut zu erkennen, dass (1) die Bewegungsraten der drei Blockgletscher gut miteinander korrelieren, (2) die aktuellen Bewegungsraten die größten der gesamten Messreihe sind und (3) noch zwei zeitlich zurückliegende Bewegungsmaxima (2003/04 bzw. 2014/15) erkennbar sind.

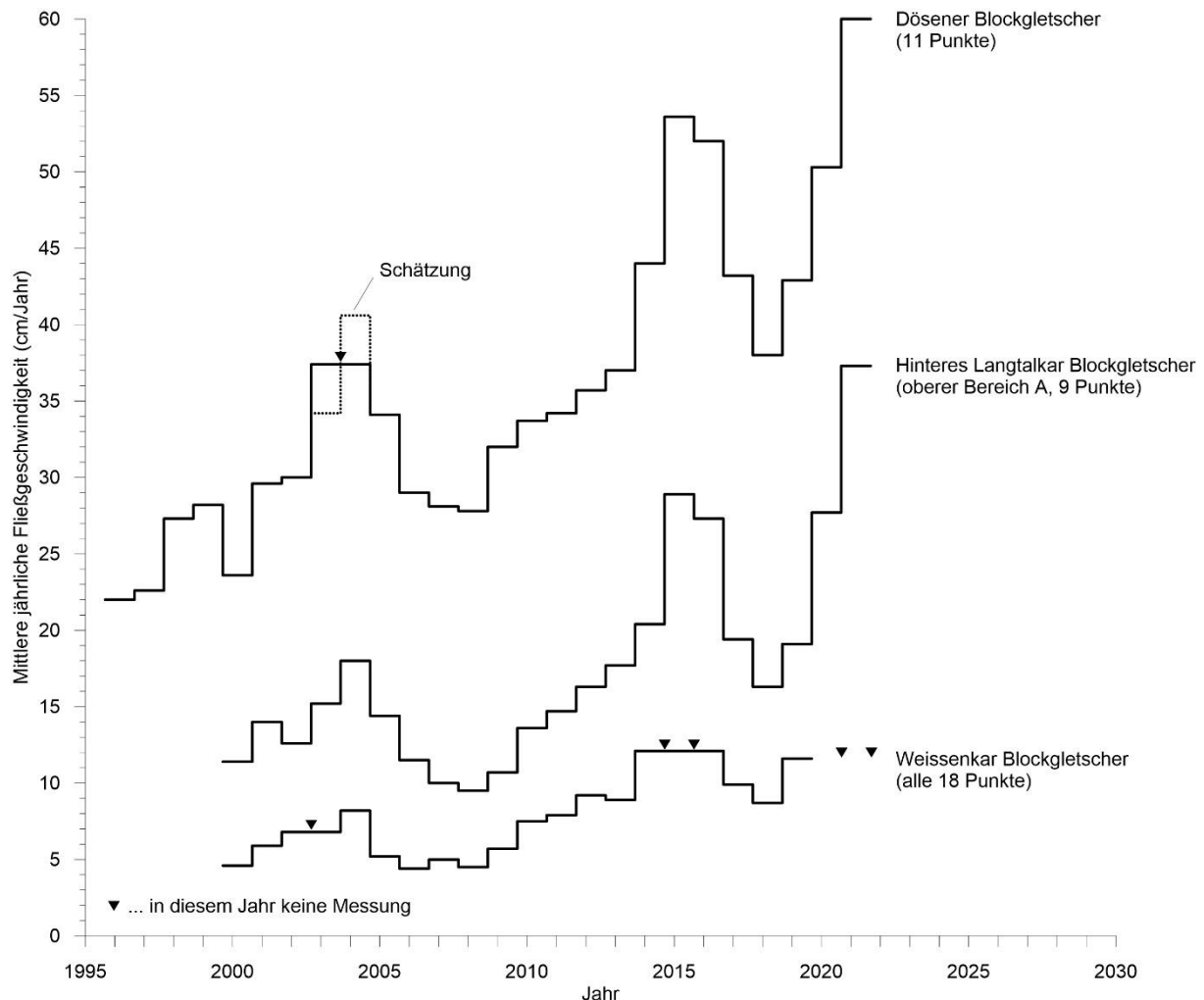


Abbildung 25: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Oberflächenbewegung der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995/96 bis 2020/21. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Oberflächenbewegung am Weissenkar Blockgletscher (Schoberggruppe, Osttirol) dargestellt.

(d) Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Innerer Knorrkogel, Nationalpark Hohe Tauern Tirol

Das Messnetz am Inneren Knorrkogel wurde am 5. 9. 2021 gewartet und bis auf drei Datenlogger konnten alle Messwerte für den Zeitraum 2. 9. 2020 bis 4. 9. 2021 erfolgreich gesichert und ausgewertet werden. Der Standort F-3K-NE-2871 konnte aufgrund der Schneelage nicht besucht werden (wobei die Daten in diesem Fall ja nicht verloren sind, sondern im Sommer 2022 gesichert werden konnten, wie im Endbericht dann zu lesen sein wird).

Auf Basis der vorliegenden Datenreihen war es möglich als Bezugszeitraum für diesen Bericht – unter Berücksichtigung ganzer Monatszeiträume, was für entsprechende Mittelbildungen notwendig ist – die drei

Beobachtungsjahre 2018/19 (1. 9. 2018 bis 31. 8. 2019), 2019/20 (1. 9. 2019 bis 31. 8. 2020) und 2020/21 (1. 9. 2020 bis 31. 8. 2021) zu analysieren und zu vergleichen. Tabelle 15 gibt einen Überblick über die gemessenen Jahresmittelwerte für alle drei Messjahre und für jeden Standort und Sensor. Ebenso sind in dieser Tabelle die Mittelwerte der zumeist drei, in manchen Fällen nur zwei Messjahre dargestellt. Zum Vergleich sind im unteren Teil der Tabelle Mittelwerte, Minimum, Maximum und Amplitude der Jahresmittelwerte an den 18 Standorten für jedes Messjahr und für den Mittelwert über die 2 oder 3 Jahre angegeben.

