



Permafrostmonitoring am Inneren Knorrkogel 2018-2019
Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost
(Version: 12/2019)



Impressum

Für den Inhalt verantwortlich:

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

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

Projektleitung: LIEB, G.K.

Fotos: © Andreas Kellerer-Pirklbauer

Titelbild: Einer von drei Felstemperaturmonitoringstandorte als Teilelement des Permafrost-Monitoringmessnetzes am Inneren Knorrkogel, Tirol, im August 2019

Zitiervorschlag: Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2019): 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/nph>t

Graz, 13.12.2019



Inhaltsverzeichnis

- Einleitung 2
- Methodik und Datengrundlage 3
 - a. Methoden Bereich Witterung und Klima 3
 - b. Methoden Bereich Abfluss 3
 - c. Methoden Bereich Permafrost 5
- Ergebnisse 7
 - a. Ergebnisse Bereich Witterung 7
 - b. Ergebnisse Bereich Klima 7
 - a. Ergebnisse Bereich Abfluss 9
 - b. Ergebnisse Bereich Permafrost 12
- Interpretation und Diskussion 24
- Fazit 25
- Abbildungsverzeichnis 26
- Tabellenverzeichnis 28
- Literaturverzeichnis 29



Einleitung

Im Rahmen des Moduls 07 „Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost, Geomorphodynamik“ des Langzeit-Ökosystem-Monitorings im Nationalpark Hohe Tauern wurde, wie im Endbericht hierzu (Lieb et al. 2019) dargelegt, auf dem Inneren Knorrkogel (Venedigergruppe, Osttirol) ein Messnetz zum Monitoring von Permafrost eingerichtet. Dies erfolgte im Sommer 2018, sodass – nach erfolgter Auslesung der Daten im Sommer 2019 und deren anschließender Auswertung – mit dem vorliegenden Bericht die thermischen Bedingungen im Untergrund des vom Messnetz erfassten Gipfelbereichs des Inneren Knorrkogels erstmals wissenschaftlich beschrieben werden können. Der Bezugszeitraum für diesen Bericht ist somit – unter Berücksichtigung ganzer Tagesdatensätze – der Zeitraum 18. 08. 2018 bis einschließlich 17. 08. 2019 und umfasst somit genau ein Jahr.

Da ein Mehrwert der Aktivitäten im Modul 07 darin besteht, die gegenständlichen abiotischen Faktoren bzw. Prozesse (Witterung/Klima, Abfluss, Gletscherverhalten und Permafrost) gemeinsam, d. h. unter Bezugnahme auf deren Wechselwirkungen zu beschreiben, werden auch in diesem Bericht nicht nur die Ergebnisse der für die Erfassung des Permafrosts relevanten Bodentemperaturen vorgestellt, sondern diese auch in den weiteren Rahmen des Witterungs- und Abflussgeschehens an den nahe gelegenen Messstationen eingebettet. Allein zum Themenbereich Gletscherverhalten können noch keine Bezüge hergestellt werden, da die entsprechenden Daten für das glaziologische Haushaltsjahr 2018/19 erst im April 2020 vom Gletschermessdienst des Österreichischen Alpenvereins freigegeben werden.

Gemessen werden im Messnetz am Inneren Knorrkogel die Temperaturen der Bodenoberfläche (sowie an drei Standorten auch die des oberflächennahen Untergrundes; siehe Titelbild), die aus der Energiebilanz der Oberfläche resultieren. Dabei gilt in Bezug auf Jahresmitteltemperaturen die Regel, dass Standorte mit Temperaturen unter 0°C Permafrost im Untergrund anzeigen. Bei den Monatsmittelwerten zeigen starke Unterschiede zwischen einzelnen Monaten eine enge Kopplung an das atmosphärische Temperaturgeschehen, langanhaltende Temperaturkonstanz im Winter hingegen die Existenz einer in der Regel mindestens 1 m mächtigen Schneedecke und eine Prägung der Energiebilanz durch den Bodenwärmestrom an. Langandauernde Temperaturkonstanz im deutlich negativen Temperaturbereich (meist -3°C oder darunter) im Winterhalbjahr deutet ebenfalls auf die Existenz von Permafrost im Untergrund. Tagesmitteltemperaturen reagieren ähnlich – nur unter mächtigen Schneedecken erfolgt deren Entkoppelungen von den Lufttemperaturen.

Im Einzelnen sind das Temperaturfeld des Untergrundes und dessen zeitliche Veränderungen stark von lokalen Faktoren (wie Substrat, Exposition und Schneedecke) abhängig, auf welche bei der Installation des gegenständlichen Permafrost-Messnetzes geachtet wurde. Es erfolgte daher die Instrumentierung unter Bezugnahme auf das Gelände (Messstellen an Graten, in Flanken und direkt auf dem Gipfel), die Exposition (West, Nordost und Süd gemäß der Ausrichtung der Gipfelpyramide) und das Substrat (Fels und – meist grobblockiges – Lockermaterial). An den drei Felsstandorten wurden Dreikanal-Datenlogger installiert, die die Temperaturverhältnisse in drei verschiedenen Tiefen (3, 10 und 40 cm Tiefe) messen. Dieser Bericht gibt somit einen ersten quantitativen Eindruck über die Permafrostverbreitung am Inneren Knorrkogel.

Methodik und Datengrundlage

a. Methoden Bereich Witterung und Klima

Die Witterungsbeschreibung für das Messjahr 2018/19, die in diesem Beitrag im Ergebnisteil präsentiert wird, beruht auf eigenen Beobachtungen sowie Informationen und Analyseergebnisse aus den Medien. Eine solche ständige Beobachtung des Witterungsgeschehens ist für klimatisch-gesteuerte Phänome wie Permafrost und Gletscher äußerst wichtig und fließt auch in die z.B. Beurteilung der österreichweiten Gletscherveränderungen in einzelnen Gletscherhaushaltsjahren mit ein (z. B. Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2019).

Witterungs- bzw. klimarelevante Daten aus dem Gebiet wurden für die HZB-Messstation Felbertauerntunnel-Süd (HZB-Nr. 114900) für den Zeitraum 01. 10. 2018 bis 30. 09. 2019 akquiriert, wobei Niederschlags- (Tagessummen) und Temperaturdaten (Tagesmittelwerte) verwendet wurden (Lage des Standortes siehe Abb. 1). Die Stationsdaten stammen vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Hydrographie und Hydrologie (Kontaktperson: Martin Neuner, martin.neuner@tirol.gv.at). Angemerkt wurde von Seiten des Amtes, dass die Daten ab Juni 2019 Rohdaten sind und weder auf Vollständigkeit noch auf Plausibilität geprüft wurden. Weiters wurde angemerkt, dass eine Weitergabe der Daten an Dritte nicht gestattet ist.

Neben dieser Station des HZB am Südportal des Felbertauerntunnels, sollten auch die Daten unserer eigenen Station im Gipfelbereich des Inneren Knorrkogels benutzt werden. Diese Klimastation wurde zu diesem Zweck auch aufgesucht und gewartet. Wie sich aber im Zuge der Geländetätigkeit zeigte, wurde der Datenlogger im Strahlungsschutz – wahrscheinlich durch einen (nahen) Blitzschlag – beschädigt, weshalb keine Lufttemperaturdaten dort aufgezeichnet wurden. Der Datenlogger selbst wurde eingeschickt und bei der Firma Geoprecision überprüft. Per Email wurde uns am 29. 10. 2019 mitgeteilt, dass ein „elektronischer Totalschaden“ vorliege und der Datenlogger nicht zur reparieren sei – und somit auch mögliche, am Datenlogger gespeicherte Daten verloren seien. Weitere Details hierzu im Unterkapitel „c. Methoden Bereich Permafrost“.

b. Methoden Bereich Abfluss

Hydrologische Daten aus dem Gebiet wurden für die HZB-Abflussmessstation Innerschlöss (HZB-Nr. 212068) wiederum für den Zeitraum 01. 10. 2018 bis 30. 09. 2019 akquiriert, wobei in diesem Fall Tagesmittel des gemessenen Abflusses verwendet wurden. Die Stationsdaten stammen vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Hydrographie und Hydrologie (Kontaktperson: Helmut Spiss, helmut.spiss@tirol.gv.at).

Laut Information von Herrn Spiss handelt es sich bei den digital an uns übermittelten Abflussdaten um geprüfte, aber nur vorläufig gültige Daten. Diese Daten müssen noch vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien bestätigt werden. Auch hier gilt, dass eine Weitergabe dieser Daten an Dritte nicht gestattet ist, wobei Projektbeteiligte ausgenommen sind. Abbildung 1 zeigt u. a. die Lage dieser Station, Abbildung 2 zeigt die Situation am Pegel selbst, wie er im Zuge der Geländetätigkeit im August 2019 zu sehen war.

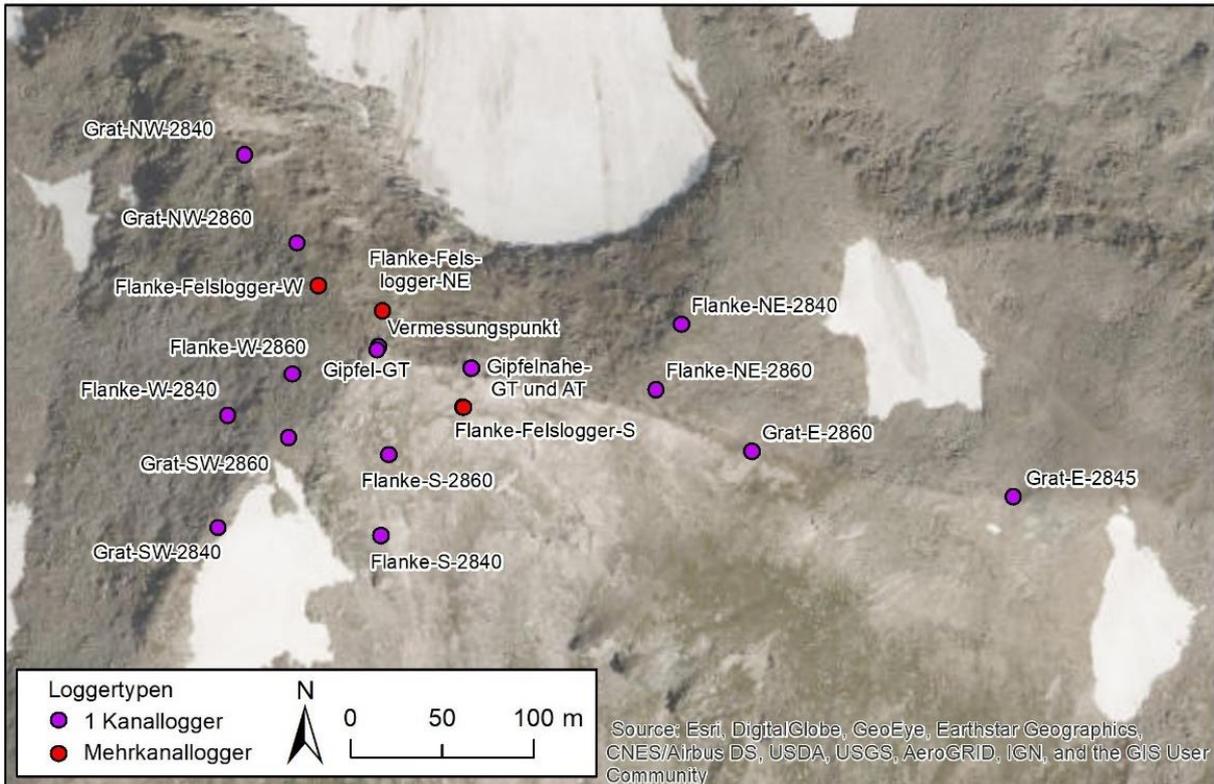
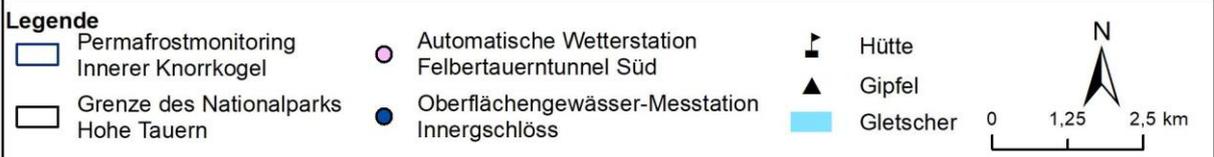
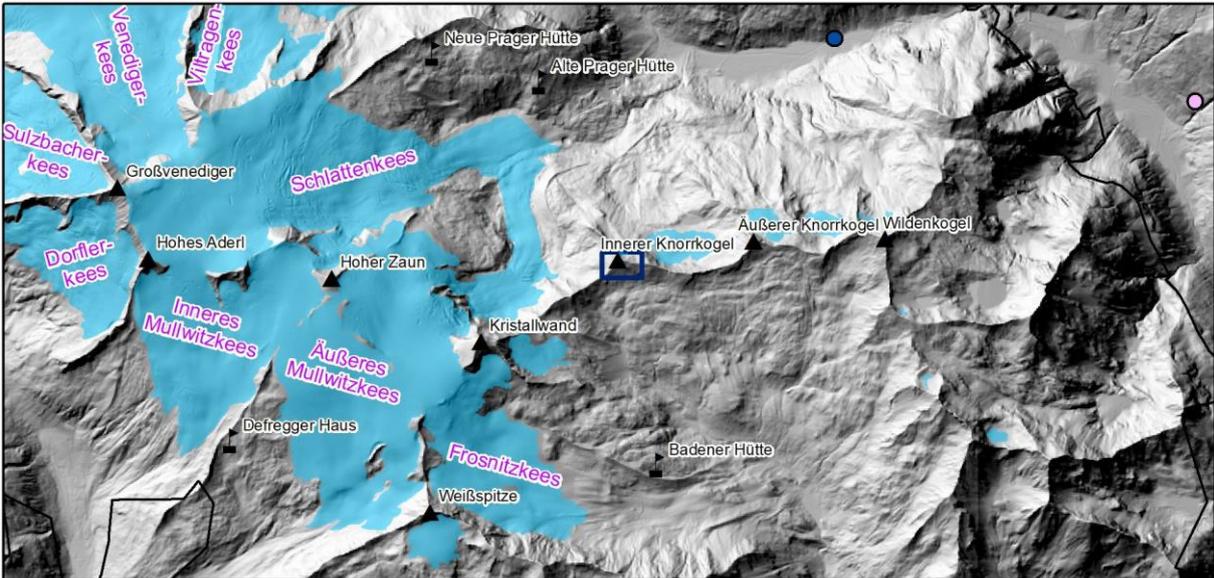


Abbildung 1: Übersichtskarte (oben) des Permafrost-Monitoringstandorts Innerer Knorrkogel (mit Gletschern, markanten Gipfeln und Hütten zur Orientierung sowie den zwei Standorten der automatischen Wetterstation Felbertauerntunnel Süd sowie der Oberflächengewässer-Messtation Innerschlöss) und Detailkarte (unten) mit allen 18 Standorten. Karte erstellt von Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Karte oben: Geländemodell Geoland (2019), Gletscherflächen Buckel et al. (2018); Karte unten: Satellitenbild DigitalGlobe.





