



Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen

Modul 07 – Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost

Bericht 2024-2025

IMPRESSUM

forschungsraum

Bericht 2024-2025 zum Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen: Modul 07
– Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost

Projektleitung:

Andreas KELLERER-PIRKLBAUER, Universität Graz
Arbeitsgruppe "CASCADE – The mountain processes and mountain hazards group", Institut für Geographie und Raumforschung

Für den Inhalt verantwortlich:

Andreas KELLERER-PIRKLBAUER, Gerhard Karl LIEB und Raphael BURTSCHER

Titelbild:

© Andreas KELLERER-PIRKLBAUER: Wartungsarbeiten und Tausch eines Sensors am Standort S-GT-2878 etwas unterhalb und östlich des Gipfels des Inneren Knorrkogels, Venedigergruppe, Osttirol (31.8.2025).

Zitiervorschlag:

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Burtscher R. (2026): Bericht 2024-2025 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 01/26). Forschungsraum.

Weblink: https://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=38558

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

Mit Unterstützung vom BMK

 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Graz, im April 2026



Inhalt

1.	Einleitung	1
2.	Methodik und Datengrundlagen	2
2.1.	Methoden im Bereich Witterung und Klima	2
2.2.	Methoden im Bereich Abfluss	3
2.3.	Methoden im Bereich Gletscherverhalten	4
2.4.	Methoden im Bereich Permafrost	5
3.	Ergebnisse.....	12
3.1.	Ergebnisse Bereich Witterung und Klima 2024/25	12
3.2.	Ergebnisse Bereich Abfluss 2024/25	18
3.3.	Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten 2024/25	24
3.4.	Ergebnisse Bereich Permafrost 2024/25.....	29
4.	Diskussion.....	51
5.	Fazit mit Ausblick	53
	Literaturverzeichnis.....	55
	Abbildungsverzeichnis	59
	Tabellenverzeichnis	63



1. Einleitung

In diesem Bericht zum Modul 07 des Langzeit-Ökosystem-Monitorings im Nationalpark Hohe Tauern werden die im ersten Bericht (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2017) festgelegten abiotischen Faktoren bzw. Prozesse (Witterung/Klima, Abfluss, Gletscherverhalten und Permafrost) für das Berichtsjahr 2024/25 ausgewertet und interpretiert. Als „Berichtsjahr“ gilt das glaziologische Haushaltsjahr 2024/25, das den Zeitraum 01.10.2024 bis 30.09.2025 umfasst. Nur in Ausnahmefällen weichen die im Bericht verwendeten Einjahres-Zeitperioden von diesem Zeitraum ab, etwa für das Permafrostmonitoring, da die alljährlichen Geländekampagnen witterungs- und organisationsbedingt im August bis Anfang September durchgeführt werden. Dieser Bericht ergänzt somit den Zwischenbericht von 2020 (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2020), der auf die Permafrost- und Bodentemperatur-Bedingungen an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels in der Venedigergruppe (Osttirol) in den beiden Beobachtungsjahren 2018/19 und 2019/20 fokussierte, sowie die weiteren jährlich vorgelegten Berichte zwischen 2021 und 2025 (Kellerer-Pirklbauer & Lieb 2021, 2022, Kellerer-Pirklbauer et al. 2023, 2024a, 2025a), die alle im Modul 07 behandelten abiotischen Faktoren bzw. Prozesse in den fünf Haushaltsjahren zwischen 2019/20 und 2023/24 zum Inhalt hatten. An ausgewählten Stellen werden in diesem Bericht Ergebnisse der Auswertungen für die Periode 2024/25 mit den entsprechenden Daten der Jahre zuvor verglichen, um die aktuellen Ergebnisse in einen längeren zeitlichen Kontext zu bringen.

Ziel dieses Berichts ist es, einerseits auf der Maßstabsebene des gesamten Nationalparks Hohe Tauern und andererseits und etwas detaillierter auf jener der drei Flusseinzugsgebiete (Seebach in Kärnten, Untersulzbach in Salzburg, Gschlössbach in Osttirol) valide Aussagen zu den Veränderungen der abiotischen Faktoren Witterung, Abfluss, Gletscher und Permafrost für das Berichtsjahr 2024/25 zu treffen. Für diese drei untersuchten Einzugsgebiete liegen 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 2018 im Einzugsgebiet Innergschlöss (Messgebiet Innerer Knorrkogel). Weitere Daten zum Permafrost im Nationalpark Hohe Tauern wurden durch andere Monitoringprogramme erhoben, die zu einem großen Teil auch von den Zwischenberichtslegern und/oder ihren Kooperationspartnern – wie z. B. der TU Graz oder der GeoSphere Austria – betrieben werden. Ähnliches gilt für Massenbilanzmessungen an ausgewählten Gletschern im Nationalparkgebiet. Die Daten zum Faktor Witterung/Klima stammen nicht aus den Einzugsgebieten (Gründe hierzu siehe Lieb et al. 2019) selbst, stattdessen wird auf nahe gelegene Stationen der GeoSphere Austria und der Hydrographischen Landesdienste der drei Bundesländer Kärnten, Tirol und Salzburg zurückgegriffen. Für eine detaillierte Beschreibung der Einzugsgebiete wird auf den ersten Teil des Syntheseberichtes verwiesen (Lieb et al. 2019).

2. Methodik und Datengrundlagen

Für allgemeine Hinweise zur Methodik in diesem Modul wird auf Kellerer-Pirklbauer & Lieb (2019b, 2025) verwiesen.

2.1. Methoden im Bereich Witterung und Klima

Die Witterungsbeschreibung für die Messperiode 2024/25, die im Ergebnisteil präsentiert wird, beruht auf eigenen Beobachtungen sowie auf der Interpretation der von der GeoSphere Austria verfügbar gemachten Daten und Analysen. Witterungs- bzw. klimarelevante Daten aus dem Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für den Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025 wurden in gewohnter Weise von Stationen der GeoSphere Austria 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 GeoSphere Austria. Folgendes ist zu dieser Tabelle anzumerken: Synnr. ist die GeoSphere Austria-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 GeoSphere Austria können für das gegenständliche Projekt kostenfrei verwendet werden, wobei der Zugriff über den Datahub der GeoSphere Austria (<https://data.hub.geosphere.at>) sowie über die HISTALP (Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region)-Webseite erfolgte (<https://www.zamg.ac.at/histalp>).

Tabelle 1: TAWES-Stationen der GeoSphere Austria, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des jeweiligen Beginns der verfügbaren Datenreihe. 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 meteorologischen Stationen verwendet, die in Tabelle 2 aufgelistet sind. Hierzu folgende Anmerkungen: 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 wiederum von allen drei Ämtern, dass es sich bei den übermittelten Daten um auf Plausibilität vorgeprüfte Rohdaten handelt, die sich bei der Jahrbuchsbearbeitung eventuell noch ändern können. Weiters wurde von allen drei Dienststellen angemerkt, dass eine Weitergabe der Daten an Dritte nicht gestattet sei. An den beiden Messstationen Neukirchen und Bramberg gibt es keine Lufttemperaturaufzeichnungen.

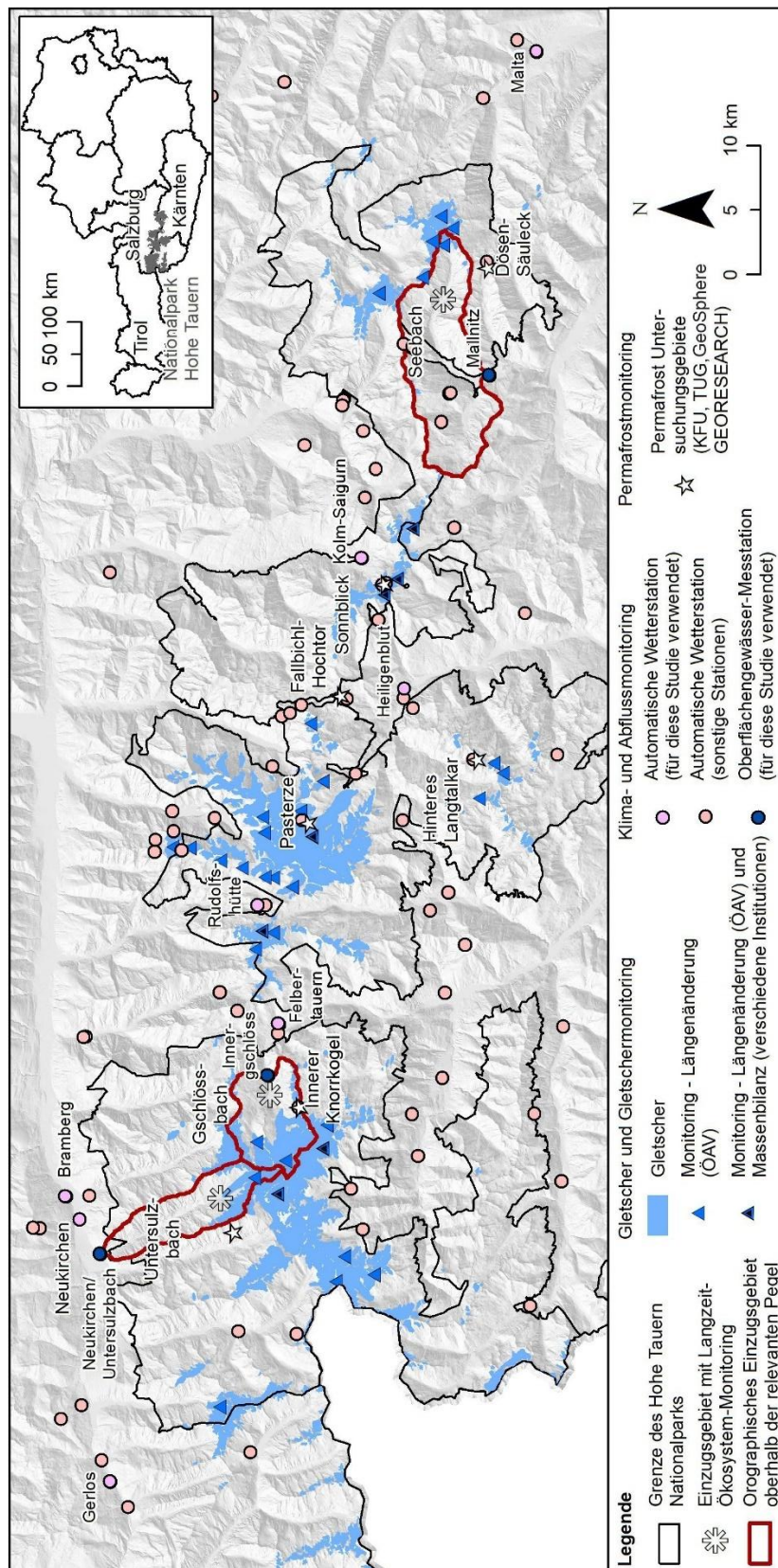


Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystemmonitoring sowie Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (GeoSphere Austria- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher sowie der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (hierzu Lieb et al. 2019), verortet. HZB=Hydrographisches Zentralbüro, KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, TUG=Technische Universität Graz, GeoSphere=GeoSphere Austria (bis 31.12.2022 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik/ZAMG).

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 01.-31.03.2019. (2) nur Niederschlagsdaten (keine Temperaturaufzeichnung). *Vereinfacht in weiterer Folge nur als „Felbertauern“ bezeichnet.

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 im 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 2024/25: Ende September 2025) reichen, sondern viele Monate oder sogar wenige Jahre zuvor enden. Diese mangelnde Aktualität der Datenreihen ist in der Regel dadurch zu erklären, 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 01.10.2024–30.09.2025 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 in km²; 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: Lukas Braunwieser, lukas.braunwieser@tirol.gv.at). Laut Information der drei Hydrographischen Landesdienste handelt es sich auch bei den Abflussdaten der jüngeren Vergangenheit um nur vorläufig gültige, vom Hydrographischen Zentralbüro in Wien noch nicht bestätigte Daten. Schließlich gilt auch für die hydrologischen 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. Koordinaten sind als geographische Koordinaten sowie in BMN – M31 (EPSG 31258) als Rechtswert (RW) und Hochwert (HW) angegeben. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.

Stationsname	Synnr.	Lon [°]	Lat [°]	RW [m]	HW [m]	Höhe [m]	o. Ezg. [km ²]	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 im Bereich Gletscherverhalten

(a) Längenänderung

Im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern sind derzeit 38 Gletscher im Monitoring-Programm des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) erfasst (Abb. 1). Zwei weitere Gletscher liegen etwas außerhalb des Nationalparkgebietes (Schmiedingerkees und Östl. Wurten-/Schareckkees). Die meisten der in Summe 40 zumeist jährlich beobachteten Gletscher liegen in der Glocknergruppe (14), gefolgt von der Venedigergruppe (9), der Ankogelgruppe (6), der Granatspitzgruppe sowie der Goldberggruppe (jeweils 4) und der Schobergruppe (3). Die wesentlichste Änderung im Projektzeitraum 2024/25 betraf die Aufgabe von einem Gletscher in der Granatspitzgruppe. Das Landeckkees wurde im Jahr 2024 das letzte Mal besucht und die Distanzen zum neuen Gletscherrand oberhalb einer Felsstufe gemessen. Da zum Messzeitpunkt im Jahr 2024 unterhalb der Felsstufe noch Gletschereis lag, repräsentiert der damals für 2023/24 mitgeteilte Wert von -281,3 m keinen realen Rückzug und blieb für die Mittelbildung unberücksichtigt. Für einige weitere Gletscher lagen im Messjahr 2023/24 – zumeist witterungsbedingt – keine oder nur eingeschränkt gültige quantitativen Werte zur Längenänderung vor (Obersulzbach-, Umbal-, Frosnitz-, Schlaten-, Venediger-, Schmiedlinger-, Winkel- und Westliches Trippkees). Im Sommer/Herbst 2025 konnten die meisten dieser Gletscher wieder vermessen werden. Somit liegen für die folgenden fünf Gletscher immerhin Zweijahreswerte für 2023 bis 2025 vor: Umbal-, Frosnitz-, Venediger-, Schmiedinger- und Westliches Trippkees. Bei Obersulzbach-, Schlaten- und Venedigerkees konnte die Veränderung zumindest wieder auf Basis von Fotovergleichen plausibel abgeschätzt werden (alle diese Gletscher im Rückzug). Für das Winkelkees kann für 2024/25 keine Aussage getätigt werden, da die Geländearbeit an diesem Gletscher zu früh erfolgte, um eine valide Aussage tätigen zu können. Sämtliche Daten zu den Längenänderungen der Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern (sowie die beiden in nächster Nähe) sind dem aktuellen Gletscherbericht des ÖAV entnommen, für den zwei der drei Autoren dieses Berichts die Verantwortung tragen (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2026). Eine detaillierte Auflistung der berücksichtigten Gletscher findet sich im Ergebnisteil dieser Arbeit (Kap. 3.3.).

Auf der Ebene der drei für das Langzeitmonitoring relevanten Flusseinzugsgebiete bietet das aktuelle Beobachtungsnetz des ÖAV-Gletschermessdienstes den Vorteil, dass der jeweils größte Gletscher darin jährlich beobachtet oder vermessen wird. Diese sind das Winkelkees für das Seebachtal, das Untersulzbachkees für das Untersulzbachtal sowie das Schlatenkees für das Innergschlöss. Jedoch ist das Messprogramm am Winkelkees aufgrund der erheblichen Steinschlag- und Eissturzfaher in den Sommermonaten und der damit in Zusammenhang stehenden potenziellen Exponiertheit des Messteams unter der Leitung von Jörg Färber und Martin Rößler gegenüber alpinen Naturgefahren aktuell ausgesetzt. Seit Sommer 2022 konnte aber nach Anlage eines neuen Fotostandpunktes auf der Schneewinkelspitze (3016 m) das Winkelkees in Form der photographischen Beobachtung seiner Längenänderung wieder in das ÖAV-Messprogramm aufgenommen werden. Jedoch war im Sommer 2024 der Besuch dieses Fotopunktes aus Witterungsgründen unmöglich, ähnliches gilt für den Sommer 2025. Auch am Schlatenkees sind aktuell nur Fotovergleichsbestimmungen möglich, weil der Gletscher in einem proglazialen See bzw. im Felsstufenbereich endet.

Wie in Lieb et al. (2019) dargelegt, hängt die Anzahl tatsächlich vermessener Gletscher in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren von verschiedenen Faktoren ab. Einschränkungen ergeben sich beispielsweise aus der Zugänglichkeit in den jeweiligen Jahren (z. B. durch Witterungseinflüsse oder die Bildung von Wasserflächen am Gletscherende) oder aus einer möglichen Schneebedeckung der Gletscherstirn infolge einer spät abtauenden Altschneedecke. Für das Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 liegen Längenänderungswerte von 31 Gletschern vor (im Vorjahr waren es 32). Für sieben weitere Gletscher konnten auf Basis von Zweijahreswerten oder Fotovergleichen zumindest Tendenzen der Längenänderung festgestellt werden (Frosnitz-, Obersulzbach-, Schlaten-, Schmiedinger-, Umbal-, Venediger- und Westliches Trippkees). Weitere Details zu den Ergebnissen dieses und der vorherigen Jahre finden sich in Lieb & Kellerer-Pirklbauer (2021 bis 2026).

(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 werden 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 GeoSphere Austria gefördert.

Die Daten des Bilanzjahres 2024/25 wurden alle von der Datenbank des World Glacier Monitoring Service (WGMS 2026) bezogen (Kontakt: Isabelle Gärtner-Roer, WGMS Science Officer, Universität Zürich, isabelle.roer@geo.uzh.ch). Die Massenbilanzergebnisse der letzten Jahre sind teilweise auch publiziert, z. B. vom Stubacher Sonnblickkees (Zagel et al. 2023, 2025), Venedigerkees (Seiser & Fischer 2022) oder Zettalunitz/Mullwitzkees (Stocker-Waldhuber & Fischer 2022). Eine Besonderheit stellt das Wurtenkees dar, auf welchem die Massenbilanzermittlung im Zweijahresrhythmus erfolgt.

Tabelle 4: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen aktuell Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2026, ergänzt). ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg; HD-Tirol= Hydrographischer Dienst des Landes Tirol; Z_GIS= Fachbereich Geoinformatik, Universität Salzburg. *= Daten für 2024/25 lagen zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht vor.

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

2.4. Methoden im Bereich Permafrost

Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern sowie in Österreich allgemein wird nicht standardisiert von Institutionen durchgeführt, sondern beruht auf einzelnen wissenschaftlich motivierten Initiativen (z.B. Kellerer-Pirklbauer et al. 2015, 2024b). Die darin integrierten Forscherinnen und Forscher betreiben Permafrost-Monitoring kontinuierlich seit den 1990er (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. Einen besonderen Stellenwert nehmen in diesem Zusammenhang die speziell für das gegenständliche Langzeit-Projekt im Jahr 2018 eingerichteten Bodentemperatur- bzw. Permafrost-Messstellen am Inneren Knorrkogel (Venedigergruppe) ein.

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

Für die Darstellung der Bodentemperaturverhältnisse im Nationalpark Hohe Tauern im Messjahr 2024/25 wird wiederum primär auf den im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten erstellten Bericht für diesen Zeitraum verwiesen (Kellerer-Pirklbauer et al. 2026a). Die Ergebnisse sind aufgrund der hohen Anzahl an Messstellen und der unterschiedlichen lokalklimatischen Gegebenheiten auch auf den gesamten Nationalpark übertragbar. Wegen der guten Verteilung dieser Messtellen auf unterschiedliche Expositionen, Höhenlagen, Geländekonfigurationen und Substrate kann eine valide Grundaussage zur thermischen Reaktion des

Permafrostes auf die großräumigen Witterungsverhältnisse im Beobachtungsjahr 2024/25 getroffen werden. Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen fanden in den in Abbildung 1 ersichtlichen Untersuchungsgebieten statt. Abbildung 2 und Tabelle 5 geben eine Übersicht über die Lage und Instrumentierung der in den vier Permafrost-Untersuchungsgebieten in Kärnten gelegenen Messstandorte. In zwei der Gebiete (Dösen-Säuleck, Hinteres Langtalkar-Kögelekar) werden neben den sonst verwendeten Bodentemperatur-Loggern auch je eine automatische Klimastation und vier automatische optische Kameras (je eine im Gebiet Dösen-Säuleck und Pasterze-Burgstall, zwei im Gebiet Hinteres Langtalkar-Kögelekar) betrieben, die bei der Interpretation der Ergebnisse hilfreich sind. Für Einzelheiten zu den Standorten und deren Instrumentierung wird auf den detaillierten Bericht hierzu (Kellerer-Pirklbauer et al. 2026a) verwiesen.

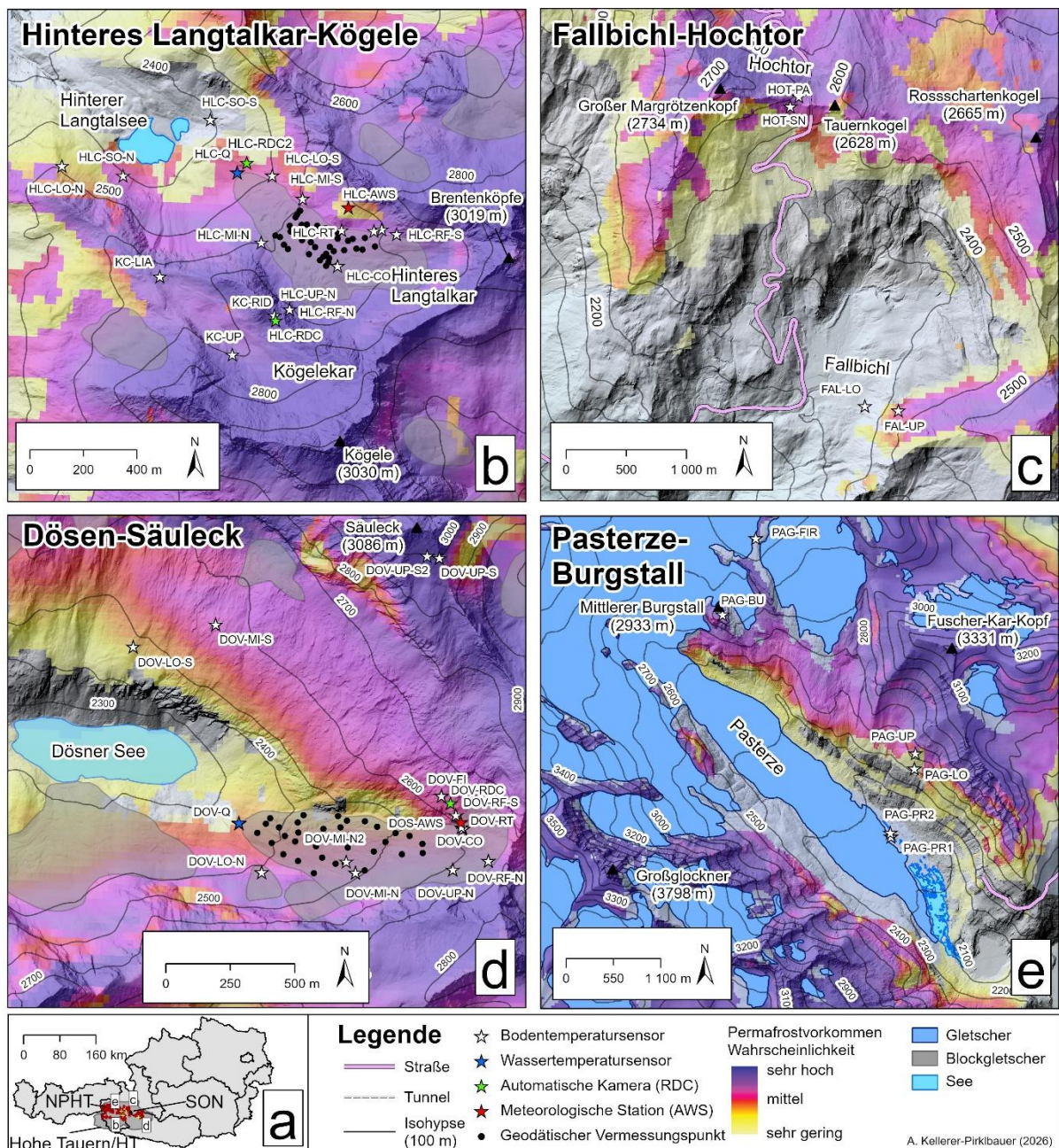


Abbildung 2: Übersichts- (a) und Detailkarten (b-e) der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im (bzw. Fallbichl-Hochtor im Nahbereich vom) Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage nahezu aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind, Stand 2025 (vgl. Tabelle 2). Der Standort DOV-UP-S2 wurde 2024 neu eingerichtet. Am Standort HLC-RF-N wurde 2025 ein zweiter Felsdatenlogger eingebaut (Gletscher- und benachbarte Gletscher nach Buckel et al. 2018).

Tabelle 5: Auflistung der vier Untersuchungsgebiete im (bzw. Fallbichl-Hochtor im Nahbereich vom) Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und deren Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage siehe Abbildung 2. Abbildungen 17 und 19 zeigen Daten bzw. Auswertungen der jeweils grau hinterlegten Sensoren. Codes: HLC = Hinteres Langtalkar-Kögelekar, FAL = Fallbichl, HOT = Hochtor, DOV = Dösen-Säuleck, PAG = Pasterze-Burgstall. Der Code für jeden Standort besteht im Wesentlichen 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 ^(f)	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	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 ^(d)	407668	205647	330899	5206292	2455	320	9	Wasser
KC-UP	407676	204966	330892	5205611	2703	12	28	0, 10, 20
KC-LIA ^{(d)(f)}	407394	205247	330616	5205898	2636	348	8	0
KC-RID	407827	205118	331046	5205759	2769	177	11	0
GOE-PR ^(c)	406099	202925	329272	5203604	2598	90	4	0, 30
FAL-LO	413089	214329	336502	5214856	2250	293	16	0, 10, 75
FAL-UP	413279	214303	336692	5214826	2345	332	26	0, 10, 75
HOT-PA ^(e)	412726	216082	336177	5216616	2580	72	18	0, 10, 60
HOT-SN	412757	216086	336208	5216619	2575	185	10	0
DOV-LO-S	445487	205927	368710	5205768	2489	220	20	0
DOV-MI-S	445803	206025	369028	5205860	2586	213	19	0
DOV-UP-S	446659	206316	369889	5206132	3002	166	33	0
DOV-UP-S2 ^(b)	446633	206334	369864	5206151	3004	180	30	0
DOV-LO-N	446018	205072	369222	5204903	2407	342	22	0
DOV-MI-N	446381	205084	369585	5204907	2501	239	16	0
DOV-MI-N2	446418	205126	369623	5204948	2491	174	8	0
DOV-UP-N	446757	205111	369962	5204926	2626	331	25	0
DOV-RF-S	446761	205322	369970	5205137	2628	206	80	3, 10, 32
DOV-RF-N	446894	205150	370100	5204962	2638	300	90	3, 10, 40
DOV-RT	446791	205270	369999	5205084	2603	255	14	3, 10, 40
DOV-CO ^(a)	446785	205277	369993	5205091	2606	257	5	100, 200, 300
DOV-FI	446703	205395	369914	5205211	2644	213	28	0, 3, 10, 30, 70, 100
DOV-Q	445923	250261	370090	5250074	2334	335	21	Wasser
PAG-LO	404961	216580	328425	5217279	2509	185	25	0
PAG-UP	404965	216760	328433	5217459	2628	220	30	0
PAG-BU	402694	218222	326193	5218969	2932	95	7	0, 10, 55
PAG-PR1	404719	215779	328165	5216484	2078	0 (f)	0	0
PAG-PR2	404710	215824	328158	5216528	2080	0 (f)	0	0, 10, 40
PAG-FIR	403015	219187	326535	5219927	3049	256	7	0

Anmerkungen: (a) Daten vom Sensor in 100 cm Tiefe; (b) 2024 eingerichteter Ersatzstandort DOV-UP-S2; (c) Standort GOE-PR wurde 2015 eingerichtet und liegt 2,6 km SW vom Kögelekar; (d) für 2024/25 kein geschlossener Datensatz (HLC-Q, KC-LIA); (e) HOT-PA war bis 2024 nur HOT; (f) an den beiden Standorten HLC-RF-N (Felsbohrloch mit Messtiefen in 3, 10 und 40 cm) sowie KC-LIA (Messtiefe 0 cm) wurden Ersatzlogger eingerichtet bzw. ausgelegt. Für HLC-RF-N kann ab 2025 unterschieden werden zwischen HLC-RF-N₍₂₀₀₆₎ und HLC-RF-N₍₂₀₂₅₎.

(b) Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Von den im Umfeld des Hohen Sonnblicks (GeoSphere Austria) und am Kitzsteinhorn (Kooperation verschiedener Institutionen und des Seilbahnunternehmens; wissenschaftliche Leitung Firma GEORESEARCH) betriebenen Bohrlöchern werden in diesem Bericht die Messergebnisse des Bohrlochs 3 am Hohen Sonnblick verwendet, da dieses die geschlossenste Datenreihe besitzt und somit eine Kontinuität zu früheren Berichten, welche im Rahmen dieses Langzeit-Projektes verfasst wurden, sicherstellt. Anzumerken ist für 2024/25 zum Bohrloch 3, dass es Anfang September eine mehrtägige Datenlücke gibt (4. bis einschließlich 7.9.). In dieser Periode wurde das Bohrloch geöffnet, um mit einer optischen Kamera Wartungsarbeiten durchzuführen. Claudia Riedl von der GeoSphere Austria wies auch darauf hin, dass das Bohrloch altersbedingt nicht mehr ganz dicht ist und somit prinzipiell Wasser in das Bohrloch selbst eindringen kann, weshalb eine Beeinflussung der Temperaturwerte nicht ausgeschlossen werden kann. Das Bohrloch 3 dürfte inzwischen ziemlich deformiert sein, sodass die Betreiber ein neues Bohrloch mittelfristig für notwendig erachten. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung lagen Datenreihen bis einschließlich 30.09.2025 vor. Von Seiten der GeoSphere Austria wurde auch darauf hingewiesen, dass die uns übermittelten Daten zwar geprüft, aber nicht 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. 2026a). Die den Ausführungen zugrundeliegenden Messungen fanden in den beiden Untersuchungsgebieten Dösen-Säuleck (Döser Blockgletscher) und Hinteres Langtalar-Kögelekar (Hinteres Langtalar Blockgletscher) statt (siehe Abbildung 2).

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

Die Geländearbeiten im Untersuchungsgebiet Innerer Knorrkogel, Venedigergruppe, wurden – wie in den letzten Jahren zumeist auch – im Zeitraum Ende August bis Anfang September, und zwar zwischen 30.08. und 01.09.2025, durchgeführt. Nach der Anreise ins Innerschlöss erfolgte die eigentliche Geländearbeit am Inneren Knorrkogel am 31.08.2025 und die Abreise aus dem Gebiet am 01.09.2025. Bedingt durch die nahezu vollständige Schneefreiheit im gesamten Untersuchungsgebiet sowie die guten Witterungsbedingungen konnten die Geländearbeiten – wie in den Vorjahren – problemlos durchgeführt werden. Zuletzt gab es bei der Geländekampagne 2021 im größeren Umfang Schnee, der die Arbeiten erschwerte. Abbildung 3 zeigt die Schneeverhältnisse im Bereich der Gipfelpyramide an den Geländeterminen im Jahr 2021 (relativ schneereich), 2023 (einige größere Schneeflecken), 2024 und 2025 (beide Male nahezu komplett schneefrei). Schneefreie Bedingungen, wie sie auch Abbildung 4 zeigt, erleichtern die Geländearbeit, wirken sich aber negativ auf den Permafrost aus. Der Auf- und Abstieg zum bzw. vom Arbeitsgebiet erfolgte wie in den Vorjahren vom Innerschlöss übers Löbbentörl. Die Geländearbeit selbst konnte bei optimaler Witterung zeiteffizient an einem langen Arbeitstag mit Besuch aller 18 Standorte durchgeführt werden. Kein Standort lag im Jahr 2025 unter Schnee.

Die einzelnen Messtandorte wurden im Jahr 2025 in der in Tabelle 6 aufgelisteten Abfolge der Nummerierung in der Spalte „Dateibezeichnung Rohdaten“ aufgesucht. Diese Abfolge ergibt sich aus einer möglichst zeiteffizienten Durchführung der Geländearbeit entlang einer möglichst kurzen Route. An allen bis auf einen Standort wurden via Funkverbindung die Temperaturdaten von den jeweiligen Datenloggern auf den Computer übertragen und als csv-Datei abgespeichert (Tabelle 6). Einzig am Lufttemperaturmessstandort S-AT-2878 gab es erneut einen kompletten Datenausfall zu beklagen. Der dort erst im Vorjahr installierte Datenlogger A50354 war auch nach Batterietausch nicht anzusprechen und dürfte möglicherweise – leider schon wieder und fast schon im jährlichen Rhythmus – einem Blitzschlag zum Opfer gefallen sein. Als nächster Datenlogger wurde hier ein neuer Datenlogger mit dem Code A550FD installiert, in der erneuten Hoffnung, dass dieser endlich auch längere Datenreihen für die Lufttemperatur vom Inneren Knorrkogel liefert.