Tabelle 15: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interne Loggernummer, Tiefe des Temperatursensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) mit den gemessenen Jahresmittelwerte für 2018/19, 2019/20, 2020/21 sowie deren Mittelwert über die 3 Jahre (in Ausnahmen 2 Jahre*. ND = no data (siehe hierzu Text))

Code	Log. Nr.	Sensortiefe (cm)	Jahresmitteltemperatur 2018/19 (°C)	Jahresmitteltemperatur 2019/20 (°C)	Jahresmitteltemperatur 2020/21 (°C)	Mittelwert 2018/19 - 2020/21 (°C)
G-1K-SW-2840	A5223B	0	-1,52	0,25	-0,68	-0,65
F-1K-W-2840	A52220	0	-1,56	-0,67	-1,63	-1,29
G-1K-SW-2860	A5223F	0	0,41	0,63	-0,24	0,27
F-1K-W-2860	A52244	0	-1,17	-1,27	-2,24	-1,56
S-GT-2886	A521B7	0	-1,77	-1,42	-2,70	-1,96
G-1K-NW-2860	A52227	0	-1,25	-0,95	-1,96	-1,39
G-1K-NW-2840	A52223	0	-1,27	-0,66	-1,84	-1,26
F-3K-W-2869	A538B7	3	-0,10	0,26	-0,85	-0,23
	A538B7	10	-0,16	0,13	-0,94	-0,32
	A538B7	40	-0,65	-0,45	-1,33	-0,81
F-3K-NE-2871*	A538AC	3	-0,87	0,01	ND	-0,43
	A538AC	10	-0,98	-0,12	ND	-0,55
	A538AC	40	-1,03	-0,22	ND	-0,63
S-GT-2878	A52194	0	-1,09	-0,98	-2,29	-1,45
S-AT-2878	A5223E	0	ND	ND	ND	ND
F-3K-S-2871	A538B1	3	1,04	1,73	0,63	1,13
	A538B1	10	0,74	1,37	0,31	0,81
	A538B1	40	0,71	1,22	0,18	0,70
G-1K-E-2860	A521CB	0	0,25	1,23	-0,61	0,29
G-1K-E-2845	A5222E	0	0,40	0,82	0,02	0,41
F-1K-NE-2860	A5226E	0	-0,72	0,30	-0,94	-0,45
F-1K-NE-2840	A521A0	0	-1,78	-1,54	-2,47	-1,93
F-1K-S-2860*	A5222A	0	1,19	0,54	ND	0,87
F-1K-S-2840	A52230	0	1,96	1,68	0,53	1,39
Mittelwert			-0,40	0,08	-1,00	-0,39
Minimum			-1,78	-1,54	-2,70	-1,96
Maximum			1,96	1,73	0,63	1,39
Amplitude			3,74	3,26	-3,33	-3,35

Im Messjahr 2018/19 lag der Jahresmittelwert aller Standorte bzw. Sensoren (n=23) bei -0,40 °C. Die tiefste Jahresmitteltemperatur wurde mit -1,78 °C am Nordost-ausgerichteten Flankenstandort F-1K-NE-2840 gemessen, der höchste Wert hingegen wurde mit 1,96 °C für den Süd-exponierten Flankenstandort F-1K-S-2840 erfasst, was einen Unterschied in den Jahresmittelwerten für 2018/19 von 3,74 °C bedeutet.



Im Messjahr 2019/20 wurden an nahezu allen Standorten – bis auf drei (F-1K-W-2860, F-1K-S-2860 und F-1K-S-2840) – höhere Jahresmittelwerte als im Vorjahr gemessen. Der Jahresmittelwert aller Standorte bzw. Sensoren (n=23) im Jahr 2019/20 lag bei 0,08 °C und somit um 0,48 °C über dem Mittelwert des Vorjahres. Die tiefste Jahresmitteltemperatur wurde mit -1,54 °C wiederum am Nordost-ausgerichteten Flankenstandort F-1K-NE-2840 gemessen. Der höchste Wert hingegen wurde mit 1,73 °C im Messjahr 2 am Süd-exponierten Felsstandort F-3K-S-2871 ermittelt. Dies ergibt für das zweite Messjahr einen Unterschied in den Jahresmittelwerten von 3,26 °C, also ca. 0,5 °C weniger als im Jahr zuvor.

Im Messjahr 2020/21 schließlich konnte für 18 der in Summe 19 Sensoren der tiefste Jahresmittelwert ermittelt werden. Nur an einem einzigen Standort (G-1K-SW-2840) war es in 2018/19 kühler als im letzten Berichtsjahr und dies um immerhin 0,8 °C. Als Zwischenfazit kann somit festgehalten werden, dass es nahezu in allen topographischen Gegebenheiten im Bereich der Gipfelpyramide – also am Gipfel selbst, an den Graten und Flanken mit Blockschutt sowie im Bereich vertikaler Felsbereiche – im letzten Berichtsjahr am kältesten war. Der Jahresmittelwert aller Standorte bzw. Sensoren (n=19) im Jahr 2020/21 lag bei -1,00 °C und somit um bis zu 0,60 °C unter dem Mittelwert der beiden Vorjahre. Die tiefste Jahresmitteltemperatur wurde mit -2,70 °C am Gipfel selbst gemessen (S-GT-2886). Der höchste Wert hingegen wurde mit zumindest 0,63 °C im Messjahr 2 am südexponierten Felsstandort F-3K-S-2871 ermittelt (gleich wie im Vorjahr). Der Mittelwert über alle Standorte und über alle zwei bis drei Jahre beträgt -0,39°, was auch – zumindest über einen Zeitraum von 3 Jahren – klar zeigt, dass der Großteil der Gipfelpyramide des Inn. Knorrkogels unter Permafrost-Bedingungen steht.