Abbildung 2: Die Oberflächengewässer-Messstation Innerschloss (HZB-Nr. 212068) am 18. 08. 2019 mit Blick talauswärts. Foto: Andreas Kellerer-Pirklbauer.

c. Methoden Bereich Permafrost

Permafrost-bezogene Daten aus dem Untersuchungsgebiet Innerer Knorrkogel wurden im Rahmen eines dreitägigen Geländeaufenthalts (17. bis 19. 08. 2019) direkt im Untersuchungsgebiet gesammelt, wobei Auf- und Abstieg von Innergeschloss über das Löbbentörl aus organisiert wurden (Abb. 3). Die Geländearbeit selbst konnte bei optimalen Witterungsverhältnissen durchgeführt werden, wodurch auch zeiteffizient an einem langen Arbeitstag (18. 08. 2019) alle 18 Standorte aufgesucht und gewartet werden konnten. An keinem der 18. Standorte war zum Zeitpunkt der Geländekampagne noch Winterschnee anzutreffen (Abb. 3).



Abbildung 3: Schneeverteilung am Inneren Knorrkogel am 18. 08. 2019 vom Löbbentörl aus betrachtet. Zu beachten ist, dass im Bereich der Gipfelpyramide (hier zu sehen die Süd- und Westflanken) nur mehr im linken unteren Bildbereich Altschnee anzutreffen war. Foto: Andreas Kellerer-Pirklbauer.

Tabelle 1: 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 in diesem Bericht angehängten Dateien betreffend Rohdaten sowie bearbeiteten Daten. Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20191210.csv“ und „bearb_Daten_metadaten_20191210.csv“.

Code	Log. Nr.	Sensortiefe (cm)	Dateibezeichnung Rohdaten	Dateibezeichnung bearbeitete Daten
G-1K-SW-2840	A5223B	0	01-G-1K-SW-2840-A5223B_18-19.csv	01-G-1K-SW-2840-A5223B_18-19.xlsx
F-1K-W-2840	A52220	0	02-F-1K-W-2840-A52220_18-19.csv	02-F-1K-W-2840-A52220_18-19.xlsx
G-1K-SW-2860	A5223F	0	03-G-1K-SW-2860-A5223F_18-19.csv	03-G-1K-SW-2860-A5223F_18-19.xlsx
F-1K-W-286	A52244	0	04-F-1K-W-2860-A52244_18-19.csv	04-F-1K-W-2860-A52244_18-19.xlsx
S-GT-2886	A521B7	0	05-S-GT-2886-A521B7_18-19.csv	05-S-GT-2886-A521B7_18-19.xlsx
G-1K-NW-2860	A52227	0	06-G-1K-NW-2860-A52227_18-19.csv	06-G-1K-NW-2860-A52227_18-19.xlsx
G-1K-NW-2840	A52223	0	07-G-1K-NW-2840-A52223_18-19.csv	07-G-1K-NW-2840-A52223_18-19.xlsx
F-3K-W-2869-3cm	A538B7	3	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19.csv	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19-GT3.xlsx
	A538B7	10	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19.csv	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19-GT10.xlsx
	A538B7	40	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19.csv	08-F-3K-W-2869-A538B7_18-19-GT40.xlsx
F-3K-NE-2871-3cm	A538AC	3	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19.csv	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19-3GT.xlsx
	A538AC	10	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19.csv	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19-10GT.xlsx
	A538AC	40	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19.csv	09-F-3K-NE-2871-A538AC_18-19-40GT.xlsx
S-GT-2878	A52194	0	10-S-GT-2878-A52194_18-19.csv	10-S-GT-2878-A52194_18-19.xlsx
S-AT-2878	A5223E	0	defekt; keine Rohdaten	defekt; keine bearbeitete Daten
F-3K-S-2871-3cm	A538B1	3	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19-3GT.xlsx
	A538B1	10	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19-10GT.xlsx
	A538B1	40	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19.csv	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-19-40GT.xlsx
G-1K-E-2860	A521CB	0	13-G-1K-E-2860-A521CB_18-19.csv	13-G-1K-E-2860-A521CB_18-19.xlsx
G-1K-E-2845	A5222E	0	14-G-1K-E-2845-A5222E_18-19.csv	14-G-1K-E-2845-A5222E_18-19.xlsx
F-1K-NE-2860	A5226E	0	15-F-1K-NE-2860-A5226E-18-19.csv	15-F-1K-NE-2860-A5226E-18-19.xlsx
F-1K-NE-2840	A521A0	0	16-F-1K-NE-2840-A521A0_18-19.csv	16-F-1K-NE-2840-A521A0_18-19.xlsx
F-1K-S-2860	A5222A	0	17-F-1K-S-2860-A5222A_18-19.csv	17-F-1K-S-2860-A5222A_18-19.xlsx
F-1K-S-2840	A52230	0	18-F-1K-S-2840-A52230_18-19.csv	18-F-1K-S-2840-A52230_18-19.xlsx

Anmerkungen: GT=Bodentemperatur, AT=Lufttemperatur

Die einzelnen Standorte wurden in der in Tabelle 1 aufgelisteten Abfolge aufgesucht. Diese Abfolge ergibt sich aus einer möglichst zeiteffizienten Durchführung der Geländearbeit entlang dieser Route. An jedem Standort wurden via Funk die Daten von den jeweiligen Datenloggern auf den Computer übertragen (Abb. 4) und als csv-Datei abgespeichert (siehe Tabelle 1).



Abbildung 4: Auslesen der Datenlogger via Funkschnittstelle (als schwarzer Stift am Foto erkennbar) wie hier beispielhaft gezeigt am Standort G-1K-SW-2860. Foto: Alexander Dorić.

An jedem Standort wurden auch die Batterien der Datenlogger getestet. Es zeigte sich, dass an fast allen Standorten problemlos Daten von August 2018 auf August 2019 aufgezeichnet wurden und nur ein einziger Standort einen Datenausfall hatte. Wie bereits weiter oben angesprochen (a. Methoden Bereich Witterung und Klima), wurde die Elektronik des Lufttemperatursensors (S-AT-2878, A52194) wahrscheinlich durch einen Blitzschlag zerstört und folglich ein elektronischer Totschaden verursacht. Da prinzipiell solche Totschäden im Hochgebirge zu erwarten sind, wurden auch extra Ersatzdatenlogger bei dieser Geländekampagne mitgenommen.

Für den kaputten Datenlogger A52194 wurde ein neuer Datenlogger mit dem Code A53A9E in den Strahlungsschutz eingebaut (Abb. 5). Batterien mussten an keinem der Standorte getauscht werden. Eine erste Datensichtung der csv-Dateien im Zuge der Geländearbeit im Gipfelbereich des Inneren Knorrkogels zeigte keine offensichtlichen Fehlmessungen durch die verwendeten Datenlogger.



Abbildung 5: Installation eines neuen Temperaturdatenloggers (Code A53A9E) am Standort S-AT-2878. Diese Neuinstallation am 18. 08. 2018 war notwendig, da der von 2018 auf 2019 eingebaute Sensor wahrscheinlich durch Blitzschlag zerstört wurde. Foto: Alexander Dorić.

Nach Abschluss der Geländearbeit im Gipfelbereich erfolgte der Abstieg ins Tal zum Venedigerhaus, wo am Abend die gesammelten Daten auf einen externen Datenträger gesichert wurden. Die Datensichtung und die Analyse der Daten wurde am Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz durchgeführt, wobei für die Auswertung die Software Excel verwendet wurde.

Die Bezeichnung der Dateien betreffend bearbeitete Daten für alle Standorte sowie für jeden Sensor bei 3-Kanaldatenloggern ist der Tabelle 1 zu entnehmen. In der Auswertung in Excel wurde auf die Stundenwerte sowie Monatsmittelwerte fokussiert, um hier ein übersichtliches Bild über die Zustände sowie Veränderung der Bodentemperatur zwischen August 2018 und August 2019 zu erhalten.

Ergebnisse

a. Ergebnisse Bereich Witterung

Der Spätsommer des Jahres 2018 war von warmer, antizyklonaler Witterung geprägt, die am 25./26.8., als ein Trogdurchgang mit Vorstoß polarer Luftmassen zum Aufbau einer kurzlebigen Schneedecke bis nahe zur Waldgrenze herabführte, unterbrochen wurde. Dies blieb für lange Zeit der letzte markante Wettersturz, denn auch der September und der Oktober zeichneten sich durch eher spätsommerlichen Witterungscharakter aus. Erst ab Ende Oktober 2018 herrschte vorherrschend frühwinterliche Witterung mit mehreren Schneefallereignissen. In den beiden ersten Jännerwochen bildete sich eine mächtige hochwinterliche Schneedecke aus, da mit konstanter Zufuhr feuchtkalter Luftmassen aus nördlicher bis nordwestlicher Richtung zwar nördlich des Alpenhauptkammes der Niederschlagsschwerpunkt lag, die Schneefälle aber auch in bedeutendem Ausmaß über den Hauptkamm nach Süden übergriffen. Auch wenn Februar und März zu mild waren, kam es vor allem in letzterem immer wieder zu Schneefällen nördlicher Herkunft. Die beiden Monate danach erwiesen sich als wechselhaft und nunmehr auch südlich des Alpenhauptkammes als schneereich, wobei der deutlich zu kalte Mai im Hochgebirge noch als Spätwintermonat gelten muss. Erst im sehr warmen und von antizyklonaler Witterung dominierten Juni schritt die Schneeschmelze in nennenswerter Weise in die Hochlagen fort. Der nachfolgende Hochsommer war sehr warm und nie „im großen Stil“ durch Wetterstürze unterbrochen – im Gipfelniveau des Inneren Knorrkogels dürften sich nur zwei-, maximal dreimal kurzlebige Schneedecken eingestellt haben. Für den Permafrost relevant ist dabei das hohe Temperaturniveau im Herbst, die relativ späte Ausbildung der Winterschneedecke und die lange Schneebedeckung von Geländehohlformen in den Sommer hinein – trotz des extrem hohen Temperaturniveaus im Hochsommer überdauerten viele Schneefelder in den Hochlagen den Sommer, da dieser für deren völliges Abschmelzen zu kurz war.

b. Ergebnisse Bereich Klima

Der Tabelle 2 sind die Jahreswerte der Lufttemperatur (Mittel) und des Niederschlags (Summe) für die fünf Messjahre 2014/15 bis 2018/19 für die Klimastation Felbertauerntunnel Süd (gelegen auf 1650 m) aufgelistet. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, liegt das hydrologische Jahr 2018/19 ziemlich genau im fünfjährigen Mittel der Messstation Felbertauern mit einer Jahresmitteltemperatur von 5,2°C (gleich dem Mittel) und einer Jahressumme des Niederschlags von +34 mm über dem Fünfjahresmittel. Obwohl es nahezu gleich warm in den beiden letzten Messjahren war, wurde im Messjahr 2018/18 deutlich mehr Niederschlag (+140 mm) im Vergleich zum Vorjahr erfasst. Auf Basis dieser Jahreswerte kann man beim Messjahr 2018/19 von einem durchschnittlichen temperierten aber etwas feuchteren – bzw. schneereicheren – Jahr sprechen.

Tabelle 2: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den fünf Messjahren 2014/15 bis 2018/19 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (HZB-Nr. 114900).