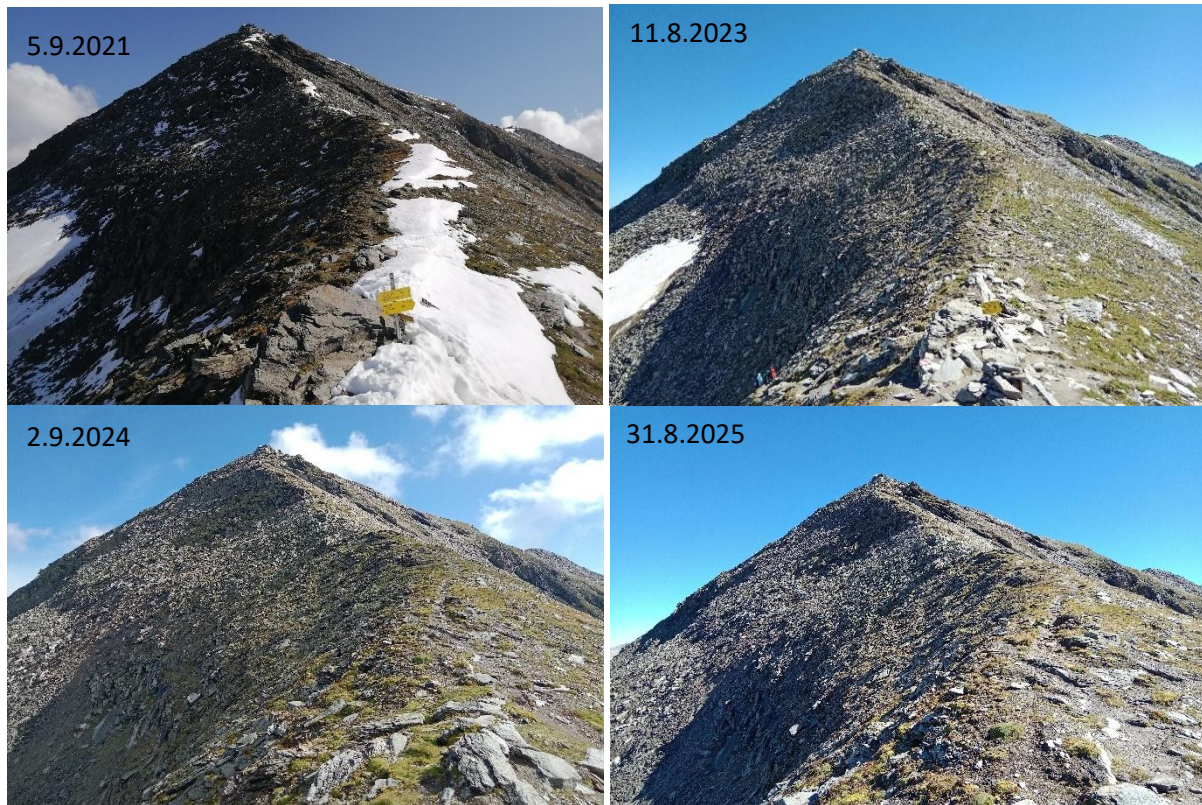


Abbildung 3: Vergleich der Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeiten am 05.09.2021, 11.08.2023, 02.9.2024 sowie am 31.08.2025 im Bereich der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels (hier zu sehen die Süd- und Westflanken), vom Löbbentörl aus betrachtet. Neuschnee war in den höheren Lagen in den Jahren 2021 vielerorts anzutreffen und behinderte an manchen Standorten die Geländearbeiten. 2023 waren nur mehr Reste des Neuschnees, welcher Anfang August 2023 gefallen war, vorhanden. 2024 und 2025 war das Gelände nahezu schneefrei. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer.



Abbildung 4: Blick vom Inneren Knorrkogel nach Osten auf das Karleskees und den Äußerer Knorrkogel (2920 m, rechts oben) am 02.09.2024 und 31.08.2025. Zu beachten ist das weitgehende Fehlen von Schneefeldern (auch auf dem Karleskees) in der Hochgebirgslandschaft der Hohen Tauern in beiden Jahren. Auffallend auch die vielen kleinen Eisberge im proglazialen See sowie der Rückzug des Gletschers zwischen beiden Aufnahmen. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer.



Tabelle 6: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an 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 die vorjährigen Berichte). Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20260325.csv“ und „bearb_daten_metadaten_20260410.csv“.

Code	Log. Nr.	Sensor- tiefe (cm)	Dateibezeichnung Rohdaten	Dateibezeichnung bearbeitete Daten und ggf. Anmerkung
G-1K-SW-2840	A5223B	0	01_R-1K-SW_2840-A5223B_24-25	01-G-1K-SW-2840-A5223B_18-25
F-1K-W-2840	A52220	0	02_F-1K-W-2840-A52220_24-25	02-F-1K-W-2840-A52220_18-25
G-1K-SW-2860	A5223F	0	03_R-1K-SW-2860-A5223F_24-25	03-G-1K-SW-2860-A5223F_18-25
F-1K-W-2860	A52244	0	04_F-1K-W-2860-A52244_24-25	04-F-1K-W-2860-A52244_18-25
F-3K-W-2869	A538B7	3	18_F-3K-W-2869-A538B7_24-25	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-25-3cm
	A538B7	10	18_F-3K-W-2869-A538B7_24-25	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-25-10cm
	A538B7	40	18_F-3K-W-2869-A538B7_24-25	07-F-3K-W-2869-A538B7_18-25-40cm
G-1K-NW-2840	A52223	0	16_R-1K-NW-2840-A52223_24-25	05-G-1K-NW-2840-A52223_18-25
G-1K-NW-2860	A52227	0	17_R-1K-NW-2860-A52227_24-25	06-G-1K-NW-2860-A52227_18-25
F-3K-NE-2871	A538AC	3	19_F-3K-NE-2871-A538AC_24-25	08-F-3K-NE-2871-A538AC_18-25-3cm
	A538AC	10	19_F-3K-NE-2871-A538AC_24-25	08-F-3K-NE-2871-A538AC_18-25-10cm
	A538AC	40	19_F-3K-NE-2871-A538AC_24-25	08-F-3K-NE-2871-A538AC_18-25-40cm
S-GT-2886	A521B7	0	06_S-1K-GT-2886-A521B7_24-25	09-S-GT-2886-A521B7_18-25
F-3K-S-2871	A538B1	3	07_F-3K-S-2871-A538B1_24-25	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-25-3cm
	A538B1	10	07_F-3K-S-2871-A538B1_24-25	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-25-10cm
	A538B1	40	07_F-3K-S-2871-A538B1_24-25	12-F-3K-S-2871-A538B1_18-25-40cm
S-GT-2878	A53A9E (seit 2018) A504F4 (seit 2022)	0	05_S-1K-GT_2878-A504F4_24-25; 11_backup_fuer_GT_2878-A53A9E_24-25*/**	10-S-GT-2878-A52194_A504F4_18-25; <i>Logger A53A9E – am 6.9.2024 war die neue Batterie schon wieder leer, deshalb Daten von A504F4 verwendet</i>
S-AT-2878	A53A9E (2018-22) A52194 (2022-23) A54C51 (2023-24) A50354 (2024-25) A550FD (2025-..)	+200	Keine Lufttemperaturdaten für 2024-25 (Sensor war wieder defekt; trotz neuer Batterie eingebaut im Zuge der Geländearbeit kein Signal (*); eventuell Blitzschlag schon wieder?)	Logger A52194 von 4.9.2022 bis 11.8.2023 (defekt); Logger A54C51 von 11.8.2023 bis 2.9.2024 (defekt); Logger A50354 von 2.9.2024 bis 31.8.2025 (defekt); Logger A550FD seither (der 4. Logger bisher!)
G-1K-E-2860	A521CB	0	12_R-1K-E-2860-A521CB_24-25	13-G-1K-E-2860-A521CB_18-25
G-1K-E-2845	A5222E	0	13_R-1K-E-2845-A5222E_24-25	14-G-1K-E-2845-A5222E_18-25
F-1K-NE-2840	A521A0	0	14_F-1K-NE-2840-A521A0_24-25	15-F-1K-NE-2840-A521A0_18-25
F-1K-NE-2860	A5226E	0	15_F-1K-NE-2860-A5226E_24-25	16-F-1K-NE-2860-A5226E_18-25
F-1K-S-2860	A5222A	0	08_F-1K-S-2860-A5222A_24-25	17-F-1K-S-2860-A5222A_18-25
F-1K-S-2840	A52230	0	09_F-1K-S-2840-A52230_24-25	18-F-1K-S-2840-A52240_18-25

Anmerkungen: GT=Bodentemperatur, AT=Lufttemperatur, *neue Batterie 2025 (2 Logger; beide dadurch mit Datenlöchern), **Datenspeicherung nur im Zeitraum 04.-06.09.2024; daher Daten hier vom Zweitlogger A504F4 verwendet.



An einem weiteren Standort gab es teilweise Datenausfälle bedingt durch leere Batterien. Da dies jedoch nur einen Standort betraf, wo aus „Sicherheitsgründen“ bereits in der Vergangenheit zwei Datenlogger ausgelegt wurden (Logger A53A9E am Standort S-GT-2878), gab es für 2024/25 keinen einzigen Datenausfall im Bereich des Bodentemperatur-Monitorings. Somit waren zwar am Standort S-GT-2878 von 2024 bis 2025 wiederum zwei Datenlogger parallel im Einsatz (A504F4 und A53A9E), für die Auswertung wurde jedoch die Daten des primären – und einwandfrei funktionierenden – Datenloggers dieses Standortes (A504F4) verwendet.

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 v. a. die Software Excel verwendet wurde.

Die Bezeichnung der Dateien, welche die bearbeiteten Daten für alle Standorte sowie für jeden Sensor bei 3-Kanaldatenloggern beinhalten, ist der Tabelle 6 zu entnehmen. In der Auswertung in Excel wurde auf die Stundenwerte, Monatsmittelwerte und – für diesen Bericht – insbesondere Jahresmittelwerte fokussiert, um ein übersichtliches Bild über die Zustände sowie Unterschiede der Bodentemperatur im Messjahr 2024/25 zu erhalten. Für Vergleichszwecke wurden auch die Ergebnisse seit dem Messjahr 2018/19 im Ergebnisteil berücksichtigt.

Datenverfügbarkeit der im Modul 07 erhobenen Daten: Die Autoren erklären, dass Bodentemperaturdaten aller einzelnen Monitoringstandorte im Messgebiet Innerer Knorrkogel, die eigens für diese Studie eingerichtet und alljährlich gesammelt werden, übersichtlich im Zenodo-Repository für den Zeitraum September 2024 bis August 2025 öffentlich verfügbar sind. Siehe hierzu Kellerer-Pirklbauer (2026a) bzw. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19919538>

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

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

In Summe lagen in den vier genannten Karen zeitgleich maximal rund 30 Datenlogger, die alle in ca. 10 cm Tiefe im Lockermaterial platziert wurden (Details siehe hierzu Keuschnig 2018 sowie Lieb et al. 2019). Laut Informationen von Ingo Hartmeyer von der Firma GEORESEARCH wurden am 16. und 23.10.2025 zwei Geländekampagnen im Bereich des Sattelkars durchgeführt, wobei alle zu jenem Zeitpunkt aktiven Standpunkte aufgesucht und gewartet wurden. In Summe lagen für die Berichtslegung für den Zeitraum 22.10.2015 bis 16. bzw. 23.10.2025 Daten vor, wobei bei den Geländekampagnen im Oktober 2025 von den Langzeitstandorten ein Logger nicht mehr gefunden (Logger 1) und acht erfolgreich gewartet und ausgelesen werden konnten (Logger 2, 3, 6, 7, 9, 10, 13 und 14). Ein Logger, der erst seit Sommer 2022 ausgelegt wurde (mitten in einer hochaktiven Rutschung), konnte ebenso erfolgreich gewartet werden (Logger 16). Somit lagen für die Analyse für 2024/25 Bodentemperaturdaten aus dem Sattelkar für neun Standorte (2, 3, 6, 7, 9, 10, 13, 14 und 16) vor. Da im Vorjahresbericht keine Daten für 2023/24 behandelt werden konnten (Begründung hierzu siehe Vorjahresbericht), werden im gegenständlichen Bericht die Ergebnisse der beiden letzten Jahre präsentiert.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse Bereich Witterung und Klima 2024/25

In der Tabelle 7 sind die Jahreswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags von neun ausgewählten Klimastationen in der Nationalparkregion für das Beobachtungsjahr 2024/25 (grau hinterlegt) sowie zu Vergleichszwecken für die zehn vorangegangenen Jahre wiedergegeben. Die Unterschiede zwischen den Stationen fallen, bedingt durch ihre unterschiedliche Seehöhe sowie die variierende Lage relativ zum Alpenhauptkamm, beträchtlich aus. Dennoch zeigt sich über die Jahre hinweg an allen Stationen eine gleichsinnige Entwicklung.

Tabelle 7: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den elf hydrologischen Haushaltsjahren 2014/15–2024/25 (jeweils 01.10.–30.09. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehenen Klimastationen in den Hohen Tauern. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Fettstellung markiert den jeweils höchsten Wert der 10-jährigen Periode, kursiv hingegen den tiefsten Wert. n.d.=fehlende Daten. *Datenlücke 01.03.2019–31.03.2019.

	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
2021/22	1,4	1867	5,8	1557	-3,8	1641	7,6	806	9,1	823
2022/23	2,0	1949	6,3	1461	-3,2	1620	7,8	758	9,5	914
2023/24	2,3	2766	6,9	2182	-2,8	2097	8,5	980	10,3	1323
2024/25	2,0	2324	6,6	1732	-3,0	1484	7,8	837	9,7	838

	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	5,2	1712
2020/21	n.d.	1129	n.d.	1150	5,3	1351	4,1	1713
2021/22	n.d.	1102	n.d.	1116	6,0	1222	5,4	1305
2022/23	n.d.	1139	n.d.	1150	6,6	1170	5,7	1312
2023/24	n.d.	1438	n.d.	1481	7,2	1620	6,2	1625
2024/25	n.d.	974	n.d.	1033	6,7	1184	5,8	1323

Im Gegensatz zum außergewöhnlich warmen und niederschlagsreichen Jahr 2023/24 fällt das hydrologische Jahr 2024/25 an den meisten Stationen deutlich kühler (zwischen 0,15 und 0,66 °) und überwiegend niederschlagsärmer (zwischen 15 und 37%) aus. Besonders hervorzuheben ist, dass an drei Stationen (Sonnblick,



Neukirchen und Bramberg) neue Jahresniederschlagsminima innerhalb des betrachteten Zeitraums verzeichnet wurden. Nur knapp wurden neue Niederschlagsminima an den Stationen Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern verfehlt. Neue Höchstwerte bei Jahressummen oder Jahresmittelwerten wurden weder bei der Temperatur noch beim Niederschlag erreicht.

Die in Tabelle 7 dargestellten Werte zeigen deutlich, dass das Jahresmittel der Lufttemperatur im hydrologischen Jahr 2020/21 weiterhin an allen betrachteten Stationen das Minimum des Betrachtungszeitraums markiert. Dieses niedrigere Temperaturniveau steht in starkem Kontrast zu den außergewöhnlich warmen Jahren 2019/20, 2022/23 und insbesondere 2023/24, welches an allen Stationen das wärmste Jahr des Zeitraums darstellt. Im darauffolgenden Jahr 2024/25 lagen die Temperaturen hingegen wieder deutlich unter diesen Höchstwerten. Auch die jährlichen Niederschlagssummen zeigen für 2024/25, wie schon gezeigt, ein deutlich unterdurchschnittliches Niveau. Die Minima der Jahresniederschläge in den elf Jahren 2014/15–2024/25 verteilen sich auf fünf verschiedene Jahre (2017/18, 2018/19, 2021/22, 2022/23 und 2024/25).

Der im Vergleich zum Vorjahr deutlich kühlere Witterungsverlauf im hydrologischen Jahr 2024/25 wird in Abbildung 5 veranschaulicht. Die Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen dieses Jahres mit dem Mittelwert der Referenzperiode 2014/15–2024/25 zeigt zwar an allen betrachteten Stationen positive Abweichungen (im Durchschnitt um 0,54 °C), jedoch fallen diese – im Unterschied zu den vorangegangenen Jahren – deutlich geringer aus und liegen insgesamt näher am langjährigen Mittel. Am Sonnblick, wo im Vorjahr noch außergewöhnlich hohe Temperaturen verzeichnet wurden, liegt der Jahresmittelwert im hydrologischen Jahr 2024/25 um 0,66 °C über dem Mittel von 2014/15–2024/25, an der Station Kolm-Saigurn beträgt die Abweichung 0,58 °C. Das aktuelle Berichtsjahr 2024/25 hebt sich damit klar vom außergewöhnlich warmen Vorjahr 2023/24 ab und war im Mittel über die sieben Stationen mit entsprechenden Daten (Tabelle 7) um 0,42 °C kühler.

Der Vergleich der Niederschlagssummen des hydrologischen Jahres 2024/25 mit dem Mittelwert der Referenzperiode 2014/15–2024/25 (Abbildung 6) bestätigt, dass an der Mehrzahl der Stationen eine deutlich geringere Jahresniederschlagsmenge verzeichnet wurde. Besonders ausgeprägt ist die negative Abweichung an der Station Sonnblick, wo mit 1484 mm eine Unterschreitung des 11-jährigen Mittels um rund 300 mm festgestellt wurde. Nördlich des Alpenhauptkammes zeigen die Stationen Neukirchen (um -148 mm) und Bramberg (um -134 mm) ebenfalls deutlich unterdurchschnittliche Werte. Vergleichbar hohe Defizite traten an den Stationen Gerlos (-130 mm), Malta (-147 mm) und Felbertauern (-162 mm) auf. Demgegenüber bewegen sich die Niederschlagssummen an wenigen Stationen näher am langjährigen Mittel (-14 mm an der Rudolfshütte) oder weichen nur moderat davon ab (Heiligenblut -67 mm, Kolm-Saigurn -75 mm). Insgesamt zeigt sich für das hydrologische Jahr 2024/25 somit ein überwiegend unterdurchschnittliches Niederschlagsniveau. Trotz eines insgesamt vergleichbaren Musters von niederschlagsreichen und niederschlagsarmen Jahren variiert das jeweils trockenste Jahr zwischen den einzelnen Stationen weiterhin deutlich. Dies unterstreicht die im Vergleich zur Temperatur deutlich stärkere räumliche Variabilität des Niederschlags in den Hohen Tauern.

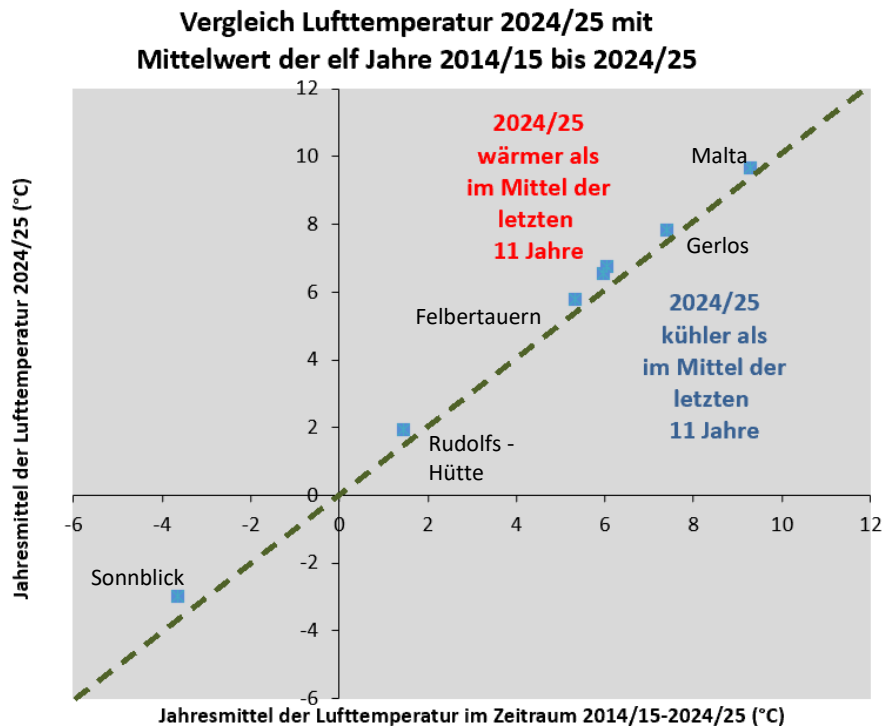


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2024/25 mit dem Mittelwert für die elf Jahre zwischen 2014/15 und 2024/25 von sieben Klimastationen in den Hohen Tauern, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Primär bedingt durch deren Seehöhe, ist der wärmste Standort die Station Malta, der kälteste die Station Sonnblick.

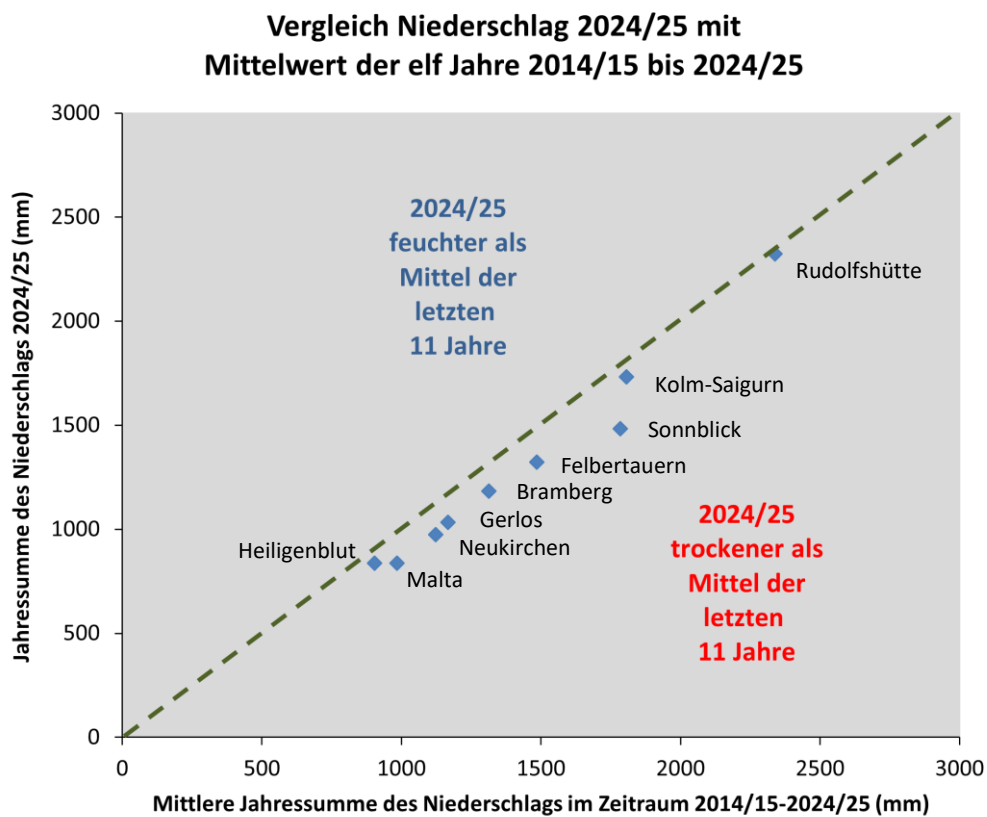


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Jahressummen des Niederschlags von 2024/25 mit dem Mittelwert für die elf Jahre zwischen 2014/15 und 2024/25 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Der niederschlagsärmste Standort ist Heiligenblut, der niederschlagsreichste die Rudolfshütte.



Auf Basis der monatlichen Klimaberichte der GeoSphere Austria (www.geosphere.at) kann der Witterungsverlauf des Beobachtungsjahres Oktober 2024 bis September 2025 wie folgt zusammengefasst werden: Nach einem insgesamt milden und überwiegend trockenen Herbst und Frühwinter (Oktober bis Dezember 2024), geprägt durch häufige Hochdrucklagen und unterdurchschnittliche Niederschläge, folgte im Jänner und Februar 2025 überwiegend milde und weiterhin niederschlagsarme Hochwinter-Witterung. Besonders der Februar fiel extrem trocken aus (–66 % Niederschlag), begleitet von deutlich reduzierten Neuschneemengen in allen Höhenstufen.

Der März markierte mit weiterhin ungewöhnlich milden Bedingungen, aber gleichzeitig überdurchschnittlichen Niederschlägen (+37 %) einen Übergang zu einer feuchteren Witterungsphase, wobei insbesondere der südliche Teil der Hohen Tauern überdurchschnittliche Niederschläge verzeichnete. Im April setzten sich die zu warmen Bedingungen fort, jedoch blieb es vielerorts wieder zu trocken, weshalb auch die Schneehöhen im Hochgebirge deutlich unter dem langjährigen Mittel lagen. Im Mai dominierte hingegen kühlere und trübe Witterung.

Der Sommer 2025 begann mit einem außergewöhnlich heißen und sonnigen Juni, der zu den wärmsten der Messgeschichte zählt und gleichzeitig durch ein Niederschlagsdefizit geprägt war. Im Juli herrschte hingegen deutlich feuchtere und trübere Witterung mit überdurchschnittlichen Niederschlägen (+42 %) und unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer. Der Juli 2025 wurde auch vielerorts – v. a. in Salzburg – als verregnet wahrgenommen. Außergewöhnlich war es auch, dass es an vielen Stationen im Land Salzburg im Juli kaum Tage gab, an denen es nicht regnete (pers. Mitteilung Stefan Schrofner, Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 7: Wasser, Hydrographischer Dienst). Die Monatssummen des Niederschlags im Juli betrugen an den hier relevanten Stationen im Land Salzburg 19 % (Kolm-Saigurn), 21 % (Rudolfshütte), 22 % (Neukirchen) und 24 % (Bramberg) des Gesamtniederschlags im Zeitraum Oktober 2024 bis September 2025. An den Stationen in Kärnten fielen 18 % (Malta) und 19 % (Heiligenblut) des Jahresniederschlags auf die Juliniederschläge. An den Osttiroler Stationen waren diese Werte ähnlich den Werten in Salzburg. Bei den absoluten Werten sprechen die Juliwerte der Stationen Kolm-Saigurn mit 336 mm und Rudolfshütte mit 479 mm für sich. Der August zeigte sich erneut warm, sonnig und überwiegend zu trocken, wodurch sich eine insgesamt niederschlagsarme zweite Sommerhälfte ergab. Schließlich verlief der September wiederum deutlich zu mild, mit nochmals spätsommerlichen Temperaturspitzen um den 20. September, während die Niederschlagsmengen insgesamt im Bereich des langjährigen Mittels lagen, jedoch regional stark differierten.

Insgesamt war das hydrologische Jahr 2024/25 durch ein überwiegend zu hohes Temperaturniveau, jedoch durch ausgeprägte zeitliche und räumliche Schwankungen der Niederschläge gekennzeichnet. Insbesondere die sehr trockene Winterphase sowie die sommerliche Abfolge aus extremer Hitze im Juni und feuchteren Bedingungen im Juli prägten den Witterungsverlauf. Im Vergleich zum Jahr 2023/24 zeigt sich damit ein etwas gemäßigteres, jedoch weiterhin deutlich vom langjährigen Mittel abweichendes Klimageschehen.

Abbildung 7 zeigt die Kurven der Monatsmitteltemperaturen aller in Tabelle 7 enthaltenen Stationen mit entsprechenden Daten für den Projektzeitraum 01.10.2024–30.09.2025. Gut erkennbar ist hierbei, dass (a) die Kurven der Monatsmittelwerte der einzelnen Stationen einen gleichsinnigen Verlauf besitzen, (b) die Station am Sonnblick die bei weitem tiefsten Temperaturen aufweist (Jahresmittel: –3,0 °C), (c) die Station Rudolfshütte die zweitkälteste ist (2,0 °C), (d) die Stationen Kolm-Saigurn (6,6 °C), Gerlos (6,7 °C) und Felbertauern (5,8 °C) relativ ähnlich sind und (e) die Stationen Heiligenblut (7,8 °C) und Malta (9,7 °C) die höchsten Jahresmittelwerte aufweisen, was im Wesentlichen der regelhaften Temperaturabnahme mit der Höhe entspricht. Hervorzuheben sind die auffallend tiefen Temperaturen im Winterhalbjahr, insbesondere in den Monaten Dezember bis Februar. Auffällig ist weiters der ausgeprägte Temperaturanstieg vom Mai zum Juni, der an allen Stationen zu einem markanten ersten Maximum im Juni führt. Nach einem zweiten Maximum im August begann mit der an allen Stationen konsistenten Abnahme der Temperaturen zum September hin die herbstliche Abkühlungsphase.

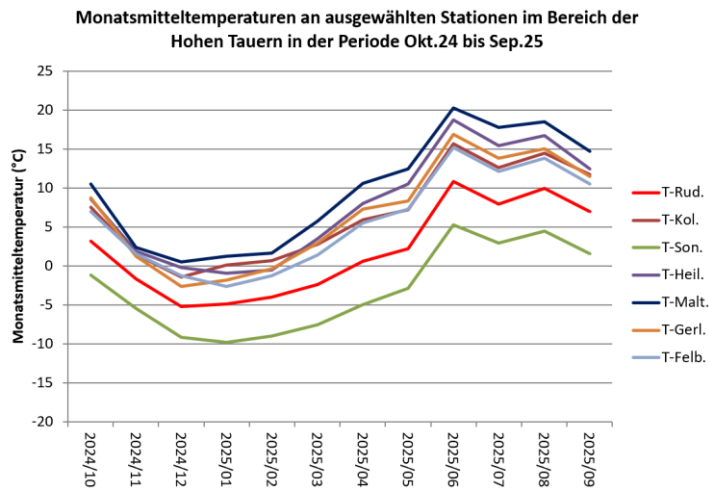
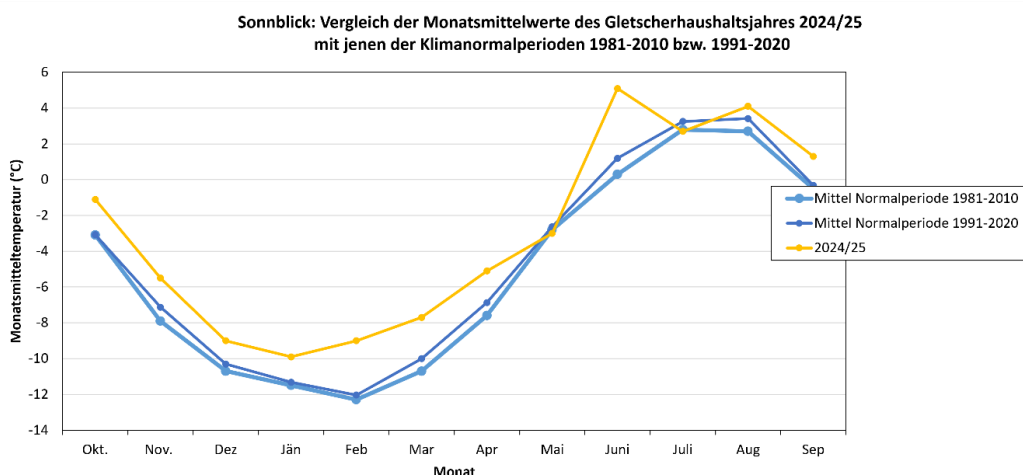


Abbildung 7: Monatswerte der Lufttemperatur (T) im Zeitraum Oktober 2024 bis September 2025 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolmsaigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern.

Die Monatsmittelwerte der Temperatur an der Station Sonnblick im letzten bzw. den letzten fünf Messjahren (2020/21–2024/25) werden in Abbildung 8 und Tabelle 8 den entsprechenden Werten der Klimanormalperioden 1981–2010 und 1991–2020 gegenübergestellt, um einen Eindruck von längerfristigen Abweichungen zu geben.



Sonnblick: Temperaturanomalien in den fünf Gletscherhaushaltsjahren 2020/21 bis 2024/25 bezogen auf die Klimanormalperiode 1981–2010

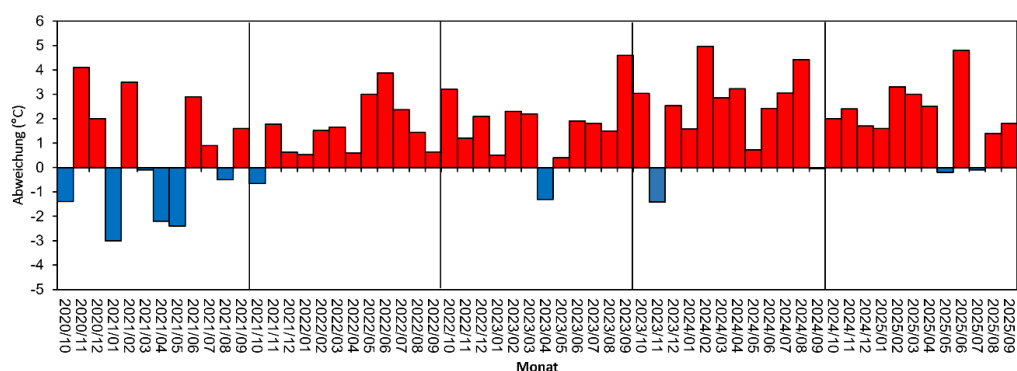


Abbildung 8: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) im Berichtsjahr 2024/25 mit jenen der Klimanormalperioden 1981–2010 sowie 1991–2020 (oben) und Abweichung der Monatsmitteltemperaturen zur Klimanormalperiode 1981–2010 in den vier Berichtsjahren 2020/21 bis 2024/25 (unten) an der Station Sonnblick (3109 m).

Bei Betrachtung der oberen Grafik in Abbildung 8 wird deutlich, dass die Monatsmitteltemperaturen im hydrologischen Jahr 2024/25 überwiegend über den Vergleichswerten der beiden herangezogenen Normalperioden lagen. Im Unterschied zum Vorjahr fallen die positiven Abweichungen teilweise moderater, teilweise aber auch stärker aus. Einzelne Monate – insbesondere Mai und Juli – bewegen sich nahe am langjährigen Mittel oder liegen sogar leicht darunter. Insgesamt zeigt sich somit ein wiederum nahezu durchgehend stark überdurchschnittlich temperiertes Jahr mit lediglich zwei Monaten, die als „normal“ anzusehen sind. Dabei basieren die in dieser Grafik dargestellten Werte auf Klimadaten von HISTALP, wodurch ein konsistenter Vergleich mit den ebenfalls darauf beruhenden Klimanormalperioden gewährleistet ist.

Die untere Grafik in Abbildung 8 verdeutlicht, dass die letzten fünf Jahre im Mittel überdurchschnittliche Temperaturen aufweisen, wobei sich das Jahr 2020/21 als vergleichsweise kühl abhebt (im Mittel nur um 0,6 °C wärmer als im Mittel in 1981–2010). Die darauffolgenden Jahre von 2021/22 bis 2023/24 waren hingegen deutlich überdurchschnittlich temperiert mit Werten zwischen +1,3 (2021/22) bis +2,3 °C (2023/24). Das jüngste Beobachtungsjahr 2024/25 zeigt ebenfalls nahezu ausschließlich positive Monatsabweichungen gegenüber der Klimanormalperiode 1981–2010, liegt aber im Mittel etwas unter den extrem hohen Werten des Vorjahres (+2,0 °C).

Tabelle 8: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte in den sechs Gletscherhaushaltsjahren 2019/20 bis 2024/25 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der Station Sonnblick (3109 m).