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der Jahresmitteltemperaturen der letzten drei Messjahre in Diagrammform, wobei für jene des letzten Messjahres auch Unterschiede in der topographischen Lage ausgewiesen sind. Dabei wird in dieser Grafik zwischen Standorten im Gipfelbereich, an Felsen, an Flanken sowie an Graten unterschieden. Wie dieser Grafik zu entnehmen ist, weisen die beiden Gipfelstandorte relativ tiefe Temperaturen auf. An allen drei Felsstandorten werden tendenziell die höchsten Temperaturen nahe der Oberfläche (3 cm Tiefe) und die tiefsten Temperaturen in 40 cm Tiefe gemessen, wobei die Gradienten im Detail voneinander abweichen, was u. a. auch von der generellen Exposition der Standorte abhängig ist. Der südexponierte Standort weist beispielsweise einen viel größeren Gradienten auf als der nordostexponierte. Bei den Felsstandorten kommt deutlich die Strahlungsungunst des NE-exponierten Standortes mit Jahresmitteltemperaturen im -1,0°C-Bereich gegenüber dem südexponierten mit leicht positiven Mitteltemperaturen (0,7 bis 1,0 °C) zum Vorschein.



Jahresmitteltemperatur: 2020/21

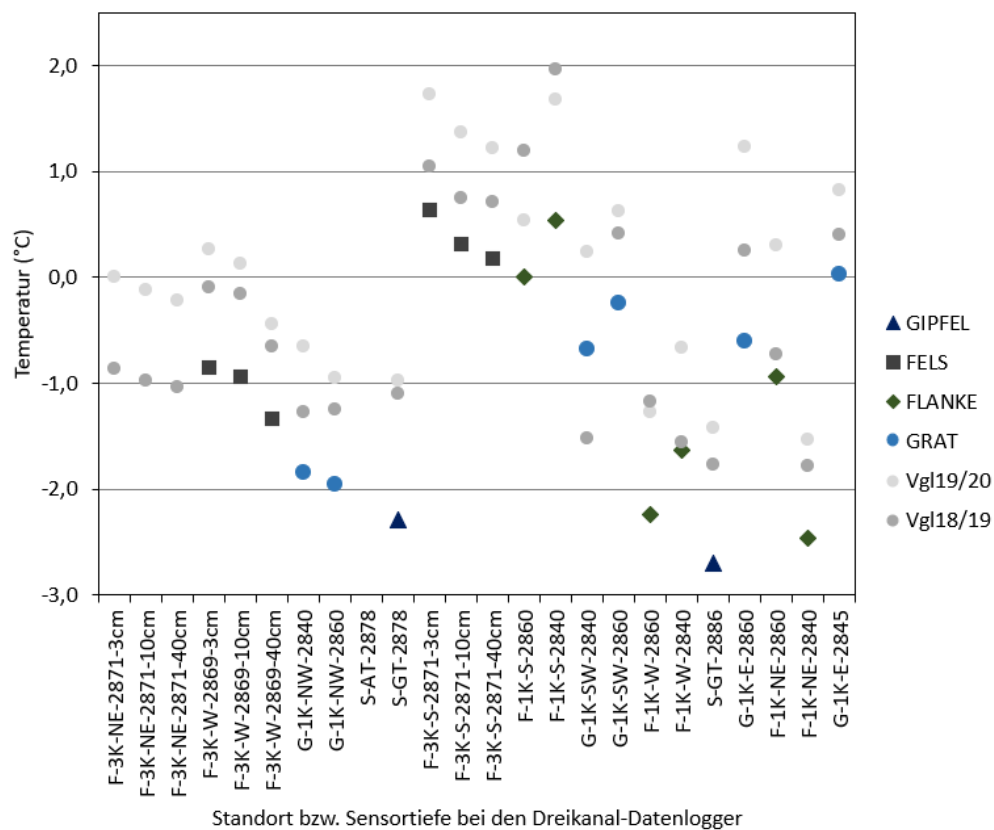


Abbildung 26: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche im Zeitraum 1. 9. 2020 bis 31. 8. 2021 aller Messstandorte mit geschlossenen Datenreihen (siehe hierzu Text) am Inneren Knorrkogel (Messjahr 2020/21). Bei den Dreikanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe installiert und entsprechend in der Grafik ausgewiesen. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre (siehe Tabelle 15) dargestellt.

Die größten Unterschiede finden sich in den Ergebnissen der Flankenstandorte, wobei an beiden südexponierten Flankenstandorten (F-1K-S-2860 und F-1K-S-2840) ähnlich hohe Werte gemessen wurden wie am südexponierten Felsstandort. Ähnliche Mittelwerte wurden für die Flankenstandorte in W- und NE-Exposition ermittelt. Gratstandorte weisen ähnliche Werte in gleichen Expositionen auf. Zusammenfassend kann auf Basis der Jahresmittelwerte festgehalten werden, dass eine starke (durchaus erwartete) thermale Heterogenität im Gipfelbereich des Inneren Knorrkogels nachgewiesen wurde, welche durch Expositions-, Substrat- sowie Schneedeckenunterschiede bedingt ist.

Wie die nun neuen Daten für das im Mittel um ca. 0,9 °C gegenüber 2019/20 und ca. 0,4 °C gegenüber 2018/19 kältere Messjahr 2020/21 zeigen, kann das letzte Berichtsjahr als (falls dieser Begriff bei 3 Jahren Messjahren überhaupt zu rechtfertigen ist) günstig für Permafrost am Inneren Knorrkogel angesehen werden. Von den 19 Sensoren mit geschlossenen Jahresdatenreihen lassen sich für 14 negative Mittelwerte berechnen (von -2,7 °C bis -0,2 °C), für einen genau 0 °C und für die vier restlichen Sensoren Mittelwerte zwischen 0,2 und 0,6 °C. Diese Werte können wiederum als klarer Hinweis auf die Existenz von Permafrost im Untersuchungsgebiet gelten, zeigen jedoch im Vergleich zu den Vorjahren auch die große Bedeutung von längeren Messreihen zur besseren Charakterisierung von thermischen Verhältnissen im Hochgebirge, die für Permafrost (Kellerer-Pirklbauer et al. 2019), Solifluktsprozesse (Kellerer-Pirklbauer 2018) oder potentielle Verwitterung (Kellerer-Pirklbauer 2017) relevant sind.