Jahr	T (°C)	P (mm)
2014/15	5,3	1472,6
2015/16	5,4	1460,2
2016/17	5,0	1555,6
2017/18	5,3	1366
2018/19	5,2	1506,1
Mittel	5,2	1472,0

In der Abbildung 6 werden die Monatsmittelwerte der Temperatur und die Monatssummen der Niederschläge für die Klimastation Felbertauerntunnel Süd für den Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2019, also für fünf Gletscherhaushaltsjahre, gezeigt. Zu beachten sind dabei die typischen Jahresgänge des Niederschlags mit Maxima in den Sommermonaten und Minima in den Wintermonaten. Klar erkennbar sind auch deutlich ausgeprägte Unterschiede von Jahr zu Jahr sowie zwischen denselben Monaten in unterschiedlichen Jahren. An der Station Felbertauerntunnel Süd war im Gletscherhaushaltsjahr 2018/19 der Oktober 2018 der zweitniederschlagsreichste Monat des Jahres (208 mm). Der Monat mit dem meisten Niederschlag war jedoch der Jänner 2019 mit 237 mm, was fast 16% des Jahresniederschlags bedeutet. Die Monate Februar bis April 2019 waren außergewöhnlich niederschlagsarm (alle Monate unter 100 mm). Im Mai 2019 fielen wiederum 179 mm an Niederschlag. Nach einem erneut recht niederschlagsarmen Juni mit 38 mm, folgten zwei Monate mit eher normalen Niederschlagsverhältnissen, gefolgt von einem eher trockenen September 2019.

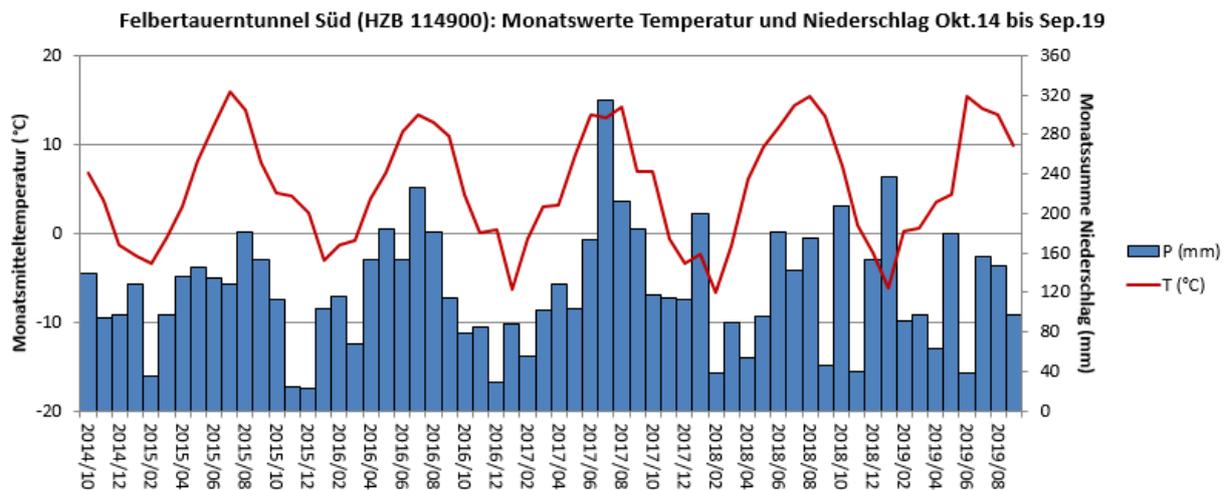


Abbildung 6: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2019 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m).

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen dieselben Daten wie in Abbildung 6 jedoch in einer anderen Darstellungsart, um die einzelnen Messjahre besser vergleichen zu können. Abbildung 7 vergleicht dabei die Monatsmittelwerte der Temperatur der letzten 5 Gletscherhaushaltsjahre. Auffällig sind der sehr warme Juni 2019, der relative kühle Mai 201, der relativ warme Februar 2019 und der sehr kalte Jänner 2019.

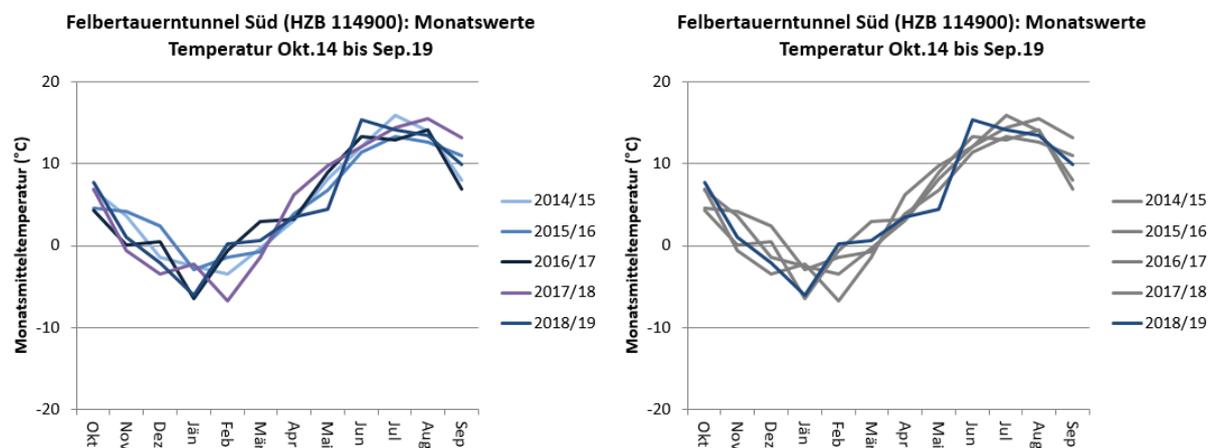


Abbildung 7: Vergleich der Monatsmittelwerte der Temperatur für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 bis 2018/19 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m). Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung rechts alle anderen Jahre in grau dargestellt.



Abbildung 8 vergleicht die Monatssummenwerte des Niederschlags der letzten 5 Gletscherhaushaltsjahre. Auffällig sind hier die bereits angesprochenen, außerordentlich niederschlagsreichen Monate Oktober und Jänner sowie die sehr niederschlagsarmen Monate November, April und Juni sowie bedingt auch der September. Im Jahresverlauf wechselten einander im Messjahr 2018/19 folglich deutlich zu trockene mit deutlich zu feuchten Perioden ab, während die Jahressumme des Niederschlags dem Erwartungswert entsprach.

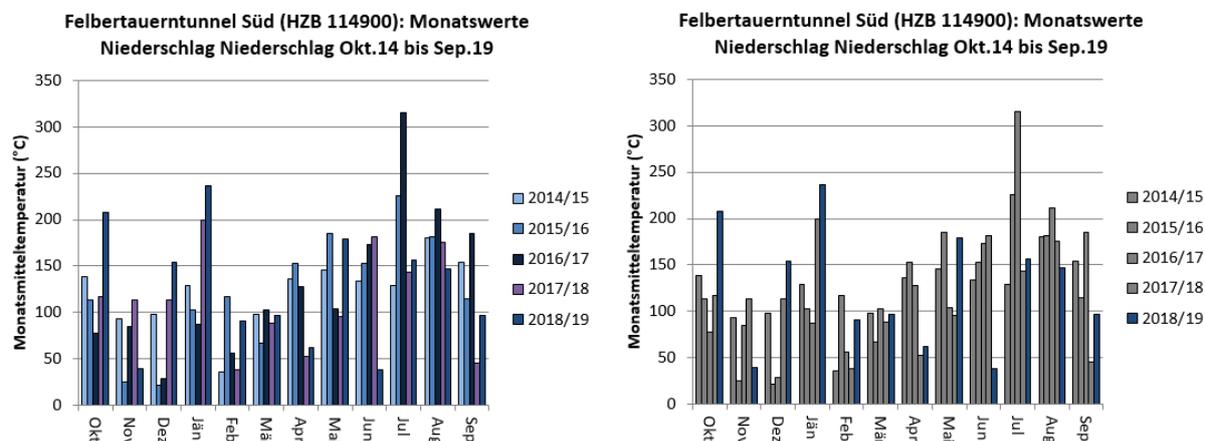


Abbildung 8: Vergleich der Monatssummenwerte des Niederschlags für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 bis 2018/19 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m). Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung rechts alle anderen Jahre in grau dargestellt.

a. Ergebnisse Bereich Abfluss

Die Abflusswerte des Pegels Innerschlöss wurde für den Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2019 näher betrachtet. Tabelle 3 listet die Jahresmenge des Abflusses auf. Der höchste Monatswert wurde an diesem Pegel wiederum im Juni (wie in den letzten drei Jahren) gemessen. Der Monat mit dem niedrigsten Abfluss war im Messjahr 2018/19 wiederum der Februar, wobei ein neuer Tiefstwert im Februar 2019 mit 0,27 Mio. m³ erzielt wurde. Die Jahressummen des Abflusses verhielten sich in den letzten drei Jahren relativ ähnlich und liegen in etwa im Fünfjahresschnitt.

Tabelle 3: Jahresmenge des Abflusses an der Abflussmessstationen Innerschlöss im Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2019, bezogen auf die einzelnen Gletscherhaushaltsjahre sowie Monatsminima und Monatsmaxima.

Jahr	Q-Innerschlöss (Mio. m ³)		
	Jahressumme	Q-Max (Monat)	Q-Min (Monat)
2014/15	110,00	31,42 (Juli)	0,31 (März)
2015/16	96,75	26,37 (Juli)	0,40 (Februar)
2016/17	103,40	26,53 (Juni)	0,41 (Februar)
2017/18	106,24	23,82 (Juni)	0,39 (Februar)
2018/19	103,20	32,92 (Juni)	0,27 (Februar)
Mittel	103,92	28,21	0,36



Abbildung 9 zeigt die monatlichen Abflussmengen für die fünf Beobachtungsjahre Okt. 2014 bis Sept. 2019. Klar erkennbar sind hier zu einem die alljährlich ähnlichen Bedingungen in den Wintermonaten (vor allem Dez. – Apr.). Im Winter 2018/19 waren die ohnehin schon geringen Abflussmengen sogar unterdurchschnittlich. Zum anderen ist sehr auffällig, dass die Monatssummen in den übrigen Monaten stark von Jahr zu Jahr variieren, was wiederum auf lokale Effekte – Niederschlag bzw. Schnee-/Eisschmelze – zurückzuführen ist. Auffällig für das letzte Beobachtungsjahr sind die sehr hohen Werte für Juni und Juli 2019 von 32,9 bzw. 28,0 Mio m³, wobei der Juli-Wert einen neuen Höchstwert im hier dargestellten fünfjährigen Beobachtungszeitraum bedeutet. Dies ist auf die massive Schneeschmelze in diesen beiden Monaten zurückzuführen, wobei der Juni, wie bereits weiter oben angemerkt, außergewöhnlich warm ausfiel.

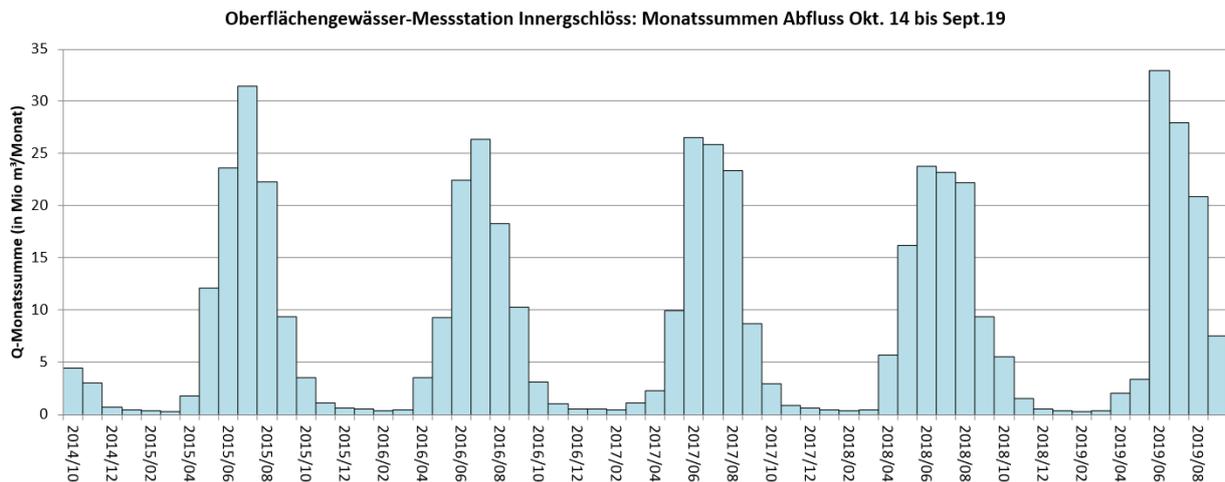


Abbildung 9: Monatssummen des Abflusses (Q) an der HZB-Station Innerschlöss im Zeitraum 1.10.2014–30.9.2019. Anmerkung: Q = Abflussmenge

Abbildung 10 zeigt die Tagesmittel der gemessenen Abflüsse an der Station Innerschlöss für den fünfjährigen Zeitraum Okt. 2014 bis Sept. 2019. Die Kurve spiegelt zum einen die massive Schneeschmelze im Juni und zum anderen besondere Niederschlagsereignisse (z. B. Spitzen im August und September) wider. Insgesamt kann man in allen Jahren an diesem Pegel das typische Abflussgeschehen für Hochgebirgsbäche mit teilweise vergletscherten Einzugsgebieten erkennen. Dies äußert sich in ausgeprägten Winterminima des Abflusses und ebenso ausgeprägten Sommermaxima, wie dies besonders gut bereits in Tabelle 3 zur Geltung kommt. Insgesamt verliefen die hier dargestellten Beobachtungsjahre in Bezug auf die Abflüsse relativ unauffällig, obwohl einzelne Spitzen im Sommer 2019 neue Höchstwerte im dargestellten Beobachtungszeitraum darstellen.