Monat	Mittel (°C)							Abweichung zu 1981-2010 (°C)					
	1981-2010	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25
Okt.	-3,1	-0,9	-4,5	-3,8	0,1	-0,1	-1,1	2,2	-1,4	-0,7	3,2	3,0	2,0
Nov.	-7,9	-6,7	-3,8	-6,1	-6,7	-9,3	-5,5	1,2	4,1	1,8	1,2	-1,4	2,4
Dez.	-10,7	-8,9	-8,7	-10,1	-8,6	-8,2	-9,0	1,8	2	0,6	2,1	2,5	1,7
Jän.	-11,5	-7,7	-14,5	-11,0	-11,0	-9,9	-9,9	3,8	-3	0,5	0,5	1,6	1,6
Feb.	-12,3	-9,6	-8,8	-10,8	-10,0	-7,3	-9,0	2,7	3,5	1,5	2,3	5,0	3,3
März	-10,7	-9,6	-10,8	-9,0	-8,5	-7,8	-7,7	1,1	-0,1	1,7	2,2	2,9	3,0
Apr.	-7,6	-4,7	-9,8	-7,0	-8,9	-4,4	-5,1	2,9	-2,2	0,6	-1,3	3,2	2,5
Mai	-2,8	-3,3	-5,2	0,2	-2,4	-2,1	-3,0	-0,5	-2,4	3,0	0,4	0,7	-0,2
Juni	0,3	0,5	3,2	4,2	2,2	2,7	5,1	0,2	2,9	3,9	1,9	2,4	4,8
Juli	2,8	3,5	3,7	5,2	4,6	5,9	2,7	0,7	0,9	2,4	1,8	3,1	-0,1
Aug.	2,7	4,6	2,2	4,1	4,2	7,1	4,1	1,9	-0,5	1,4	1,5	4,4	1,4
Sep.	-0,5	1,6	1,1	0,1	4,1	-0,5	1,3	2,1	1,6	0,6	4,6	0,0	1,8
Mittel	-5,1	-3,4	-4,7	-3,7	-3,4	-2,8	-3,1	1,7	0,5	1,4	1,7	2,3	2,0

Für eine Betrachtung der Langzeitentwicklung des Jahresniederschlags werden die Stationsdaten von Neukirchen verwendet, wo seit 1973 kontinuierlich durch den Hydrographischen Dienst des Landes Salzburg gemessen wird. In Abbildung 9 oben sind die Jahressummen des Niederschlags nach Kalenderjahren für den Zeitraum 1973–2025 sowie ein entsprechender linearer Trend dargestellt. Wie die Grafik zeigt, weisen die Jahressummen eine starke Variabilität auf: Der Mittelwert im mehr als 50-jährigen Beobachtungszeitraum beträgt 1074 mm, das bisherige Maximum wurde 1979 mit 1440 mm erreicht. Im Jahr 2025 fiel die Jahressumme des Niederschlags hingegen deutlich geringer aus und liegt mit rund 936 mm klar unter dem langjährigen Mittel. Somit kann festgehalten werden, dass die Niederschlagsmenge von 2025 auch auf der Skala eines halben Jahrhunderts außergewöhnlich gering war (um ca. 140 mm zu wenig), wohingegen das Jahr davor noch deutlich überdurchschnittlich war (um 133 mm zu viel). Das Minimum der 53-jährigen Periode wurde 2002 mit lediglich 731 mm verzeichnet und entspricht damit nur rund der Hälfte des Maximalwertes.

In der Abbildung 9 unten ist die Entwicklung der Jahresmittel der Lufttemperatur an der Station Sonnblick über denselben Zeitraum dargestellt. Ganz deutlich ist – unabhängig von großen Schwankungen von Jahr zu Jahr – ein klarer Erwärmungstrend zu erkennen. In einem Großteil der letzten Jahre lag das Jahresmittel der Temperatur bei ≥ -4 °C, wobei die Jahre 2020, 2022, 2023, 2024 und 2025 mit jeweils $\geq -3,5$ °C als die wärmsten der gesamten

Messreihe seit 1887 hervorstechen. Nur das Jahr 2021 war in der jüngsten Vergangenheit kühler und entsprach mit seinem Jahresmittel etwa dem Niveau früherer Dekaden. Bei den Dekadenwerten der Temperatur an der Station Sonnblick (Abb. 9) lag der 10-Jahresmittelwert 1981–1990 noch bei $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, in der jüngsten Dekade 2011–2020 hingegen bei $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

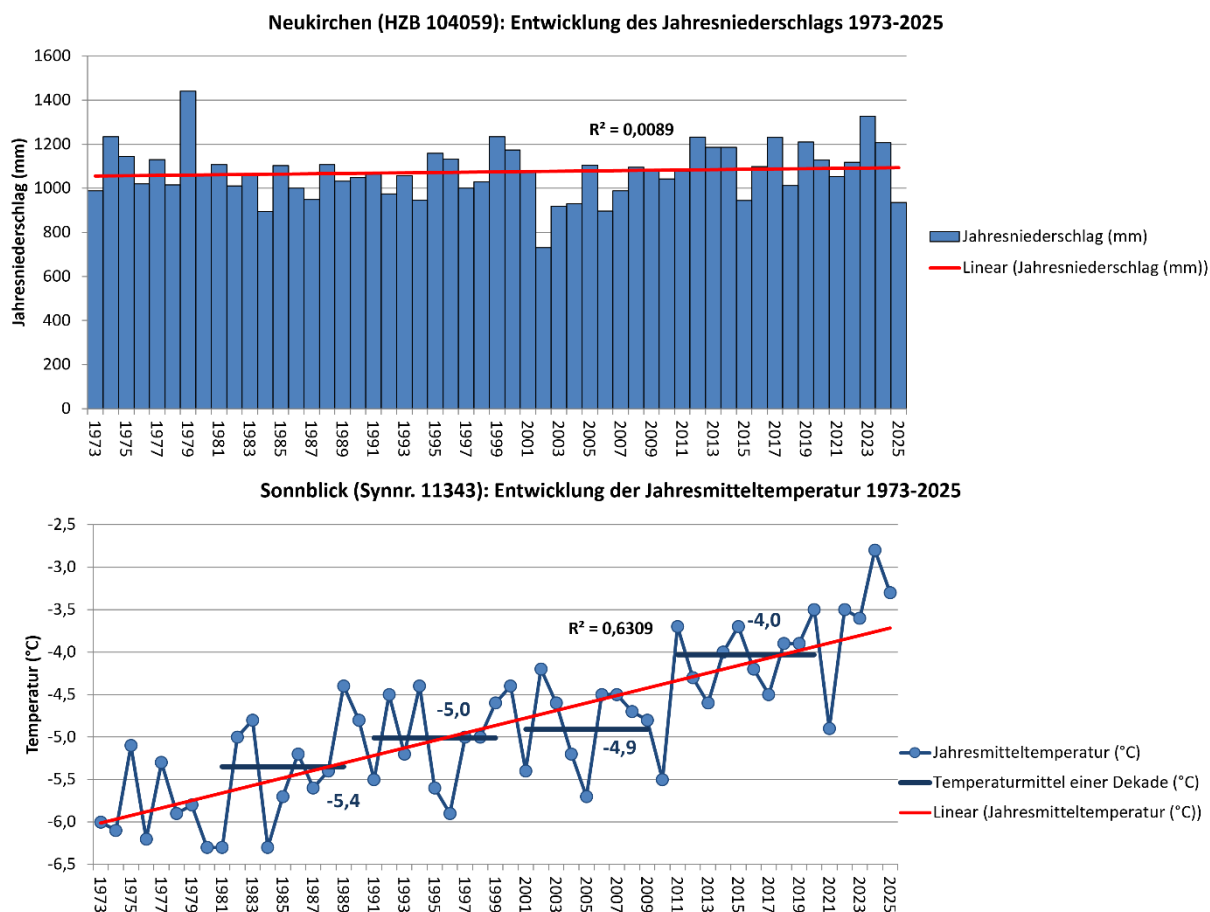


Abbildung 9: Langzeitentwicklung von Niederschlag (Station Neukirchen) und Temperatur (Station Sonnblick). Entwicklung der Jahreswerte (hier Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2025 und entsprechende lineare Trends (rote Linien). Niederschlag: Keine signifikanten Veränderungen erkennbar. Temperatur: Klarer Erwärmungstrend. Für die Temperatur sind zusätzlich Dekadenmittelwerte (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010 und 2011–2020) angegeben.

3.2. Ergebnisse Bereich Abfluss 2024/25

Die Abflusswerte der drei Pegel Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) wurden für den Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025 ausgewertet. Abbildung 10 zeigt die Tagesmittel der gemessenen Abflüsse an den drei Stationen für diesen nunmehr elfjährigen 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. In den dargestellten Abflusskurven stechen einzelne Hochwasserspitzen hervor: Am Pegel Innerschlöss mit Abflusswerten von $>30\text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2020 und 2023 bzw. sogar $>50\text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2021; am Pegel Neukirchen mit Abflusswerten $>25\text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2023 bzw. $>55\text{ m}^3/\text{s}$ im Sommer 2021.

Der Mallnitzbach weist wegen der Größe des Einzugsgebietes ($85,3\text{ km}^2$) die höchsten aller Jahres- sowie zumeist auch Monatswerte – wie in Tabelle 9 ersichtlich – auf, wenngleich der Gschlössbach (Einzugsgebiet von nur $39,3\text{ km}^2$) in manchen Beobachtungsjahren den höchsten Monatswert der drei Bäche (zuletzt Juni 2019, August

2020, Juli 2021 sowie Juli und August 2023 und 2024) verzeichnete. In Bezug auf Jahreswerte zeigt sich im hydrologischen Jahr 2024/25 jedoch eine deutlich geringere Abflussmenge als im außergewöhnlich abflussreichen Vorjahr: Am Pegel Mallnitz wurden in Summe 107,88 Mio. m³ gemessen (2023/24: 149,01 Mio. m³), was einer Abnahme um rund 28 % entspricht. Auch am Pegel Neukirchen (67,18 Mio. m³ gegenüber 78,64 Mio. m³; -14,6 %) sowie am Pegel Innergschlöss (81,96 Mio. m³ gegenüber 109,17 Mio. m³; -24,9 %) wurden deutlich geringere Jahressummen als im Vorjahr registriert. Dieser Rückgang spiegelt sich auch in den Monatswerten wider, wobei die Maxima im hydrologischen Jahr 2024/25 zwar weiterhin in den Sommermonaten auftraten, jedoch deutlich unter den hohen Werten der beiden Vorjahre bleiben. In allen drei Einzugsgebieten war der Juni 2025 der Monat mit dem höchsten Abfluss, gefolgt vom Juli 2025, der – wie im Kapitel 3.1. dargelegt – außergewöhnlich niederschlagsreich war. Auffällig ist zudem das sehr geringe Monatsminimum am Pegel Innergschlöss im Februar 2025 mit lediglich 0,18 Mio. m³, was den niedrigsten Wert des gesamten Beobachtungszeitraums darstellt.

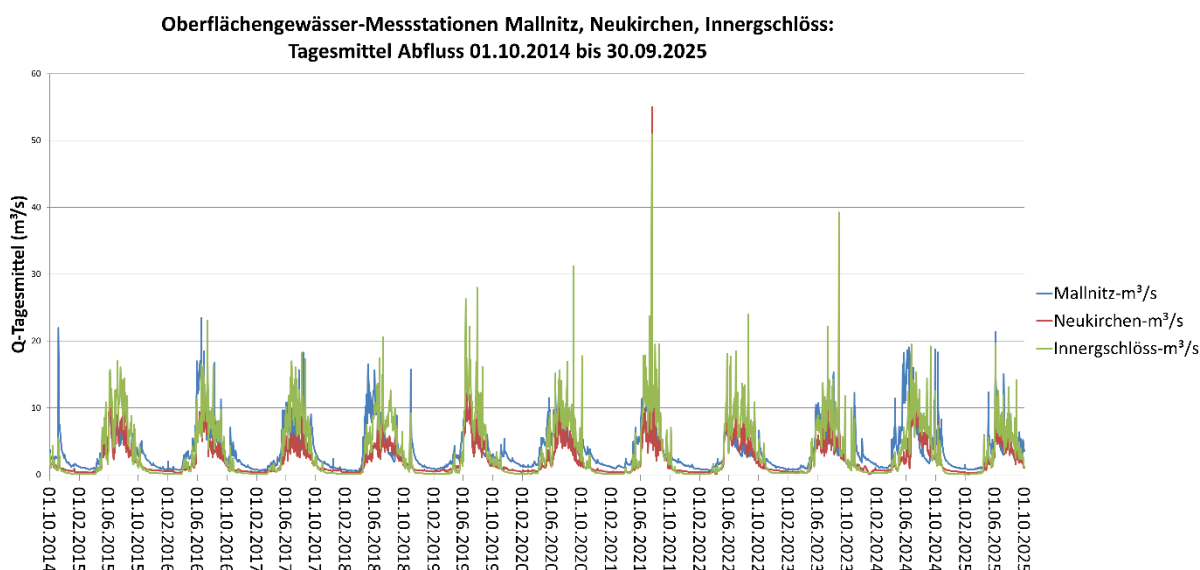


Abbildung 10: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m³/s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im elfjährigen Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025.

Ein Vergleich der jährlichen Abflussmengen offenbart deutliche Unterschiede in der interannuellen Variabilität der drei untersuchten Pegel. Im Einzugsgebiet Innergschlöss schwankte die Summe des Jahresabflusses im Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025 um rund 17 % (d. h. Spannweite in % zwischen höchstem und niedrigstem Wert in den 11 Jahren relativ zum Mittelwert). Demgegenüber zeigten die Pegel Neukirchen und Mallnitz weiterhin stärkere Abweichungen, mit relativen Differenzen zwischen dem höchsten und niedrigsten Jahreswert von etwa 30 % für Neukirchen bzw. sogar 60 % für Mallnitz. Die ausgeprägten Schwankungen in Mallnitz resultieren einerseits aus einem stark unterdurchschnittlichen Abfluss im hydrologisch trockenen Jahr 2021/22 (negativer Ausreißer), andererseits aus dem außergewöhnlich wasserreichen Jahr 2023/24, in dem mit 149,01 Mio. m³ ein Spitzenwert erzielt wurde. Im darauffolgenden hydrologischen Jahr 2024/25 kam es hingegen an allen drei Pegeln zu einem deutlichen Rückgang der Abflussmengen, wodurch sich das Abflussniveau wieder in Richtung der langjährigen Mittelwerte entwickelte. An allen drei Pegeln lagen im hydrologischen Jahr 2024/25 die Monatsmaxima und die Monatsminima deutlich unter jenen des Vorjahres. Besonders hervorzuheben ist der Monat Februar 2024, in dem für den Pegel Innergschlöss mit 0,60 Mio. m³ ein neuer Höchstwert für den monatlichen Mindestabfluss innerhalb des Beobachtungszeitraums verzeichnet wurde. Demgegenüber wurde im Februar 2025 mit lediglich 0,18 Mio. m³ ein neuer Minimalwert beobachtet, was die starke Variabilität auch in den winterlichen Niedrigabflussphasen unterstreicht.

Tabelle 9: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innergschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025; Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum.

Jahr	Q-Mallnitz (Mio. m³)			Q-Neukirchen (Mio. m³)			Q-Innergschlöss (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)
2021/22	80,23	15,28 (Juni)	1,93 (Februar)	73,10	16,12 (Juni)	0,88 (Februar)	107,65	25,56 (Juni)	0,24 (Februar)
2022/23	101,39	21,12 (Juni)	1,99 (Februar)	70,39	17,11 (Aug.)	1,07 (Februar)	103,03	26,57 (Juli)	0,55 (Februar)
2023/24	149,01	37,61 (Juni)	2,87 (Februar)	78,64	19,77 (Juli)	1,35* (Jänner)	109,17	25,47 (Juli)	0,60 (Februar)
2024/25	107,88	20,36 (Juni)	2,00 (Februar)	67,18	16,38 (Juni)	0,73 (Februar)	81,96	21,31 (Juni)	0,18 (Februar)

*Problemwerte darin bedingt durch Bauarbeiten im Gerinnebett im Jahr 2023/24 – siehe hierzu den Vorjahresbericht.

Abbildung 11 stellt die Jahresgänge des Beobachtungsjahres 2024/25 für die drei Standorte dar. Die untere Grafik in dieser Abbildung zeigt zur besseren Veranschaulichung die Verhältnisse bei niedrigen Abflüssen von 0 bis 5 m³/s. Im Vergleich zum Vorjahr fällt auf, dass die Wintermonate von insgesamt ruhigeren und geringeren Grundabflüssen geprägt waren, insbesondere an den Pegeln Neukirchen und Innergschlöss, während die Werte am Pegel Mallnitz weiterhin leicht erhöht blieben. Die annähernd gleichförmigen und vergleichsweise ruhigen Abflussverläufe (Auslauf des Basisspeichers) sind im Beobachtungszeitraum von Anfang Dezember 2024 bis etwa Anfang April 2025 deutlich erkennbar und entsprechen weitgehend dem typischen saisonalen Verlauf. Ab Mitte April 2025 führten die einsetzende Schneeschmelze und damit verbundene hydrologische Prozesse zu einem Anstieg und zu zunehmenden Schwankungen im Abflussgeschehen, wobei die Dynamik insgesamt deutlich weniger ausgeprägt als im außergewöhnlich abflussreichen Vorjahr 2023/24 war. Insbesondere die sommerlichen Abflussspitzen fallen im Jahr 2024/25 deutlich geringer aus und erreichen nicht die hohen Werte des Vorjahres.

Wie bereits in den vorangegangenen Beobachtungsjahren zeigt auch im aktuellen hydrologischen Jahr der Pegel Innergschlöss erneut den schnellsten Rückgang der Abflussmengen im November. Die Abflusskurve des Pegels Mallnitz bestätigt weiterhin eine gleichmäßige Abnahme während des Winters, wohingegen der Frühjahrsanstieg 2025 durch eine moderat ausgeprägte Dynamik mit Abflussspitzen bedingt durch hohe Temperaturen (bis in den Juni sowie im August) sowie durch Niederschläge (v. a. Juli) gekennzeichnet war. Der kleine winterliche Abflusspeak um den 28. Jänner, der deutlich an den Stationen Mallnitz und Neukirchen zu erkennen ist, hängt mit relativ hohen Niederschlägen bei gleichzeitig relativ milden Temperaturen um diesen Tag zusammen. So wurden an der Klimastation Malta an diesem Tag 31,7 mm und am Vortag 11,0 mm gemessen – in Summe 42,7 mm. An der

Station Gerlos war die Niederschlagssumme an diesen beiden Tagen recht ähnlich (42,1 mm), etwas weniger hingegen an den Stationen Neukirchen (26,7 mm) und Bramberg (24,0 mm).

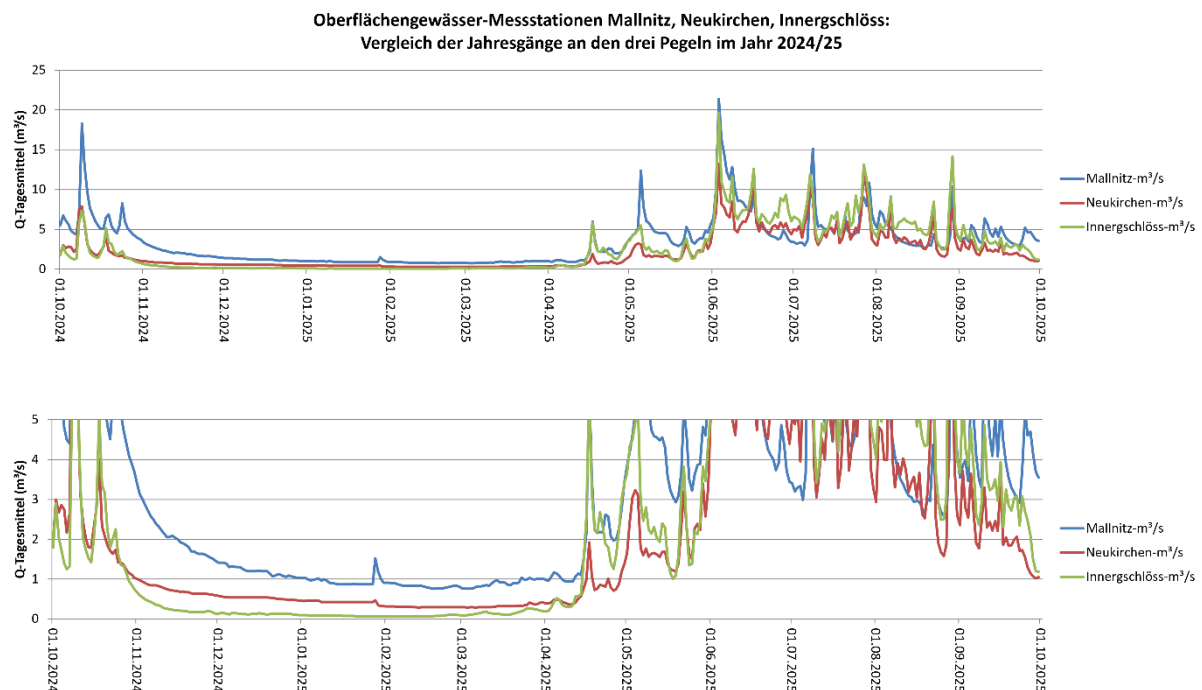


Abbildung 11: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q im m^3/s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025. Die untere Kurve ist ein Ausschnitt aus der oberen mit veränderter Skalierung der Ordinate, um den Bereich bis zu $5 \text{ m}^3/\text{s}$ besser zu zeigen.

Der Höchstwert des Pegels Innerschlöss im hydrologischen Jahr 2024/25 war dem des Vorjahres ähnlich: Während im Jahr 2023/24 ein maximaler mittlerer Abfluss von $19,54 \text{ m}^3/\text{s}$ am 22. Juni 2024 erreicht wurde, betrug dieser im aktuellen Beobachtungsjahr $19,65 \text{ m}^3/\text{s}$ am 03. Juni 2025. Der Unterschied wird insbesondere im Vergleich zu früheren Extremjahren deutlich, in denen wesentlich höhere Abflussspitzen registriert wurden, wie etwa am 28. August 2023 mit einem maximalen mittleren Abfluss von $39,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Zwar trat auch am 09. September 2024 ein weiterer markanter Abflusspeak von $19,20 \text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Innerschlöss auf, dieser bleibt jedoch deutlich unter den Spätsommerabflüssen ausgeprägter Extremjahre. Das Maximum im hydrologischen Jahr 2024/25 Anfang Juni ist – wie auch in den Vorjahren – auf das Zusammenwirken von intensiven Schneeschmelzprozessen im Frühsommer und zusätzlichen Niederschlagsereignissen (in diesem Fall v. a. um den 1. und 2. Juni 2025) zurückzuführen. Generell ist der Pegel Innerschlöss aufgrund der großflächigen Vergletscherung im Einzugsgebiet in sehr hohem Maße von der Gletscherschmelze beeinflusst. Dies gilt trotz der in den letzten Jahren wiederholt dokumentierten starken Rückgänge des Schlatenkeeses, das regelmäßig zu den Gletschern mit den österreichweit stärksten Rückgängen zählt (Lieb & Kellerer-Pirklbauer 2022 bis 2025).

Die Tagesmaxima im hydrologischen Jahr 2024/25 traten an den Stationen Mallnitz ($21,4 \text{ m}^3/\text{s}$) und Neukirchen ($13,2 \text{ m}^3/\text{s}$) ebenfalls am 3. Juni 2025 auf. Im Vergleich zum Vorjahr zeigt sich dabei ein differenzierteres Bild: Während die maximalen Abflussmengen an der Station Innerschlöss ein ähnliches Niveau erreichten, lagen die Maximalwerte 2024/25 an den Stationen Mallnitz (2023/24: rund $19 \text{ m}^3/\text{s}$) und insbesondere Neukirchen (2023/24: rund $11 \text{ m}^3/\text{s}$) um rund $2 \text{ m}^3/\text{s}$ darüber. Ein Vergleich dieser erhöhten Abflussraten mit den zugehörigen Temperatur- und Niederschlagsdaten (Klimastationen: Felbertauern für Innerschlöss, Neukirchen für die gleichnamige Station sowie Malta für Mallnitz) verdeutlicht, dass die gemessenen Niederschläge die beobachteten Abflussspitzen nur teilweise erklären können. In Bezug auf das Einzugsgebiet von Innerschlöss wurden an der



Station Felbertauern unmittelbar vor der Abflussspitze zunächst geringe Niederschläge (5,4 mm) und anschließend ein ausgeprägtes Niederschlagsereignis von 52,9 mm registriert, das den starken Abflussanstieg plausibel erklärt. Demgegenüber fallen die Niederschlagsmengen an den Stationen Malta und Neukirchen im selben Zeitraum deutlich moderater aus: In Malta wurden 14,7 mm bzw. 15,5 mm gemessen, in Neukirchen 12,3 mm bzw. 20,9 mm. Diese Werte sind zwar als relevante Niederschlagsereignisse einzustufen, reichen jedoch für sich genommen nicht aus, um die gleichzeitig beobachteten hohen Abflussmaxima an den Stationen Mallnitz und Neukirchen vollständig zu erklären. Von zentraler Bedeutung ist vielmehr die vorangegangene Phase deutlich erhöhter Lufttemperaturen Ende Mai und Anfang Juni 2025, in die mehrere Tage mit Tagesmitteltemperaturen deutlich über 10 °C auftraten (z. B. 13,3 °C am 30. Mai und 15,5 °C am 31. Mai an der Station Felbertauern). Diese Witterungsbedingungen führten zu einer intensiven und flächenhaften Schneeschmelze in den höheren Lagen der Einzugsgebiete. Die Kombination aus (vorangegangener) Schmelzphase und (nachfolgenden) Niederschlagsereignissen ist daher als Hauptursache für die beobachteten Abflussspitzen zu werten, wobei der Niederschlag im Fall von Innergschlöss eine direkt auslösende Rolle spielte, während an den übrigen Stationen die Schneeschmelze die dominierende Steuergröße gewesen zu sein scheint.

Im weiteren Verlauf des Sommers zeigt sich – dem typischen saisonalen Verlauf entsprechend – ein sukzessiver Rückgang der Abflussmengen nach der Hauptphase der Schneeschmelze. Dennoch kam es auch im hydrologischen Jahr 2024/25 zu einzelnen Abflussspitzen in den Spätsommermonaten, die primär auf Niederschlagsereignisse zurückzuführen waren. Diese Peaks fallen jedoch insgesamt schwächer aus als im Vorjahr und passen zum insgesamt etwas geringeren Abflussniveau im aktuellen Beobachtungsjahr.

Bezogen auf die geringsten mittleren täglichen Abflussmengen im Zeitraum 2014/15 bis 2024/25 zeigt sich, dass dieser Wert an drei Stationen recht unterschiedlichen ausfällt. Am Pegel Neukirchen wurde am 31.12.2023 ein Tagesmittelwert von nur 0,10 m³/s registriert. Am Pegel Innergschlöss waren es am 13. und 14.2.2025 nur 0,06 m³/s. Am Pegel Mallnitz fiel das niedrigste Tagesmittel mit 0,56 m³/s hingegen auf den 26.2.2018. Im aktuellen Beobachtungsjahr gab es somit einen neuen Negativrekord an der Station Innergschlöss. Die Jahresminimalwerte an den beiden anderen Pegelstationen für 2024/25 waren deutlich gemäßiger: Neukirchen mit 0,29 m³/s und Mallnitz mit 0,76 m³/s.

Abbildung 12 veranschaulicht die monatlichen Abflüsse für das hydrologische Jahr 2024/25 sowie für die vier vorangegangenen Jahre an den drei Messstationen. Deutlich erkennbar sind dabei die regelmäßig wiederkehrenden niedrigen Abflüsse in den Wintermonaten (insbesondere Dezember bis April). In den übrigen Monaten zeigt sich hingegen eine ausgeprägte Variabilität sowohl zwischen den Jahren als auch zwischen den Standorten, was auf das Zusammenspiel von Niederschlagsereignissen sowie Schnee- und Gletscherschmelze zurückzuführen ist. Besonders hervorzuheben ist der außergewöhnlich hohe Monatsabfluss am Pegel Innergschlöss im Juli 2022, der mit 38,39 Mio. m³ den höchsten Wert aller Stationen im dargestellten Zeitraum darstellt. Auch in den hydrologischen Jahren 2021/22 und 2022/23 liegen die Monatsabflüsse an dieser Station im Zeitraum von Juni bis September meist deutlich über jenen der beiden anderen Pegel, was auf den starken Einfluss der Gletscherschmelze im Einzugsgebiet zurückzuführen ist.

Im aktuellen Beobachtungsjahr zeigt sich hingegen ein insgesamt moderateres Abflussverhalten. Die höchsten Monatswerte traten – wie auch in den Vergleichsjahren – in den Sommermonaten auf, mit Maxima an allen drei Stationen im Juni 2025. Dabei erreicht Innergschlöss mit 21,31 Mio. m³ den höchsten Monatswert der drei Pegel, gefolgt von Mallnitz mit 20,36 Mio. m³ und Neukirchen mit 16,38 Mio. m³. In den Folgemonaten Juli bis September gingen die Abflüsse an allen drei Stationen wieder deutlich zurück. Insgesamt blieben die Monatsabflüsse des Jahres 2024/25 klar unter den Extremwerten früherer Jahre, insbesondere unter den sehr hohen Sommerwerten von 2021/22, 2022/23 und 2023/24. Dies deutet darauf hin, dass die Schmelzprozesse im hydrologischen Jahr 2024/25 (auch bedingt durch Schneemangel) weniger intensiv verliefen.

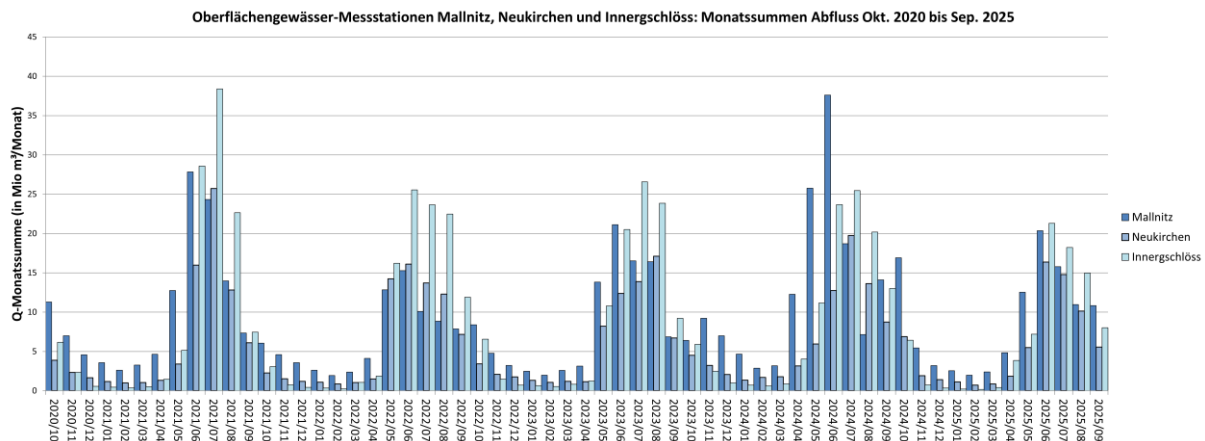


Abbildung 12: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2020–30.09.2025 in Mio. m³.

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 (die somit nur an den Stationen gültig sind) und nicht gemittelte Gebietsniederschläge (repräsentativ für die Einzugsgebiete oberhalb der jeweiligen Pegel) vorliegen. Besonders die Werte an den Stationen Neukirchen und Innerschlöss sind stark von einer von den ungünstigen Bedingungen für Gletscher verursachten Gletscherspende (siehe Kapitel 3.3) beeinflusst. Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg treten die höchsten jährlichen Abflusshöhen durchgehend am Pegel Innerschlöss auf.

Im aktuellen Beobachtungsjahr 2024/25 ist an allen drei Stationen ein deutlicher Rückgang der Abflusshöhen zu erkennen. Mit 1265 mm (Mallnitz), 1659 mm (Neukirchen) und 2086 mm (Innerschlöss) liegen die Werte jeweils klar unter jenen des Vorjahres und ordnen sich bei Mallnitz und Neukirchen im mittleren bis unteren Bereich der elfjährigen Vergleichsperiode ein. Am Pegel Innerschlöss gab es 2024/25 einen Negativwert, der den bisherigen Rekordwert um 376 mm unterbot, ein Zeichen großer hydrologischer Anomalie in diesem Einzugsgebiet in 2024/25 in Bezug zu den Vorjahren.

Tabelle 10: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die elf glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15–2024/25 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebiet 85,3 km²), Neukirchen (40,5 km²) und Innerschlöss (39,3 km²). Grau hinterlegt das aktuelle Projektjahr. Fettstellung markiert den jeweils höchsten Wert der 10-jährigen Periode, Kursivstellung den tiefsten Wert.

Jahr	Abflusshöhe (in mm/a) für die Einzugsgebiete oberhalb der drei Stationen		
	Mallnitz	Neukirchen	Innerschlöss
2014/15	1342	1906	2799
2015/16	1513	1780	2462
2016/17	1318	<i>1425</i>	2631
2017/18	1331	1586	2703
2018/19	1198	1905	2626
2019/20	1438	1691	2783
2020/21	1445	1888	2905
2021/22	<i>941</i>	1805	2739
2022/23	1189	1738	2622
2023/24	1747	1942	2778
2024/25	1265	1659	<i>2086</i>

3.3. Ergebnisse Bereich Gletscherverhalten 2024/25

(a) Längenänderung

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Längenänderungsmessungen an den vom Gletschermessdienst des Österreichischen Alpenvereins erfassten Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern sowie in dessen Nahbereich für das Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 und die neun vorangegangenen Jahre seit 2015/16. Die Ergebnisse, gegliedert nach Gebirgsgruppen, zeigen eine ausgeprägte interannuelle Variabilität der Längenänderungen sowie deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. So treten beispielsweise am Winkelkees extreme Schwankungen auf (etwa -0,8 m im Jahr 2015/16 gegenüber -118,1 m im Jahr 2016/17), während in anderen Gebieten vergleichsweise geringe Änderungen von Jahr zu Jahr beobachtet wurden (z. B. Kleineiserkees mit Werten zwischen -0,1 und 15,0 m). Gleichzeitig lassen sich auch gebirgsgruppenspezifische Unterschiede erkennen: So wies etwa die Ankogelgruppe in den Messjahren 2017/18–2019/20 im Vergleich zu den übrigen Gebirgsgruppen auffallend geringe Längenänderungen auf.

Für das aktuelle Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 bestätigt sich dieses heterogene Bild grundsätzlich, wobei die meisten Gletscher weiterhin deutliche Rückzugsbeträge zeigen, jedoch auch einzelne geringere Änderungen oder lokale Abweichungen innerhalb einer Gebirgsgruppe auftreten. Die in Tabelle 11 ausgewiesenen Mittelwerte basieren auf einer von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Anzahl berücksichtigter Gletscher und sind daher nur eingeschränkt direkt miteinander vergleichbar. Des Weiteren wurden bei der Berechnung des Jahresmittelwertes für 2024/25 – sowie für einen gegenüber dem Vorjahresbericht für 2023/24 aktualisierten – auch jeweils der halbe Betrag der Zweijahreswerte für Umbal-, Frosnitz-, Venediger-, Schmiedinger- sowie Westliches Trippkees mitberücksichtigt.