(e) Bodentemperatur- und Permafrostmonitoring Bereich Obersulzbachtal, Nationalpark Hohe Tauern Salzburg

Bodentemperaturmessdaten aus dem Sattelkar lagen für 13 Standorte für den Zeitraum 22. 10. 2015 bis 30. 9. 2021 vor. Zu Beginn des Beobachtungsjahrs 2020/21 am 1. 10. 2020 funktionierten jedoch nur mehr sieben der 2015 installierten Temperaturdatenlogger. Am Ende dieses letzten Jahres reduzierte sich diese Zahl noch weiter auf lediglich einen Logger (Logger_07), der kontinuierlich für das gesamte Beobachtungsjahr Daten lieferte. Die zeigt einmal mehr auch die Schwierigkeit von langfristigen Monitoringprogrammen auf, wobei es im Falle des Sattelkars v. a. bedingt durch Stromversorgungsprobleme zu diesen Ausfällen gekommen ist (pers. Mitteilung Ingo Hartmeyer).

Die Tageswerte aller sieben Standorte, die am 1. 10. 2020 noch funktionierten, sind zusammengefasst für die Beobachtungsperiode 2020/21 in Abbildung 27 dargestellt. Auffallend in dieser Darstellung ist die Tatsache, dass einzig der Logger_13 im Laufe des Winters tiefere Temperaturen von unter -2°C aufwies – mit zwei Negativpeaks am 11. 1. 2021 und 15. 2. 2021 von jeweils unter -5°C . Die meisten Standorte zeigen recht hohe Temperaturen nahe 0°C für die Wintermonate, wobei alle Standorte im Zeitraum zwischen 6. 6. 2021 und 7. 7. 2021 – und somit innerhalb eines Monats – schneefrei wurden. Auf Basis dieser Daten könnte man nur für den Standort des Loggers_13 Permafrost erwarten.

Die Tageswerte aller 13 Standorte (der Logger_04 scheint in der Grafik nicht auf) für die gesamte Periode 2015 bis 2021 ist in Abbildung 28 wiedergegeben. 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 wiederum festgehalten werden, dass – wie auch in den Untersuchungsgebieten im Kärntner Anteil des Nationalparks Hohe Tauern – die winterliche Schneedecke und ihre Ausprägung und Variabilität eine wichtige Rolle in der Permafrostverbreitung innehat. Die Temperaturkurven des letzten Beobachtungsjahres zeigen, dass die meisten zu jener Zeit noch aktiv gemonitorten Standorte wahrscheinlich im saisonalen Frost liegen und nur ein Standort deutlich tiefere Temperaturen aufgezeichnet hat, die auf Permafrost hinweisen.

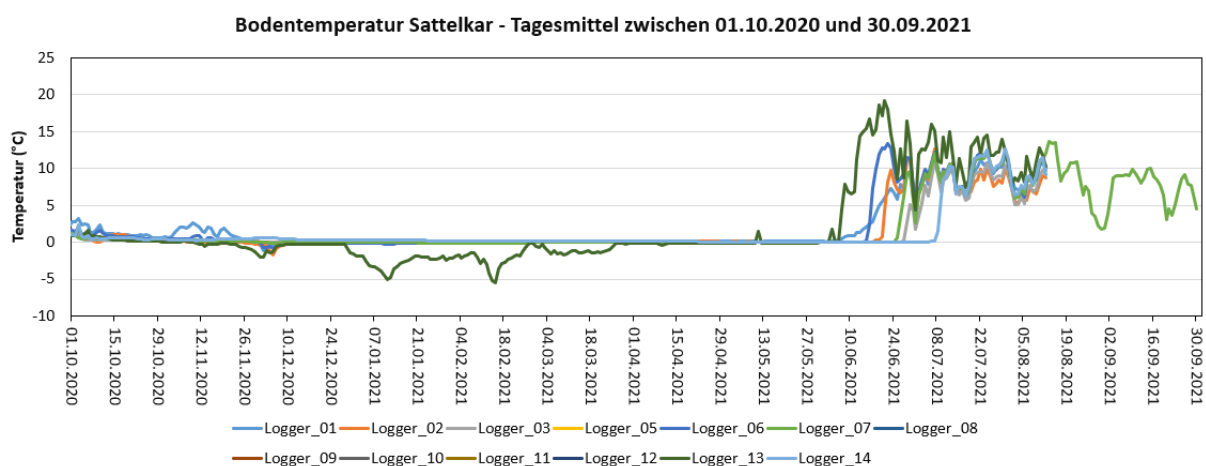


Abbildung 27: Tagesmitteltemperaturen von sieben Bodentemperatursensoren im Sattelkar im Zeitraum 1. 10. 2020 bis 30. 9. 2021. Datenausfall im Laufe des Beobachtungsjahres bedingt v. a. durch Stromversorgungsprobleme der Datenlogger – siehe Text. Zur Vergleichbarkeit mit der Abbildung 28 wurde in dieser Grafik die idente Legende inklusive Farbcodierung verwendet (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at)