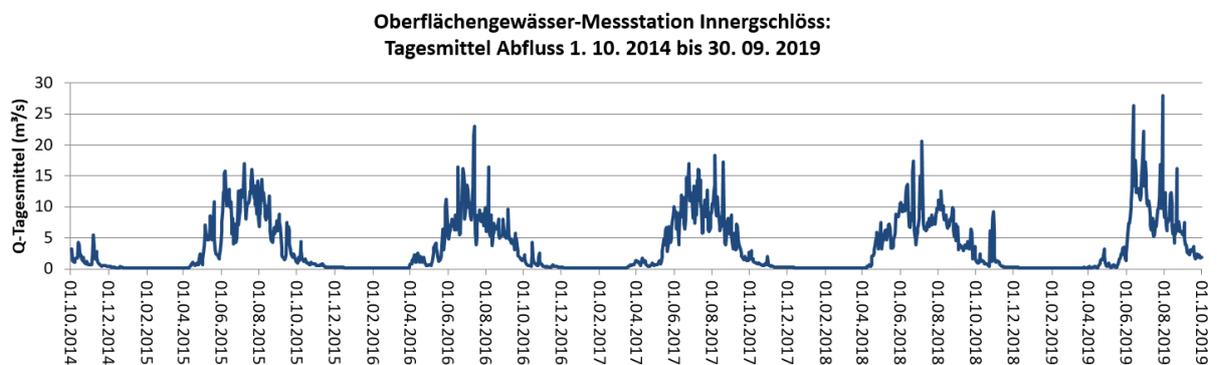


Abbildung 10: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (m³/s) an der HZB-Station Innerschlöss im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2019.

Abbildungen 11 zeigt die Jahrgänge des Abflusses für die fünf unterschiedlichen Messjahre. Klar erkennbar ist in dieser Abbildung, dass die Abflüsse im Winter in allen Jahren stabil niedrig waren. Dies gilt v. a. zwischen Ende November und Mitte bis Ende März. Der Anstieg des Abflusses sowie die Veränderung von Tag zu Tag variiert sehr stark in den einzelnen Sommermonaten bzw. Schmelzperioden. Dies bewirkt den extrem unübersichtlichen Kurvenlauf in Abbildung 11.

Fokussiert man jedoch nur auf das letzte Messjahr 2018/19 (untere Teil von Abb. 11), so wird klar ersichtlich, dass die Schneeschmelze erst sehr spät im Jahr (Anfang Juni) einsetzte, dafür aber relativ schnell hohe Abflusswerte erzielte, wobei eine erste Hochwasserspitze bereits Mitte Juni (12. 06. 2019 mit Tagesmittel $26,3 \text{ m}^3/\text{s}$) erzielt wurde. Dies zeigt die rasche Veränderung des Abflusses bei hohen Temperaturen und gleichzeitig die Auswirkung schneereicher Bedingungen im Einzugsgebiet im Frühjahr. Die zweite auffällige Hochwasserspitze – und dies ist auch ein neuer Maximalwert für den mittleren täglichen Abfluss im gesamten fünfjährigen Beobachtungszeitraum – wurde am 29. 07. 2019 mit einem Tagesmittel von $27,98 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen. Eine dritte, jedoch deutlich schwächere Spitze wurde noch am 21. 08. 2019 mit einem Tagesmittel von $16,2 \text{ m}^3/\text{s}$ registriert. Nach diesem letzten Peak nahmen die Abflussmengen jedoch deutlich ab.

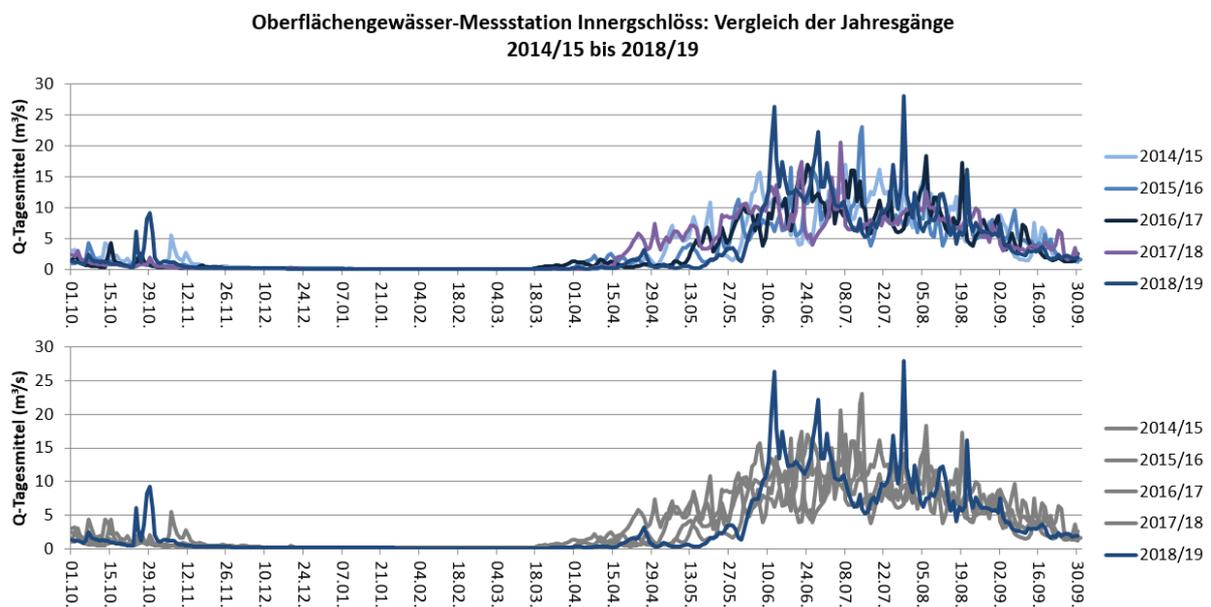


Abbildung 11: Vergleich der Jahrgänge des Abflusses in den fünf hydrologischen Haushaltsjahren 2016/17 bis 2018/19 an der HZB-Station Innerschlöss. Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung unten alle anderen Jahre in grau dargestellt.

b. Ergebnisse Bereich Permafrost

Das Messnetz am Inneren Knorrkogel wurde im August 2019 erfolgreich gewartet und bis auf einen Datenlogger (A5223E) konnten alle Messwerte für das Beobachtungsjahr August 2018 bis August 2019 erfolgreich gesichert und ausgewertet werden. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die gemessenen Jahresmittelwerte sowie Angaben zu den tiefsten und höchsten gemessenen Monatsmittelwerte mit entsprechenden Amplituden (in Kelvin/K). Der kälteste Monat war in 18 von 23 Fällen der Jänner 2019. Der wärmste Monat war ebenso in 18 von 23 Fällen der Juli 2019. Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, beträgt die Amplitude zwischen wärmsten und kältesten Monat bei den unterschiedlichen Standorten bzw. Sensoren zwischen 9,4 K und 22,2 K; im Mittel bei 15,5 K. Der Standort mit der geringsten Jahresschwankung ist der südexponierter Flankenstandort F-1K-S-2860, der im Messjahr 2018/19 auch eine langandauernde Schneedecke (ca. 6 Monate; siehe entsprechende Datei im Ordner „2_bearbeitete_Daten“) aufwies. Der Standort mit der größten Jahresschwankung im Messjahr 2018/19 ist der Gipfelsstandort S-GT-2878. Dieser Standort war im relevanten Messjahr nur einer sehr kurzen, dämpfenden Schneedeckenperiode ausgesetzt. Generell zeigte sich, dass stärker schneebeeinflusste Standorte geringe Jahresamplituden aufwiesen als Standorte, die – bedingt durch ihre topographische Position (z. B. abgeweher Gipfelbereich) – kurze Schneedeckenperioden zeigten.

Tabelle 4: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interne Loggernummer, Tiefe des Sensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) sowie den gemessenen Jahresmittelwerten sowie für jeden Standort und die Temperaturen des wärmsten und kältesten Monat mit entsprechender Angabe der Amplitude.

Code	Log. Nr.	Sensor-tiefe (cm)	Temperaturen			Amplitude (K)
			Jahresmittelwert (°C)	Kältester Monat (°C)	Wärmster Monat (°C)	
G-1K-SW-2840	A5223B	0	-1,5	-8,2	8,3	16,5
F-1K-W-2840	A52220	0	-1,6	-10,0	6,3	16,3
G-1K-SW-2860	A5223F	0	0,4	-5,0	7,5	12,5
F-1K-W-286	A52244	0	-1,2	-10,6	6,7	17,3
S-GT-2886	A521B7	0	-1,8	-12,9	7,8	20,7
G-1K-NW-2860	A52227	0	-1,3	-8,7	6,6	15,3
G-1K-NW-2840	A52223	0	-1,3	-8,0	6,8	14,8
F-3K-W-2869-3cm	A538B7	3	-0,2	-7,4	9,7	17,1
	A538B7	10	-0,2	-7,3	9,0	16,3
	A538B7	40	-0,7	-7,3	7,3	14,6
F-3K-NE-2871-3cm	A538AC	3	-0,9	-8,1	7,7	15,8
	A538AC	10	-1,0	-8,0	7,4	15,4
	A538AC	40	-1,1	-7,2	6,7	13,8
S-GT-2878	A52194	0	-1,1	-12,4	9,9	22,2
S-AT-2878	A5223E	0	Keine Daten (Blitzschaden)			
F-3K-S-2871-3cm	A538B1	3	1,0	-9,7	9,1	18,9
	A538B1	10	0,7	-9,9	8,7	18,5
	A538B1	40	0,7	-9,0	8,6	17,6
G-1K-E-2860	A521CB	0	0,2	-5,8	7,8	13,6
G-1K-E-2845	A5222E	0	0,4	-2,9	7,0	10,0
F-1K-NE-2860	A5226E	0	-0,8	-5,7	7,1	12,8
F-1K-NE-2840	A521A0	0	-1,8	-9,5	6,6	16,1
F-1K-S-2860	A5222A	0	1,2	-2,7	6,7	9,4
F-1K-S-2840	A52230	0	1,9	-1,7	8,0	9,7

Anmerkungen: GT=Bodentemperatur, AT=Lufttemperatur

Jahresmitteltemperatur 2018/19

Die im Beobachtungsjahr ermittelten Jahresmittelwerte an den 17 Standorten bzw. 23 Temperatursensoren (3 Dreikanal-Datenlogger) schwanken zwischen 1,9°C (südexponierter Flankenstandort F-1K-S-2840) und -1,8°C (Gipfelsstandort S-GT-2886). Der Mittelwert aller 23 Jahreswerte beträgt -0,4°C. An 15 Sensoren wurden negative Jahresmittelwerte gemessen, wohingegen an 8 Sensoren der Jahresmittelwert positiv war. Dies zeigt deutlich, dass die gemessenen Jahrestemperaturen am Inneren Knorrkogel insgesamt zwar auf Permafrost hinweisen, jedoch bedeutende Unterschiede zwischen den Standorten bestehen und auch für Permafrost ungünstige Standorte mit nur saisonalem Bodenfrost existieren.

Abbildung 12 zeigt die Jahresmittelwerte für alle Sensoren, wobei in dieser Grafik (wie auch in den folgenden bis einschließlich Abbildung 26) zwischen Standorte im Gipfelbereich, an Felsen, an Flanken sowie an Graten unterschieden wurde. Wie dieser Grafik zu entnehmen ist, weisen die beiden Gipfelstandorte relativ tiefe Temperaturen auf. An allen drei Felsstandorten wurden 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. Bei den Felsstandorten kommt deutlich die Strahlungsungunst des NE-exponierten Standortes mit Jahresmitteltemperaturen im -1,0°C-Bereich zum Vorschein. Demgegenüber steht der S-exponierte Felsstandort mit leicht positiven Mitteltemperaturen.

Die größten Unterschiede finden sich in den Ergebnissen der Flankenstandorte, wobei an beiden S-exponierten Flankenstandorten (F-1K-S-2860 und F-1K-S-2840) ähnlich hohe Werte gemessen wurden wie am S-exponierten Felsstandort. Ähnliche Mittelwerte wurden für die Flankenstandorte in W- und NE-Exposition ermittelt. Gratstandorte weisen ähnliche Werte in gleichen Expositionen auf. Ein großer Unterschied besteht jedoch zwischen den beiden Standorten am SW-Grat, an denen Werte von 0,4 und -1,5°C registriert wurden. 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.