Der mittlere Längenrückgang aller beobachteten Gletscher betrug im Haushaltsjahr 2024/25 -22,7 m. Für das Haushaltsjahr 2023/24 ergibt sich ein aktualisierter Mittelwert von -17,4 m. Damit liegen die Werte der beiden letzten Jahre knapp bis deutlich unter den Werten der beiden Jahre davor, jedoch immer noch deutlich über den Werten der drei Messjahre 2018/19 bis 2020/21. Damit zählt auch das Jahr 2024/25 zu den außerordentlich gletscherungünstigen Jahren – mit dem vierthöchsten Mittelwert der letzten 14 Messjahre! Zu berücksichtigen ist jedoch, dass sich die Datengrundlage im Lauf der Zeit verändert hat und so diese Mittelwerte nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Im Jahr 2023/24 wurden beispielsweise mehrere zusätzliche Gletscher bzw. Gletscherzungen in die Auswertung aufgenommen, darunter weitere Teilzungen des Sonnblickkeeses (Granatspitzgruppe), das zweitgeteilte Goldbergkees (oberer und mittlerer Bereich) oder die Burgstallzunge der Pasterze. Diese neu aufgenommenen Gletscher weisen überwiegend geringe bis moderate Längenänderungen auf, wodurch der Mittelwert im Jahr 2023/24 tendenziell gedämpft wird.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg dominieren eindeutig negative Längenänderungen, während stationäres Verhalten nur vereinzelt und ein Vorstoß lediglich einmal beobachtet wurde (Maurerkees 2018/19 mit +2,2 m). Letzterer ist jedoch nicht als aktives Gletscherwachstum zu interpretieren, sondern als Folge eines instabilen Stirnbereichs. Die insgesamt sehr hohen Einzelwerte, wie etwa die starken Rückzüge an der Pasterze oder am Ödenwinkelkees, sind häufig auf Prozesse des Eiszerfalls zurückzuführen, bei denen größere Gletscherbereiche durch Abbruch oder Teilung den jeweiligen Gletschern verloren gehen.

Im Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 setzte sich der Gletscherrückgang in den Ostalpen deutlich fort. Betrachtet man ausschließlich die einjährigen und damit direkt vergleichbaren Messwerte von 2024/25, zeigt sich der stärkste Rückzug an der Sonnblickzunge des Sonnblickkeeses mit -103,9 m – ein markanter Gegensatz zum Vorjahreswert von -17,1 m. Es folgen das Krimmlerkees mit -90,3 m (neuer Rekordwert seit 2011/12), das Kleinellendkees mit -56,2 m (neuer Rekord) sowie knapp dahinter die Pasterze (Hauptzunge) mit -54,0 m. Ebenfalls deutlich negativ fielen die Werte am Unteren Riffkees (-29,8 m; neuer Rekord), am Goldbergkees (mittlerer Boden) mit -26,8 m (neuer Rekord), am Ödenwinkelkees mit -25,3 m, am Karlingerkees mit -23,8 m sowie am Hornkees mit -23,7 m (auch neuer Rekord) aus.

Tabelle 11: Die im Nationalpark Hohe Tauern bzw. im Nahbereich davon (*) durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16 bis 2024/25. Lage siehe Abbildung 1. Grau hinterlegt ist das gegenständliche Gletscherhaushaltsjahr 2024/25.

Gruppe	Gletscher	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24	24/25
Venedigergruppe (aktuell 9)	Untersulzbachkees	(-41,5)		-53	-21,5	-44,0	-35,3	-50,2	-32,7	-29,6	-20,6
	Obersulzbachkees	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	R (F)	R (F)	R (F)	R (F)	R (F)
	Krimmlerkees I	(-45,3)		-7,0	-14,1	-13,2	-15,8	-22,0	-8,3	-1,2	-90,3
	Umbalkees	-16,0	-29,3	-24,0	-22,0	-26,0	-22,0	-42,0	-36,0	(-86,0)	
	Simonykees+	-17,0	0	0	0	-6,0	-6,0	-22,0	-17,0	-14,0	-12,0
	Zettalunitzkees+	-51,0	-54,0	-16,0	-24,0	-35,0	-17,0	-31,0	-32,0	-54,0	-20,0
	Frosnitzkees	-36,0	-49,0	-29,0	-7,0	-10,0	-8,0	-38,0	-46,0	(-69,0)	
	Schlatenkees	-50,0	-70,0	-67,0	-23,0	-50,0	-54,5	-89,5	-92,8	R (F)	R (F)
	Viltragenkees	-15,0	-28,0	-128	-27,0	-11,0	aufg.				
	Venedigerkees						neu	-21,5	-19,7	(-59,4)	
Granatspitzgruppe (aktuell 4)	Sonnblickkees (Sonnblickzunge)+	-8,8	-1,9	-0,1	-2,5	-1,5	-8,6	-22,1	-4,2	-17,1	-103,9
	Sonnblickkees (Filleckzunge)									-3,6	-2,8
	Sonnblickkees (Granatspitzzunge)									-20,7	-5,8
	Landeckkees**	1,1	-14,7	-7,9	sn	-1,1	(-26,5)		-5,7	(-281,3)	aufg.
	Kaiser Bärenkopfkees	-4,9	-3,6	-3,1	-2,8	-1,03	-3,0	-18,1	-4,9	-1,4	-6,1
Glocknergruppe (aktuell 14)	Pasterze (Hauptzunge)+	-44,3	-61,0	-31,9	-60,0	-52,5	-42,7	-87,4	-203,5	-66,3	-54,0
	Pasterze (Burgstallzunge)									-9,4	-9,8
	Wasserfallwinkel- Kees+	-39,4	-12,5	-13,9	-11,4	-14,9	-11,9	-28,5	-16,2	-20,5	-13,8
	Freiwandkees	-7,9	-89,1	-6,9	-5,9	-34	-1,0	-40,9	-65,8	-5,1	-9,0
	Brennkogelkees+	-7,5	-14,2	-6,4	-8,6	-13,7	-2,0	-31,6	-12,5	-6,8	-11,4
	Bärenkopfkees	-6,5	-13,3	-5,4	-86,9	-9,7	0	-14,2	-0,5	-8,0	-15,2
	Karlingerkees	-28,2	-9,0	-10,1	-71,7	-23,5	-7,2	-24,2	-15,7	-13,6	-23,8
	Kleineiserkees	-1,1	(-10,0)		-5,4	-4,3	-15,0	-9,3	-3,1	-7,1	-0,6
	Schmiedingerkees*	-12,1	-11,3	-33,1	-15,9	-15,8	-7,6	-62,6	-6,9	(-8,9)	
	Maurerkees	-3,1	(-20,0)		2,2	(-15,3)			-16,6	-10,3	-6,1
	Schwarzkarlkees	-14,7	(-45,8)		-7,7	-11,8	-11,4		-10,0	-7,6	-9,9
	Unteres Riffelkees+	-2,9	-11,1	-17,2	-6,2	-7,3	-12,3	-5,4	-15,3	-25,6	-29,8
	Totenkopfkees**	-0,5	-2,3	-6,0	-2,4	-2,8	-1,3	-25,6	-16,1	-10,0	aufg.
	Ödenwinkelkees+	-17,8	-22,3	-4,7	-10,6	-15,0	-25,5	-44,7	-37,9	-59,1	-25,3
Schobergruppe (aktuell 3)	Hornkees+	-7,1	-12,1	-8,0	-5,4	-2,6	-3,1	-2,3	-5,7	-5,9	-23,7
	Gössnitzkees+	-8,2	-8,0	-27,1	-6,7	-3,1	-5,8	-1,9	-1,5	-4,3	-9,6
	Roter-Knopf-Kees	-2,2	-1,5	-0,4	0	(-1,7)			-6,7	-5,8	-0,5
Goldberggruppe (aktuell 4)	Kleinfleißkees	-1,6	-4,5	-4,8	-0,2	-2,6	-0,2	-10,6	-4,8	-0,8	-6,9
	Östl. Wurten-/ Schareckkees*	-26	-11,4	-12,9	-5	-25,5	-6,8	-28,7	-18,7	-14,7	-20,3
	Goldbergkees (unterer Boden)									-2,8	-10,4
	Goldbergkees (mittlerer Boden)+	-10,5	-8,7	-4,4	-6,4	-7,6	-0,2	-14,6	-18,1	-9,9	-26,8
Ankogel Hochalm- spitz- gruppe (aktuell 6)	Winkelkees	-0,8	-	sn	sn	sn	n.d.	n.d.	R (F)	n.d.	n.d.
	Westl. Trippkees	-35,4	-49,3	-2,2	-1,3	-1,7	-4,2	-36,7	-22,2	(-101,4)	
	Hochalmkees	-7,1	-11,1	-3,3	-2,3	-2,3	-2,6	-7,2	-2,2	-8,9	-4,0
	Großelendkees	-4	-12,7	-4,9	-4,0	-2,2	-11,9	-32,1	-10,3	-7,5	-16,2
	Kälberspitzkees+	-11,2	-13,7	-4,6	-4,5	-5,1	-7,3	-11,0	-10,8	-16,9	-9,2
	Kleinellendkees+	-17,1	-9,1	-4,4	1,0	-0,3	-3,9	-13,2	-14,9	-13,0	-56,2
Mittelwert (alle mit Messwerten)		-15,1	-24,4	-17,1	-13,8	-13,9	-11,4	-28,4	-23,9	-17,4	-22,7

Anmerkungen: Angaben in Klammern sind in den Originalquellen zumeist als Zwei- oder Dreijahreswerte deklariert oder repräsentieren keinen realen Rückzugswerte wie z. B. beim Landeckkees im Messjahr 2023/24 (Erklärung im Kapitel 2.3). Werte, die auf Jahre mit n.d. folgen, sind in der Regel ebenfalls Mehrjahreswerte. Datenbasis sind die publizierten Jahresberichte des ÖAV, zuletzt Lieb & Kellerer-Pirklbauer (2026); n.d. = keine Daten; R (F) = Rückzug auf Basis von Fotovergleich zu Vorjahr; aufg. = aufgelassene Messreihe eines Gletschers. Die in den drei untersuchten Einzugsgebieten gelegenen Gletscher sind fett hervorgehoben. Zwei Gletscher liegen etwas außerhalb des Nationalparkgebietes, werden jedoch trotzdem aufgrund geografischer Nähe mit aufgenommen (*). Im Messjahr 2024/25 wurde das Landeckkees sowie das Totenkopfkees aus dem Messprogramm genommen (**). Die für Abbildung 13 verwendeten Gletscher sind mit + gekennzeichnet.

Demgegenüber zeigen einzelne Gletscher nur geringe Änderungen, wobei das Rote Knopfkees mit -0,5 m und das Kleineiserkees mit -0,6 m sogar als „stationär“ einzustufen waren. Insgesamt bestätigt sich damit auch für 2024/25 ein anhaltend hohes Niveau des Gletscherschwunds. (Zu den in Klammern angegebenen Werten siehe die Erklärungen im Kapitel 2.3.)

Zur besseren Vergleichbarkeit der Messjahre von 2015/16 bis 2024/25 zeigt Abbildung 13 die mittlere Längenänderung jener 15 Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern, für die seit 2011/12 durchgehend Daten vorliegen (aufbereitet für den ersten Bericht in diesem Projekt; jene mit + in Tabelle 11). Gegenüber der Auswertung des Vorjahres bleibt die Datenbasis damit nur eingeschränkt vergleichbar, da das Totenkopfkees aus dem Messprogramm genommen wurde. Für diese 15 Gletscher zeigt sich im aktuellen Beobachtungsjahr 2024/25 mit einer mittleren Längenänderung von -27,2 m ein außerordentlich hoher Rückzugswert. Damit weist 2024/25 innerhalb des Betrachtungszeitraums sogar den stärksten mittleren Rückzug auf und liegt noch vor den bereits sehr negativen Jahren 2022/23 und 2021/22. Die Ergebnisse bestätigen somit, dass sich die Phase außergewöhnlich intensiver Gletscherrückzüge und Eiszerfall weiter fortgesetzt hat.

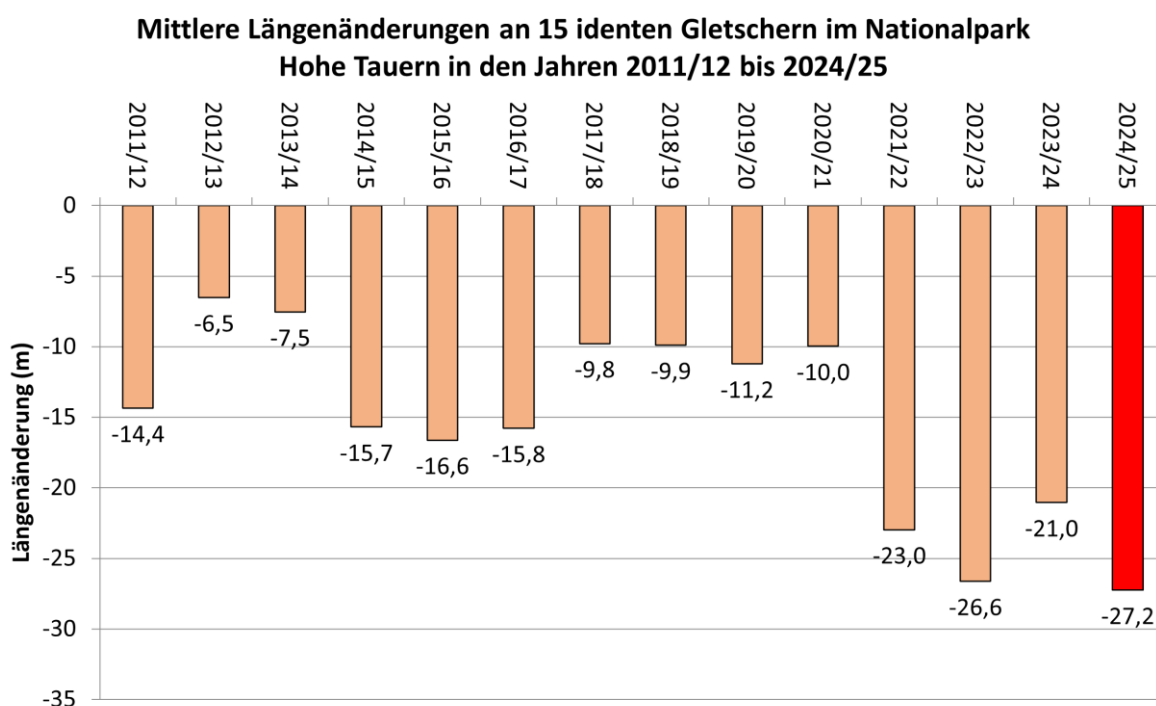


Abbildung 13: Mittlere Längenänderungen an 15 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die 14-jährige Periode 2011/12 bis 2024/25 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (+ in Tabelle 11). In kräftigem Rot gehalten das aktuelle Beobachtungsjahr. Weitere Erläuterungen im Text.

In der in Abbildung 13 dargestellten zeitlichen Entwicklung ist ein klares Muster erkennbar: Während die Jahre 2017/18 bis 2020/21 durch vergleichsweise moderate Rückzugsraten von rund -10 bis -11 m geprägt sind, zeigen sowohl die frühen Jahre 2014/15 bis 2016/17 als auch insbesondere die Periode seit 2021/22 deutlich höhere

mittlere Rückzugsraten. Die hohen Mittelwerte lassen sich einerseits durch regionale Häufungen starker Rückzüge erklären, wie etwa in der Venedigergruppe im Jahr 2016/17, andererseits aber vor allem durch ein nahezu flächendeckendes Auftreten starker Längenverluste in den jüngsten Jahren. Eine gewisse Ausnahme bildet weiterhin die Schobergruppe, in der die Rückzugsraten infolge der dortigen kleinen Gletscher tendenziell moderater ausfallen. 2012/13 und 2013/14 waren die gletschergünstigsten Jahre im dargestellten Zeitraum.

Für die räumliche Ebene der drei Flusseinzugsgebiete zeigt Abbildung 14 die Längenänderungen der drei Gletscher Winkelkees (Seebachtal), Untersulzbachkees (Untersulzbachtal) und Schlattenkees (Innergsschlöss). Ergänzend ist die Pasterze (Glocknergruppe) dargestellt, um eine längere und gut dokumentierte Vergleichsreihe einzubeziehen. Diese erweiterte Zeitspanne 2011/12 bis 2024/25 wurde gewählt, da am Winkelkees in den letzten Jahren keine direkten Messungen möglich waren. Dies verdeutlicht die zunehmenden Schwierigkeiten bei der Fortführung langjähriger Messreihen im hochalpinen Gelände. Abbildung 14 veranschaulicht das teils stark unterschiedliche Längenänderungsverhalten der vier ausgewählten Gletscher.

Im aktuellen Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 zeigt sich weiterhin eine ausgeprägt hohe Rückzugsdynamik. Für die Pasterze wurde erneut ein sehr hoher Rückzugswert von $-54,0$ m gemessen, womit der Gletscher weiterhin auf einem außergewöhnlich hohen Niveau an Längenverlusten verblieb. Auch das Untersulzbachkees weist mit $-20,6$ m einen weiterhin starken Rückgang auf. Für das Schlattenkees liegt im aktuellen Jahr – gleich wie für das Winkelkees – kein Messwert vor. Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg zeigt sich, dass die Pasterze die höchsten durchschnittlichen Rückzugsraten aufweist. Die extrem hohen Mittelwerte sind vor allem auf die außergewöhnlichen Eisverluste der letzten Jahre zurückzuführen, die durch Prozesse des strukturellen Eiszerfalls an der tief liegenden Gletscherzunge verstärkt werden. Das Untersulzbachkees und das Schlattenkees weisen ebenfalls durchgehend negative Längenänderungen auf, jedoch mit deutlich geringerer Intensität. Für das Winkelkees ist die Aussagekraft des Mittelwertes aufgrund der in den letzten Jahren fehlenden Messdaten deutlich eingeschränkt. Insgesamt bestätigt Abbildung 14 sowohl die hohe Variabilität der Längenänderungen auf Einzelgletscherebene als auch die anhaltend starke Rückzugsdynamik aller Gletscher.

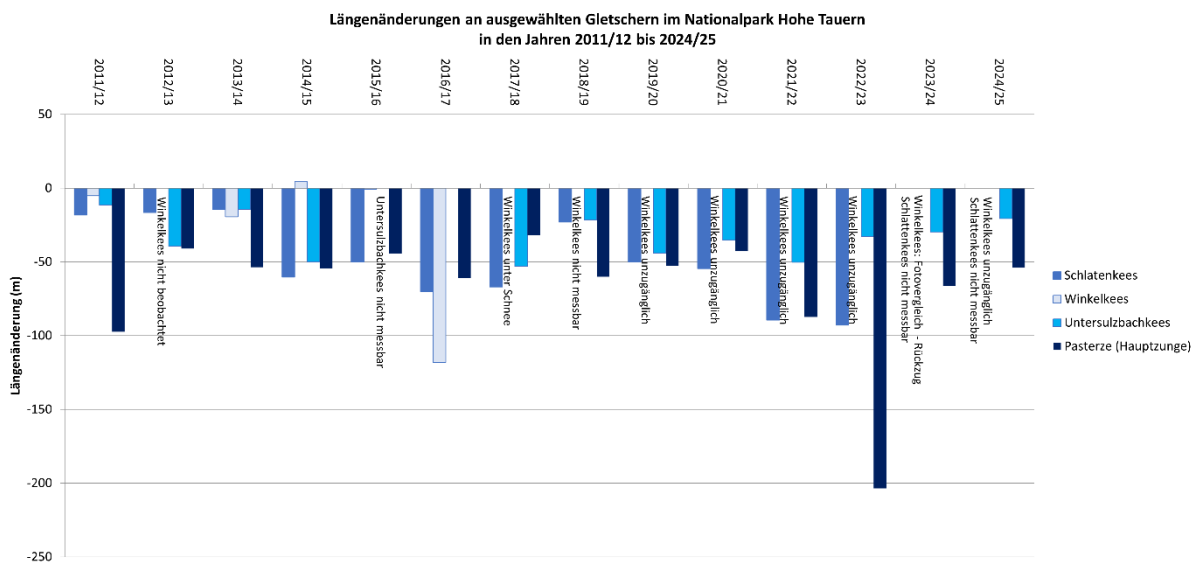


Abbildung 14: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlattenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogelgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2024/25. Erläuterungen im Text.

(b) Massenbilanz

Die in Tabelle 12 dargestellten Ergebnisse der Massenbilanzbestimmungen von sieben Gletschern im oder nahe dem Nationalpark Hohe Tauern sowie die Visualisierung von vier Gletschern davon in Abbildung 15 bestätigen deutlich die bereits anhand der Längenänderungen aufgezeigten langfristig gletscherungünstigen Bedingungen. Im gesamten hier gezeigten 10-jährigen Beobachtungszeitraum 2015/16–2024/25 weisen alle betrachteten Gletscher durchgehend negative bis stark negative spezifische Massenbilanzen auf. Nur 2020/21 stellt ein vergleichsweise günstiges Jahr dar, in dem der mittlere spezifische Massenverlust der sieben Gletscher bei „nur“ –505 mm lag. Demgegenüber hebt sich 2021/22 deutlich als Negativjahr hervor: Mit einem mittleren Verlust von –2783 mm wurde ein neuer Negativrekord erreicht, wobei insbesondere das Wurtenkees und das Stubacher Sonnblickkees außergewöhnlich hohe Verluste verzeichneten. Im darauffolgenden Jahr 2022/23 verringerte sich der Massenverlust deutlich, jedoch ist diese „Entspannung“ vor dem Hintergrund der extremen Vorjahreswerte zu sehen und bedeutete daher keine nachhaltige Verbesserung der Gletscherbilanz. Die Ergebnisse für das Gletscherhaushaltsjahr 2023/24 zeigen erneut eine differenzierte Entwicklung:

Im aktuellen Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 zeigt sich insgesamt eine leichte Abschwächung der Massenverluste (im Mittel um 14 %; ohne das Wurtenkees, für welches zum Zeitpunkt der Berichtslegung keine Werte verfügbar waren), wobei weiterhin durchgehend negative Werte vorliegen. Die spezifischen Massenbilanzen reichen von –1275 mm (Stubacher Sonnblickkees) bis –2100 mm (Goldbergkees). Im Vergleich zum Vorjahr ergibt sich bei mehreren Gletschern eine moderate Verbesserung, so etwa beim Kleinfleißkees (–7,9 %) und beim Stubacher Sonnblickkees (–12,2 %), während andere Gletscher wie das Venedigerkees eine Zunahme der Massenverluste aufweisen (+18,1 %). Insgesamt bestätigt sich auch im Massenbilanzmonitorings eine anhaltende Gletscherungunst mit Aufzehrung der Eistrücklagen aus der Vergangenheit.

Tabelle 12: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die neun Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2024/25 in mm Wasseräquivalent. Grau hinterlegt ist das aktuelle Gletscherhaushaltsjahr. Die Daten von 2022/23 für das Wurtenkees (*) lagen, wie in Kapitel 2.3 erläutert, erst 2024 vor.

Gletscher	2015 /16	2016 /17	2017 /18	2018 /19	2019 /20	2020 /21	2021 /22	2022 /23	2023 /24	2024 /25
Goldbergkees	-860	-1806	-1697	-845	-1093	-504	-2800	-1942	-2200	-2100
Kleinfleißkees	-432	-1791	-1377	-723	-738	-291	-2700	-1777	-2050	-1900
Pasterze	-1163	-1593	-1420	-1100	-1011	-900	-2300	-1650	-1800	-1450
Stubacher Sonnblickkees	-828	-1850	-1507	-699	-627	-688	-3417	-2294	-1430	-1275
Venedigerkees	-467	-659	-1045	-505	-392	-248	-2208	-1323	-1290	-1575
Wurtenkees	-1250	-1706	-1957	-1232	-1326	-458	-3604	-2920*	-2698	nd
Zettalunitz Mullwitzkees	-858	-1340	-1239	-611	-393	-447	-2449	-1749	-1783	-1472

Im mehrjährigen Mittel zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Gletschern: Besonders hohe durchschnittliche Massenverluste über die zehn Jahre 2015/16 bis 2024/25 weisen das Wurtenkees (–1906 mm), und das Goldbergkees (–1585 mm) auf. Etwas geringere Werte weisen die drei Gletscher Stubacher Sonnblickkees, Pasterze und Kleinfleißkees – mit Durchschnittswerten zwischen –1462 und –1378 mm – auf. Nur wenig besser erging es dem Zettalunitz/Mullwitzkees mit im Mittel –1234 mm. Von den sieben Gletschern schneidet in diesem 10-jährigen Zeitraum das Venedigerkees, wo im Mittel ein Massenverlust von „nur“ –904 mm pro Jahr zu verzeichnen war, relativ am besten ab. Über alle sieben Gletscher hinweg ergibt sich ein mittlerer spezifischer Massenverlust im Zeitraum 2015/16 –2024/25 von –1425 mm.

Abbildung 15 verdeutlicht auch – ähnlich wie die Längenänderungen in Abbildung 14 – die hohe interannuelle Variabilität sowie die deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Gletschern. Insgesamt zeigt sich eine

gewisse Vergleichbarkeit zwischen Massenbilanz und Längenänderung, wobei beide Parameter konsistent auf eine anhaltend negative Entwicklung der Gletscher in den Hohen Tauern hinweisen. Das letzte glaziologische Haushaltsjahr mit positiven Massenbilanzen an zumindest einem der hier gezeigten sieben Gletschern war 2013/14, mit leichten bis mäßigen Massenzuwächsen am Goldberg-, Stubacher Sonnblick-, Zettalunitz/Mullwitz- und Kleinfleißkees (dort sogar fast 500 mm).

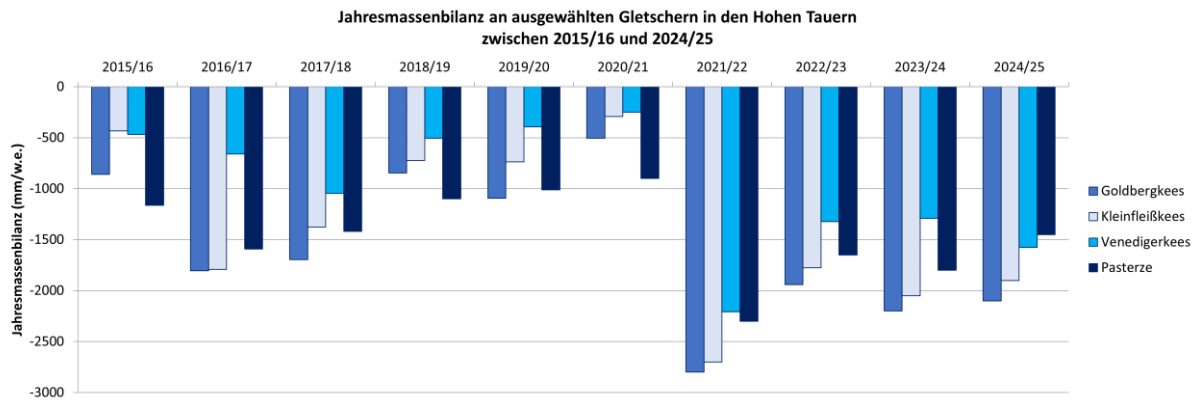


Abbildung 15: Spezifische Jahresmassenbilanzen an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2024/25. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben. Siehe hierzu auch Tabelle 12.

3.4. Ergebnisse Bereich Permafrost 2024/25

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

Dieses Messnetz wird durch die Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, betreut und von Andreas Kellerer-Pirklbauer geleitet, was die Einbindung der Ergebnisse aus diesem Monitoringmessnetz in den vorliegenden Bericht erleichtert. Die an den Standorten ermittelten Jahresmitteltemperaturen für das Berichtsjahr 2024/25 sind in Abbildung 16 – aufgeteilt auf die vier Teilgebiete – dargestellt. Alle vier Teildigramme sind auf der Ordinate gleich skaliert und somit direkt vergleichbar. Dieser Bericht enthält einen Überblick über die Ergebnisse, für eine vertiefende Darstellung wird auf die Berichte im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten (zuletzt Kellerer-Pirklbauer et al. 2026) verwiesen.

Im Arbeitsgebiet Hinteres Langtalkar-Kögelekar (inklusive dem benachbarten Vergleichsstandort GOE-PRO) konnten für 15 Standorte Jahresmitteltemperaturen für das Messjahr 2024/25 ermittelt werden. An zwei Standorten in diesem Untersuchungsgebiet gab es bedingt durch Stromversorgungsprobleme einen Ausfall (KC-LIA, HLC-Q). Der Standort KC-LO musste steinschlagbedingt bereits im Jahr 2021 aufgegeben werden. Für Vergleichsdarstellungen in der Langzeitbetrachtung erscheint dieser Standort jedoch noch in der Abbildung 16. An drei Standorten lag die Jahresmitteltemperatur merklich unter 0°C. Im Jahr zuvor hatte nur ein Standort eine negative Jahresmitteltemperatur (KC-UP). Die höchsten Jahresmittelwerte wurden hingegen mit 3,8 °C am südexponierten Soliflukationsstandort (HLC-SO-S) gemessen, gefolgt vom südexponierten Felsmesstandort (HLC-RF-S) mit 3,2 °C. Im Arbeitsgebiet Hinteres Langtalkar-Kögelekar war in den letzten vier Beobachtungsjahren zwar der wärmste Standort immer identisch (HLC-SO-S), der kälteste jedoch nicht (entweder KC-UP oder HLC-MI-N). Der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur an den 15 Standorten in diesem Arbeitsgebiet mit entsprechenden Werten liegt bei 1,0 °C (im Vorjahr 1,9 °C; 2022/23 ebenfalls 1,0 °C). Dadurch erscheinen die Bedingungen im Hinteren Langtalkar-Kögelekar und im hintersten Gössnitztal im letzten Beobachtungsjahr mit einem Unterschied von 0,9 °C zum Vorjahr als deutlich kälter und somit etwas permafrostgünstiger.

Im Arbeitsgebiet Fallbichl-Hochtor liegen wie im Vorjahr von vier Standorten Jahreswerte für 2024/25 vor, für den Standort HOT-SN zum zweiten Mal. An keinem der vier Standorte gab es im letzten Messjahr eine negative Jahresmitteltemperatur. Der wärmste Standort war FAL-LO, der kälteste HOT-SN (im Vorjahr FAL-LO und HOT-PA).

Der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur an den vier Standorten lag für 2023/24 bei 2,3 °C und für 2024/25 bei 1,4 °C. An allen vier Standorten lag der Jahresmittelwert von 2024/25 deutlich unter jenem von 2023/24 (zwischen 0,8 und 1,4 °C). Auch in diesem Arbeitsgebiet waren die Bedingungen für Permafrost 2024/25 etwas günstiger, wie die im Mittel um 0,9 °C gegenüber dem Vorjahr tieferen Temperaturen zeigen.

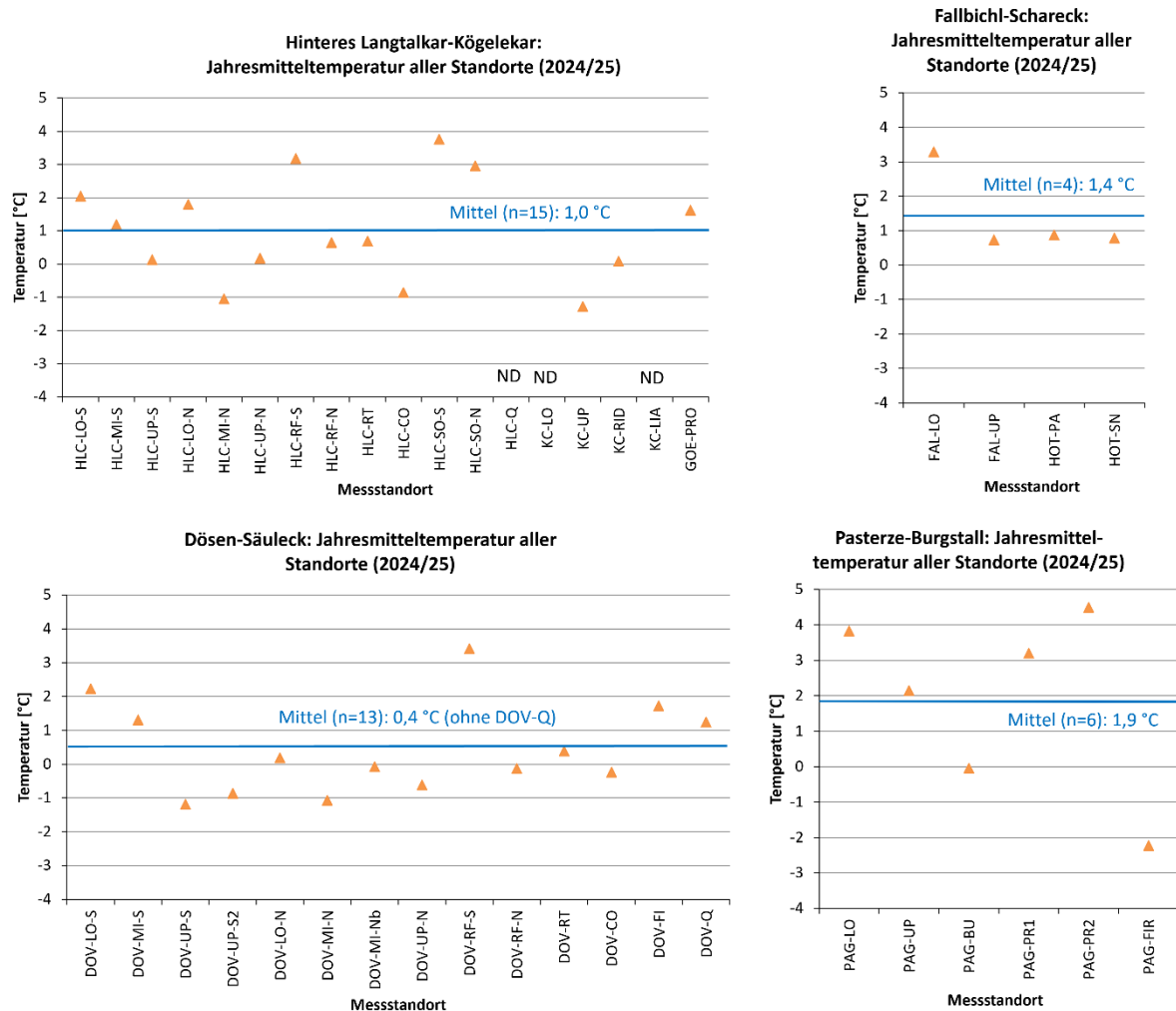


Abbildung 16: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche im Zeitraum 01.08.2024–31.07.2025 (Messjahr 2024/25) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, verfügen aufgrund technischer Probleme über keine geschlossene Datenreihe für das letzte Berichtsjahr oder sind aktuell nicht instrumentiert (z. B. KC-LO, steinschlagbedingt). Der Mittelwert pro Arbeitsgebiet ist ebenfalls dargestellt.