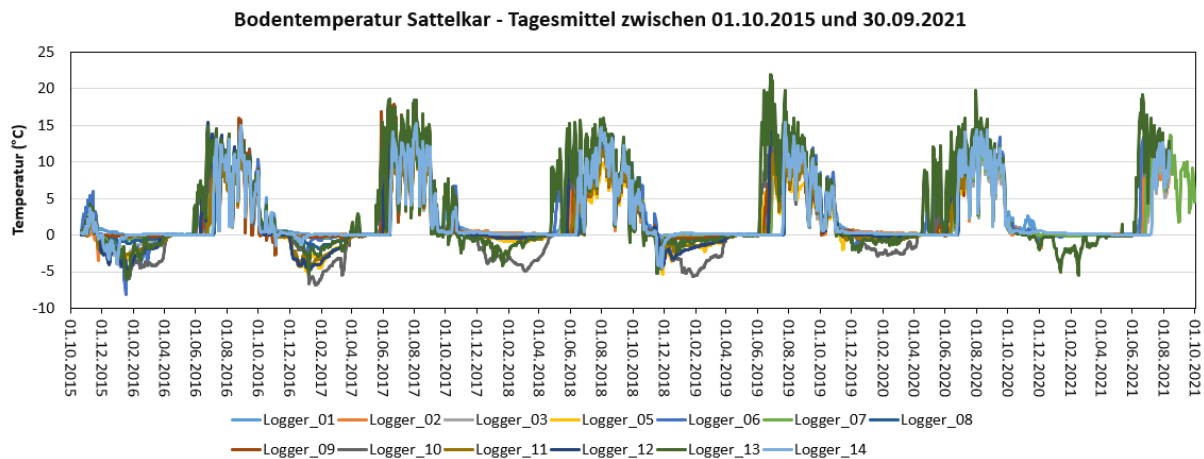


Abbildung 28: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentempersensoren im Sattelkar im Zeitraum 1. 10. 2015 bis 30. 9. 2021. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 27.

Auf Jahresbasis verglichen (Abb. 29) – in diesem Fall Kalenderjahre – kann gesagt werden, dass das Jahr 2020 an vier der sieben Standorte im Mittel nahezu gleich temperiert war wie 2019. An zwei Standorten war das letzte Kalenderjahr um bis zu 0,5°C wärmer (Logger_06, Logger_14) und an einem Standort war das letzte Jahr um 0,2°C kühler. Der Vergleich der beiden Kalenderjahre 2020 und 2018 an denselben sieben Standorten zeigt, dass nahezu überall das Jahr 2020 etwas kühler war als 2018. Einzig am Standort Logger_13 lag der Jahresmittelwert für 2020 um 0,02 °C über jenem von 2018. Diese Ergebnisse stimmen im Wesentlichen mit denen des „Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerkes“ im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten, die methodisch im Wesentlichen gleichartig gewonnen wurden, überein.

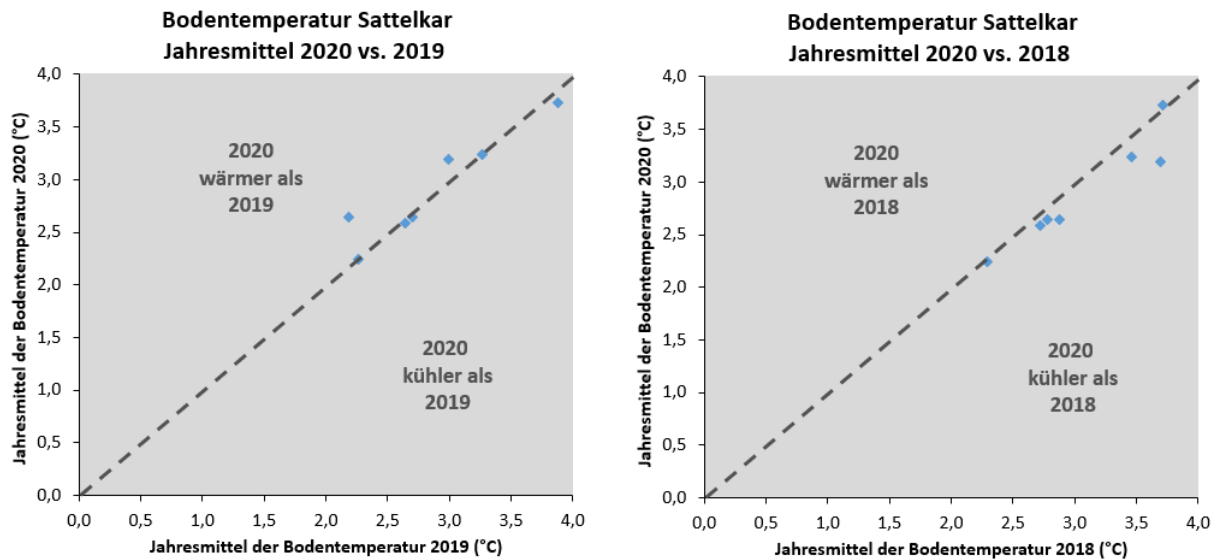


Abbildung 29: Vergleich der Jahresmittelwerte von sieben der 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar mit geschlossener Datenreihe für die drei Kalenderjahre 2018, 2019 und 2020. Linke Darstellung Vergleich 2020 mit 2019, rechte Darstellung Vergleich 2020 mit 2018. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 27.

4. Interpretation und Diskussion

Das Projektjahr 2020/21 wies zwar ein deutlich tieferes Temperaturniveau als die Vorjahre auf, ohne dass dies aber etwas am Gesamtbild des aktuell herrschenden Erwärmungstrends ändern würde. Die Niederschlagsmengen lagen 2020/21 an den meisten Stationen unter denen des Vorjahres, jedoch waren die Abweichungen von den langjährigen Mitteln mäßig, sodass man das Jahr als in Bezug auf das Niederschlagsgeschehen eher unauffällig einstufen kann. Wie schon in den bisherigen Berichten ist besonders darauf hinzuweisen, dass die Jahressummen des Niederschlags langfristig keinen klaren Trend erkennen lassen – ganz im Gegensatz zu den Jahrestemperaturen (Abb. 9).