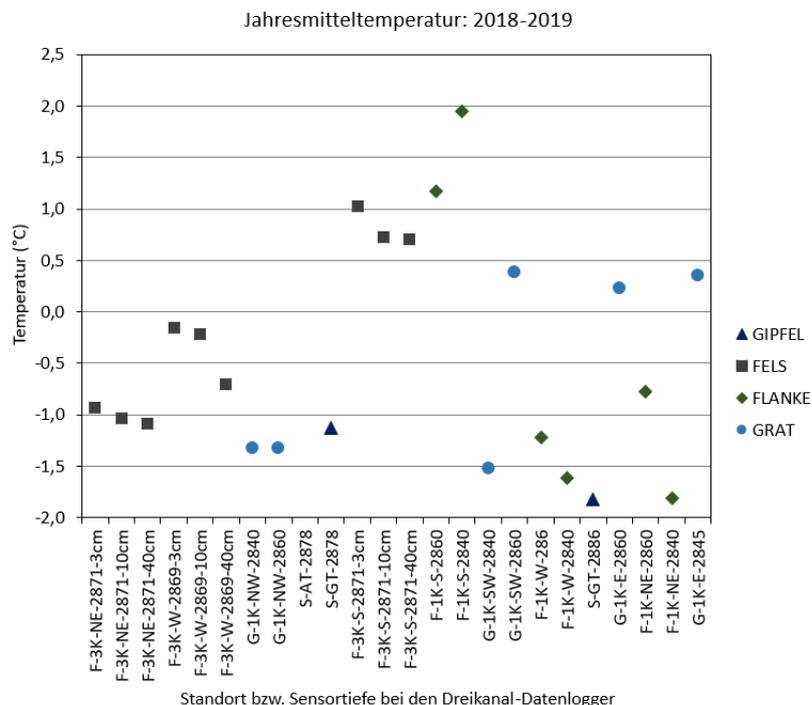


Abbildung 12: Jahresmitteltemperatur an/nah der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. bis 31. 7. des Folgejahres) aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagsschaden) am Inneren Knorrkogel im Messjahr 2017/18. Bei den Dreikanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe installiert.

Monatsmitteltemperatur – August 2018 (18. 08. 2018-31. 08. 2018)

Abbildung 13 zeigt die Monatsmittelwerte für den August 2018. Wichtig ist hierbei darauf hinzuweisen, dass dieser Mittelwert bedingt durch die Datenverfügbarkeit nur aus den Tageswerten der Periode 18. bis 31. August ermittelt wurde. In diesem Monat wurden die höchsten Temperaturen im Bereich von E-, SW- und S-exponierten Flanken- bzw. Gratstandorten gemessen. Der zweithöchste Wert mit 8,1°C wurde im Gipfelbereich registriert. Die tiefsten Temperaturen wurden hingegen am NW-exponierten Grat (5,3°C) gemessen. Dies ergibt für den August 2018 einen Unterschied von 3,0 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort.

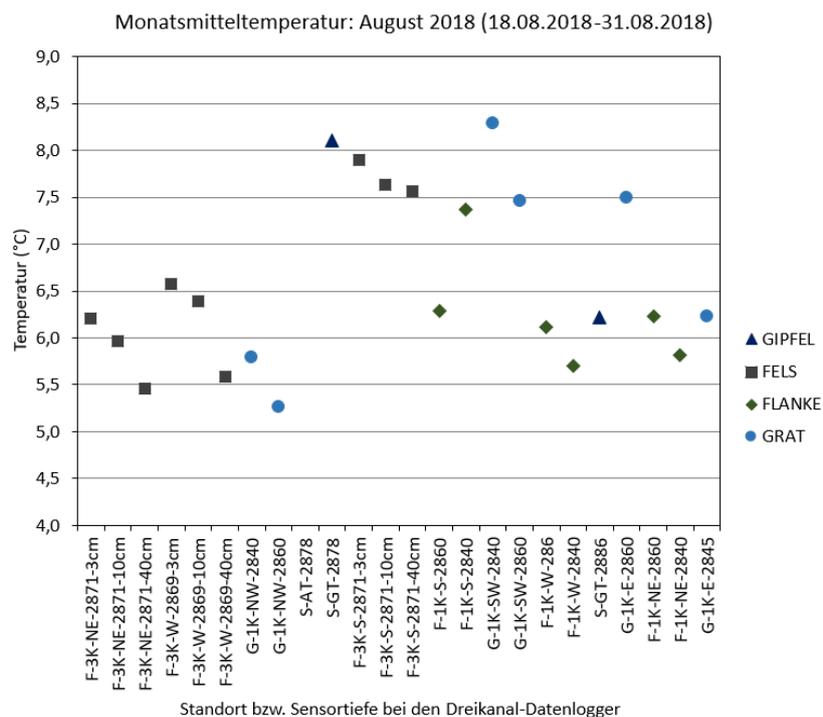


Abbildung 13: Monatsmitteltemperatur für den August 2018 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel. Zu beachten ist, dass für diesen Monat nur die Tagesmittelwerte für den Zeitraum 18. bis 31. August zur Verfügung standen.

Monatsmitteltemperatur – September 2018

Abbildung 14 zeigt die Monatsmittelwerte für den September 2018. In diesem Monat wurden die höchsten Temperaturen am S-exponierten Felsstandort mit 7,2°C registriert. Ähnlich warm war der Gipfelbereich sowie S- bis W-exponierte Standorte. Die tiefsten Temperaturen wurden hingegen am NE-exponierten Felsstandort (3,2-3,6°C) sowie an den NE-exponierten Flankenstandorte (3,3-3,6°C) registriert. Dies ergibt für den September 2018 einen Unterschied von 4,0 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort.

Monatsmitteltemperatur – Oktober 2018

Abbildung 15 zeigt die Monatsmittelwerte für den Oktober 2018. In diesem Monat wurden die bei weitem höchsten Temperaturen am S-exponierten Felsstandort mit 2,8 bis 3,1°C registriert. Um über 1K kälter waren die S- und SW-exponierte Flanken- bzw. Gratstandorte sowie der Gipfelbereich selbst. Die tiefsten Temperaturen wurden an den Standorten in NE-Exposition gemessen, wobei die beiden Flankenstandorte dort ähnliche Werte (-1,0 bis -1,1°C) aufwiesen. Dies ergibt für den Oktober 2018 einen Unterschied von 4,2 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort, womit die Bedingungen denen des Septembers 2018 ähnlich sind.

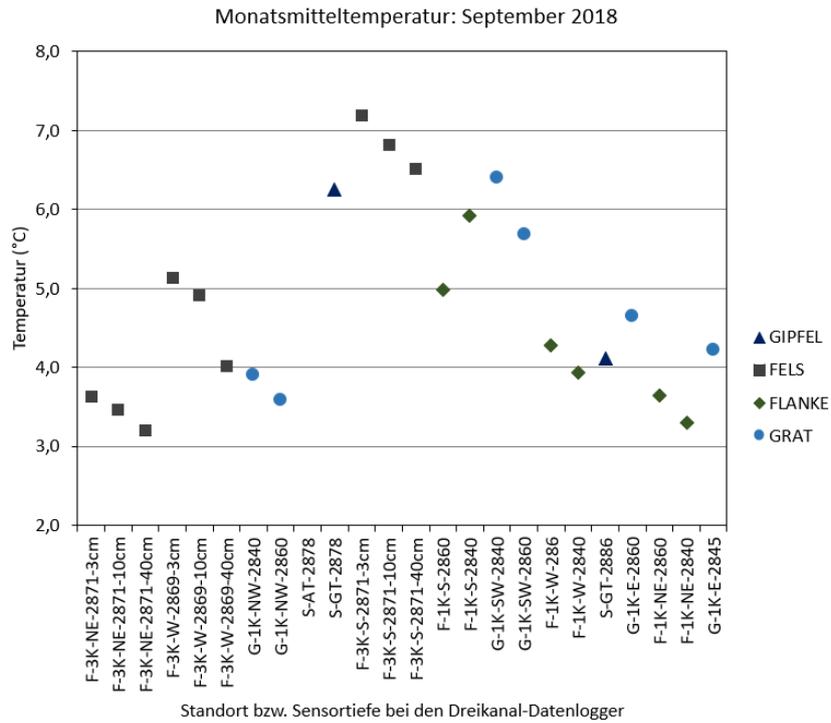


Abbildung 14: Monatsmitteltemperatur für den September 2018 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.

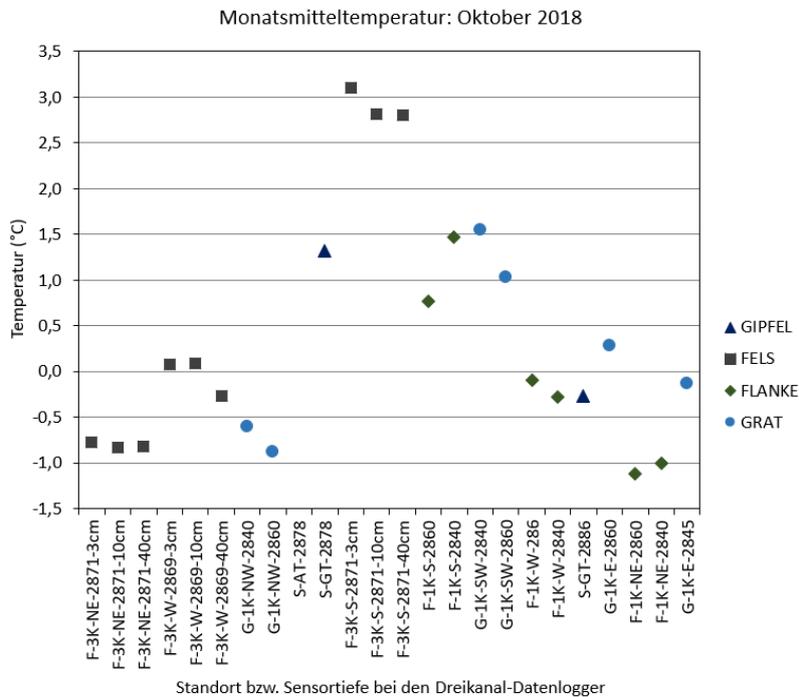


Abbildung 15: Monatsmitteltemperatur für den Oktober 2018 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.



Monatsmitteltemperatur – November 2018

Abbildung 16 zeigt die Monatsmittelwerte für den November 2018. In diesem Monat wurden an allen Standorten negative Monatsmittelwerte registriert. Die höchsten Temperaturen wurden am SW-Grat (-0,6°C) sowie an der W-exponierten Flanke (-0,7°C) erfasst. Auffällig sind die relativ ähnlichen Temperaturen an vielen Standorten von ca. -1,3°C bis -1,9°C. Die tiefsten Temperaturen wurden in diesem Monat am Gipfestandort S-GT-2878 mit -3,7°C erreicht. Dies ergibt für den November 2018 eine Spannweite von nur 3,1 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort, worin dieser Monat dem August 2018 ähnlich ist.

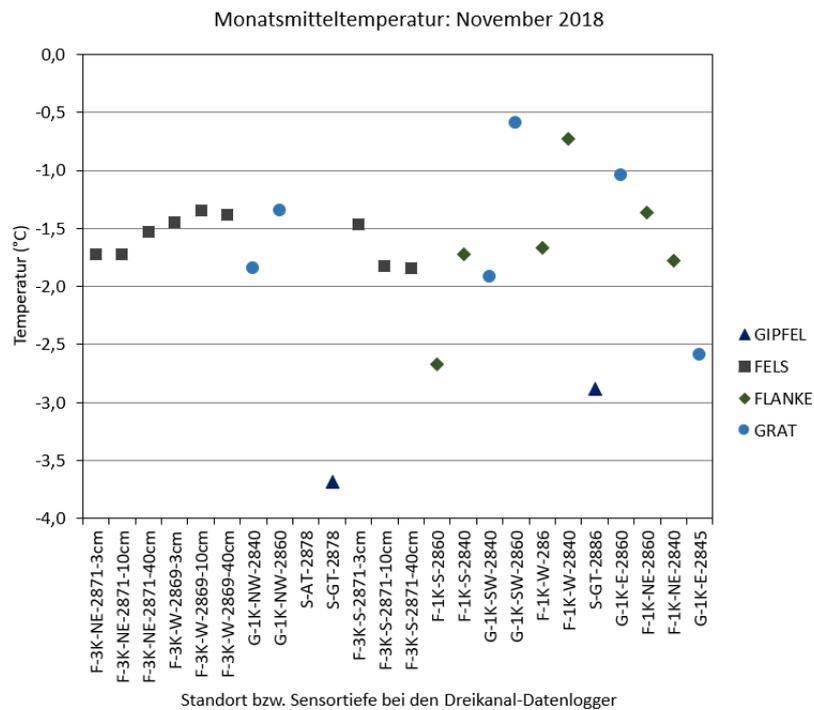


Abbildung 16: Monatsmitteltemperatur für den November 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorkogel.

Monatsmitteltemperatur – Dezember 2018

Abbildung 17 zeigt die Monatsmittelwerte für den Dezember 2018. Auch in diesem Monat wurden an allen Standorten negative Monatsmittelwerte gemessen. Die höchsten Temperaturen gab es wiederum im Bereich des SW-Grates bzw. an den S-exponierten Flankenstandorten mit -1,0°C. Die meisten Standorte wiesen Monatsmittelwerte zwischen -2,0 und -6,5°C auf. Die bei weitem tiefsten Temperaturen wurden an den beiden Gipfelstandorten mit -7,9 und -9,3°C registriert. Dies ergibt für den Dezember 2018 einen Unterschied von 8,3 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort. Dies ist der bisher bei weitem höchste Wert und dieser ist durch die räumlich variable Schneedecke im Dezember bedingt.