Im Arbeitsgebiet Dösen-Säuleck liegen für 2024/25 Ergebnisse von 14 Standorten vor (im Vorjahr 13). Für den neuen Standort DOV-UP-S2 konnte erstmals ein Jahresmittelwert ermittelt werden, der jedoch nicht – wie bei allen anderen Standorten – den Zeitraum 01.08.2024 bis 31.07.2025 umfasst, sondern 27.08.2024–26.08.2025. An sieben Standorten, vier davon nordexponiert, wurden negative Jahresmitteltemperaturen (zwischen -0,1 und -1,2 °C) ermittelt, im Jahr zuvor war dies nur an drei Standorten der Fall. Der traditionell kälteste Standort in diesem Arbeitsgebiet (DOV-UP-S) wies auch im aktuellen Berichtsjahr den deutlich niedrigsten Wert von -1,19 °C auf. Im Jahr zuvor war dieser Standort um 0,21 °C wärmer, in den drei Jahren davor deutlich kälter. Der neue Standort DOV-UP-S2 war im Vergleich zum benachbarten Standort DOV-UP-S im Zeitraum 27.08.2024–26.08.2025 um 0,46 °C wärmer, ist jedoch im Jahresmittel auch deutlich unter 0 °C geblieben (-0,9 °C). Der hohe Wert von 2024/25 zeigt, dass das letzte Beobachtungsjahr nur wenig permafrostgünstiger war als das Jahr zuvor. An den 13 Bodentemperaturstandorten mit entsprechenden Werten für 2024/25 (ohne die Wassertemperaturwerte) lag der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur 2024/25 bei 0,4 °C und war somit um 0,8 °C tiefer als im Jahr zuvor.



Im Arbeitsgebiet Pasterze-Burgstall konnten für sechs Standorte Jahresmittelwerte errechnet werden, wobei 2024/25 nur zwei Standorte einen negativen Mittelwert aufwiesen. Dies waren mit $-2,2\text{ °C}$ der höchstgelegene Standort des gesamten Messnetzes (PAG-FIR) auf 3049 m sowie mit $-0,05\text{ °C}$ der Standort PAG-BU auf 2932 m. Im Vorjahr war nur der Standort PAG-FIR negativ. Der Standort PAG-FIR wies – gleich wie in den vier Vorjahren – auch den tiefsten Jahresmittelwert der Temperatur des gesamten Messnetzes auf. Dieser Wert lag im Jahr 2024/25 um $0,35\text{ °C}$ tiefer als im Jahr zuvor. Der Mittelwert der Jahresmitteltemperatur an den sechs Standorten in diesem Messgebiet für 2024/25 lag bei $1,9\text{ °C}$, 2023/24 mit $2,4\text{ °C}$ deutlich darüber und in den beiden Vorjahren deutlich darunter. Am Standort PAG-PR2 wurde – wie im Vorjahr – auch der höchste Jahresmittelwert im Messjahr 2024/25 gemessen ($+4,5\text{ °C}$). Die gegenüber dem Vorjahr nur geringfügig abgeschwächte Permafrostungunst bestätigt sich somit in allen vier Arbeitsgebieten im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten.

In Summe konnte im Messjahr 2024/25 an 39 Standorten ein Jahresmittelwert der Bodentemperatur ermittelt werden. Im Messjahr 2023/24 waren es ebenfalls 39 Standorte, jedoch nicht dieselben, 2022/23 waren und 2021/22 weniger. Von den 39 Standorten mit Jahresdaten in 2024/25 wiesen immerhin 12 Standorte (30,8 %) einen negativen Mittelwert auf. Im Jahr zuvor lag dieser Wert bei 12,8 %, 2022/23 bei 35 %. Der Mittelwert der Temperatur für 2024/25 lag an den 39 Standorten bei $1,0\text{ °C}$ (2023/24: $1,8\text{ °C}$). Die Mittelwerte für die drei Jahre davor schwankten um 1 °C . An keinem Standort wurde ein neues Temperaturmaximum ermittelt und nur an einem Standort lag der Jahresmittelwert von 2024/25 über jenem von 2023/24 (DOV-RF-S; um $0,33\text{ °C}$). Das letzte Beobachtungsjahr war somit deutlich kälter als das Jahr zuvor, zeichnete sich aber doch durch eine deutliche Permafrostungunst aus, welche der Periode 2020/21 bis 2022/23 ähnelt.

Abbildung 17 zeigt die Tagesmitteltemperaturen der vier in Tabelle 5 grau hinterlegten Standorte (einer pro Untersuchungsgebiet) im Messjahr 2024/25. 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 meteorologischen Station im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) für denselben Zeitraum hinterlegt.

Untersuchungsgebiet Hinteres Langtalkar-Kögelekar: Im Jahresgang für 2024/25 am Standort HLC-UP-N ist deutlich zu erkennen, dass wiederum eine winterliche Schneedecke sich dämpfend auf Schwankungen der Bodentemperatur von Anfang November 2024 bis Anfang Juli 2025 auswirkte, wobei bis Ende Jänner die Schneedecke nur relativ dünn war. Bis Ende Jänner war somit zumindest eine gewisse Auskühlung des Untergrunds möglich. Der Untergrund war durch die Schneedecke bis ca. 10.06. vor der solaren Einstrahlung effizient geschützt. Insgesamt lag die Jahresmitteltemperatur an diesem Standort mit $0,2\text{ °C}$ knapp über dem Gefrierpunkt und war um $1,1\text{ °C}$ niedriger als im Vorjahr.

Untersuchungsgebiet Fallbichl-Hochtor: Im Gegensatz zu den Berichtsjahren 2020/21 und 2023/24 und ähnlich den Berichtsjahren 2021/22 und 2022/23 gab es im aktuellen Berichtsjahr am Standort FAL-UP keine langanhaltende saisonale Schneedecke. Über den gesamten Winter schwankt an diesem Standort die Bodentemperatur deutlich. Es fehlt auch die Periode von Schneedeckendurchdrängung und -abbau, welche durch konstante 0 °C gekennzeichnet ist („zero-curtain period“). Durch die Schneearmut konnte der Untergrund ähnlich wie 2021/22 und 2022/23 sehr gut auskühlen. So lag auch die Jahresmitteltemperatur an diesem Standort bei $0,73\text{ °C}$ und somit um $1,38\text{ °C}$ unter der des Vorjahres.

Untersuchungsgebiet Dösen-Säuleck: Die ermittelten Tagesmittelwerte für DOV-UP-S zeigen ähnlich FaL-UP eine gute Koppelung der Boden- mit der Lufttemperatur, zumindest bis Ende Februar 2025. Auffällig ist der extreme Kältepeak um den 20.11. mit unter -17 °C . Nach Ende Februar ist auch hier eine thermisch dämpfende Wirkung einer saisonalen Schneedecke erkennbar. Insbesondere im Mai 2025 hat eine abschmelzende Schneedecke für relativ stabile Temperaturen um 0 °C gesorgt. In der schneefreien Zeit folgen die Tageswerte dem Muster von FAL-UP, wenn auch die Werte am Standort DOV-UPS-S wegen der größeren Seehöhe etwas niedriger sind. Der Jahresmittelwert am Standort DOV-UP-S für 2024/25 liegt bei $-1,15\text{ °C}$, womit der Standort nur um $0,21\text{ °C}$ kälter als im Vorjahr und deutlich wärmer als in allen Jahren vor 2022/23 war.

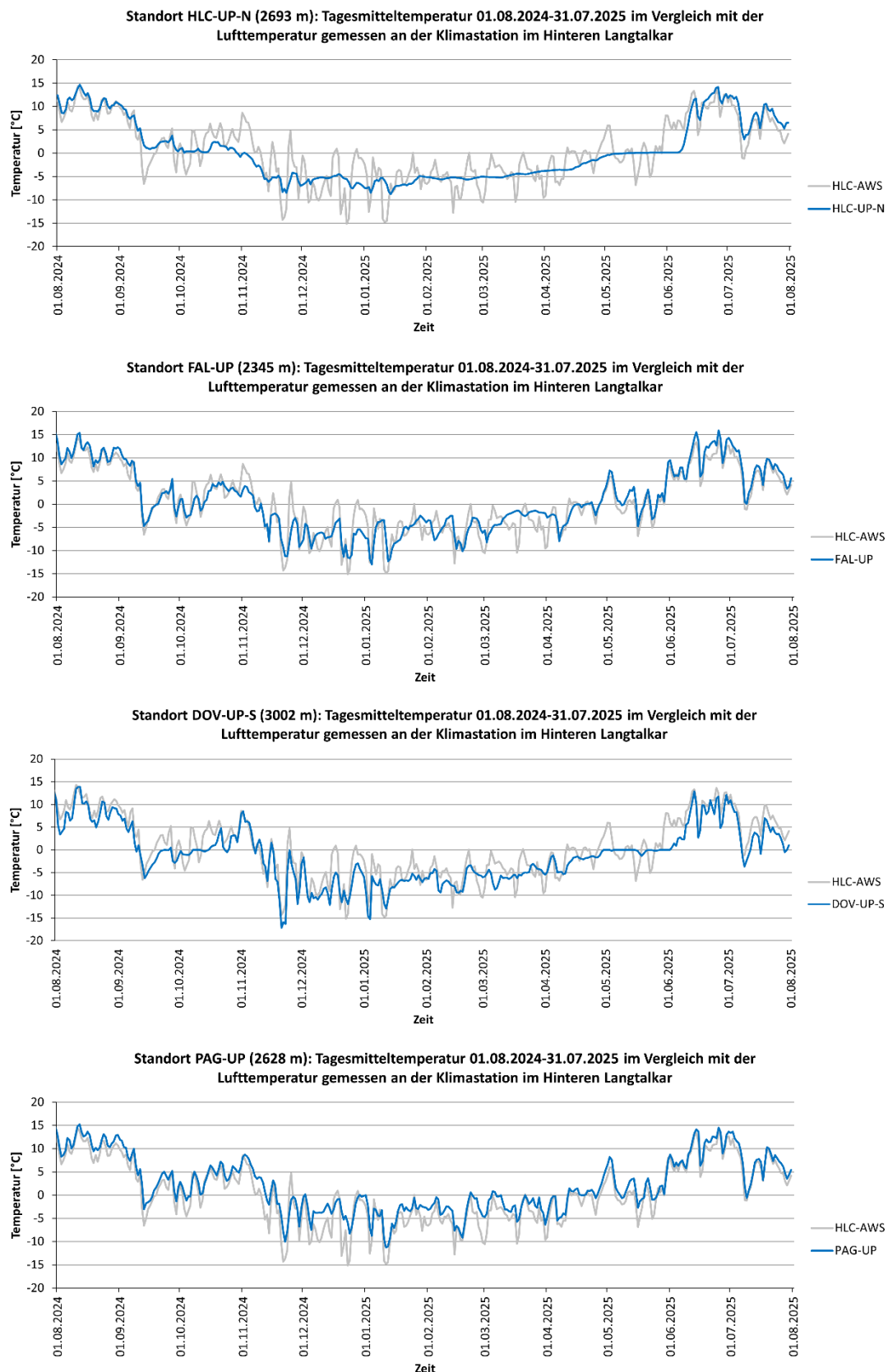


Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten – HLC-UP-N, FAL-UP, DOV-UP-S und PAG-UP – im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten bzw. dessen Nahbereich (Standort FAL-UP) für das Messjahr 2024/25 (01.08.2024–31.07.2025). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtige Schneedecke (> 80 cm) hin (Erläuterungen im Text). In Grau sind die Tagesmittelwerte der automatischen meteorologischen Station im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt.

Untersuchungsgebiet Pasterze-Burgstall: Hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie am Standort FAL-UP. Über den gesamten Winter hindurch ist keine zero-curtain Periode erkennbar, sodass man von weitgehend schneefreien Bedingungen ausgehen kann. Eine dünne, nur wenig isolierende winterliche Schneedecke dürfte an diesem Standort – wie in den Jahren zuvor – jedoch immer wieder vorhanden gewesen sein, was man an gegenüber der Lufttemperatur gedämpften Bodentemperaturminima erkennt. Im Jahresmittel lag die Temperatur am Standort PAG-UP in 2024/25 mit 2,15 °C um 0,72 °C unter dem des Vorjahres, aber deutlich über jenen der Jahre davor. Somit war das Messjahr 2024/25 auch hier im Mittel das zweitwärmste der letzten Jahre hinter 2023/24.

Insgesamt repräsentieren die in Abbildung 17 dargestellten Temperaturkurven wiederum gut das breite Spektrum an Bodentemperatur-Messstandorten im Nationalpark Hohe Tauern. Dieses reicht von solchen mit dämpfender winterlicher Schneedecke in allen (auch in schneearmen) Jahren bis zu solchen, an denen selbst in schneereichen Wintern eine länger anhaltende Schneedecke fehlt. Im Messjahr 2024/25 existierte aber nur an einem der vier Standorte eine wirklich dämpfende winterliche Schneedecke.

In der Abbildung 18 werden die Jahresmittelwerte aller Standorte der Periode 2024/25 den gemittelten Werten der 12-Jahresperiode 2013/14–2024/25 gegenübergestellt. Die Darstellungsweise ist so gewählt, dass Datenpunkte, die oberhalb der strichlierten Linie liegen, Standorte zeigen, an denen die Jahresmitteltemperatur im Messjahr, welches auf der X-Achse ausgewiesen ist, höher als in der Vergleichsperiode (Y-Achse) war. Der Vergleich der Werte von 2024/25 mit jenen der Langzeitperiode zeigt, dass es sowohl Standorte gibt, die über dem Durchschnitt lagen, als auch solche, die 2024/25 tiefere Werte als im 12-jährigen Zeitraum aufwiesen. Die beiden Standorte, für die nur der Wert von 2024/25 vorlag (DOV-UP-S2 und KC-RID), wurden nicht berücksichtigt. An 18 der 37 verbleibenden Standorte war 2024/25 wärmer als im Durchschnitt (zwischen 0,73 und 0,12 °C), in den restlichen 19 Fällen lag die Durchschnittstemperatur der 12-jährigen Messperiode über dem Wert von 2024/25 (um 0,04 bis 0,67 °C). Insgesamt war das Mittel im Messjahr 2024/25 mit ca. 1 °C ähnlich dem der Gesamtperiode.

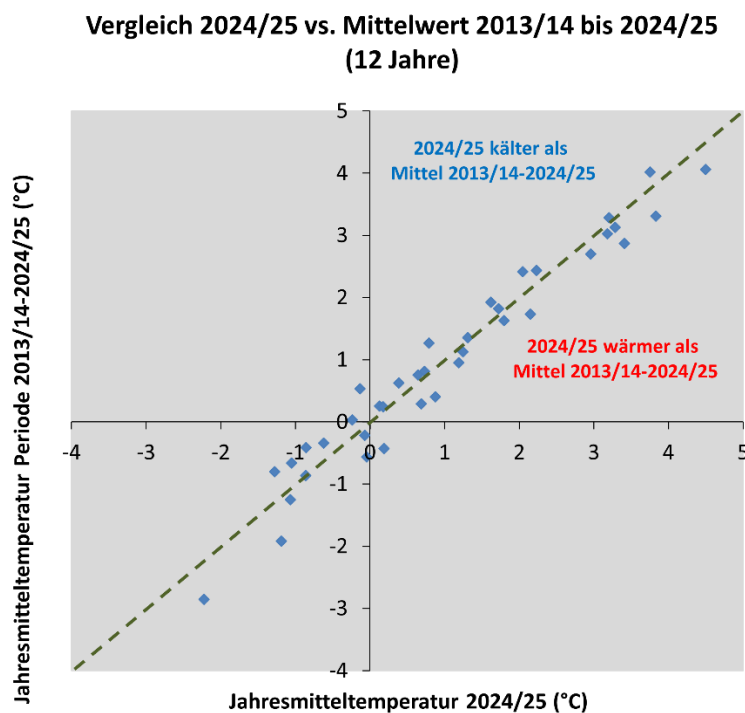


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte des gegenständlichen Projektjahres 2024/25 mit den durchschnittlichen Jahresmittelwerte über den Zeitraum 12-jährigen Messzeitraum 2013/14 bis 2024/15 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten. Im Mittel liegen die beiden Wertepaare bei 0,99 °C (2024/25) bzw. 0,97 °C (12-Jahresmittel).

Die Abbildung 19 veranschaulicht die langjährige Entwicklung der Temperatur an denselben vier Standorten wie in der Abbildung 17. Zu diesem Zweck sind die Jahresmittel der Bodentemperaturen aller einzelnen Jahre seit 2007/08 eingetragen. Die nachfolgend als „Trends“ geschilderten Entwicklungen sind statistisch z. T. signifikant ($p < 0,01$: HLC-UP-N, PAG-UP, DOV-UP-S), z. T. aber auch nicht ($p > 0,05$: FAL-UP), was den großen Wert der langjährigen Fortführung dieser Zeitreihen unterstreicht. Zu den vier Graphiken ist Folgendes anzumerken:

Untersuchungsgebiet Hinteres Langtalar-Kögelekar: Der Standort HLC-UP-N lässt über die Jahre einen deutlichen Erwärmungstrend erkennen, wobei die Werte in den 17 Jahren bis einschließlich 2022/23 sowie 2024/25 nur um ca. 1,5 °C schwanken. Das Messjahr 2023/24 brachte jedoch mit 1,33 °C einen neuen Extremwert, der 0,7 °C über dem bisherigen Maximum (0,63 °C in 2019/20) lag. Deutliche „Ausreißer“ nach unten in dieser Entwicklung sind die Messjahre 2015/16 und insbesondere 2016/17, in welchem das Minimum der bisher 17-jährigen Messreihe registriert wurde. Der Temperaturanstieg an diesem Standort ist im Beobachtungszeitraum statistisch signifikant und ergibt eine mittlere Erwärmungsrate von 0,07 °C/Jahr.

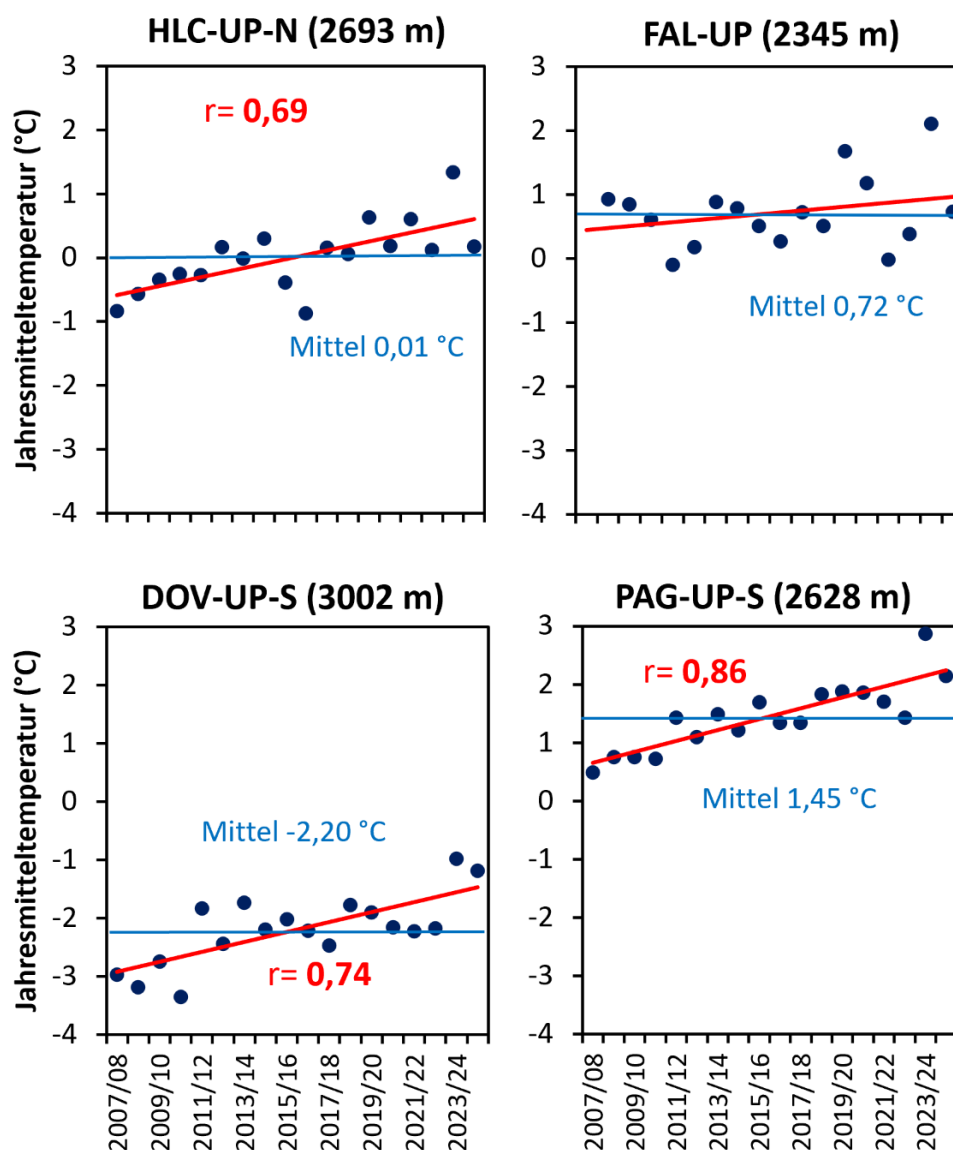


Abbildung 19: Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten für den Zeitraum 01.08.–31.07. des Folgejahres für die Messjahre von 2007/08–2024/25. Lineare Trends sowie entsprechende Korrelationskoeffizienten sind dargestellt. Jene für DOV-UP-S, HLC-UP-N und PAG-UP sind statistisch signifikant (alle drei $p < 0,01$ – Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1 %). Zu beachten die gleiche Skalierung der Ordinaten.



Untersuchungsgebiet Fallbichl-Hochtor: Der Standort FAL-UP lässt demgegenüber nur einen schwach positiven Trend, den bei Weitem schwächsten aller Standorte, erkennen. Die Amplitude der Jahresmittelwerte beträgt 2, °C und wird besonders durch von Jahr zu Jahr stark wechselnde Schneeverhältnisse (siehe weiter unten) beeinflusst. Auffallend ist, dass die drei Messjahre 2019/20, 2020/21 und v. a. 2023/24 auch hier die wärmsten waren. Das aktuelle Messjahr liegt ziemlich im Mittel. Die errechnete mittleren Erwärmungsrate von 0,03 °C/Jahr ist statistisch nicht signifikant.

Untersuchungsgebiet Dösen-Säuleck: Am Standort DOV-UP-S bleibt die Temperatur in allen Jahren deutlich unter 0 °C. Die bei Weitem höchste Jahresmitteltemperatur betrug -0,98 °C im Jahr 2023/24, gefolgt von -1,19 °C in 2024/25, womit die beiden letzten Jahre die wärmsten waren. Die tiefste Temperatur wurde 2010/11 mit -3,4 °C ermittelt. Somit liegen die Werte in allen Jahren im permafrosttypischen Bereich. Die Schwankungsbreite von 2,4 °C in 18 Jahren ist den anderen Standorten ähnlich (jeweils 2,2 °C für HLC-UP und FAL-UP; 2,4 °C für PAG-UP). Der allgemeine Erwärmungstrend am Standort DOV-UP-S ist etwas stärker ausgeprägt als am Standort HLC-UP-N (mit 0,09 °C/Jahr), jedoch mit einer Konstanz des Temperaturniveaus in den drei Jahren 2020/21 bis 2022/23. Auffällig an diesem Standort ist die Beobachtung, dass die ersten vier „kalten“ Jahre mit den darauffolgenden 12 wärmeren Jahren deutlich kontrastieren und die beiden letzten bei Weitem die wärmsten waren.

Untersuchungsgebiet Pasterze-Burgstall: Ähnlich verhält es sich am allgemein schneearmen Standort PAG-UP. Die Jahresmitteltemperatur blieb dort jedoch in allen 18 bisherigen Jahren deutlich über 0 °C und weist, wie erwähnt, Schwankungen von 2,4 °C auf, wobei der Trend der Jahresmitteltemperatur von allen hier gezeigten Standorten am deutlichsten nach oben zeigt. Der Temperaturanstieg an diesem Standort ist ebenfalls statistisch signifikant und ergibt eine mittlere Erwärmungsrate von 0,09 °C/Jahr.

(b) Permafrost-Bohrlochtemperaturen am Hohen Sonnblick

Abbildung 20 zeigt die Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 sowie die Lufttemperaturen am Sonnblick für den Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025. Deutlich erkennbar ist eine enge, wenn auch gebufferte Kopplung zwischen Luft- und Bodentemperatur in den oberflächennahen Tiefen (0 m und 0,4 m) während der schneefreien Phasen im Herbst sowie im Sommer. Besonders bis Anfang Dezember und erneut ab Anfang Juli folgen die Bodentemperaturen an und nahe der Oberfläche relativ gut den atmosphärischen Schwankungen. Mit Beginn des Winters setzt eine zunehmende thermische Entkopplung ein. Während die Lufttemperatur im Jänner und Februar deutlich unter -8 °C fällt, schwanken die Bodentemperaturen in den oberen Schichten gedämpfter und auf deutlich höheren Werten (z. B. rund -6 bis -7 °C in 0 m Tiefe). Dies weist auf eine nur mäßig isolierende, geringmächtige Schneedecke hin. Dadurch konnte der Untergrund besser auskühlen als im Vorjahr und in 4 m Tiefe wurden noch Anfang Mai -3,0 °C erreicht (im Jahr zuvor waren es Anfang Mai nur -2,0 °C in derselben Tiefe). Insgesamt bewirkten die schneearmen Verhältnisse am Sonnblick (Kapitel 3.1) trotz des allgemein hohen Temperaturniveaus eine im Vergleich zum Vorjahr bessere Auskühlung des Gipfelbereiches im Winter.

Auffällig ist der Übergangsbereich im späten Frühjahr: Zwischen Mai und Juni verharren die Temperaturen in den oberflächennahen Tiefen über einen längeren Zeitraum nahe 0 °C. Dieser sogenannte Zero-Curtain-Effekt stellt sich bei Durchfeuchtung und dem langsamen Abschmelzen der Schneedecke ein und erstreckte sich – wie in den Vorjahren – über mehrere Wochen. Er war sogar in einer Tiefe von 1,2 m von Anfang Juni bis Mitte Juli deutlich zu erkennen. Der Grund hierfür ist etwas unklar: Laut Claudia Riedl (GeoSphere Austria), wurde Wassereintritt oder Ähnliches nicht beobachtet, das Bohrloch ist aber schon älter und „nicht dicht“, weshalb Wassereintritt trotzdem nicht ausgeschlossen werden kann

Mit zunehmender Tiefe nimmt die Amplitude der Temperaturschwankungen deutlich ab. Die jahreszeitlichen Variationen sind diese in 4 m Tiefe bereits deutlich gedämpft und in 12 m Tiefe kaum mehr ausgeprägt. Die Temperaturen in 12 m Tiefe bewegen sich im gesamten Beobachtungsjahr in einem engen Bereich um etwa -1,2 bis -1,5 °C. In 20 m Tiefe ist das Temperaturniveau noch stabiler und reflektiert im Wesentlichen die langfristigen thermischen Bedingungen des Permafrostkörpers. Auffallend sind jedoch Temperatursprünge in diesen beiden Messtiefen Ende Juni/Anfang Juli 2025: In 20 m Tiefe war das Tagemittel am 30.06. noch stabil und betrug -1,53 °C.

Danach erfolgten drei Erwärmungssprünge vom 30.06. auf 01.07.2025 um 0,03 °C, vom 01. auf 02.07. um 0,07 °C und vom 07. auf 08.07. um 0,06 °C (Detailgrafik in Abb. 20). Danach gab es wiederum stabile Bedingungen bei konstant -1,38 oder -1,39 °C. In 12 m Tiefe ist nur ein Sprung vom 07. auf 08.07. um 0,02 °C erkennbar. Die Ursachen hierfür sind zum Zeitpunkt der Berichtslegung unklar (laufende Diskussion mit Claudia Riedl und Michael Avian, beide GeoSphere Austria) und könnten technischen Ursprungs sein oder mit natürlichem Wassereintritt im Untergrund zusammenhängen.

Die mittleren Jahrestemperaturen zeigen insgesamt weiterhin negative Werte in allen Tiefen. Im aktuellen Beobachtungsjahr liegen diese beispielsweise bei etwa -2,38 °C (0 m), -2,49 °C (0,4 m), -2,29 °C (1,2 m), -1,57 °C (4 m), -1,17 °C (12 m) und -1,49 °C (20 m). Im Vergleich zu den Vorjahren ergeben sich damit keine grundlegenden Veränderungen im thermischen Regime für die Sensoren in 12 und 20 m Tiefe (bis auf die bereits erwähnten Sprünge). An den Sensoren von 0 bis 1,2 m Tiefe war aber 2024/25 um etwa 1,5 °C kälter als 2023/24,

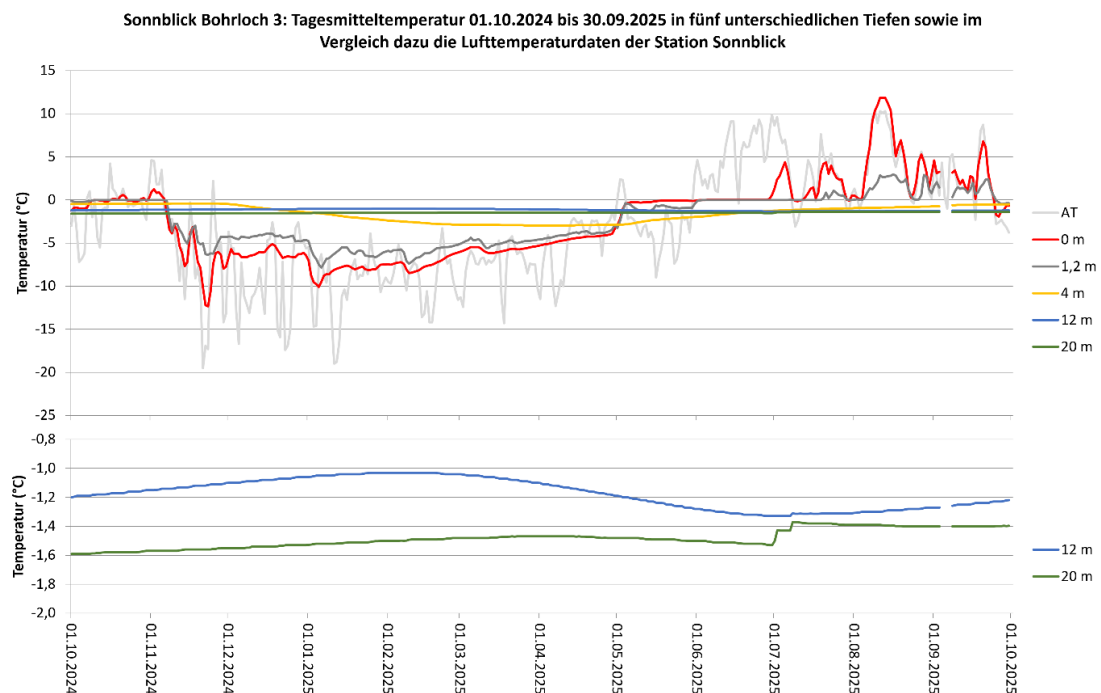


Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025 in fünf unterschiedlichen Tiefen bis einschließlich 20 m sowie die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die Untere Grafik fokussiert auf die Temperatursprünge, die Ende Juni/Anfang Juli 2025 in 12 und 20 m Tiefe registriert wurden.

Der Verlauf der Bodentemperatur in den unterschiedlichen Tiefen im 11-jährigen Zeitraum vom 01.10.2014–30.09.2025 ist in Abbildung 21 dargestellt und zeigt folgendes Bild: Neben der deutlich erkennbaren, regelhaften Abnahme der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen mit zunehmender Tiefe stechen die Winterperioden 2016/17 und 2022/23 durch besonders niedrige Bodentemperaturen (bis etwa -10 °C in oberflächennahen Schichten) hervor. In beiden Fällen kam es bereits ab Ende Oktober zu einer ausgeprägten Auskühlung des Untergrundes infolge einer nur geringmächtigen bzw. verspätet einsetzenden Schneedecke. In den dazwischenliegenden Wintern (2017/18–2021/22) wurden – trotz niedriger Lufttemperaturen – ähnlich tiefe Bodentemperaturen nicht mehr erreicht.

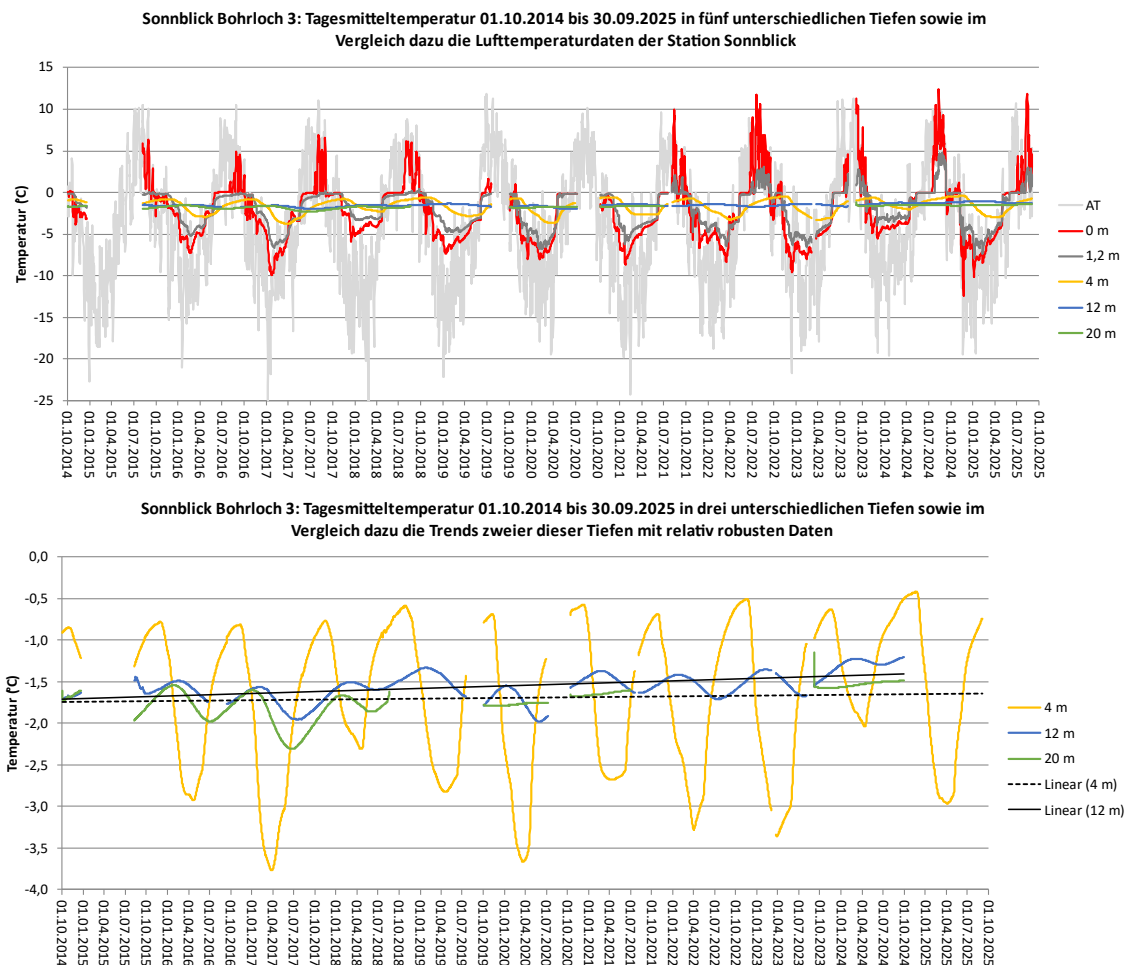


Abbildung 21: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 01.10.2014 bis 30.09.2025 in fünf unterschiedlichen Tiefen bis einschließlich 20 m sowie die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die untere Darstellung fokussiert – mit einer anderen Abszissenskalierung – auf die drei unteren Sensoren und zeigt auch die linearen Erwärmungstrends der Sensoren in Tiefen von 4 und 12 m.