Im Abflussgeschehen sind die wohl auffallendsten Besonderheiten des Projektjahres 2020/21 die hohen Abflussspitzen, die dadurch zustande kamen, dass ein hochsommerliches Starkniederschlagsereignis den ohnehin durch die sommerliche Eisablation erhöhten Abfluss steigerte, sodass an den Pegeln Innergöschl und Neukirchen neue Maxima des mittleren Tagesabflusses seit 2014/15 registriert wurden. Solche Abflussspitzen können bis zu einem gewissen Grad auch dem dynamisch voranschreitenden Gletscherschwund zugeschrieben werden, da die Gletscher als hochwirksamer Rückhalt für Niederschläge immer mehr an Bedeutung verlieren. Hinzu kommt, dass die sommerlichen Niederschläge auch im Sommer 2021 in den meisten Fällen bis ins 3000 m-Niveau hinauf in Form von Regen fielen.

Die Längenänderungen und Massenbilanzen der Gletscher waren zwar wie in den Vorjahren negativ, aber in deutlich geringerem Ausmaß als zuletzt. Dies ist vor allem zwei Faktoren geschuldet: Einerseits – und dies ist klar der Hauptfaktor – brachte das kühle und niederschlagsreiche Frühjahr im Gletscherniveau noch Zuwächse der Schneehöhen bis Ende Mai, weshalb die Gletscher noch lange in den Hochsommer hinein von diesen Rücklagen zehrten. Andererseits war der Hochsommer selbst nur leicht überdurchschnittlich temperiert, was ebenfalls die Eisablation reduzierte. Dennoch fügt sich auch das Gletscherhaushaltsjahr 2020/21 nahtlos in die herrschende Periode starken Gletscherschwundes ein.

Im Permafrost signalisieren die meisten zu den Bodentemperaturverhältnissen verfügbaren Daten zwar gegenüber dem Vorjahr etwas günstigere Rahmenbedingungen für den Permafrost, was – ähnlich wie die leicht abgemilderte Gletscherungunst – mit der langen Andauer der Winterschneedecke bis in den Hochsommer hinein zu tun hat, wie man insbesondere an der Länge der Zero-Curtain-Perioden erkennen kann. Da aber zuvor im Herbst 2020 die Auskühlung des Untergrundes durch frühes Einschneien vieler Lagen behindert wurde, wirkte sich dieser Effekt nur geringfügig aus, sodass das Projektjahr insgesamt als permafrostungünstig bewertet werden muss. Dies beweist am deutlichsten der morphodynamische Aspekt der Blockgletscherbewegung, die an den beiden Referenz-Blockgletschern (und auch anderen) nicht nur höheren Bewegungsraten als im Vorjahr aufwiesen, sondern neue Maximalwerte in den langjährigen, am Dösener Blockgletscher bis 1995 zurückgehenden Datenreihen hervorbrachten (Abbildung 25). Dies ist ein untrügliches Zeichen für langfristig zunehmende Temperaturen im Untergrund, die den kriechenden Permafrost aktuell noch mobiler machen, bevor in noch fernerer Zukunft Permafrost-Degradation wohl noch großflächiger um sich greifen wird.

5. Fazit

Das in diesem Bericht primär untersuchte glaziologische Jahr 2020/21 (1. 10. 2020–30. 9. 2021) fügt sich nach allen hier untersuchten Parametern uneingeschränkt in die bekannte aktuelle Klimaentwicklung mit den bekannten Klimawandelfolgen ein:

- Auch wenn die Lufttemperaturen deutlich tiefer als im Vorjahr waren, liegen diese immer noch auf langfristig gesehen hohem Niveau und bedeuten darin nur einen geringfügigen Ausschlag nach unten, der sich dem übergeordneten Trend steigender Temperaturen unterordnet. Demgegenüber bleibt das Niveau der Niederschlagsmengen über die Jahre hinweg annähernd konstant.
- Bei den Abflussverhältnissen fielen im untersuchten Zeitraum hohe Abflussspitzen durch ein hochsommerliches Hochwasserereignis im Juli 2021 auf.
- Auch der Gletscherschwund als vielleicht markanteste Klimawandelfolge im Hochgebirge hat sich fortgesetzt – wenngleich ein klein wenig abgemildert primär als Folge eines schneereichen Mais, der die Eisabschmelzung erst relativ spät im Sommer einsetzen ließ. Auch die zufällig etwas höhere Zahl an Gletschern mit stationärem Verhalten darf nicht als Gletschergunst gedeutet werden.
- In ähnlicher Weise sind die gegenüber dem Vorjahr etwas tieferen Bodentemperaturen keineswegs als günstige Bedingungen für den Permafrost zu werten – dieser zeigt vielmehr durch langfristig unverkennbare (an den meisten Standorten längst statistisch signifikante) Temperaturzunahmen und vor allem die hohen Bewegungsbeträge der Blockgletscher – mit neuen Maxima im Projektjahr (!) – an, dass auf großen Flächen des Nationalparks Hohe Tauern massive Permafrost-Degradation im Untergrund vonstattengeht.

Insgesamt sind die Veränderungen der im gegenständlichen Modul beobachteten Geofaktoren als sehr schwerwiegend zu bewerten: Es ist eine massive Umgestaltung der Hochgebirgsnatur, soweit diese mit den hier untersuchten Faktoren interagiert, zu konstatieren. Insbesondere die Prozesse Gletscherschwund und Permafrost-Degradation sind von besonderer Bedeutung, da sie auf bedeutenden Flächen die Disposition für andere Naturprozesse verändern. Unter diesen sind neben Hochwässern – wie sie auch im Projektjahr auftraten – vor allem gravitative Massenbewegungen, speziell in Form von Felsstürzen und Muren, zu beachten, bei denen eine weitere Zunahme von Häufigkeit und Größe unter diesen veränderten Gegebenheiten zu erwarten ist.

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.