Monatsmitteltemperatur – Jänner 2019

Abbildung 18 zeigt die Monatsmittelwerte für den Jänner 2019. Gleich wie in den beiden Vormonaten wurden an allen Standorten negative Monatsmittelwerte registriert. Die höchsten Temperaturen gab es wiederum im Bereich des SW-Grates bzw. an den S-exponierten Flankenstandorten mit -1,0°C. Die meisten Standorte wiesen Monatsmittelwerte zwischen -2,0 und -4,4°C auf. Die bei weitem tiefsten Temperaturen wurden wiederum an den beiden Gipfelstandorten mit -12,4 und -12,9°C registriert. Dies ergibt für den Jänner 2019 einen – im Vergleich zum Dezember – noch höheren Unterschied von 11,9 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort. Diese großen Unterschiede sind wiederum auch durch die räumlich variable Schneedecke zu erklären.

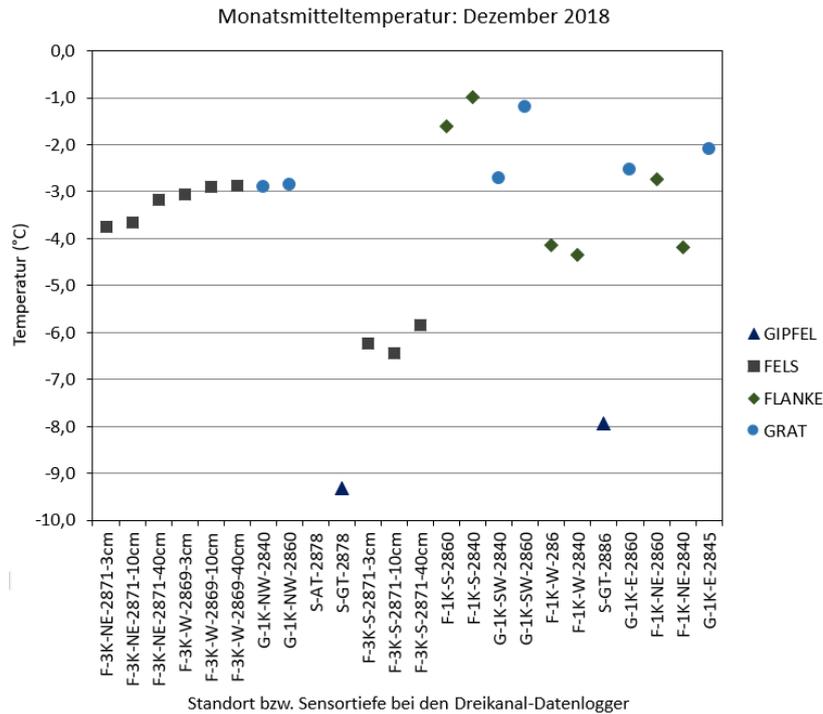


Abbildung 17: Monatsmitteltemperatur für den Dezember 2018 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorkogel.

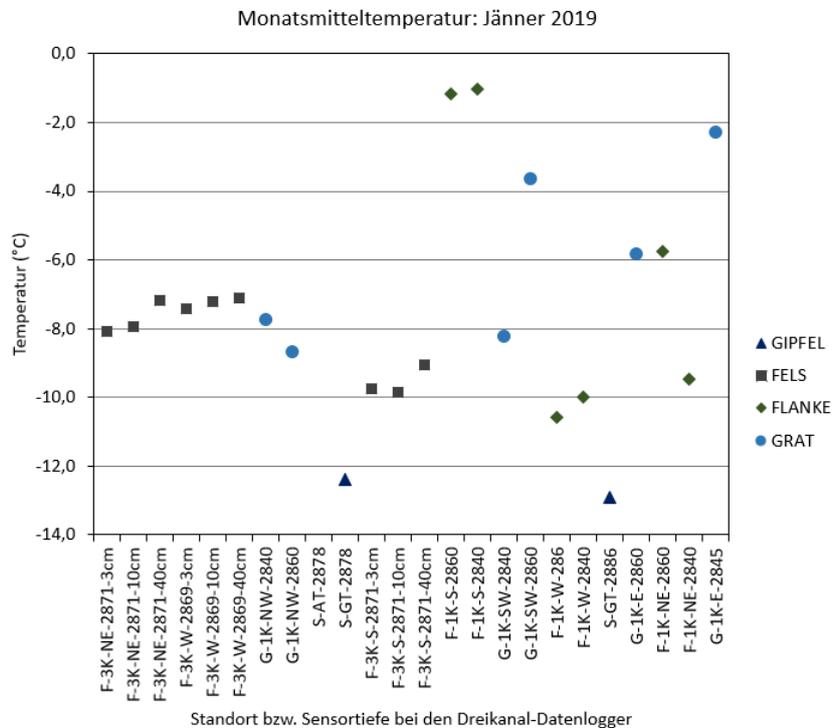


Abbildung 18: Monatsmitteltemperatur für den Jänner 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorkogel.



Monatsmitteltemperatur – Februar 2019

Abbildung 19 zeigt die Monatsmittelwerte für den Februar 2019. An allen Standorten wurden wiederum negative Monatsmittelwerte registriert. Die höchsten Temperaturen gab es an den S-exponierten Flankenstandorten mit Werten zwischen -0,6 und -1,2°C. Relativ hohe Temperaturen wurden auch am S-exponierten Felsstandort gemessen. An 14 Sensoren ergaben sich Monatsmittelwerte von unter -6°C auf, wobei die tiefste Temperatur wiederum im Gipfelbereich mit -9,5°C gemessen wurde. Dies ergibt für den Februar 2019 einen – im Vergleich zum Jänner – etwas geringeren Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von 8,9 K. Auch in diesem Monat hatte die räumlich variable Schneedecke einen wichtigen Einfluss auf die gemessenen Unterschiede.

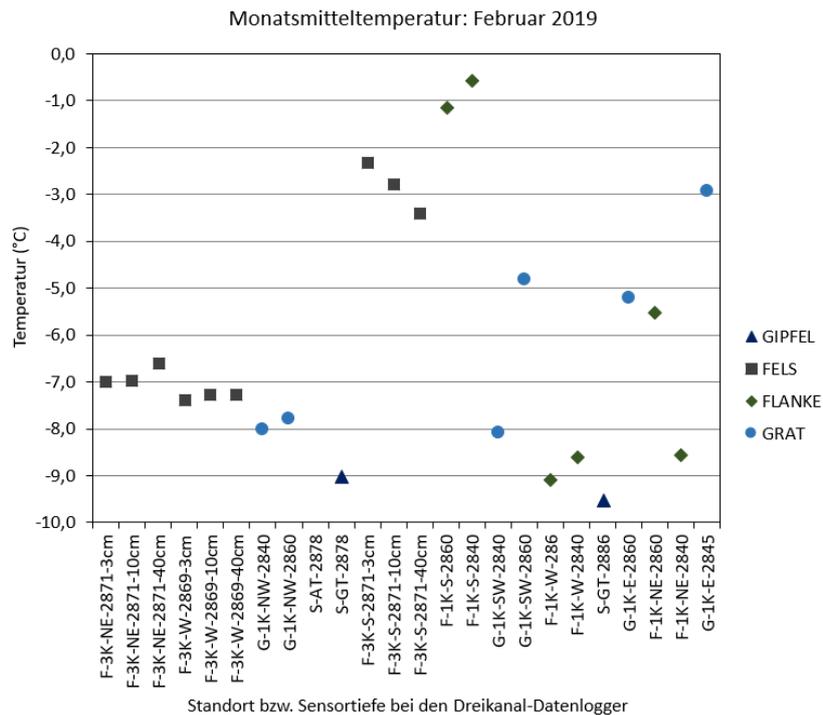


Abbildung 19: Monatsmitteltemperatur für den Februar 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagsschaden) am Inneren Knorrkogel.

Monatsmitteltemperatur – März 2019

Abbildung 20 zeigt die Monatsmittelwerte für den März 2019. An allen Standorten bzw. Sensoren wurden gerade noch negative Monatsmittelwerte gemessen, wobei die wärmste Monatsmitteltemperatur nur mehr bei -0,1°C lag. Die höchsten Temperaturen wurden wiederum an den beiden S-exponierten Flankenstandorten mit Werten zwischen -0,1 und -0,8°C erreicht. Der tiefste Monatsmittelwert wurde im März 2019 nicht im Gipfelbereich, sondern am SW Grat mit -7,9°C registriert, wobei jedoch die beiden Gipfelstandorte sowie zwei Flankenstandorte ähnlich tiefe Werte aufwiesen. Dies ergibt für den März 2019 einen – im Vergleich zum Februar – ähnlichen Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von 7,8 K. Auch im März hatte die räumlich variable Schneedecke einen wichtigen Einfluss auf gemessene thermische Unterschiede.

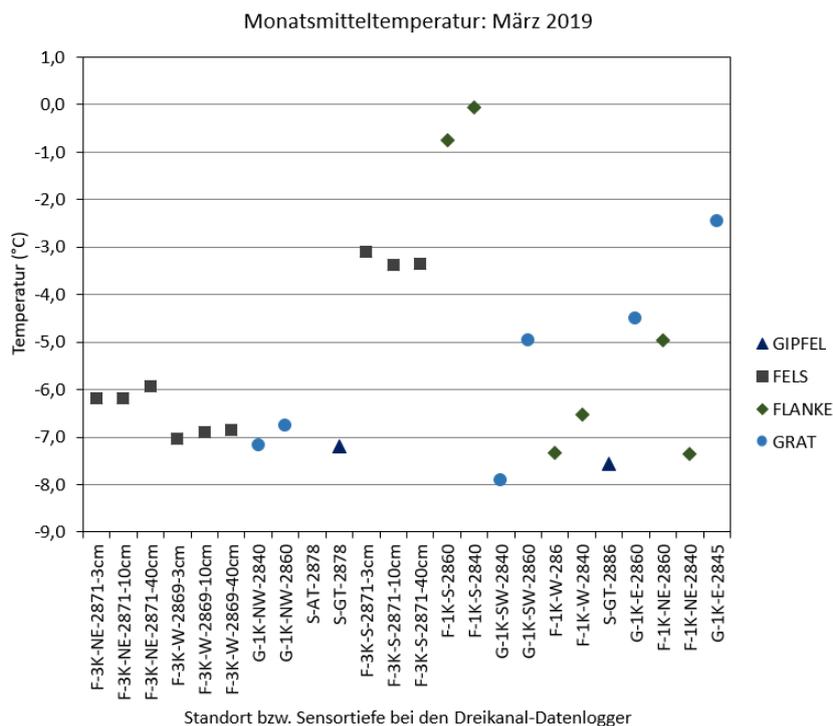


Abbildung 20: Monatsmitteltemperatur für den März 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.

Monatsmitteltemperatur – April 2019

Abbildung 21 zeigt die Monatsmittelwerte für den April 2019. Der wärmste Standort war in diesem Monat mit 0,0°C Monatsmittel im Bereich der S-exponierten Flanke zu finden. Ähnlich warm war der S-exponierte Felsstandort mit Werten zwischen zwischen -0,3 bis -0,6°C. Die meisten Monatsmittelwerte lagen im Bereich zwischen -2,0 und -6,0°C. Der tiefste Monatsmittelwert wurde im April 2019 wiederum nicht im Gipfelbereich, sondern am SW Grat mit -6,9°C registriert. Die beiden Gipfelstandorte waren ähnlich warm mit in etwa -3°C. Dies ergibt für den April 2019 einen – im Vergleich zum März – ähnlichen Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von 6,9 K. Die räumlich variable Schneedecke beeinflusste weiterhin thermale Unterschiede der Sensoren.

Monatsmitteltemperatur – Mai 2019

Abbildung 22 zeigt die Monatsmittelwerte für den Mai 2019. Der wärmste Standort war in diesem Monat gleich wie im April mit 0,0°C Monatsmittel im Bereich der S-exponierten Flanke zu finden. Ähnlich warm war wiederum der S-exponierte Felsstandort mit Werten zwischen zwischen -0,4 bis -1,0°C. Die meisten Monatsmittelwerte lagen im Bereich zwischen -1,5 und -4,0°C. Der tiefste Monatsmittelwert wurde im Mai 2019 am NW-Grat sowie am SW-Grat (-5,4°C) gemessen. Die beiden Gipfelstandorte waren im Mai etwas kühler als im April. Dies ergibt für den Mai 2019 einen – im Vergleich zum April – wiederum ähnlichen, wenn auch geringeren Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von 5,3 K. Die räumlich variable Schneedecke beeinflusste auch noch im Mai thermale Unterschiede der Sensoren.