Im aktuellen Gletscherhaushaltsjahr 2024/25 wurde die minimale Bodentemperatur in 0 cm Tiefe bereits am 23. November 2024 mit $-12,36\text{ °C}$ erreicht, liegt damit deutlich unter den Extremwerten früherer Winter und stellt einen neuen Negativrekord für diesen 11-jährigen Zeitraum dar. In größeren Tiefen blieb die Temperatur deutlich stabiler: In 4 m Tiefe wurden 2024/25 minimale Werte um $-2,97\text{ °C}$ registriert, während in 12 m und 20 m Tiefe die Temperaturen nahezu konstant im Bereich von etwa $-1,3$ bis $-1,5\text{ °C}$ blieben.

Die untere Grafik der Abbildung 21 fokussiert auf die Sensoren in 4, 12 und 20 m Tiefe. Während in 4 m weiterhin eine jährliche Schwankung mit einer Amplitude von etwa $2\text{--}3\text{ °C}$ vorliegt, ist diese in 12 m und insbesondere in 20 m Tiefe auf etwa $0,5\text{ °C}$ gedämpft. Legt man eine einfache lineare Trendlinie in die Daten, so zeigt sich sowohl in 4 m als auch in 12 m Tiefe eine generelle Erwärmung des Untergrundes seit Beginn der Messreihe, wenngleich diese Trends aufgrund von Datenlücken mit Unsicherheit behaftet sind. Dieser Trend suggeriert in 12 m Tiefe eine mittlere Erwärmungsrate von $0,04\text{ °C/Jahr}$. Insgesamt bestätigt sich damit auch im aktuellen Beobachtungsjahr die zunehmende thermische Stabilisierung in größeren Tiefen bei gleichzeitig hoher Sensitivität der oberflächennahen Schichten gegenüber Schneebedeckung und atmosphärischen Bedingungen.

Abbildung 22 zeigt die Jahresmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick für sieben ausgewählte glaziologische Jahre zwischen 2015/16 und 2024/25 mit in diesen nahezu vollständigen und somit robusten Daten. Der Vergleich der Temperaturverläufe in unterschiedlichen Bodentiefen sowie der Lufttemperatur an der Klimastation am Hohen Sonnblick offenbart ein konsistentes Muster: Das Jahr 2019/20 wies – mit Ausnahme der beiden tiefsten Sensoren und der Lufttemperatur – in nahezu allen Tiefenlagen die niedrigsten Jahresmittelwerte

auf. Demgegenüber zeigen die Jahre 2017/18 und insbesondere 2023/24 deutlich erhöhte Temperaturen, wobei 2023/24 bis in eine Tiefe von 4 m die höchsten Jahresmittelwerte erreichte. Das Jahr 2024/25 liegt hingegen bis in 4 m Tiefe sowie bei der Lufttemperatur im mittleren Bereich der Vergleichsjahre. Interessanterweise zeigen aber die Sensoren in 12 und 20 m Tiefe neue Rekordwerte, was auf eine verspätete Wärmeweitergabe des außergewöhnlich warmen Gletscherhaushaltsjahres 2023/24 in den tieferen Untergrund hinweist.

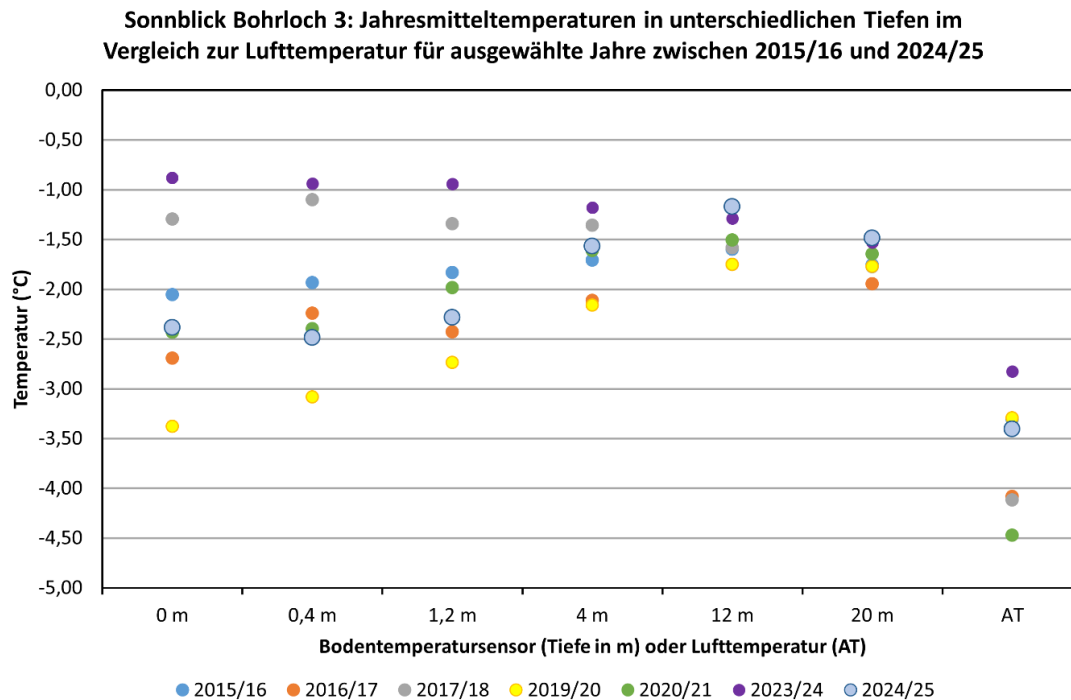


Abbildung 22: Jahresmitteltemperaturen für sechs Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen zwischen 2016 und 2025 im Bohrloch 3 am Sonnblick.

Um einen längerfristigen Vergleich der Bodentemperaturentwicklung zu ermöglichen, zeigt Abbildung 23 die Monatsmitteltemperaturen für den Jänner der Jahre 2016–2025. Die Auswertung verdeutlicht eine ausgeprägte interannuelle Variabilität in den oberflächennahen Schichten des Bohrlochs. Besonders auffällig ist der Jänner 2025, der in 0,4 und 1,2 m Tiefe mit $-7,7\text{ °C}$ bzw. $-6,3\text{ °C}$ die niedrigsten Werte des gesamten Zeitraums aufweist. Auch in 0 m Tiefe wurde mit $-8,2\text{ °C}$ ein sehr niedriger Wert erreicht, wobei das absolute Minimum in dieser Datenreihe im Jänner 2017 mit $-8,4\text{ °C}$ lag. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Temperaturvariabilität deutlich ab: Während die Spannweite in 0 m noch $4,1\text{ °C}$, in 0,4 m $3,8\text{ °C}$ und in 1,2 m $3,1\text{ °C}$ beträgt, sinkt sie in 4 m auf $1,1\text{ °C}$, in 12 m auf $0,5\text{ °C}$ und in 20 m auf nur $0,3\text{ °C}$. Die Lufttemperatur im Jänner zeigt mit einer Spannweite von $7,3\text{ °C}$ die stärksten Schwankungen; der kälteste Jänner war 2019 mit $-15,1\text{ °C}$, der mildeste 2020 mit $-7,8\text{ °C}$. In allen Jahren lagen die Lufttemperaturen im Jänner deutlich unter jenen im Bohrloch, was auf die – auch bei geringer Schneelage – wirkende isolierende Wirkung der winterlichen Schneedecke zurückzuführen ist.

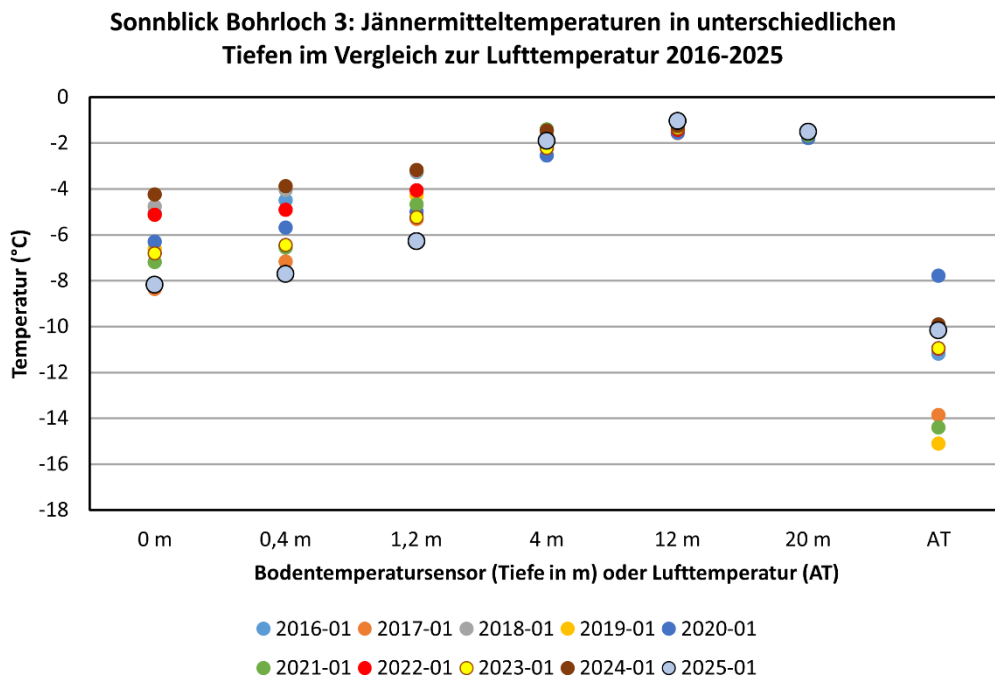


Abbildung 23: Mitteltemperaturen in verschiedenen Tiefen des Monats Jänner für die zehn Jahre 2016–2025 im Bohrloch 3 am Sonnblick. Ergänzend dazu sind die Lufttemperaturwerte für den Sonnblick (vgl. Kapitel 3.1.) dargestellt.

(c) Blockgletscherbewegung im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten

Der folgende Überblick über die Ergebnisse des geodätischen Blockgletschermonitorings kann mit den Berichten im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern Kärnten (zuletzt Kellerer-Pirklbauer et al. 2026) vertieft werden.

Dösener Blockgletscher

Die Bewegungsmessungen am Dösener Blockgletscher mittels RTK-GNSS-Technologie mit Basisstation beziehen sich auf ein geodätisches Datum, das durch 12 markierte, stabile Punkte im Nahbereich des Blockgletschers definiert ist und die Bewegungsraten der 34 am Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte bestimmt. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2024/25 wurden durch Epochenvergleich (27.08.2024 mit 26.08.2025) ermittelt.

Die horizontalen Bewegungsvektoren der 34 Messpunkte sind in Abbildung 24 graphisch dargestellt. Auffällig sind die geringen Geschwindigkeiten am orographisch rechten Rand des Blockgletschers. Die aktuelle mittlere Geschwindigkeit von 46,6 cm/Jahr im zentralen Bereich des Blockgletschers (11 Messpunkte: 21–23 bzw. 10–17) hat sich im Vergleich zum Vorjahr um 3,7 % verringert. Der berechnete Mittelwert ist aber immer noch der achthöchste seit Messbeginn 1995. Die größte Bewegungsrate (58,6 cm/Jahr) wurde heuer – so wie im Vorjahr – im Punkt 3 gemessen. Dies ist einem offensichtlichen seitlichen Rutschprozess, dem der Punkt 3 unterliegt, geschuldet. In den Jahren davor war dies immer Punkt 15 im zentralen Bereich des Blockgletschers, wo von 2024 auf 2025 zumindest 54,4 cm/Jahr gemessen wurden. In Summe ist das Bewegungsmuster von 2024/25 konsistent zu den früheren Jahren mit wenig Beeinflussung der Messdaten durch offensichtliche Rutschprozesse.

Tabelle 13 fasst die zeitliche Änderung der Blockgletscherkinematik durch Angabe von Mittel- und Maximalwerten der Geschwindigkeiten für den Zeitraum 2016–2025 zusammen. Wie diese Tabelle erkennen lässt, schwankten die Mittelwerte in den letzten 9 Jahren zwischen 38 und 60 cm/Jahr. Zwischen 2017/18 und 2020/21 gab es einen Beschleunigungstrend, danach und bis 2022/23 nahmen die Bewegungsraten wieder etwas ab (auf ca. 47 cm/Jahr) und blieben in den letzten drei Jahren relativ konstant.

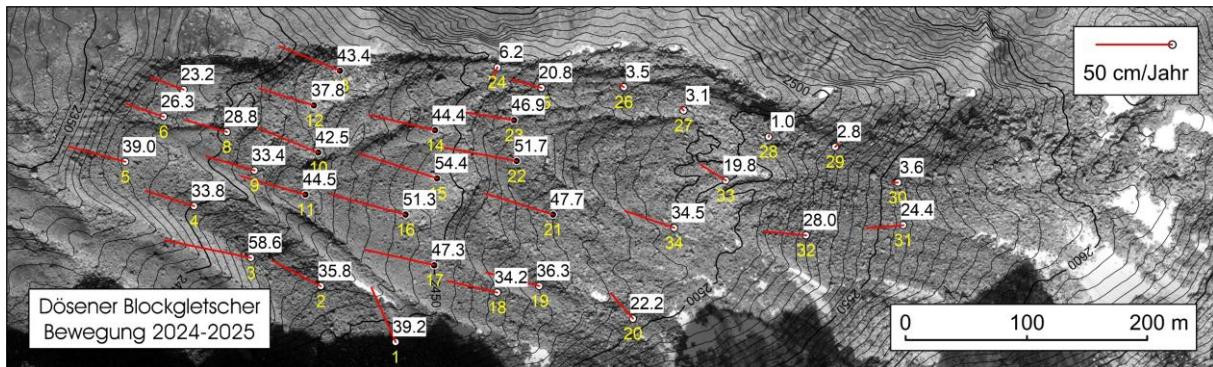


Abbildung 24: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Dösener Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2024/25. Punktnummern in Gelb, 11 zentrale Punkte (10–17, 21–23) mit schwarzgefüllten Kreisen, Geschwindigkeiten (cm/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2\text{--}3\text{ cm/Jahr}$ (1σ -Schranke). Orthofoto 20.09.2010 © Land Kärnten.

Tabelle 13: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2016/17–2024/25. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden – bis auf die letzten beiden Jahre – im Punkt 15 gemessen. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Für die Punkte 28 und 29 konnte wiederholt keine signifikante Bewegung festgestellt werden.

Werte (in cm/Jahr)	2016/ 17	2017/ 18	2018/1 9	2019/ 20	2020/ 21	2021/ 22	2022/ 23	2023/ 24	2024/ 25
Mittelwert	43,2	38,0	42,9	50,3	60,0	51,1	46,8	48,4	46,6
Maximalwert (Punkt)	53,1 (15)	46,4 (15)	51,1 (15)	58,9 (15)	71,0 (15)	61,4 (15)	56,5 (15)	66,4 (3)	58,6 (3)

Blockgletscher Hinteres Langtalkar

Am Blockgletscher im Hinteren Langtalkar erfolgt die Messung nach derselben Methode wie am Dösener Blockgletscher. Das geodätische Datum an diesem Blockgletscher ist durch insgesamt 15 Festpunkte definiert. Die Bewegungsraten für den Beobachtungszeitraum 2024/25 wurden durch Epochenvergleich (31.08.2024 mit 30.08.2025) ermittelt.

Im Stirnbereich (untere Punkte) des Blockgletschers stehen nur mehr die Punkte 27 und 28 für eine aktuelle Messung zur Verfügung. Die nicht mehr vorhandenen Punkte 23, 24, 25 und 31 sind heuer (Punkt 23) bzw. in den Vorjahren (restliche Punkte) durch Rutsch- oder Sturzprozesse verloren gegangen. Ebenfalls nicht mehr auffindbar ist der Punkt 21, welcher im oberen Bereich des sich stark bewegenden Teils des Blockgletschers in eine Zerrspalte abgerutscht ist. Die Bewegungsrate des Punktes 22 konnte in diesem Jahr erneut bestimmt werden. Als Basisstation für die GNSS-RTK-Messung diente der Festpunkt 7. Die horizontalen Bewegungsvektoren der auswertbaren 33 Messpunkte sind in der Abbildung 25 graphisch dargestellt. Für die Charakterisierung der zeitlichen Änderung der Kinematik des Blockgletschers Hinteres Langtalkar wurden für zwei ausgewählte Punktgruppen, oberer Bereich und unterer Bereich, die Mittel- und Maximalwerte der Geschwindigkeiten tabellarisch (Tabelle 14) für den Zeitraum 2019–2025 zusammengestellt.

Mit den hohen Geschwindigkeiten im unteren Blockgletscherbereich geht weiterhin eine morphologisch gut beobachtbare Destabilisierung der Blockgletscheroberfläche einher. Die Messung der Punkte im Einflussbereich der unteren Rutschzone ist weiterhin nur mit einem erheblichen Gefahrenpotential möglich, was eine große Herausforderung beim geodätischen Monitoring von Blockgletschern darstellt (Kellerer-Pirklbauer et al. 2026b). Auch deshalb sind die zusätzlichen photogrammetrischen Aufnahmen an diesem Blockgletscher (siehe Kellerer-Pirklbauer et al. 2026a) von großer Bedeutung und eine wichtige Ergänzung, um auch in diesem Bereich die hohen Veränderungsdaten erfassen zu können.

Die aktuelle mittlere Geschwindigkeit von 27,0 cm/Jahr im oberen Bereich des Blockgletschers Hinteres Langtalkar (11 Messpunkte: 10–17, 21–23) ist im Vergleich zum Vorjahr geringfügig um 5,9 % reduziert. Der berechnete Mittelwert ist der achthöchste seit Messbeginn 1995. Das Bewegungsmuster – geringster Wert um 2017/18, Beschleunigung danach bis 2020/21, gefolgt von einer Abnahme der Raten und Stabilisierung – steht im Einklang mit jenem vom Döserer Blockgletscher. Die diesbezügliche Einschätzung für den unteren Bereich des Blockgletschers ist eher unsicher, da dieser bereits stark von lokalen Rutschprozessen beeinflusst ist. Unter Berücksichtigung der noch messbaren Punkte 27 und 28 ergibt sich hier ebenfalls eine Verringerung der mittleren Bewegungsrate, jedoch mit 18,5 %. Die ermittelte prozentuelle Geschwindigkeitsabnahme ist größer als der vergleichbare Wert der oberen Punktgruppe. Größere Massenumlagerungen/Rutschungen wurden bisher registriert und werden im unteren, hoch aktiven Teil des Blockgletschers für die nächsten Jahre weiterhin erwartet.

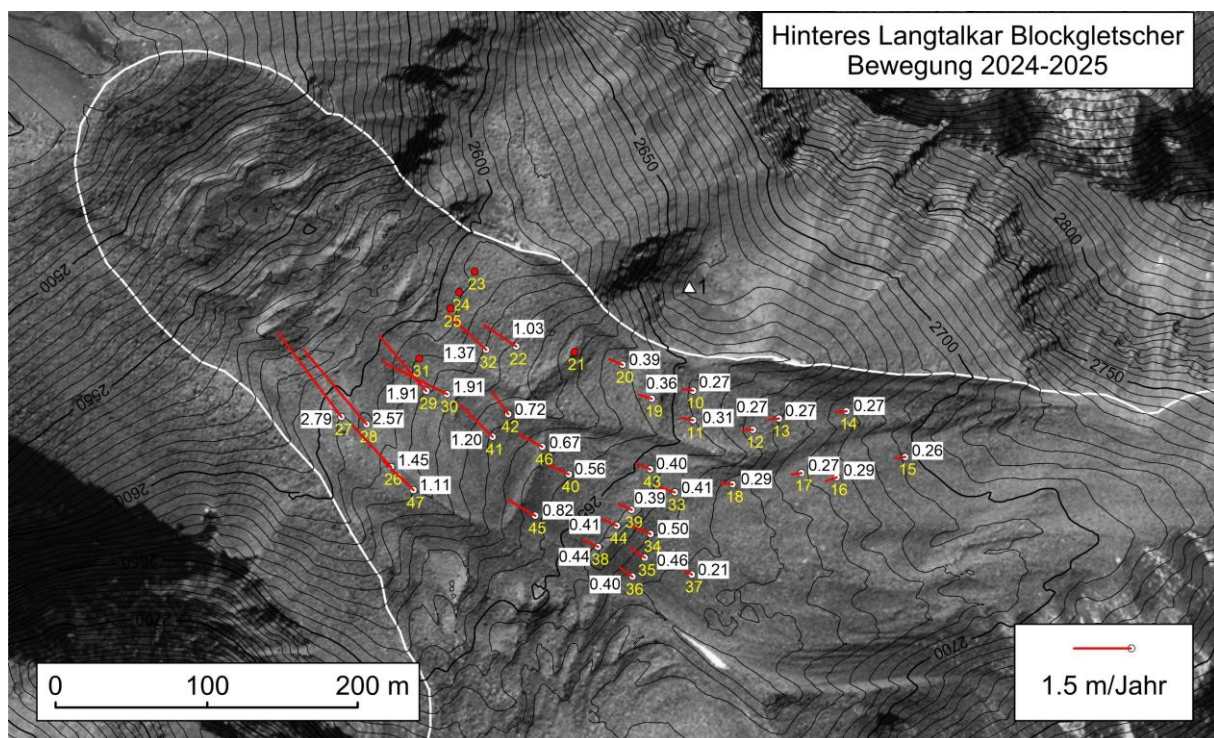


Abbildung 25: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 33 am Blockgletscher Hinteres Langtalkar mit Messingbolzen stabilisierten, messbaren Messpunkte für den Zeitraum 2024/25. Punktnummern in Gelb, Geschwindigkeiten (m/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2-3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Geschwindigkeit von 2,79 m/Jahr wurde im Punkt 27 gemessen. Die Punkte 21, 23, 24, 25 und 31 (rot) sind im Gelände nicht mehr auffindbar und daher auch nicht mehr messbar. Orthofoto 28.08.2012 © Land Kärnten.

Tabelle 14: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2016/17 bis 2024/25 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. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum.

Obere Punktgruppe A (Punkte 10-17, 37)

Werte (in cm/Jahr)	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25
Mittelwert	19,4	16,3	19,1	27,7	37,3	35,3	27,3	28,7	27,0
Maximalwert (Punkt)	22,3 (11)	20,6 (11)	21,9 (17)	31,8 (10)	42,8 (11)	40,5 (16)	31,3 (16)	32,4 (15)	31,0 (11)

Untere Punktgruppe B (Punkte 23-25, 27-31; alle Punkte bzw. reduzierte Punkteanzahl)

Werte (in m/Jahr)	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25
Mittelwert	4,60	4,77	5,20	5,48	5,74	4,73	3,81	4,50	3,67
Maximalwert (Punkt)	5,66 (24)	6,64 (24)	7,45 (24)	8,07 (25)	3,94 (23)	3,25 (27)	2,77 (27)	3,48 (27)	2,79 (27)

Anmerkung: Bei den Mittelwertberechnungen werden nur die messbaren Punkte berücksichtigt. Die ermittelte Relativänderung der unteren Punktgruppe wurde quantitativ auf einen sinnvollen Tabellenwert umgerechnet (im Sinne von Ergänzung von Fehlwerten durch Vergleichswerte zum Vorjahr). Eine ähnliche Vorgangsweise wurde auch für frühere Auswertungen (ohne die Punkte 24, 25 und 31) verwendet. Die angegebenen Maximalwerte sind die tatsächlich gemessenen Größen.

Oberflächenbewegung im Vergleich

Die vergleichende Darstellung der zeitlichen Änderung der geodätisch ermittelten Oberflächenbewegung der beiden untersuchten Blockgletscher ist Inhalt der Abbildung 26. Für Vergleichszwecke wurden die fehlenden mittleren jährlichen Bewegungsraten am Dösender Blockgletscher für die Zeiträume 2002/03 und 2003/04 aus dem gemessenen zweijährigen Mittelwert und aus entsprechenden Jahreswerten, welche am Blockgletscher Hinteres Langtalkar gemessen wurden, abgeleitet.

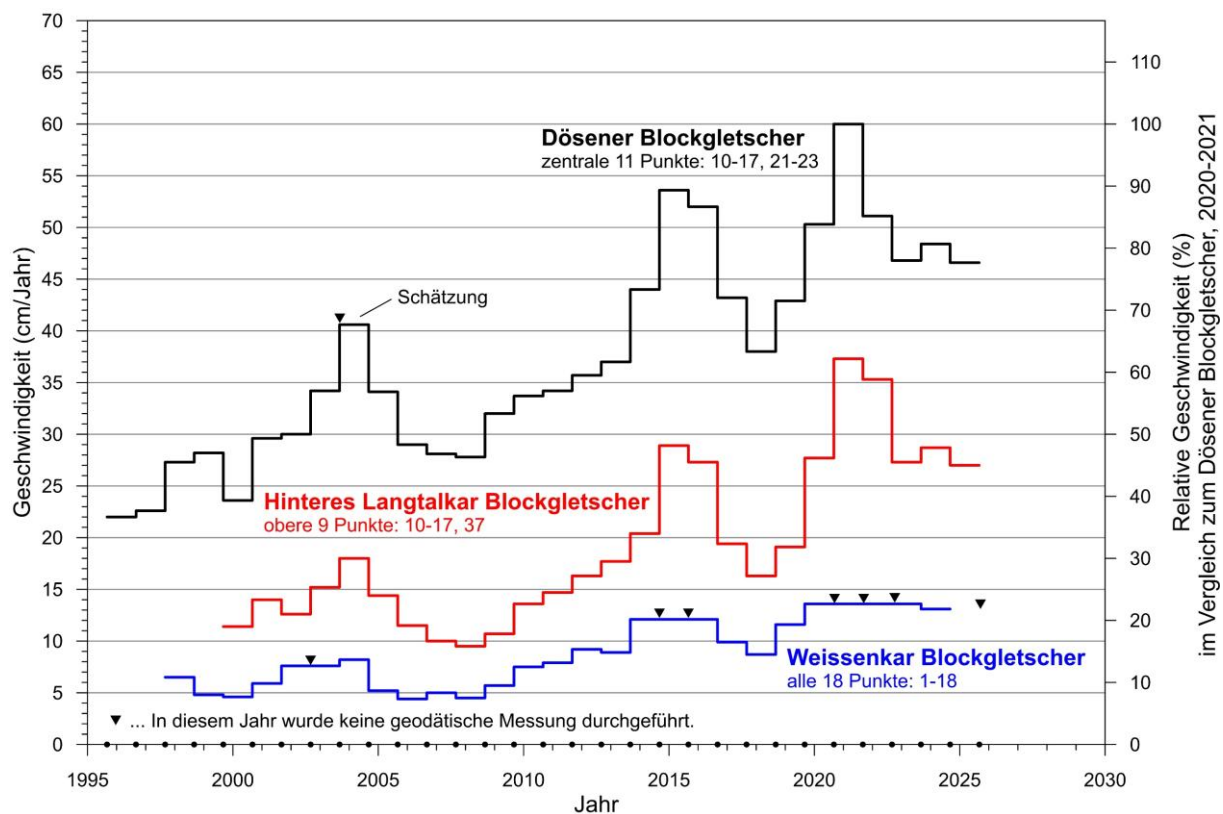


Abbildung 26: Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Oberflächenbewegung der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich) für den Zeitraum 1995–2025. Mittelbildung über 11 Punkte (10–17, 21–23) am Dösender Blockgletscher und 9 Punkte (10–17, 37) am Blockgletscher Hinteres Langtalkar. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Bewegungsraten am Weissenkar-Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt (jedoch 2025 keine Messung dort).

Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Geschwindigkeit des ebenfalls im Nationalpark Hohe Tauern gelegenen Weissenkar-Blockgletschers (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt. Das geodätische Blockgletscher-Monitoring am Weissenkar-Blockgletscher wird in Kaufmann et al. (2006) beschrieben. Am Weissenkar-Blockgletscher wurden die Wiederholungsmessungen 2024/25 ausgesetzt, da das GNSS-Messsystem, welches im Vorjahr durch A. Kellerer-Pirklbauer und A. Dorić verwendet wurde, im Jahr 2025 Probleme bereitete. Aus dem Bild der vergleichenden Geschwindigkeitsgraphen ist gut zu erkennen, dass (1) die Geschwindigkeiten der drei Blockgletscher gut miteinander korrelieren, (2) die Geschwindigkeiten im Messjahr 2020/21 die größten der gesamten geodätischen Messreihe waren, (3) noch zwei zeitlich zurückliegende Bewegungsmaxima (2003/04 bzw. 2024/15) erkennbar sind, (4) die Bewegungsraten über den gesamten Messzeitraum tendenziell zunehmen und (5) die Bewegungsraten 2024/25 gegenüber dem Vorjahr leicht abgenommen und in etwa das Niveau von 2022/23 erreicht haben.



Die hier dargestellte gute Korrelation der Blockgletscherbewegung lässt sich räumlich auch auf den gesamten Alpenraum erweitern. So flossen mittlerweile bereits viermal die hier gezeigten Blockgletscher-Bewegungsdaten sowie Informationen zur Entwicklung der Boden- und Lufttemperatur sowohl aus dem Hinteren Langtalkar als auch aus dem Dösental in Beiträge für die renommierte Zeitschrift „Bulletin of the American Meteorological Society“ (BAMS) ein (Pellet et al. 2021 bis 2026) – ein weiterer Hinweis für die große Bedeutung langfristigen Monitorings für wissenschaftlich fundierte Aussagen, was auch in einer vergleichenden Blockgletscherstudie für den ganzen Alpenraum (Kellerer-Pirklbauer et al. 2024c) oder in einer auf die Methodik fokussierten Arbeit zum geodätischen Monitoring von Blockgletschern (Kellerer-Pirklbauer et al. 2026b) zum Ausdruck kommt.

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

Das Messnetz am Inneren Knorrkogel wurde am 31.08.2025 gewartet. Nahezu alle Standorte lieferten bisher geschlossene Datenreihen für den gesamten Monitoringzeitraum seit 2018. Die wenigen Datenausfälle konnten entweder mit Daten von benachbarten Standorten sowie statistisch abgesicherten Korrekturwerten oder mit Backup-Datenloggern (Standort S-GT-2878, wo schon seit einigen Jahren zwei Logger zur Sicherheit liegen) behoben werden. Auf Basis der vorliegenden Datenreihen war es möglich, als Bezugszeitraum für diesen Bericht – unter Berücksichtigung ganzer Monate für die Mittelbildung – die sieben Beobachtungsjahre 2018/19 bis 2024/25 (jeweils 01.09. bis 31.08. des Folgejahres) zu analysieren und zu vergleichen. Tabelle 15 gibt einen Überblick über die gemessenen Jahresmittelwerte für alle sieben Messjahre und für jeden Standort sowie Sensor (bei den Felsdatenloggern drei pro Standort). Ebenso sind die Mittelwerte der zumeist sieben – in wenigen Fällen nur sechs – Messjahre sowie im unteren Teil der Tabelle Mittelwerte, Minimum, Maximum und Amplitude der Jahresmittelwerte an den 18 Standorten angegeben.

Im Messjahr 2024/25 lag der Jahresmittelwert aller Standorte bzw. Sensoren (n=23) bei -0,80 °C. Dieser Wert stellt den zweittiefsten Wert in der bisherigen Messreihe dar. Nur 2020/21 war im Mittel etwas kälter (-0,96 °C). Der Wert für 2024/25 kontrastiert sehr stark zum Vorjahreswert, der bei 0,55 °C und somit um 1,35 °C höher lag. Dieser Vorjahreswert stellt den bei Weitem höchsten Mittelwert in der 7-jährigen Messreihe dar. Nimmt man den Höchst- und den Tiefstwert, so ergibt sich eine Amplitude zwischen dem kältesten und wärmsten Jahr von 1,51 °C. Die Jahre 2020/1 bis 2022/23 sowie nun auch 2024/25 waren relativ ähnlich in ihren Gesamtmittelwerten, das Jahr 2023/24 ein deutlicher Ausreißer nach oben. 19 der 23 Standorte bzw. Sensoren bei den Mehrkanal-Felsdatenloggern lieferten für das Jahr 2024/25 deutlich bis gering unterdurchschnittliche Werte (um 1,29 bis 0,07 °C). An 2 Standorten bzw. 4 Sensoren (S-GT-2886 und F-3K-S-2871; dort alle drei Sensoren) lag der Jahresmittelwert von 2024/25 über dem Mittelwert der 7-jährigen Messperiode (um 0,53 bis 0,24 °C). Deren Mittel lag für 2024/25 um 0,37 °C unter dem Gesamtmittel von 2018/19 bis 2024/25.

Der Sensor mit der tiefsten Jahresmitteltemperatur war 2024/25 der Bodentemperaturstandort an der Nordost-exponierten Flanke auf 2840 m (F-1K-NE-2840) mit -2,15 °C, gefolgt von dem Standort auf dem nach Nordwest gerichteten Grat auf 2840 m (G-1K-NW-2840) mit -1,96 °C. Der dort benachbarte Standort auf 2860 m (G-1K-NW-2860) war nur um rund 0,2 °C wärmer. Der höchste Jahresmittelwert wurde für 2024/25 hingegen am Süd-exponierten Felstemperaturstandort (F-3K-S-2871) in 3 cm Tiefe im Felsen mit 2,04 °C ermittelt. Auf Platz 2 und 3 in dieser Kategorie folgen am selben Standort die Sensoren in 10 cm (1,71 °C) und 40 cm (1,50 °C) Tiefe. Der nächstwärmere Standort liegt ebenfalls auf der Südflanke in einer Höhe von 2840 m (F-1K-S-2840) jedoch mit einem Wert von nur mehr 0,46 °C. Diese Extremwerte ergeben eine gesamte Spannweite aller Jahresmitteltemperaturen in diesem Messjahr von 4,2 °C (gegenüber 3,1 °C im Vorjahr).