Junghänel T., Bissolli P., Daßler J., Fleckenstein R., Imbery F., Janssen W., Kaspar F., Lengfeld K., Leppelt T., Rauthe M., Rauthe-Schöch A., Rocek M., Walawender E., Weigl E. (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Deutscher Wetterdienst – Geschäftsbereich Klima und Umwelt, 16 Seiten. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.html

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.parcs.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.parcs.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.parcs.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=40611

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

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.parcs.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.parcs.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=39747



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

Kellerer-Pirklbauer A., Avian M., Benn D.I., Bernsteiner F., Krisch P., Ziesler C. (2021b): Buoyant calving and ice-contact lake evolution at Pasterze Glacier (Austria) in the period 1998-2019. *Cryosphere*, 15 (3), pp. 1237-1258.
<https://doi.org/10.5194/tc-15-1237-2021>

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V., Avian M., Frießenbichler M., Weyss G. (2022): Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2019-2021. Endbericht (unpubliziert), 56 Seiten.
http://www.parks.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=50742

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. (2022): Gletscherbericht 2020/2021 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2021. *Bergauf* 02/2022: 10–21.

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.parks.at/nphtk/mmd_fullentry.php?docu_id=38030.

Seiser B., Fischer A. (2022): Glacier mass balance Venedigerkees, Hohe Tauern, Austria, 2012/2021.
<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.942874>

Stocker-Waldhuber M., Fischer A. (2022): Glacier mass balance Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2020/2021.
<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940159>

WGMS (Hg.) (2022): Latest glacier mass balance data: 1 Summary of the balance years 2019/20, 2020/21 and 2021/22.
<http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/> (zuletzt geprüft am 8. 10. 2022)

Zagel B., Ehgartner G., Slupetzky H. (2022): Glaziologisches Monitoring 2021: Stubachtal | Sonnblickkees: Beiträge zur Glazialhydrologie eines hochalpinen Einzugsgebietes im Oberen Stubachtal, Hohe Tauern, Land Salzburg. Berichtsjahr 2021. *Paris-Lodron-University Salzburg*, 11 Seiten.

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 (siehe hierzu 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 aufgrund der Unerreichbarkeit (Insellage im Pasterzensee) aufgegeben werden. Die Standorte PAG-FIR und GOE-PR liegen außerhalb der Kartenausschnitte (Gletschermaske Pasterze nach Buckel et al. 2018). 7
- Abbildung 3: Vergleich der Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeit am 3. 9. 2020 (links) und 5. 9. 2021 (rechts) im Bereich der Gipfelpyramide (hier zu sehen die Süd- und Westflanken) vom Löbentörl aus betrachtet. Neuschnee war in den höheren Lagen in beiden Jahren vielerorts anzutreffen und behinderte im Jahr 2021 an manchen Standorten auch die Geländearbeiten. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer..... 9
- Abbildung 4: Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeit am 5. 9. 2021 im Bereich der beiden Standorte F-1K-NE-2860 (links) und F-1K-NE-2840 (rechts). Diese Verhältnisse geboten größte Vorsicht. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer..... 9
- Abbildung 5: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2020/21 mit 2019/20 von sieben Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Der wärmste Standort ist die Station Malta, die kälteste die Station Sonnblick. 13
- Abbildung 6: Gegenüberstellung der Jahressumme des Niederschlags von 2020/21 mit 2019/20 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Die Station mit dem höchsten Niederschlag im Jahr ist jene an der Rudolfshütte, wohingegen die Stationen Malta oder Heiligenblut in den meisten Jahren die geringsten Niederschläge aufweisen..... 14
- Abbildung 7: Monatswerte der Lufttemperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis September 2021 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern..... 15
- Abbildung 8: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) des Gletscherhaushaltsjahres 2020/21 mit jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 an der Station Sonnblick (3109 m)..... 16
- Abbildung 9: Langzeitentwicklung von Niederschlag (Station Neukirchen) und Temperatur (Station Sonnblick). Entwicklung der Jahreswerte (Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2021 und entsprechende Trends. Niederschlag: Keine signifikanten Veränderungen erkennbar. Temperatur: Klarer Erwärmungstrend. Für die Temperatur sind zusätzlich auch Dekadenmittelwerte (1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2020) angegeben..... 17

Abbildung 10: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m^3/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2021.	18
Abbildung 11: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q im m^3/s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2019– 30. 9. 2021. Die untere Kurve ist ein Ausschnitt aus der oberen mit veränderter Skalierung der Ordinate und fokussiert auf den Bereich bis zu $6 \text{ m}^3/\text{s}$.	19
Abbildung 12: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 01. 10. 2014 – 30. 09. 2021.	20
Abbildung 13: Mittlere Längenänderungen an 21 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die sechsjährigen Periode 2015/16–2020/21 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (siehe Tabelle 11). Im Gegensatz zum Zwischenbericht für 2019/20 musste die Liste um einen Gletscher verkürzt werden. Erläuterung hierzu siehe Text.	22
Abbildung 14: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlatenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogel-Hochalmspitzgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2020/21. Erläuterungen im Text.	23
Abbildung 15: Spezifische Jahresmassenbilanz an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2020/21. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben.	25
Abbildung 16: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. 2020 bis 31. 7. 2021) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten für das Berichts- bzw. Messjahr 2020/21. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, waren im Sommer/Herbst 2021 unter Schnee (HLC-RT, KC-UP, DOV-MI-N), hatten einen technischen Defekt (KC-LO) oder konnten witterungsbedingt nicht erreicht werden (DOV-UP-S).	26
Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an drei ausgewählten Standorten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten für das Messjahr 2020/21 (1. 8. 2020 bis 31. 7. 2021). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtigere Schneedecke ($>80 \text{ cm}$) hin. In Grau sind die Tagesmittelwerte der automatischen Klimastation im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt. Bedingt durch Probleme mit der Stromversorgung an der Klimastation im Hinteren Langtalkar (vgl. Kapitel 2), liegen von dort keine Lufttemperaturdaten für den Zeitraum 14. 5. 2021 bis 12. 6. 2021 vor. Für den vierten „klassischen“ Vergleichsstandort DOV-UP (siehe Vorjahrsberichte) lagen 2020/21 keine Daten vor.	28
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte aller drei Projektjahre von 2018/19 bis 2020/21 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten (2018/19 vs. 2019/20: $n=26$; 2018/19 vs. 2020/21: $n=28$; 2019/20 vs. 2020/21: $n=26$).	29
Abbildung 19: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2020–30. 9. 2021 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).	30

Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2021 in fünf unterschiedlichen Tiefen sowie im Vergleich dazu die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Hinweise zu Datenlücken und Quelle siehe Abbildung 19.	30
Abbildung 21: Jahresmitteltemperaturen für drei Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen in der jüngeren Vergangenheit im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 19.	31
Abbildung 22: Jännermitteltemperaturen für die sechs Jahre von 2016 bis einschließlich 2021 im Bohrloch 3 am Sonnblick. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 19.	32
Abbildung 23: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Döener Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2020/21. Punktnummern in Gelb, Fließgeschwindigkeiten (cm/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2\text{--}3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Fließgeschwindigkeit von 71,0 cm/Jahr wurde im Punkt 15 gemessen. Ein betragsmäßig größerer Wert von 135,0 cm/Jahr, gemessen im Punkt 3, ist nicht repräsentativ, da er von einer lokalen Rutschung rührt. Orthophoto 20. 9. 2010 © Land Kärnten.	33
Abbildung 24: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Blockgletscher Hinteres Langtarkar mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2020/21. Punktnummern in Gelb, Fließgeschwindigkeiten (m/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2\text{--}3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Fließgeschwindigkeit von 3,94 m/Jahr wurde im Punkt 23 gemessen. Orthophoto 28. 8. 2012 © Land Kärnten.	34
Abbildung 25: Direkter Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Oberflächenbewegung der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtarkar (oberer Bereich A) für den Zeitraum 1995/96 bis 2020/21. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Oberflächenbewegung am Weissenkar Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt.	35
Abbildung 26: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche im Zeitraum 1. 9. 2020 bis 31. 8. 2021 aller Messstandorte mit geschlossenen Datenreihen (siehe hierzu Text) am Inneren Knorrkogel (Messjahr 2020/21). Bei den Dreikanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe installiert und entsprechend in der Grafik ausgewiesen. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der beiden Vorjahre (siehe Tabelle 15) dargestellt.	38
Abbildung 27: Tagesmitteltemperaturen von sieben Bodentemperatursensoren im Sattelkar im Zeitraum 1. 10. 2020 bis 30. 9. 2021. Datenausfall im Laufe des Beobachtungsjahres bedingt v. a. durch Stromversorgungsprobleme der Datenlogger – siehe Text. Zur Vergleichbarkeit mit der Abbildung 28 wurde in dieser Grafik die idente Legende inklusive Farbcodierung verwendet (Daten: GEORESEARCH; Kontaktperson: Ingo Hartmeyer, ingo.hartmeyer@georesearch.at).....	39
Abbildung 28: Tagesmitteltemperaturen von 13 Bodentemperatursensoren im Sattelkar im Zeitraum 1. 10. 2015 bis 30. 9. 2021. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 27.	40
Abbildung 29: Vergleich der Jahresmittelwerte von sieben der 13 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar mit geschlossener Datenreihe für die drei Kalenderjahre 2018, 2019 und 2020. Linke Darstellung Vergleich 2020 mit 2019, rechte Darstellung Vergleich 2020 mit 2018. Datenbasis hierzu siehe Abbildung 27.	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TAWES-Stationen der ZAMG, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des jeweiligen Beginns der verfügbaren Datenreihe in Kalenderjahr. Erläuterungen siehe Text. Lage der Stationen 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 Temperaturaufzeichnung).	3
Tabelle 3: HZB-Oberflächengewässer-Messstellen der Hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe der verwendeten Datenreihe. Koordinaten sind als 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 2022, 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.	5
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 17 zeigt Auswertungen der jeweils grau hinterlegten Sensoren. HLC=Hinteres Langtalkar-Kögelekar, FAL=Fallbichl, HOT=Hochtor, DOV=Dösen-Säuleck, PAG=Pasterze-Burgstall. GOE-PR ist ein Standort im Gößnitzkar, 2,6 km SW vom Kögelekar. 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: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interner Loggernummer, Tiefe des Sensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) sowie die Bezeichnungen der diesem Bericht angehängten Dateien in Bezug auf Rohdaten (chronologische Codierung) sowie bearbeitete Daten (Codierung in Anlehnung an den vorjährigen Bericht). Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20211025.csv“ und „bearb_daten_metadaten_20211025.csv“.	10
Tabelle 7: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den sieben Jahren 2014/15 bis 2020/21 (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. 3. 2019–31. 3. 2019).	13
Tabelle 8: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte des Gletscherhaushaltsjahres 2020/21 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der Station Sonnblick (3109 m).	16
Tabelle 9: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschläß (Tirol) im Zeitraum 1. 10. 2014–30. 9. 2021; Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima.	18



Tabelle 10: 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 km ²), Neukirchen (40,5 km ²) und Innergschloss (39,3 km ²).	20
Tabelle 11: Auflistung der im Nationalpark Hohe Tauern durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16 bis 2020/21. Lage siehe Abbildung 1.	21
Tabelle 12: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die sechs Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2020/21 in mm Wasseräquivalent.	24
Tabelle 13: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2015/16 bis 2020/21. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden jeweils im Punkt 15 festgestellt.	33
Tabelle 14: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2015/16 bis 2020/21 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.	34
Tabelle 15: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interne Loggernummer, Tiefe des Temperatursensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) mit den gemessenen Jahresmittelwerte für 2018/19, 2019/20, 2020/21 sowie deren Mittelwert über die 3 Jahre (in Ausnahmen 2 Jahre*. ND = no data (siehe hierzu Text).	36





Herausgeber:

Nationalparkrat Hohe Tauern

Kirchplatz 2, 9971 Matri

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

www.hohetauern.at