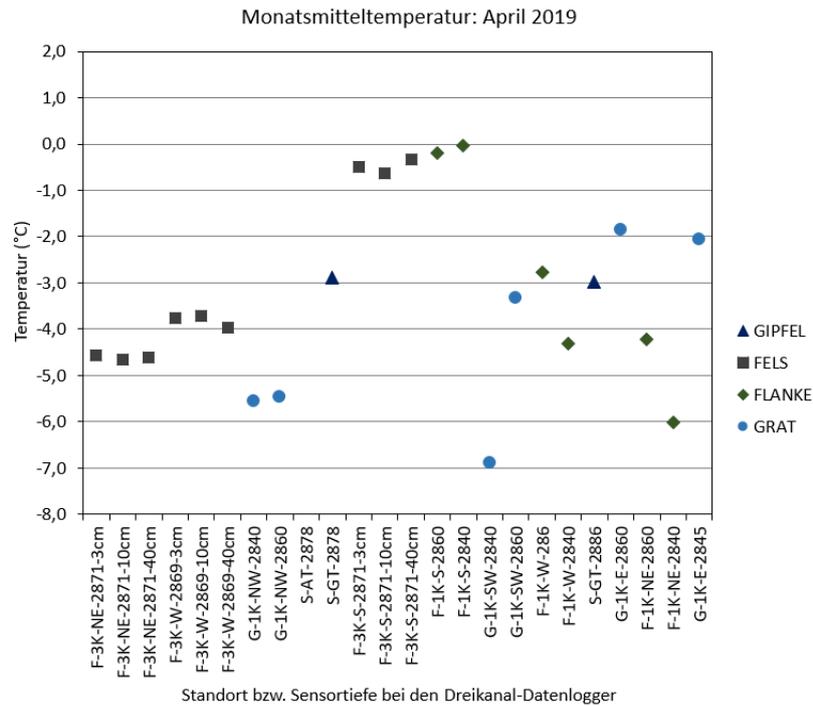


Abbildung 21: Monatsmitteltemperatur für den April 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.

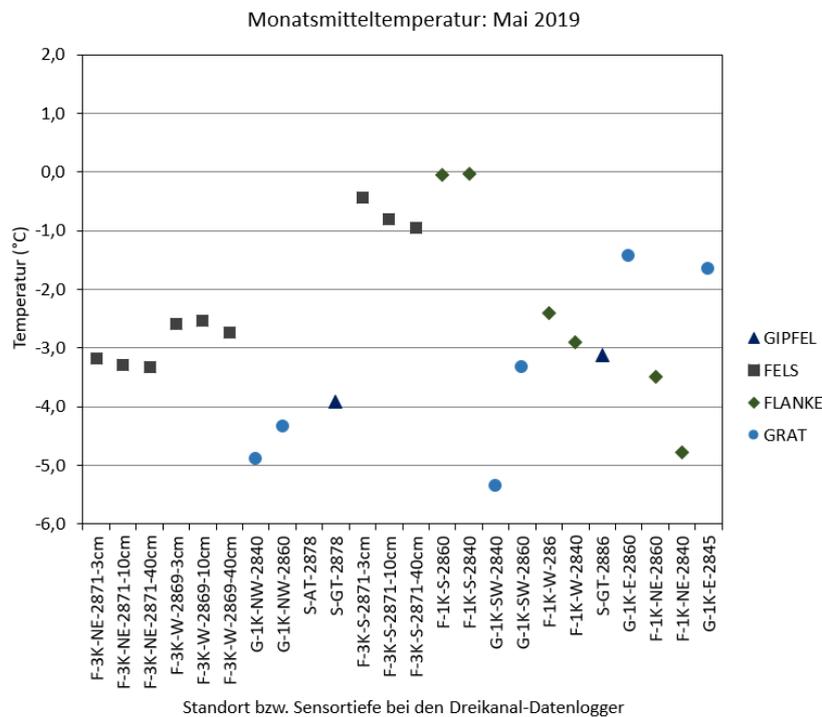


Abbildung 22: Monatsmitteltemperatur für den Mai 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.



Monatsmitteltemperatur – Juni 2019

Abbildung 23 zeigt die Monatsmittelwerte für den Juni 2019. In diesem Monat waren einige Standorte bzw. Sensoren ähnlich warm mit Werten zwischen 9,7°C (Felsstandort W-exponiert) und 7,9°C (Felsstandort S-exponiert). Bis auf einem Standort wurden überall positive Monatsmittelwerte registriert, die zwischen 2°C und den genannten 9,7°C lagen. Dies weist auf das weitgehende Fehlen einer isolierenden Schneedecke, bedingt durch den raschen Schneedeckenabbau in diesem Monat, hin. Dies ergibt für den Juni 2019 einen – im Vergleich zum Mai – deutlich höheren Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von 11,0 K. Dies ist ein ähnlich hoher Wert wie im Jänner 2019.

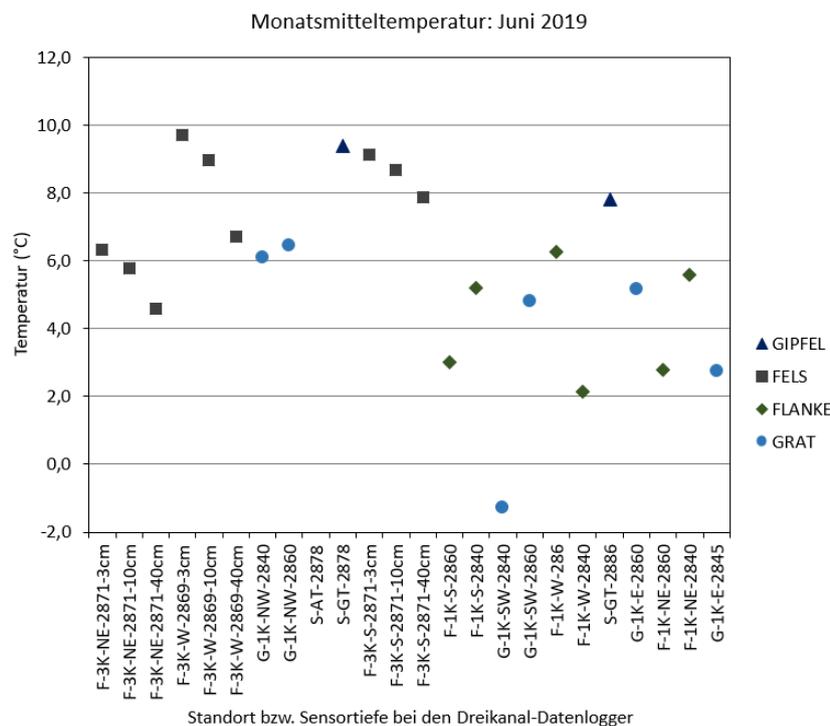


Abbildung 23: Monatsmitteltemperatur für den Juni 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.

Monatsmitteltemperatur – Juli 2019

Abbildung 24 zeigt die Monatsmittelwerte für den Juli 2019. In diesem Monat wurden an keinem Standort mehr negative Monatsmittelwerte gemessen. Der wärmste Standort mit 9,9°C im Monatsmittel war einer der beiden Gipfelstandorte. Dieser war um fast 1 K wärmer als der zweitwärmste Standort. Einen „deutlich“ kältesten Standort gab es im Juli 2019 nicht, da mehrere Standorte ähnlich tiefe Monatsmittelwerte von zwischen 6,3°C (W-exponierte Flanke) und 6,8°C aufwiesen. Dies ergibt für den Juli 2019 einen – im Vergleich zum Juni – deutlich geringeren Unterschied von nur mehr 3,5 K (ähnlich den August und September 2018-Werten) zwischen dem wärmsten und kältesten Standort.

Monatsmitteltemperatur – August 2019 (01. 08. 2019-17. 08. 2019)

Abbildung 25 zeigt die Monatsmittelwerte für den August 2019. Hier ist wiederum zu betonen, dass dieser Mittelwert bedingt durch die Datenverfügbarkeit nur aus den Tageswerten der Periode 1. bis 17. August ermittelt wurde. In diesem Monat wurden die höchsten Temperaturen im Gipfelbereich (8°C) sowie am SW-exponierten Grat (8,2°C) registriert. Die gemessenen Werte aller anderen Standorte waren mit Werten zwischen 7,6°C und 5,9°C relativ ähnlich. Ähnliche tiefe Temperaturen wiesen manche Grat-, Flanken- und Felsstandorte mit Werten um die 6,0°C auf, wobei die tiefste Temperatur am NE-exponierten Felsstandort in einer Tiefe von 40 cm (5,9°C) gemessen wurde. Dies ergibt für den August 2019 einen Unterschied von nur 2,2 K zwischen dem wärmsten und kältesten Standort, was den geringsten Unterschied im Messjahr 2018/19 darstellt.

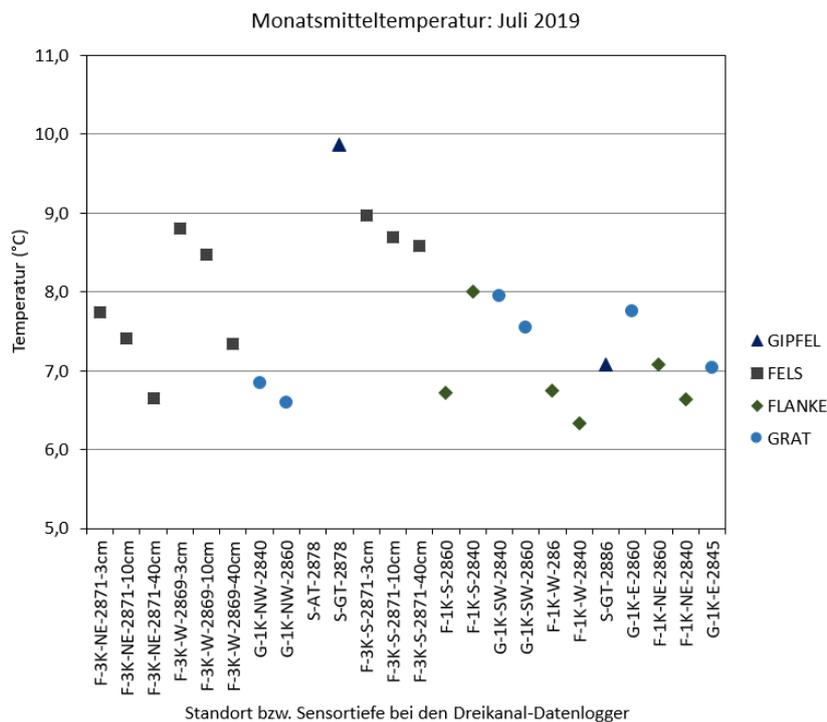


Abbildung 24: Monatsmitteltemperatur für den Juli 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagsschaden) am Inneren Knorrkogel.

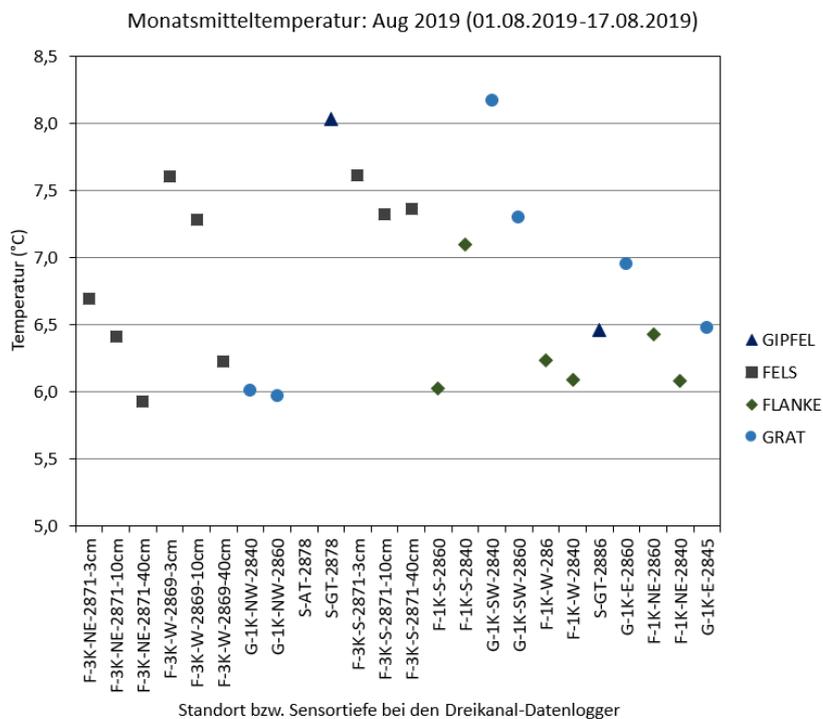


Abbildung 25: Monatsmitteltemperatur für den August 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagsschaden) am Inneren Knorrkogel. Zu beachten ist, dass für diesen Monat nur die Tagesmittelwerte für den Zeitraum 1. bis 17. August zur Verfügung standen.





Monatsmitteltemperatur – Mittel von August 2018 und August 2019

Abbildung 26 zeigt schließlich die gemittelten Monatsmittelwerte für August 2018 und 2019. Der dadurch ermittelte Wert fließt in die Bestimmung des Jahresmittelwertes (siehe Tabelle 4 plus Abbildung 12) ein. Dies ist methodisch dadurch zu begründen, dass mit diesem Ansatz zum einen die zweite, tendenziell kühlere Augushälfte 2018 und zum anderen die erste, tendenziell wärmere Augushälfte 2019 in die Mittelwertbildung einfließen. Die Mittelung der beiden Augustwerte ergibt für den wärmsten Standort (SW-Grat auf 2840 m) einen Wert von 8,2°C. Knapp dahinter liegt einer der beiden Gipfelstandorte mit 8,1°C. Der tiefste Wert wurde für einen Standort am NW-Grat mit 5,6°C ermittelt, wobei dieser Standort nur wenig kühler war als einige andere Grat-, Flanken- und Felsstandorte war. Dies ergibt somit für den gemittelten August 2018/2019 einen Unterschied zwischen dem wärmsten und kältesten Standort von nur 2,6 K.