Von den 17 Standorten bzw. 23 Sensoren mit Daten für das letzte Jahr ergaben sich bei der Analyse für 18 Sensoren ein negativer Jahresmittelwert (zwischen -2,15 und -0,22 °C), bei 5 Sensoren war dieser Wert positiv (zwischen 0,46 und 2,04 °C) und für einen Sensor bzw. Standort gab es wiederum – leider in gewohnter Weise – gar keine Daten (S-AT-2878). Im Jahr zuvor wurde für 8 der 23 Sensoren ein negativer Jahresmittelwert ermittelt (zwischen -0,73 und -0,03 °C), an 15 Sensoren hingegen ein positiver (0,09 und 2,37 °C). Im Jahr 2022/23 war es hingegen wieder recht ähnlich wie 2024/25 mit 19 Sensoren mit einem negativen und vier mit einem positiven

Jahresmittelwert. In den weiteren Jahren davor errechneten sich negative Jahresmittelwerte an folgender Anzahl von Standorten: 15 für 2018/19, 10 für 2019/20, 17 für 2020/21 und 16 für 2021/22. Vergleicht man die Messwerte von 2024/25 mit dem Mittelwert über den 7-jährigen Zeitraum 2018/19–2024/25, fällt auf, dass das aktuelle Berichtsjahr relativ permafrostgünstig zu beurteilen ist, was v. a. durch das weitgehende Fehlen der früh- bis hochwinterlichen Schneedecke im Jahr 2024/25 zu erklären ist. Das letzte Beobachtungsjahr kontrastiert auch stark zum Jahr zuvor, das als extrem permafrostungünstig einzustufen ist.

Tabelle 15: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interner Loggernummer, Tiefe des Temperatursensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) mit den gemessenen Jahresmittelwerten für 2018/19 bis 2024/25 sowie deren Mittelwert über die 7 Jahre (mit einer Ausnahme 6 Jahre*). ND = no data (siehe hierzu Kapitel 2.4). Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Für 2024/25: tiefster Wert in fett, höchster Wert in fett/kursiv.

Code	Log. Nr.	Sensor-tiefe (cm)	Jahresmitteltemperatur (°C)							Mittelwert 2018/19 bis 2024/25 (°C)
			2018 /19	2019 /20	2020 /21	2021 /22	2022 /23	2023 /24	2024 /25	
G-1K-SW-2840	A5223B	0	-1,52	0,25	-0,68	-0,06	-0,71	-0,03	-0,60	-0,48
F-1K-W-2840	A52220	0	-1,56	-0,67	-1,63	-1,60	-1,79	-0,33	-1,61	-1,31
G-1K-SW-2860	A5223F	0	0,41	0,63	-0,24	0,12	-0,59	1,46	0,09	0,27
F-1K-W-2860	A52244	0	-1,17	-1,27	-2,04	-1,79	-1,84	-0,40	-1,68	-1,46
S-GT-2886	A521B7	0	-1,77	-1,42	-2,70	-1,63	-2,00	-0,70	-1,42	-1,66
G-1K-NW-2860	A52227	0	-1,25	-0,95	-1,96	-2,02	-2,02	-0,47	-1,74	-1,49
G-1K-NW-2840	A52223	0	-1,27	-0,66	-1,84	-1,71	-1,58	0,24	-1,96	-1,26
F-3K-W-2869	A538B7	3	-0,10	0,26	-0,85	-0,55	-0,89	0,41	-0,95	-0,38
	A538B7	10	-0,16	0,13	-0,94	-0,71	-0,99	0,33	-1,01	-0,48
	A538B7	40	-0,65	-0,45	-1,33	-1,37	-1,50	-0,15	-1,46	-0,99
F-3K-NE-2871	A538AC	3	-0,87	0,01	-0,64	-1,33	-1,12	0,27	-1,27	-0,71
	A538AC	10	-0,98	-0,12	-0,77	-1,53	-1,23	0,14	-1,41	-0,84
	A538AC	40	-1,03	-0,22	-0,85	-1,82	-1,25	0,09	-1,53	-0,94
S-GT-2878	A52194	0	-1,09	-0,98	-2,29	0,31	-0,72	-0,73	-1,02	-0,96
S-AT-2878	A5223E	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-3K-S-2871	A538B1	3	1,04	1,73	0,63	1,67	1,36	2,11	2,04	1,51
	A538B1	10	0,74	1,37	0,31	1,33	1,03	1,83	1,71	1,19
	A538B1	40	0,71	1,22	0,18	1,11	0,84	1,76	1,50	1,05
G-1K-E-2860	A521CB	0	0,25	1,23	-0,61	-1,50	-0,88	0,84	-1,39	-0,29
G-1K-E-2845	A5222E	0	0,40	0,82	0,02	-1,85	-0,40	1,32	-1,45	-0,16
F-1K-NE-2860	A5226E	0	-0,72	0,30	-0,94	-1,72	0,12	1,14	-1,31	-0,45
F-1K-NE-2840	A521A0	0	-1,78	-1,54	-2,47	-2,35	-1,80	-0,53	-2,15	-1,80
F-1K-S-2860*	A5222A	0	1,19	0,54	ND	0,43	-0,48	1,73	-0,23	0,53
F-1K-S-2840	A52230	0	1,96	1,68	0,53	1,83	0,50	2,37	0,46	1,33
Mittelwert			-0,40	0,08	-0,96	-0,73	-0,78	0,55	-0,80	-0,43
Minimum			-1,78	-1,54	-2,70	-2,35	-2,02	-0,73	-2,15	-1,80
Maximum			1,96	1,73	0,63	1,83	1,36	2,37	2,04	1,51
Amplitude			3,74	3,26	3,33	4,18	3,38	3,10	4,19	3,31

Abbildung 27 stellt die Ergebnisse der Jahresmitteltemperaturen des letzten Messjahres vergleichend zum Mittelwert der sieben Jahre in Diagrammform dar, wobei für jene des letzten Messjahres auch Unterschiede in topographischer Lage und Untergrund (Standorte im Gipfelbereich, seichte Bohrlöcher in Felsen, an Flanken und Graten) ausgewiesen sind. Die Gipfelstandorte, die beiden nach Westen exponierten Flankenstandorte in 2840 und 2860 m, der nach NE-exponierte Flankenstandort in 2840 m sowie der Standort am NW-Grat auf 2860 m weisen die tiefsten Temperaturen auf. Dieser Sachverhalt lässt sich durch die Kombination von geringer Schneedecke (geringe Schneedämpfung und relativ gute Lufttemperatur-Koppelung an den West-exponierten Flankenstandorten) bei gleichzeitig tiefen Temperaturen erklären. An allen drei Felsstandorten wurden wiederum die höchsten Jahresmitteltemperaturen für den Sensor nahe der Oberfläche (3 cm Tiefe) sowie die tiefsten in 40 cm Tiefe ermittelt, wobei die Gradienten voneinander abweichen, was u. a. auch von der Exposition der Standorte abhängt. Der westexponierte Felstemperaturstandort weist z. B. einen etwas größeren Gradienten auf als der nordost- oder südexponierte. Bei den Felsstandorten kommt auch deutlich die Strahlungsungunst des NE-exponierten Standortes mit Jahresmitteltemperaturen für 2024/25 im Bereich von -0,95 bis -1,46 °C gegenüber dem südexponierten mit deutlich positiven Mitteltemperaturen (1,50 bis 2,04 °C) zum Ausdruck. Die Werte am W-exponierten Felsstandort sind wiederum recht ähnlich jenem am nordostexponierten Standort, bedingt durch die effiziente winterliche Auskühlung des Felsens bei geringer Schneedecke, die auch durch die verstärkte Einstrahlung im Sommerhalbjahr nicht kompensiert wird. In Bezug auf die Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels lässt sich somit auch für 2024/25 zusammenfassen, dass sich die Permafrostgunst der NE-Flanke deutlich von der Permafrostgunst der S-Flanke unterscheidet und die W-Flanke – je nach jahresspezifischer saisonaler Schnee- und Temperaurentwicklung – thermisch dazwischen liegt.

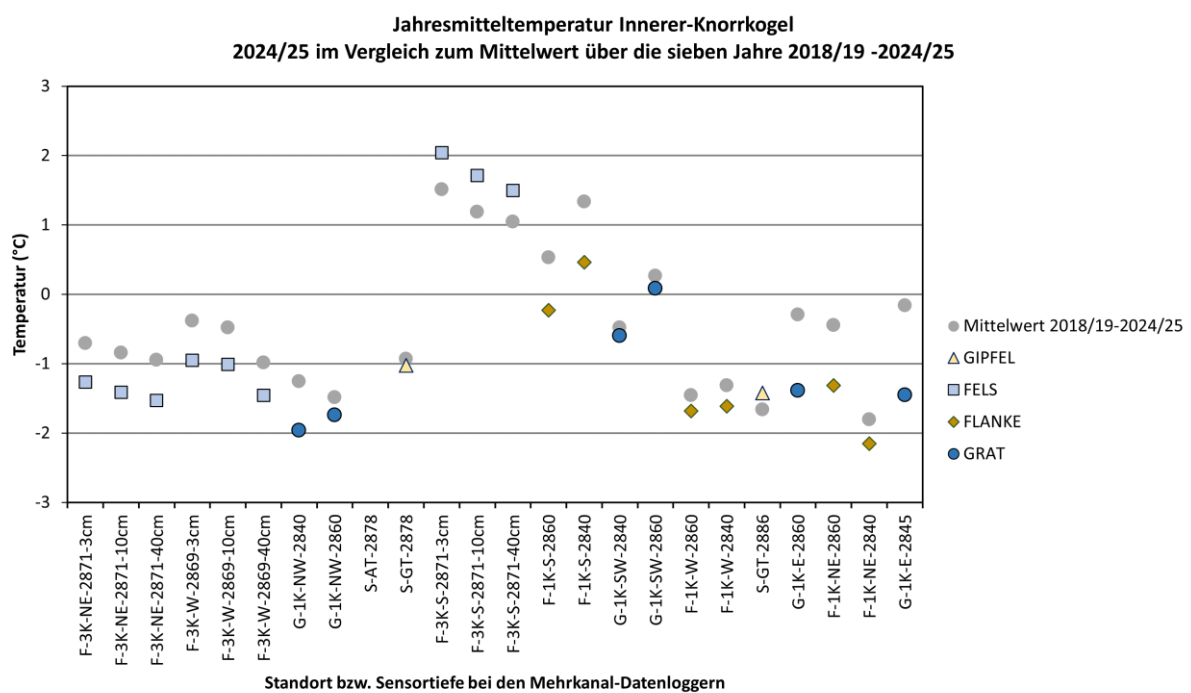


Abbildung 27: Jahresmitteltemperatur aller Messstandorte mit geschlossenen Datenreihen an/nah der Bodenoberfläche im Messjahr 2024/25. Bei den Mehrkanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe im Felsen installiert und entsprechend in der Grafik ausgewiesen. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der gesamten sieben Jahre (siehe Tabelle 15) in der Grafik ebenfalls dargestellt.

In Abbildung 28 werden die Temperaturkurve (auf Basis von Tagesmittelwerten) des kältesten dem wärmsten Standort am Knorrkogel im Jahr 2024/25 gegenübergestellt. Beide Temperaturkurven verlaufen sehr ähnlich in der schneefreien Zeit bis Anfang Oktober 2024 sowie ab Mitte Juni 2025. In der Zeit dazwischen erkennt man einerseits die auch im Winter recht großen thermischen Schwankungen am südexponierten Felsstandort F-3K-S-2871, wohingegen am nordostexponierten Flankenstandort F-1K-NE-2840 diese Schwankungen zumindest ab

Mitte Jänner 2025 deutlich reduziert sind. Eine stabile Temperatur unter einer mächtigen Schneedecke stellt sich aber auch an diesem Standort nicht ein, wie die häufigen Schwankungen erkennen lassen. Als dritter Standort wurden in diesem Diagramm noch G-1K-SW-2840 grafisch dargestellt, da dieser eine der besten thermischen Pufferungen im Messjahr 2024/25 aufwies. In Summe bewirkten diese verschiedenen Effekte eine Jahresmitteltemperatur von 2,04 °C für den wärmsten Standort, -2,15 °C für den kältesten Standort und zumindest noch -0,60 °C für den schneereichen Standort. Allgemein zeigen diese drei Kurven, dass vor allem der kalte, schneearme Winter gut für die Auskühlung des Gipfelbereichs am Inneren Knorrkogel war und Schnee im Frühjahr und Frühsommer nur eine geringe Rolle in Bezug auf eine schützende thermische Wirkung auf den Untergrund spielte. Insgesamt brachten all diese Faktoren einen thermischen Unterschied von 4,19 °C.

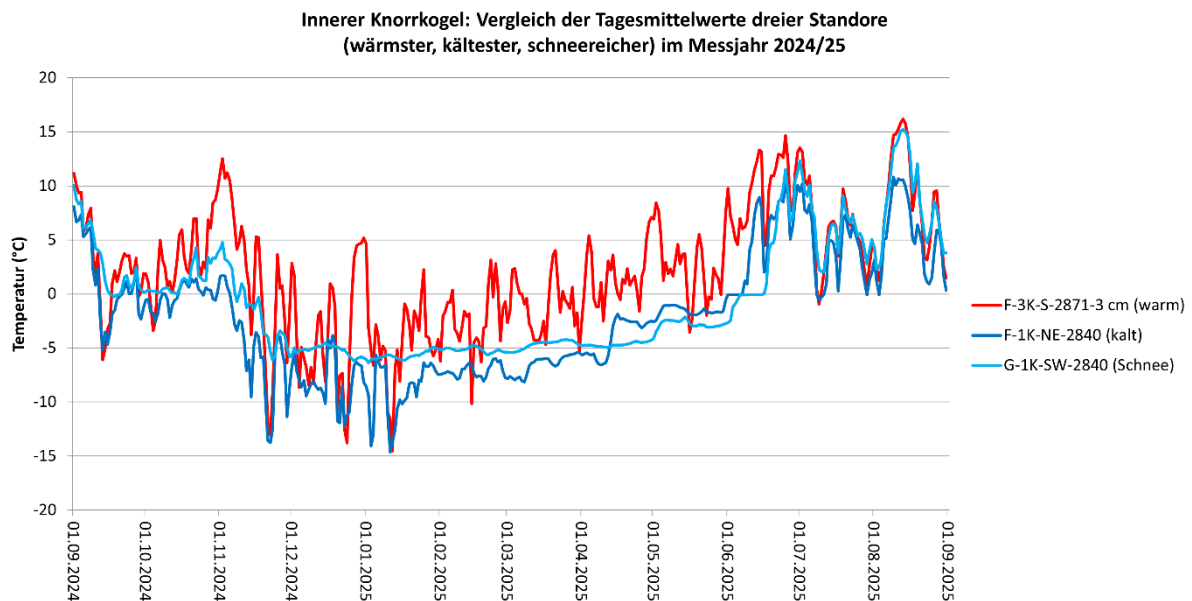


Abbildung 28: Verlauf der Tagesmitteltemperatur an drei Standorten im Arbeitsgebiet Innerer Knorrkogel im Messjahr 2024/25: Der in diesem Jahr wärmste (F-3K-S-2871-3 cm) und kälteste (F-1K-NE-2840) Standort sowie ein Standort mit relativ langer Schneedecke abgeleitet aus der thermischen Pufferung (G-1K-SW-2840). Alle drei Temperaturkurven verlaufen nur sehr ähnlich in der schneefreien Zeit im Herbst sowie ab Mitte Juni 2025.

Zusammenfassend kann somit auf Basis der Jahresmittelwerte festgehalten werden, dass im Gipfelbereich des Inneren Knorrkogels eine starke und durchaus erwartete thermische Heterogenität, welche durch Expositions-, Substrat- sowie saisonale Schneedeckenunterschiede bedingt ist, erneut bestätigt werden kann. Diese Heterogenität lässt die große Bedeutung von relativ engmaschigen Messnetzen wie am Inneren Knorrkogel erkennen und spiegelt auch die Schwierigkeit der Erfassung von Permafrost im komplexen topoklimatischen Bereichen wie im Hochgebirge wider.

Die in diesem Messgebiet ermittelten Werte in bisher sieben Messjahren können nichtsdestotrotz als klarer Hinweis auf die Existenz von Permafrost im Untersuchungsgebiet gelten, zeigen jedoch auch, dass dieser an der südexponierten Flanke zumindest im Jahr 2024/25 wiederum stark inaktiviert wurde, wie die dort relativ hohen Werte zeigen. Die Daten zeigen aber auch die Notwendigkeit von längeren Messreihen zur besseren Charakterisierung von thermischen Verhältnissen im Hochgebirge und der damit in Verbindung stehenden Prozesse wie Verwitterung, Solifluktion oder Permafrostdynamik.

Diese thermische Komplexität am Inneren Knorrkogel wurde auch im Rahmen einer Tagung im September 2025 (International Association of Geomorphologists/IAG – Regional Conference on Geomorphology, 16.–18.09.2025, Timișoara, Rumänien) einem internationalen Fachpublikum vorgestellt und diskutiert. Pdf-Versionen des dabei veröffentlichten Kurzbeitrags (Kellerer-Pirklbauer et al. 2025b) und des Vortrags (Kellerer-Pirklbauer et al. 2025c) finden sich im Ordner „4_Publikationen“ und sind als [kellerer-pirklbauer_et_al_2025b-publication.pdf](#) bzw. [kellerer-pirklbauer_et_al_2025c-talk.pdf](#) bezeichnet.

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

Die Tagesmitteltemperaturen von neun Bodensensoren im Sattelkar sind in Abbildung 29 dargestellt und zeigen die zeitliche Entwicklung an den verschiedenen Messstandorten über die beiden Berichtsjahre 2023/24 und 2024/25 (01.10.2023–30.09.2025). Die untere Grafik in der Abbildung zeigt zwei dieser Temperaturkurven zur besseren Veranschaulichung. Auffällig ist insbesondere das Verhalten einzelner Standorte während der Winterperioden. So zeigen die Logger 07 und 10 über längere Zeiträume hinweg Temperaturen nahe 0 °C, was auf eine anhaltende Schneebedeckung mit ausgeprägter thermischer Isolation mit weitgehender Entkoppelung der Bodentemperatur von atmosphärischen Einflüssen hinweist. Die konstanten Temperaturen an der Basis der winterlichen Schneedecke von nahe 0 °C sind nach Haerberli (1973) auch als Indikator zu sehen, dass diese Standorte frei von Permafrost sind (stabile Bodentemperatur an der Schneebasis: > -2°C – kein Permafrost, -2- -3°C – Permafrost möglich, < -3°C – Permafrost wahrscheinlich). Vergleicht man die letzten beiden Jahre für Standorte mit generell viel Schnee (wie Standort 10), dann ist für 2023/24 das Fehlen von tiefen Temperaturen auch im Frühwinter augenscheinlich (frühes Einschneien), was 2024/25 nicht der Fall war, weshalb auch diese Standorte zumindest bis Anfang Dezember 2024 auskühlen und deutlich tiefere Temperaturen als im Jahr zuvor erreichen konnten.

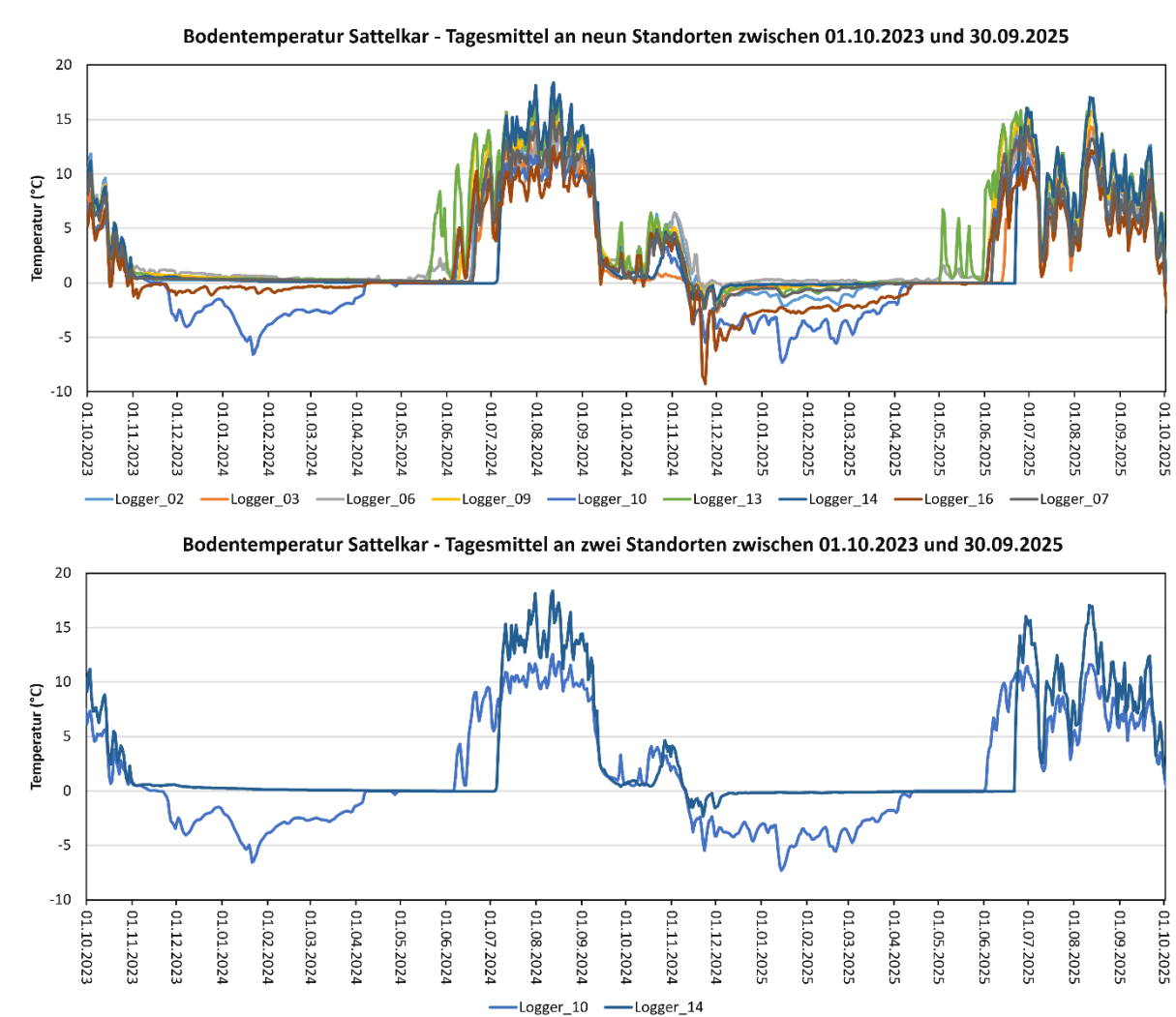


Abbildung 29: Tagesmitteltemperaturen an neun Bodentemperaturmessstandorten im Sattelkar im Zeitraum 01.10.2023–30.09.2025. Die untere Grafik zeigt die Kurven von zwei dieser neun Standorte mit konträrem thermischem Muster.



Demgegenüber weisen einzelne Standorte, deutlich stärkere Temperaturschwankungen während der Wintermonate auf, insbesondere Logger 10 und 16. Hier treten wiederholt atark negative Temperaturen im Tagesmittel auf (unter -8°C), was auf eine geringe bzw. weniger isolierende Schneedecke und damit auf eine direktere Kopplung an die Lufttemperatur hinweist. Insgesamt war aber der Temperaturverlauf im Winter 2023/24 auch an solchen Standorten stabiler als 2024/25, was auf eine mächtigere Schneedecke im ersten hier behandelten Winter hinweist.

Über das gesamte Messnetz hinweg zeigen viele der Standorte im Winter Temperaturen nahe 0°C , was auf eine weitgehend geschlossene Schneedecke bei gleichzeitig fehlendem Permafrost hindeutet. Der Übergang zur schneefreien Phase erfolgt relativ synchron: In beiden Jahren wird ein Großteil der Standorte innerhalb weniger Wochen im späten Frühjahr bzw. Frühsommer schneefrei, was sich durch einen deutlichen Anstieg und eine stärkere Variabilität der Bodentemperaturen äußert. Vor diesem plötzlichen Anstieg sind aber an allen Standorten längere Perioden bei genau 0°C erkennbar, die auf das anhaltende Schmelzen der wasserdurchtränkten Schneedecke mit gleichzeitiger Abgabe von latenter Wärme (Zero-Curtain Effekt) hinweist.

In den Sommermonaten erreichen die Bodentemperaturen an mehreren Standorten Werte von deutlich über 15°C . Besonders hohe Werte werden dabei regelmäßig an exponierten Standorten gemessen, die einer starken Einstrahlung ausgesetzt sind. Diese ausgeprägten sommerlichen Temperaturspitzen unterstreichen die hohe Variabilität der oberflächennahen thermischen Bedingungen.

Die Tagesmitteltemperaturen derselben neun Bodentemperaturlogger im Sattelkar wie in Abbildung 29 für den Zeitraum von Oktober 2015 bis Ende September 2025 sind in Abbildung 30 dargestellt. Die untere Grafik fokussiert dabei wieder auf zwei dieser neun Datenreihen. Anzumerken ist, dass darin auch Datenlücken enthalten sind bzw. manche Standorte erst im Verlauf des Monitorings installiert wurden (z. B. Logger 16 im Juli 2022). Auffällig ist die ausgeprägte räumliche Variabilität der Temperaturverläufe zwischen den einzelnen Messstandorten. Diese Unterschiede sind im Wesentlichen auf die unterschiedlichen Standortbedingungen zurückzuführen, insbesondere auf Variationen in Schneebedeckung, Exposition und Substrat. Standorte mit früher und länger anhaltender Schneebedeckung zeigen während der Wintermonate weitgehend stabile Temperaturen nahe 0°C . Demgegenüber treten an Standorten mit geringer Schneemächtigkeit deutlich tiefere und stärker schwankende Temperaturen auf. Dabei sind die prinzipiellen Muster von Jahr zu Jahr an den jeweiligen Standorten recht ähnlich, wie die Temperaturkurven der beiden Standorte 10 und 14 gut zeigen.

Im Zeitverlauf zeigt sich, dass einzelne Jahre durch besonders hohe sommerliche Maximaltemperaturen geprägt sind. Hervorzuheben ist insbesondere der Sommer 2019, in dem mit rund $21,8^{\circ}\text{C}$ am Logger 13 die höchsten Werte der gesamten Messreihe erreicht wurden. In den darauffolgenden Jahren wurden ebenfalls hohe Temperaturen gemessen, jedoch blieben die Maximalwerte unter diesem Extremwert. Auch die winterlichen Minimaltemperaturen variieren stark zwischen den Jahren und Standorten. Besonders ausgeprägt sind die niedrigen Temperaturen in Wintern mit geringer Schneebedeckung, wobei in den jüngeren Messjahren erneut einzelne Episoden mit deutlich negativen Temperaturen auftreten.

Für den Standort 16 liegen erst ab der Neuinstrumentierung im Sommer 2022 durchgehende Daten vor, wodurch eine direkte Vergleichbarkeit über den gesamten Zeitraum nicht möglich ist. Der Standort 10 hingegen weist eine vergleichsweise lange und kontinuierliche Datenreihe auf. Die untere Darstellung in Abbildung 30 zeigt daher exemplarisch die Temperaturentwicklung dieses Standorts, an dem die jahreszeitlichen Schwankungen sowie extreme Winterbedingungen besonders deutlich erkennbar sind. Ein wiederkehrendes Merkmal in allen Jahren ist die Zero-Curtain-Periode im späten Frühjahr.

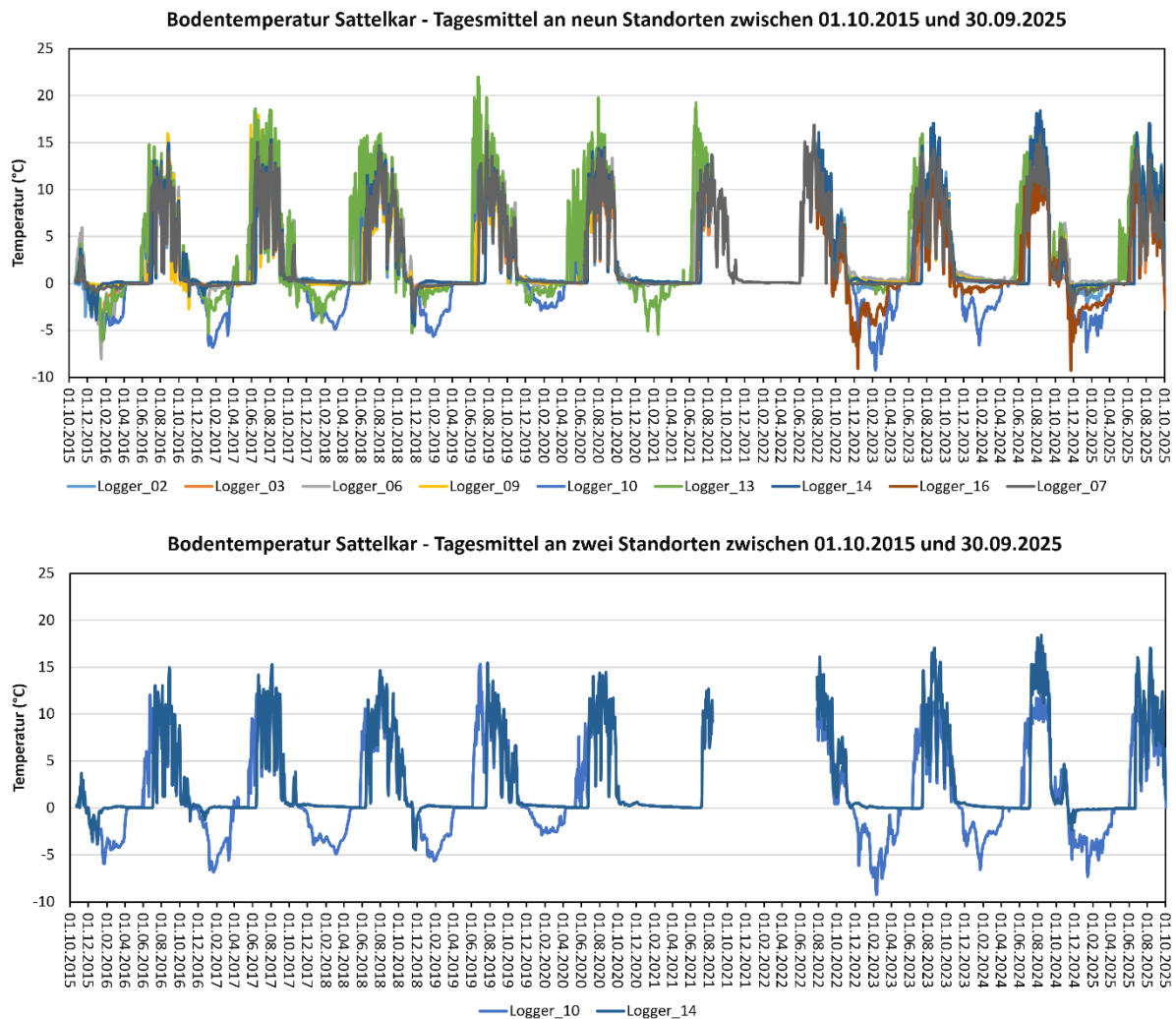


Abbildung 30: Tagesmitteltemperaturen an neun Bodentemperaturmessstandorten im Sattelkar im Zeitraum 01.10.2015–30.09.2025. Logger_16 wurde am 26.07.2022 neu eingerichtet. Die untere Grafik zeigt die Kurven von zwei dieser neun Standorte mit konträrem thermischem Muster.

Prinzipiell kann auch für das Sattelkar festgestellt werden, dass – wie in den Untersuchungsgebieten im Kärntner Anteil des Nationalparks Hohe Tauern – die winterliche Schneedecke in ihrer Ausprägung und Variabilität eine zentrale Rolle für die Permafrostverbreitung sowie für die zeitliche Entwicklung der Bodentemperaturen spielt. Die Temperaturverläufe des Beobachtungsjahres 2024/25 zeigen, dass die meisten Standorte durch saisonalen Frost geprägt sind. Nur an wenigen Standorten, insbesondere bei 10 und 16, wurden deutlich niedrigere Temperaturen aufgezeichnet, die auf eine stärkere Kopplung an die atmosphärischen Bedingungen sowie auf potenziell günstigere Bedingungen für das Auftreten von Permafrost hindeuten.

Um einen Vergleich der Bodentemperaturverhältnisse über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, zeigt Abbildung 31 die Monatsmitteltemperaturen des Jänners für die Jahre 2016–2025 an den einzelnen Loggerstandorten im Sattelkar. Aufgrund von Datenlücken ist – ähnlich wie beim Bohrloch am Hohen Sonnblick – eine durchgehende Darstellung von Ganzjahresdaten nicht möglich, weshalb der Fokus auf diese Monatswerte gelegt wurde. Die untere Grafik in dieser Abbildung hebt graphisch die beiden letzten Berichtsjahre hervor.

Auf Basis dieser beiden Grafiken wird gut visualisiert, dass an vielen Standorten die tiefsten Jännertemperaturen in den frühen Messjahren, insbesondere 2016 und 2017, auftraten. An zwei Standorten wurde aber im Jahr 2024/25 der kälteste Jännerwert gemessen (02 und 07). Die höchsten Jännertemperaturwerte traten zumeist entweder im Jänner 2020 auf (an sieben Standorten) oder aber im Jänner 2024 (fünf Standorte), wobei hierzu betont werden muss, dass einige Standorte für Jänner 2024 keine Daten mehr aufweisen und somit diese Ergebnisse relativiert

werden müssen zu der Aussage, dass die Jänner 2020 und 2024 wohl ähnlich ungünstig für Permafrost waren. Die Variabilität der Jännertemperaturen unterscheidet sich deutlich zwischen den Standorten. Während manche Logger nur geringe interannuelle Schwankungen im Bereich von etwa 0,5 bis 0,7 °C aufweisen (z. B. Logger 01, 09 und 14), zeigen andere Standorte deutlich größere Variabilität. Besonders ausgeprägt ist dies beispielsweise bei Logger 06 (4,8 °C), 12 (4,1 °C), 10 (3,5 °C) und 11 (3,3 °C). Zusammenfassend kann für die Jänner der beiden letzten Messjahre gesagt werden, dass der Jänner 2024 teilweise neue Temperaturmaxima lieferte, der Jänner 2025 hingegen deutlich kälter war und im Mittelfeld lag bzw. in Ausnahmen sogar neue Minima erbrachte.