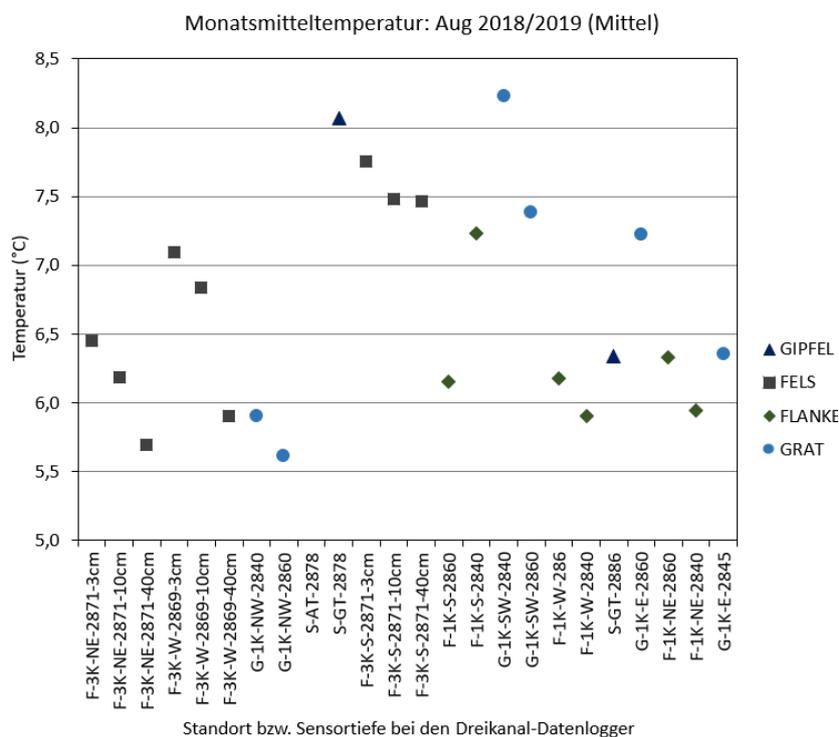


Abbildung 26: Mittel der beiden August-Monatsmitteltemperaturen von 2018 und 2019 an/nah der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.



Interpretation und Diskussion

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist vorwegzuschicken, dass diese selbstverständlich erst den Beginn eines Monitorings darstellen und in zeitlicher Hinsicht keine Aussagen erlauben, die über den Untersuchungszeitraum hinausreichen. Einzig und allein die Tatsache, dass an 11 Messstandorten – bzw. an 15 Sensoren (2 Felsstandorte mit jeweils drei Sensoren in Tiefen von 3, 10 und 40 cm) – negative Jahresmitteltemperaturen registriert wurden, kann als vergleichsweise sicherer Hinweis darauf gelten, dass der bislang messtechnisch noch nicht in seiner Existenz verifizierte Permafrost an der Gipfelkalotte des Inneren Knorrkogels tatsächlich existiert, so wie dies entsprechende Modellierungsergebnissen und die Beobachtung indirekter Hinweise (Vegetationsbedeckung und Geländeformen) nahegelegt hatten.

Auffallend ist aber auch, dass die S-exponierten Standorte – dies gilt für den Felsstandort wie auch für die beiden Flankenstandorte – mit Werten zwischen 0,7°C und 1,9°C relative hohe Jahresmittelwerte im ersten Beobachtungsjahr aufwiesen. Dabei ist der Flankenstandort auf 2840 m mit seiner Jahresmitteltemperatur von 1,9°C als besonders ungünstig für Permafrost zu sehen. Relativ hohe Jahresmitteltemperaturen wurden auch im Bereich der Ost- und Südwestgrate mit leicht positiven Temperaturen von 0,3 bis 0,4°C registriert. Die generelle Strahlungsungunst – und folglich Permafrostgunst – ist in den Werten der NE-exponierten Standorte zu erkennen. Die relativ tiefen Werte (z. B. Jänner 2019) für die Gipfelstandorte sind auf die weitgehend fehlende bis wenig wirksame winterliche Schneedecke (bedingt durch Windverfrachtung) im Gipfelbereich zurückzuführen.

Es sind somit trotz der Kürze der Datenreihe die relativen Unterschiede der registrierten Temperaturen zwischen den einzelnen Messstandorten gut interpretierbar. Betrachtet man die registrierten Jahresmitteltemperaturen (Abb. 12), so fällt deren in Anbetracht der geringen Größe der Fläche, über die das Messnetz verteilt ist, beachtliche Spannweite von fast 4 K auf (S-GT-2886: -1,8°C; F-1K-S-2840: +1,9°C). Im Einzelnen erweisen sich die südexponierten Standorte, unabhängig vom Substrat, als besonders warm. Grat- und Gipfelstandorte tendieren zu relativ tiefen Werten, weil diese ganzjährig schneearmen Standorte im Winter gut auskühlen können. Jedoch gibt es hierbei auch Ausnahmen (wie oben angesprochen), was mit lokaler Exposition und/oder Schneedeckenverhältnissen zu tun haben kann. Die schattseitigen Lagen, wozu hier auch die Westflanke des Berges zu rechnen ist, sind erwartungsgemäß kalt, wobei das Substrat eine nur geringe Rolle zu spielen scheint. Insgesamt wird der starke Einfluss der im Einleitungskapitel genannten lokalen Faktoren auf die Temperaturen der Bodenoberfläche eindrucksvoll bestätigt.

Fazit

Die Messergebnisse aus dem ersten Beobachtungsjahr am Permafrostmonitoringstandort Innerer Knorrkogel haben interessante Erkenntnisse erbracht, welche Auswirkungen kleinräumige Unterschiede in der Exposition, im Substrat sowie in der winterlichen Schneedeckendynamik auf thermische Verhältnisse im Untergrund – und dadurch Permafrost – haben. Diese ersten Erkenntnisse zu den Bodentemperaturverhältnissen am Inneren Knorrkogel ergänzen somit auch das seit mehreren Jahren in in den Hohen (seit 2006; Lieb et al. 2016) und Niederen Tauern (seit 2004) laufende Permafrost-Monitoringnetzwerk der Universität Graz sowie der Technischen Universität Graz (Kellerer-Pirklbauer et al. 2019).

Ergebnisse aus den bestehenden Permafrost-Monitoringstandorten in den Hohen und Niederen Tauern zeigen – bedingt durch ihre mittlerweile langen Messreihen – interessante Zusammenhänge wie beispielsweise zwischen Bodentemperatur und Verwitterung (Kellerer-Pirklbauer 2017), Bodentemperatur und Solifluktion (Kellerer-Pirklbauer 2018) oder Bodentemperatur und Blockgletscherbewegung (Kellerer-Pirklbauer & Kaufmann 2017). Solche langen Messreihen sind auch wünschenswert für die thermisch wie auch geomorphologisch sehr interessante Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels.

Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse bestätigen auch die Annahme, dass die thermischen Bedingungen hier in Bezug auf Permafrost grenzwertig sind, weil die Untergrundtemperaturen relativ hoch und an manchen Standorten auch im Jahresmittel positiv sind. Das bedeutet, dass sich das installierte Messnetz in einer für den zukünftig zu erwartendem Anstieg der Permafrost-Untergrenze sensiblen Seehöhe befindet und somit langfristig der messtechnische Nachweis von Permafrost-Degradation (Abbau von Permafrost) erwartet werden darf. Eine langfristige Fortführung des Permafrost-Monitoringprogrammes an diesem Standort wird von Seiten der Autoren dieses Beitrages daher dringend empfohlen.



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte (oben) des Permafrost-Monitoringstandorts Innerer Knorrkogel (mit Gletschern, markanten Gipfeln und Hütten zur Orientierung sowie den zwei Standorten der automatischen Wetterstation Felbertauerntunnel Süd sowie der Oberflächengewässer-Messstation Innerschlöss) und Detailkarte (unten) mit allen 18 Standorten. Karte erstellt von Andreas Kellerer-Pirklbauer; Quellen: Karte oben: Geländemodell Geoland (2019), Gletscherflächen Buckel et al. (2018); Karte unten: Satellitenbild DigitalGlobe.	4
Abbildung 2: Die Oberflächengewässer-Messstation Innerschlöss (HZB-Nr. 212068) am 18. 08. 2019 mit Blick talauswärts. Foto: Andreas Kellerer-Pirklbauer.	5
Abbildung 3: Schneeverteilung am Inneren Knorrkogel am 18. 08. 2019 vom Löbbentörl aus betrachtet. Zu beachten ist, dass im Bereich der Gipfelpyramide (hier zu sehen die Süd- und Westflanken) nur mehr im linken unteren Bildbereich Altschnee anzutreffen war. Foto: Andreas Kellerer-Pirklbauer.	5
Abbildung 4: Auslesen der Datenlogger via Funkschnittstelle (als schwarzer Stift am Foto erkennbar) wie hier beispielhaft gezeigt am Standort G-1K-SW-2860. Foto: Alexander Dorić.....	7
Abbildung 5: Installation eines neuen Temperaturdatenloggers (Code A53A9E) am Standort S-AT-2878. Diese Neuinstallation am 18. 08. 2018 war notwendig, da der von 2018 auf 2019 eingebaute Sensor wahrscheinlich durch Blitzschlag zerstört wurde. Foto: Alexander Dorić.....	8
Abbildung 6: Monatswerte des Niederschlags und der Temperatur im Zeitraum Oktober 2014 bis August 2019 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m).	8
Abbildung 7: Vergleich der Monatsmittelwerte der Temperatur für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 bis 2018/19 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m). Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung rechts alle anderen Jahre in grau dargestellt.	8
Abbildung 8: Vergleich der Monatssummenwerte des Niederschlags für die fünf Gletscherhaushaltsjahre 2016/17 bis 2018/19 an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (1650 m). Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung rechts alle anderen Jahre in grau dargestellt.	9
Abbildung 9: Monatssummen des Abflusses (Q) an der HZB-Station Innerschlöss im Zeitraum 1.10.2014–30.9.2019. Anmerkung: Q = Abflussmenge.....	10
Abbildung 10: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (m ³ /s) an der HZB-Station Innerschlöss im Zeitraum 1. 10. 2014 – 30. 9. 2019.....	10
Abbildung 11: Vergleich der Jahresgänge des Abflusses in den fünf hydrologischen Haushaltsjahren 2016/17 bis 2018/19 an der HZB-Station Innerschlöss. Zur besseren Veranschaulichung des letzten Messjahres wurden in der Abbildung unten alle anderen Jahre in grau dargestellt.....	11
Abbildung 12: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche (Zeitraum 1. 8. bis 31. 7. des Folgejahres) aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel im Messjahr 2017/18. Bei den Dreikanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe installiert.....	13





Abbildung 13: Monatsmitteltemperatur für den August 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel. Zu beachten ist, dass für diesen Monat nur die Tagesmittelwerte für den Zeitraum 18. bis 31. August zur Verfügung standen...	14
Abbildung 14: Monatsmitteltemperatur für den September 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (außer S-AT-2878: Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	15
Abbildung 15: Monatsmitteltemperatur für den Oktober 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	15
Abbildung 16: Monatsmitteltemperatur für den November 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	16
Abbildung 17: Monatsmitteltemperatur für den Dezember 2018 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	17
Abbildung 18: Monatsmitteltemperatur für den Jänner 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	17
Abbildung 19: Monatsmitteltemperatur für den Februar 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	18
Abbildung 20: Monatsmitteltemperatur für den März 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	19
Abbildung 21: Monatsmitteltemperatur für den April 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	20
Abbildung 22: Monatsmitteltemperatur für den Mai 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	20
Abbildung 23: Monatsmitteltemperatur für den Juni 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	21
Abbildung 24: Monatsmitteltemperatur für den Juli 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	22
Abbildung 25: Monatsmitteltemperatur für den August 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel. Zu beachten ist, dass für diesen Monat nur die Tagesmittelwerte für den Zeitraum 1. bis 17. August zur Verfügung standen.	22
Abbildung 26: Mittel der beiden August-Monatsmitteltemperaturen von 2018 und 2019 an/nahe der Bodenoberfläche aller Messstandorte (bis auf S-AT-2878; Blitzschlagschaden) am Inneren Knorrkogel.	23





Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: 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 in diesem Bericht angehängten Dateien betreffend Rohdaten sowie bearbeiteten Daten. Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20191210.csv“ und „bearb_Daten_metadaten_20191210.csv“.....	6
Tabelle 2: Jahreswerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den fünf Messjahren 2014/15 bis 2018/19 (jeweils 1. 10.–30. 9. des Folgejahres) an der Klimastation Felbertauerntunnel Süd (HZB-Nr. 114900).	7
Tabelle 3: Jahresmenge des Abflusses an der Abflussmessstationen Innerschlöss im Zeitraum 1. 10. 2014 bis 30. 9. 2019, bezogen auf die einzelnen Gletscherhaushaltsjahre sowie Monatsminima und Monatsmaxima.....	9
Tabelle 4: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte in der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interne Loggernummer, Tiefe des Sensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) sowie den gemessenen Jahresmittelwerten sowie für jeden Standort und die Temperaturen des wärmsten und kältesten Monat mit entsprechender Angabe der Amplitude	12





Literaturverzeichnis

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

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

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

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

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G. K., 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.

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

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

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.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38030.



Medieninhaber und Herausgeber, Verleger:





Nationalparkrat Hohe Tauern
Kirchplatz 2, 9971 Matri
Tel.: +43 (0) 4875 / 5112 | E-Mail: nationalparkrat@hohetauern.at



www.hohetauern.at