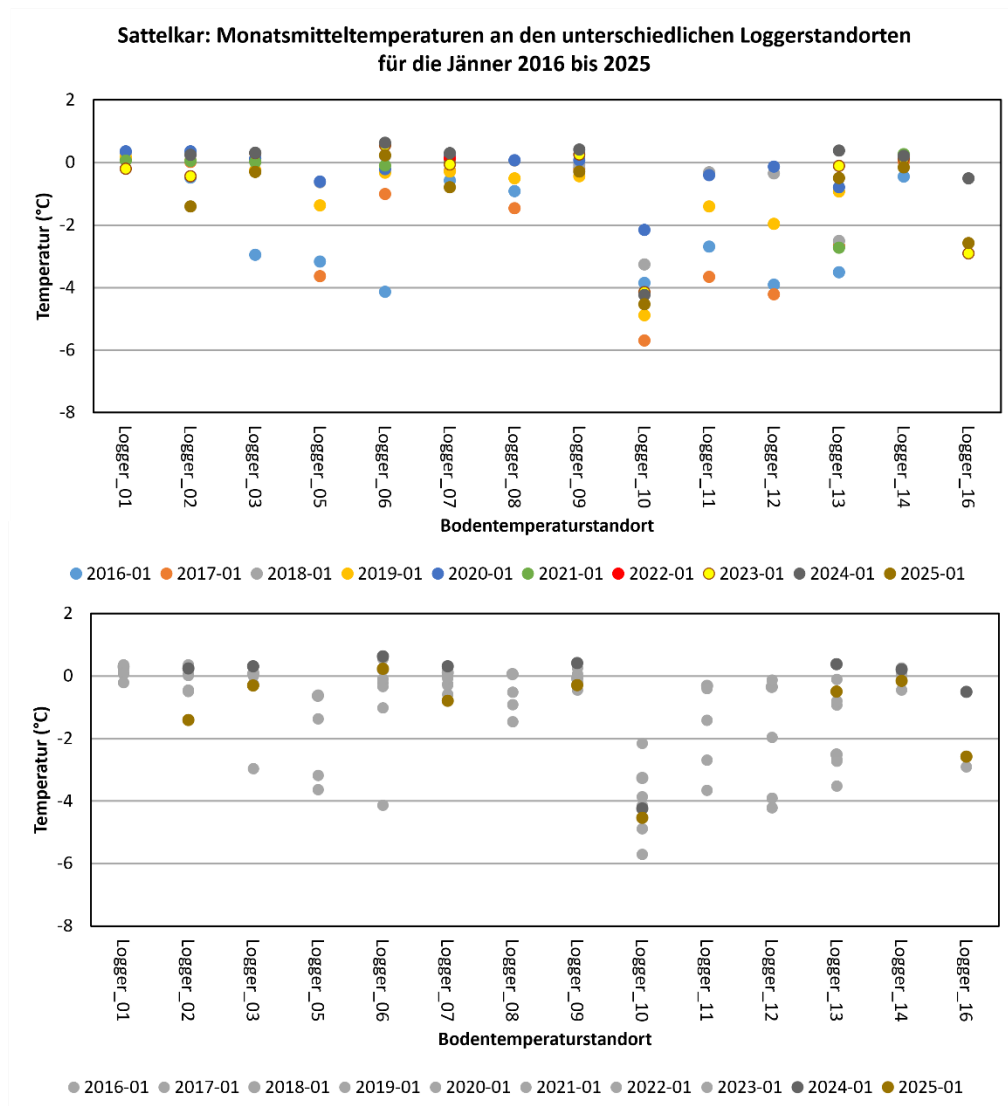


Abbildung 31: Vergleich der Monatsmitteltemperaturen an 14 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar mit entsprechenden Datenreihen für die zehn Jänner zwischen 2016 und 2025. Die untere Grafik hebt die beiden letzten Berichtsjahre hervor.

Auch die für das Sattelkar präsentierten Ergebnisse für 2015–2025 verdeutlichen, dass erst längerfristige Messreihen ein belastbares Verständnis der Bodentemperaturverhältnisse und deren Variabilität ermöglichen. Grundsätzlich stimmen die im Salzburger Sattelkar beobachteten Muster gut mit jenen am Tiroler Inneren Knorrkogel oder im Kärntner Anteil des Nationalparks Hohe Tauern überein, was auf einer vergleichbaren methodischen Grundlage basiert. Mit der Fortführung aller dieser Messreihen steht eine von Jahr zu Jahr deutlich verbesserte Datengrundlage zur Verfügung, die eine fundiertere Bewertung der langfristigen Entwicklungen im gesamten Nationalpark Hohe Tauern ermöglicht.

4. Diskussion

Bei den Witterungsverhältnissen im Beobachtungsjahr 2024/25 blieben die Temperaturen in den Hohen Tauern weiterhin auf einem überdurchschnittlich hohen, wenngleich im Vergleich zum außergewöhnlich warmen Jahr 2023/24 niedrigeren Niveau. Neue Höchstwerte wurden an keiner der betrachteten Klimastationen erreicht, vielmehr lagen die Jahresmitteltemperaturen an den meisten Standorten wieder näher am langjährigen Mittel. Deutlich wird dies etwa an der Station Sonnblick, wo der Jahresmittelwert zwar noch um 0,66 °C über dem Mittel der 11-jährigen Referenzperiode 2014/15–2024/25 lag, jedoch deutlich unter dem Wert des Vorjahres blieb. Auch an den übrigen im Kapitel 3.1. behandelten sechs Stationen mit Temperaturdaten wurden nur moderate positive Anomalien zur Referenzperiode festgestellt, mit Abweichungen von maximal 0,7 °C. Gesehen auf die 11-jährige Periode, ist das hydrologische Jahr 2024/25 insgesamt somit als mäßig überdurchschnittlich warm einzustufen. Im Vergleich aber zu langjährigen Datenreihen am Sonnblick muss diese Aussage jedoch relativiert werden. Lag das glaziologische Haushaltsjahr 2023/24 mit 2,3 °C über dem Mittelwert in der 30-jährigen Normalperiode 1981–2010, so betrug diese Anomalie im Jahr 2024/25 zwar um 0,3 °C weniger, lag aber immer noch 2 °C über dem Normalwert der Periode 1981–2010.

Auch die Monatsmittel der Temperatur waren 2024/25 hoch, nur zwei Monate waren annähernd normal bzw. sogar etwas unternormal temperiert. Die Wintermonate verliefen größtenteils mild und niederschlagsarm, der März und April waren erneut zu warm, während der Mai vergleichsweise kühl ausfiel. Außergewöhnlich warm und sonnenscheinreich zeigte sich der Juni 2025 am Sonnblick mit fast 5 °C über dem Normalwert, was sich wesentlich auf Schneeschmelze sowie Gletscher- und Permafrostungunst auswirkte. Insgesamt wies damit 2024/25 ein klar gegenüber älteren Referenzperioden erhöhtes Temperaturniveau auf, jedoch mit einer im Vergleich zu 2023/24 etwas reduzierten thermischen Belastung für die Kryosphäre.

Die Jahresniederschlagssummen zeigten auch im hydrologischen Jahr 2024/25 die für die Hohen Tauern typische ausgeprägte räumliche Variabilität. Im Unterschied zum Vorjahr, das an zahlreichen Stationen außergewöhnlich hohe Summen brachte, blieben die Niederschläge 2024/25 an der Mehrzahl der Standorte unterdurchschnittlich. Besonders markant war das Defizit am Sonnblick, wo mit 1484 mm eine Unterschreitung des langjährigen Mittels um 300 mm verzeichnet wurde. Damit war 2024/25 auch das trockenste Jahr an diesem Standort seit 2014. Auch an den Stationen Neukirchen und Bramberg wurden neue Niederschlagsminima innerhalb des betrachteten Zeitraums erreicht. Weitere deutlich negative Abweichungen traten u. a. in Heiligenblut, Gerlos und Felbertauern auf, während sich die Rudolfshütte als einziger hochalpiner Standort mit einer Jahressumme nahe am langjährigen Mittel vergleichsweise unauffällig zeigte. Im Witterungsverlauf folgte auf einen überwiegend trockenen Herbst ein sehr niederschlagsarmer Winter. Nach dem extrem trockenen Februar stellte sich mit dem März eine deutlich feuchtere Phase ein. Die Sommermonate erwiesen sich mit dem heißen und trockenen Juni, dem trüben und vielerorts „verregneten“ Juli sowie dem erneut trockenen August als sehr unterschiedlich. Damit war 2024/25 sehr gegensätzlich zum außergewöhnlich niederschlagsreichen Jahr 2023/24, in dem sich bereits im Spätherbst bis Frühwinter eine die Auskühlung des Untergrundes hemmende Schneedecke bildete. Im aktuellen Berichtsjahr war das erst spät der Fall, sodass im Frühwinter noch tiefe Bodentemperaturen aufgezeichnet wurden. Die Ergebnisse der untersuchten meteorologischen Stationen unterstreichen einmal mehr, dass der Niederschlag im Untersuchungsgebiet wesentlich stärker räumlich und zeitlich variiert als die Lufttemperatur.

Auch die Abflüsse waren im hydrologischen Jahr 2024/25 deutlich geringer als im außergewöhnlich wasserreichen Vorjahr. An allen drei untersuchten Pegeln lagen die Jahresabflussmengen um 15–28 % unter den Werten von 2023/24. Bezogen auf das langjährige Mittel im Zeitraum 2014–2025 waren die Abflüsse an den Pegeln Mallnitz und Neukirchen um jeweils 5,5 %, am Pegel Innergschlöss sogar um 21 % niedriger, was am Pegel Innergschlöss ein neues Minimum seit 2014 bedeutete. Die Kombination von unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen (in fester und flüssiger Form) sowie das kontinuierliche Schrumpfen der Gletschermassen in den letzten Jahren können hierfür als Ursachen genannt werden.



Die höchsten Monats- und Tageswerte der Abflüsse traten wiederum in den Sommermonaten auf, blieben jedoch insgesamt unter den Extremwerten des Vorjahres. Auffällig ist, dass das Abflussmaximum im Jahr 2024/25 an allen drei Pegeln bereits auf Anfang Juni fiel, in eine strahlungsreiche Phase mit wenig Niederschlag, aber raschem Schneedeckenabbau bis in hohe Lagen, der mit einer vorangehenden Phase deutlich erhöhter Lufttemperaturen Ende Mai und Anfang Juni zusammenhing. Zusätzliche konvektive Niederschläge wirkten dabei – insbesondere im Einzugsgebiet Innergöschl – als verstärkender Faktor dieser Abflussspitzen. Im weiteren Sommergeverlauf traten zwar wieder einzelne Abflussspitzen auf, diese blieben jedoch schwächer als 2023/24. In dem in Bezug auf die Abflüsse ruhig verlaufenen Winterhalbjahr fällt das neue Minimum des monatlichen Mindestabflusses am Pegel Innergöschl im Februar 2025 mit nur 0,18 Mio. m³ auf: Er bestätigt einerseits die winterliche Trockenheit und andererseits die hohe Variabilität der winterlichen Niedrigwasserphasen. Insgesamt deutet das hydrologische Jahr 2024/25 auf ein im Vergleich zum Vorjahr deutlich gemäßigteres Abflussregime hin, das stärker von geringen winterlichen Schneemengen und der saisonalen Schneeschmelze als von außergewöhnlichen Extremereignissen geprägt war.

Die Längenänderungen und Massenbilanzen der Gletscher im Nationalpark Hohe Tauern fielen im Berichtsjahr 2024/25 trotz des gegenüber dem Vorjahr niedrigeren Temperaturniveaus erneut deutlich negativ aus. Der mittlere Längenrückgang aller beobachteten Gletscher betrug –22,7 m und lag damit sogar um 5,3 m über dem Mittelwert des Vorjahres. Betrachtet man ausschließlich direkt vergleichbare einjährige Messwerte von insgesamt 15 Gletscher mit langjährigen Datenreihen, so erweist sich 2024/25 sogar als das Jahr mit dem größten mittleren Rückzug (–27,2 m) des gesamten Beobachtungszeitraums. In den letzten vier Jahren lagen für diese 15 Gletscher die mittleren Rückzüge zwischen 21,0 und 27,2 m, was einem mittleren Gletscherrückzug von 100 m in nur vier Jahren gleichkommt.

Auch die spezifischen Massenbilanzen blieben an allen untersuchten Gletschern negativ, wobei die Verluste im Mittel etwas geringer ausfielen als in den Extremjahren zuvor (um 5–21 %). Einzig am Venedigerkees ging im Jahr 2024/25 mehr Gletschereis verloren als im Jahr zuvor. Die Spannweite für 2024/25 reichte von –1275 mm Wasseräquivalent am Stubacher Sonnblickkees bis –2100 mm am Goldbergkees. Damit kann trotz der gegenüber dem Vorjahr gegebenen Abschwächung der Massenverluste von einer Entspannung keine Rede sein. Vielmehr bestätigt sich auch für 2024/25 die anhaltende Gletscherungunst in den Hohen Tauern. Dies wird auch daran deutlich, dass selbst ein Jahr ohne neue Temperaturrekorde weiterhin zu markanten Eisverlusten führte, wobei die geringen Niederschläge eine wichtige Rolle spielten. Die meisten Gletscher sind in einem Zustand fortgeschrittener struktureller Schwächung, d. h. sie haben keine Nährgebiete mehr, zehren nur von vorhandenen, aber schwindenden Eisreserven und zerfallen auf Teilen ihrer Fläche.

Auch der Permafrost stand im Beobachtungsjahr 2024/25 unter außergewöhnlich ungünstigen Bedingungen, obwohl das Temperaturniveau im Untergrund etwas tiefer als im Vorjahr war. Die Messungen belegen eine deutliche Abhängigkeit der bodennahen thermischen Verhältnisse von der deren Mächtigkeit, Dauer und zeitlichen Entwicklung der saisonalen Schneedecke. Während oberflächennahe Bodenschichten stark auf kurzfristige atmosphärische Schwankungen reagieren, stellt sich mit der Tiefe eine zunehmende thermische Stabilität ein, wodurch hier langfristige Trends klarer erkennbar werden.

Die Bewegungsraten der Blockgletscher verblieben ebenfalls auf einem langfristig hohen Niveau, obwohl sie sich gegenüber dem Vorjahr etwas verringerten. In Summe betrachtet bestätigen die Ergebnisse des aktuellen Berichtsjahres eine anhaltende Erwärmungstendenz im Permafrost: Auch wenn diese von einer starken interannuellen Variabilität überlagert wird, tritt sie vor dem Hintergrund der mittlerweile fast 20 Jahre umfassenden Temperaturdatenreihen längst statistisch signifikant in Erscheinung. An den Standorten in den Hohen Tauern beträgt die Erwärmungsrate 0,07–0,09 °C/Jahr, was auch den Entwicklungen in anderen Teilen der Alpen entspricht. Gleichzeitig unterstreichen die räumlichen Unterschiede zwischen den Messstandorten die hohe Bedeutung kleinräumiger topoklimatischer Faktoren für die Bodentemperatur- und damit die Permafrostverteilung im Hochgebirge.

5. Fazit mit Ausblick

Der Berichtszeitraum 2024/25 entspricht nach allen in dieser Studie untersuchten Parametern weiterhin dem aktuellen, durch langfristige Erwärmung und ihre Folgen geprägten Klimageschehen, wenngleich sich im Vergleich zum extremen Vorjahr in mehreren Bereichen eine gewisse Abschwächung zeigte:

- Die registrierten bzw. berechneten Lufttemperaturen unterstreichen den weiterhin anhaltenden Erwärmungstrend in der Region, ohne dass jedoch im Berichtsjahr neue Temperaturrekorde erreicht worden wären. Die Jahresmitteltemperaturen lagen weiterhin über dem langjährigen Mittel, jedoch deutlich unter den Werten des Vorjahres. Gleichzeitig wurden an mehreren Standorten ausgesprochen geringe Niederschlagssummen registriert; in drei Fällen sogar neue Niederschlagsminima innerhalb des betrachteten Vergleichszeitraums. Damit zeigt sich erneut, dass sich für den Niederschlag trotz markanter Einzeljahre langfristig kein einheitlicher Trend erkennen lässt, während die Temperaturentwicklung klar in Richtung weiterer Erwärmung weist.
- Die Abflussverhältnisse wurden im Berichtsjahr 2024/25 weiterhin wesentlich durch Schnee- und Gletscherschmelze geprägt, aber weniger als im Vorjahr durch Extremereignisse. Die Jahresabflussmengen lagen an allen drei untersuchten Pegeln klar unter den Werten von 2023/24 und näher an den langjährigen Mittelwerten. Auffallend wenig Abfluss wurde im Monat Februar registriert. Markante sommerliche Abflussspitzen traten zwar auf, konzentrierten sich jedoch auf den Frühsommer und standen überwiegend mit intensiver Schneeschmelze in Zusammenhang. Insgesamt zeigt sich für 2024/25 ein gemäßigteres, stärker saisonal gesteuertes Abflussregime, wenngleich der Einfluss der Gletscherspende – insbesondere in stärker vergletscherten Einzugsgebieten wie in Innergschlöss – weiterhin klar erkennbar bleibt.
- Der Gletscherrückgang setzte sich auch im Jahr 2024/25 deutlich fort. Der mittlere Längenverlust der beobachteten Gletscher fiel erneut sehr hoch aus, und lag nicht nur über dem Wert des Vorjahres, sondern brachte für die Gletscher des Nationalparks Hohe Tauern, für die langjährig geschlossene Datenreihen vorliegen, sogar einen neuen Rekordwert. Auch die spezifischen Massenbilanzen blieben an allen untersuchten Gletschern negativ, wenngleich sich gegenüber den Extremjahren 2021/22 bis 2023/24 fast überall eine leichte Abschwächung der Verluste zeigte. Dies ändert jedoch nichts daran, dass die Gletscher der Hohen Tauern weiterhin massiv an Masse und Fläche verlieren und in einem Zustand fortgeschrittener struktureller Schwächung ihrem Verschwinden entgegengehen.
- Auch die Entwicklung im Permafrost weist trotz gegenüber dem Vorjahr etwas weniger ungünstiger Bedingungen weiterhin in Richtung thermischer Destabilisierung und Degradation des Permafrosts. Die Bodentemperaturen blieben auf hohem Niveau, ebenso wie die Bewegungsraten der beobachteten Blockgletscher, auch wenn auch diese etwas an Dynamik gegenüber dem Vorjahr verloren. Die Bedeutung der winterlichen Schneebedeckung für die thermischen Verhältnisse im Untergrund bestätigte sich erneut und erklärt die große räumliche und zeitliche Variabilität der Temperaturen des Untergrundes, der unabhängig davon aber langfristig einer statistisch signifikanten Erwärmung unterliegt. Insgesamt zeigen Boden- und Permafrosttemperaturen sowie die Blockgletscherbewegung, dass die Permafrostdegradation im Hochgebirge der Hohen Tauern weiterhin wirksam ist.

Zusammengefasst können die Veränderungen der im gegenständlichen Modul beobachteten Geofaktoren im Berichtsjahr 2024/25 als Fortsetzung des in den bisherigen Berichten beschriebenen langfristigen Wandels der hochalpinen abiotischen Umwelt verstanden werden, wenn auch in etwas weniger starker Ausprägung als im Vorjahr. Das Jahr war durch überdurchschnittliche Temperaturen, jedoch unterdurchschnittliche Niederschläge, ein insgesamt gemäßigtes Abflussgeschehen sowie weiterhin deutlich negative Entwicklungen bei Gletschern und Permafrost gekennzeichnet. Besonders augenfällig bleibt der fortgesetzte Gletscherschwund, während die Degradation des Permafrosts weniger sichtbar, aber räumlich weitreichend wirksam ist. Die damit verbundenen Folgen für die Stabilität von Hängen, die Dynamik gravitativer Prozesse, die hydrologische Speicherung in Schnee



und Eis sowie für die zukünftige Landschaftsentwicklung im Hochgebirge bleiben erheblich. Auch das Berichtsjahr 2024/25 bestätigt eindrücklich, dass sich die Kryosphäre der Hohen Tauern weiterhin in einem tiefgreifenden Transformationsprozess befindet. Die Fortführung des langfristigen Monitorings ist daher nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht, sondern ebenso im Hinblick auf Naturgefahren, Wasserhaushalt und gesellschaftliche Anpassungsstrategien von zentraler Bedeutung.

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. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.03.003>

Haeberli, W. (1973): Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 9, 221–227.

Kaufmann V., Ladstädter R., Lieb G.K. (2006): Quantitative assessment of the creep process of Weissenkar rock glacier (Central Alps, Austria). 8th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, Band 41, Institute of Geography and Regional Science, University of Graz, 77-86. https://www.staff.tugraz.at/viktor.kaufmann/Grazer_Schriften_Band41_HMRSC-VIII_Kaufmann.pdf

Kellerer-Pirklbauer, A. (2026a): Results from the permafrost monitoring network at Mt. Innerer Knorrkogel, Austria, in 2024-2025 (Version v1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19919538>

Kellerer-Pirklbauer A. (2026b): Ground temperature monitoring during the period 2004–2024 indicates permafrost degradation in the Austrian Alps. *Permafrost and Periglacial Processes* 37:37–59. <https://doi.org/10.1002/ppp.70014>

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

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

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

Kellerer-Pirklbauer A., 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.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=43285

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). http://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=51573

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K. (2025): Langzeitmonitoring von Ökosystemprozessen im Nationalpark Hohe Tauern. Modul 07: Kryosphäre: Gletscher, Hydroklima, Permafrost. Methoden-Handbuch (Version 02/2025). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

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., Eulenstein J. (2023): Endbericht 2019-2022 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 04/23). Forschungsraum. https://www.parc.at/npht/mmd_fullentry.php?docu_id=52647



Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Eulenstein J. (2024a): Bericht 2022-2023 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 04/24). Forschungsraum.

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V. (2024b): Dem Permafrost der Alpen auf der Spur: Langzeitforschung (1993–2023) im Dösental, Kärnten. GeoGraz, 74, 6–11. <https://unipub.uni-graz.at/geograz>

Kellerer-Pirklbauer A., Bodin X., Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I., Bonnefoy-Demongeot M., Carturan L., Damm B., Eulenstein J., Fischer A., Hartl L., Ikeda A., Kaufmann V., Krainer K., Matsuoka N., Morra di Cella U., Noetzi J., Seppi R., Scapozza C., Schoeneich P., Stocker-Waldhuber M., Thibert E., Zumiani M. (2024c): Acceleration and interannual variability of creep rates in mountain permafrost landforms (rock glacier velocities) in the European Alps in 1995–2022. Environ. Res. Lett. 19 034022 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad25a4>

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Burtcher R. (2025a): Bericht 2023-2024 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 04/25). Forschungsraum.

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Eulenstein J. (2025b): The shape matters! Variability of ground temperature and permafrost at a symmetrical mountain summit in the Eastern Alps in the period 2018–2024. Revista de Geomorfologie 27, p236. <https://revistadegeomorfologie.ro/geo/index.php/revista> [siehe auch Ordner "Publikationen, Dokument „kellerer-pirklbauer_et_al_2025b-publication.pdf"]

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Eulenstein J., Burtcher R. (2025c): The shape matters! Variability of ground temperature and permafrost at a symmetrical mountain summit in the Eastern Alps in the period 2018–2024. Oral presentation – International Association of Geomorphologists (IAG) - Regional Conference on Geomorphology, 16.-18.09.2025, Timisoara, Romania. <https://rcg2025.geomorphology.ro/detailed-programme/> [siehe auch Ordner "Publikationen, Dokument „kellerer-pirklbauer_et_al_2025c-talk.pdf"]

Kellerer-Pirklbauer A., Lieb G.K., Kaufmann V., Avian M., Frießenbichler M. (2026a): Permafrost-Monitoring im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten 2025-2027 - 1. Zwischenbericht für 2024/25. Zwischenbericht, 68 Seiten. (in Begutachtung)

Kellerer-Pirklbauer A., Bodin X., Delaloye R., Lambiel C., Gärtner-Roer I., Damm B., Ikeda B., Kaufmann V., Krainer K., Seppi R., Scapozza C., Stocker-Waldhuber M., Thibert E. (2026b): Rock glacier velocity monitored by annual in-situ geodetic surveys: Long-term challenges, solutions and suggestions. Geomorphology 495, 110117. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2025.110117>

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. (2021): Gletscherbericht 2019/2020 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2020. Bergauf 02/2021: 6–15. https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/service/bergauf/pdf_downloads/bergauf_2021/Bergauf_2_21_ebo_ok.pdf



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. https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/service/bergauf/pdf_downloads/bergauf_2022/Bergauf_2_22_ebook.pdf

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2023): Gletscherbericht 2021/2022 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2022. Bergauf 02/2023: 10–21. https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/service/bergauf/pdf_downloads/Bergauf_2023/_Bergauf_EBOOK_2_23.pdf

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2024): Gletscherbericht 2022/2023 - Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2023. Bergauf 02/2024: 10–21. https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/service/bergauf/pdf_downloads/Bergauf_2024/00_av_bergauf_2_24_gesamt_fin_screen_einzelseiten_klein_1.pdf

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2025): Gletscherbericht 2023/24. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2024. Bergauf 1.2025, 13–25. https://www.alpenverein.at/bk/bergauf/bergauf2025/Bergauf_1_2025/html5/index.html?&locale=DEU

Lieb G.K., Kellerer-Pirklbauer A. (2026): Gletscherbericht 2024/25. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2025. Bergauf 1.2026, 12–23. https://www.alpenverein.at/bk/bergauf/bergauf2026/Bergauf_1_2026/html5/index.html?&locale=DEU

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/nph/mmd_fullentry.php?docu_id=38030.

Pellet C., Bodin X., Delaloye R., Kaufmann V., Noetzli J., Thibert E., Kellerer-Pirklbauer A. (2021): Rock glacier kinematics. In: Blunden, J. and T. Boyer, Eds., 2020: State of the Climate in 2020. Bull. Amer. Meteor. Soc., 102 (8), S44-45. <https://doi.org/10.1175/2021BAMSStateoftheClimate.1>

Pellet C., Bodin X., Cusicanqui D., Delaloye R., Käab A., Kaufmann V., Noetzli J., Thibert E., Vivero S., Kellerer-Pirklbauer A. (2022): Cryosphere - Rock glacier velocity. In: State of the Climate in 2021. Bull. Amer. Meteor. Soc., 103 (8), S43-S44. <https://doi.org/10.1175/2022BAMSStateoftheClimate.1>

Pellet C., Bodin X., Cusicanqui D., Delaloye R., Käab A., Kaufmann V., Noetzli J., Thibert E., Vivero S., Kellerer-Pirklbauer A. (2023): Cryosphere - Rock glacier velocity. In: State of the Climate in 2022. Bull. Amer. Meteor. Soc., 104 (9), S41-S42. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0090.1>

Pellet C., Bodin X., Cusicanqui D., Delaloye R., Käab A., Kaufmann V., Thibert E., Vivero S., Kellerer-Pirklbauer A. (2024): Cryosphere - Rock glacier velocity. In: State of the Climate in 2023. Bull. Amer. Meteor. Soc., 105 (8), S44–S46. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0116.1>

Pellet C., Bodin X., Cusicanqui D., Delaloye R., Käab A., Kaufmann V., Thibert E., Vivero S., Kellerer-Pirklbauer A. (2025): Rock glacier velocity. In: State of the Climate in 2024. Bull. Amer. Meteor. Soc., 106 (8), S48-S49. <https://ametsoc.net/sotc2024/SotC2024.pdf>

Pellet C., Bodin X., Cusicanqui D., Delaloye R., Käab A., Kaufmann V., Thibert E., Vivero S., Kellerer-Pirklbauer A. (2026): Cryosphere - Rock glacier velocity. In: State of the Climate in 2025. Bull. Amer. Meteor. Soc., Beitrag in Begutachtung.

Seiser B., Fischer A. (2022): Glacier mass balance Venedigerkees, Hohe Tauern, Austria, 2020/2021. <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.) (2026): Latest glacier mass balance data: 1 Summary of the balance years 2021/22, 2022/23, 2023/24 and 2024/25. <http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data> (zuletzt geprüft am 17.4.2026)



Zagel B., Ehgartner G., Slupetzky H. (2023): Glaziologisches Monitoring 2022: LTER Stubachtal | Sonnblickkees: Beiträge zur Glazialhydrologie eines hochalpinen Einzugsgebietes im Oberen Stubachtal, Hohe Tauern, Land Salzburg. Berichtsjahr 2022. Paris-Lodron-University Salzburg, 11 Seiten.

Zagel B., Slupetzky H., Ehgartner G. (2025): Glaziologisches Monitoring Stubacher Sonnblickkees. Beiträge zur Glazialhydrologie eines hochalpinen Einzugsgebietes im Oberen Stubachtal, Hohe Tauern, Land Salzburg. Berichtsjahr 2024, 13 S. Universität Salzburg. <https://uni-salzburg.elsevierpure.com/de/publications/glaziologisches-monitoring-2024-lter-stubachtal-sonnblickkees-bei>

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Lage der drei Untersuchungsgebiete für das Langzeit-Ökosystemmonitoring sowie Lage der in dieser Studie verwendeten Klima- und Abflussmessstationen (GeoSphere Austria- oder HZB-Stationen), der durch Monitoring erfassten Gletscher sowie der Permafrost-Untersuchungsgebiete. Ergänzend sind auch alle automatischen Wetterstationen (n=85), die innerhalb des Nationalparks sowie in der näheren Umgebung installiert sind (hierzu Lieb et al. 2019), verortet. HZB=Hydrographisches Zentralbüro, KFU=Karl-Franzens-Universität Graz, ÖAV=Österreichischer Alpenverein, TUG=Technische Universität Graz, GeoSphere=GeoSphere Austria (bis 31.12.2022 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik/ZAMG)..... 2
- Abbildung 2: Übersichts- (a) und Detailkarten (b-e) der vier Untersuchungsgebiete zum Permafrost-Monitoring im (bzw. Fallbichl-Hochtor im Nahbereich vom) Nationalpark Hohe Tauern Kärnten mit Lage nahezu aller Messstandorte, welche mit Miniatur-Temperaturdatenlogger ausgestattet sind, Stand 2025 (vgl. Tabelle 2). Der Standort DOV-UP-S2 wurde 2024 neu eingerichtet. Am Standort HLC-RF-N wurde 2025 ein zweiter Felsdatenlogger eingebaut (Gletschermaske für Pasterze und benachbarte Gletscher nach Buckel et al. 2018)..... 6
- Abbildung 3: Vergleich der Schneebedingungen im Zuge der Geländearbeiten am 05.09.2021, 11.08.2023, 02.9.2024 sowie am 31.08.2025 im Bereich der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels (hier zu sehen die Süd- und Westflanken), vom Löbentörl aus betrachtet. Neuschnee war in den höheren Lagen in den Jahren 2021 vielerorts anzutreffen und behinderte an manchen Standorten die Geländearbeiten. 2023 waren nur mehr Reste des Neuschnees, welcher Anfang August 2023 gefallen war, vorhanden. 2024 und 2025 war das Gelände nahezu schneefrei. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer..... 9
- Abbildung 4: Blick vom Inneren Knorrkogel nach Osten auf das Karleskees und den Äußeren Knorrkogel (2920 m, rechts oben) am 02.09.2024 und 31.08.2025. Zu beachten ist das weitgehende Fehlen von Schneefeldern (auch auf dem Karleskees) in der Hochgebirgslandschaft der Hohen Tauern in beiden Jahren. Auffallend auch die vielen kleinen Eisberge im proglazialen See sowie der Rückzug des Gletschers zwischen beiden Aufnahmen. Fotos: Andreas Kellerer-Pirklbauer..... 9
- Abbildung 5: Gegenüberstellung der Jahresmitteltemperaturen von 2024/25 mit dem Mittelwert für die elf Jahre zwischen 2014/15 und 2024/25 von sieben Klimastationen in den Hohen Tauern, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Primär bedingt durch deren Seehöhe, ist der wärmste Standort die Station Malta, der kälteste die Station Sonnblick..... 14
- Abbildung 6: Gegenüberstellung der Jahressummen des Niederschlags von 2024/25 mit dem Mittelwert für die elf Jahre zwischen 2014/15 und 2024/25 von neun Klimastationen, deren Daten den Inhalt der Tabelle 7 bilden. Der niederschlagsärmste Standort ist Heiligenblut, der niederschlagsreichste die Rudolfshütte..... 14
- Abbildung 7: Monatswerte der Lufttemperatur (T) im Zeitraum Oktober 2024 bis September 2025 an den sieben Klimastationen Rudolfshütte, Kolm-Saigurn, Sonnblick, Heiligenblut, Malta, Gerlos und Felbertauern..... 16
- Abbildung 8: Vergleich der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) im Berichtsjahr 2024/25 mit jenen der Klimanormalperioden 1981–2010 sowie 1991–2020 (oben) und Abweichung der

Monatsmitteltemperaturen zur Klimanormalperiode 1981–2010 in den vier Berichtsjahren 2020/21 bis 2024/25 (unten) an der Station Sonnblick (3109 m).	16
Abbildung 9: Langzeitentwicklung von Niederschlag (Station Neukirchen) und Temperatur (Station Sonnblick). Entwicklung der Jahreswerte (hier Kalenderjahre) im Zeitraum 1973–2025 und entsprechende lineare Trends (rote Linien). Niederschlag: Keine signifikanten Veränderungen erkennbar. Temperatur: Klarer Erwärmungstrend. Für die Temperatur sind zusätzlich Dekadenmittelwerte (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010 und 2011–2020) angegeben.....	18
Abbildung 10: Vergleich der gemessenen mittleren täglichen Abflüsse (Q in m ³ /s) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im elfjährigen Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025.....	19
Abbildung 11: Vergleich des gemessenen mittleren täglichen Abflusses (Q im m ³ /s) an den drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025. Die untere Kurve ist ein Ausschnitt aus der oberen mit veränderter Skalierung der Ordinate, um den Bereich bis zu 5 m ³ /s besser zu zeigen.	21
Abbildung 12: Monatssummen des Abflusses (Q) der drei HZB-Stationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2020–30.09.2025 in Mio. m ³	23
Abbildung 13: Mittlere Längenänderungen an 15 Gletschern im Nationalpark Hohe Tauern, von denen für die 14-jährige Periode 2011/12 bis 2024/25 Längenänderungsdaten lückenlos vorliegen (+ in Tabelle 11). In kräftigem Rot gehalten das aktuelle Beobachtungsjahr. Weitere Erläuterungen im Text.	26
Abbildung 14: Längenänderungen an den vier Gletschern Schlattenkees (Venedigergruppe), Winkelkees (Ankogelgruppe), Untersulzbachkees (Venedigergruppe) und Pasterze (Glocknergruppe) im Zeitraum 2011/12–2024/25. Erläuterungen im Text.	27
Abbildung 15: Spezifische Jahresmassenbilanzen an vier ausgewählten Gletschern in den Hohen Tauern zwischen 2015/16 und 2024/25. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w.e.) angegeben. Siehe hierzu auch Tabelle 12.	29
Abbildung 16: Jahresmitteltemperatur an/nahe der Bodenoberfläche im Zeitraum 01.08.2024–31.07.2025 (Messjahr 2024/25) aller Messstandorte in den vier Untersuchungsgebieten. Standorte, die mit ND (no data) markiert sind, verfügen aufgrund technischer Probleme über keine geschlossene Datenreihe für das letzte Berichtsjahr oder sind aktuell nicht instrumentiert (z. B. KC-LO, steinschlagbedingt). Der Mittelwert pro Arbeitsgebiet ist ebenfalls dargestellt.	30
Abbildung 17: Tagesmitteltemperaturen der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten – HLC-UP-N, FAL-UP, DOV-UP-S und PAG-UP – im Nationalpark Hohe Tauern Kärnten bzw. dessen Nahbereich (Standort FAL-UP) für das Messjahr 2024/25 (01.08.2024–31.07.2025). Messbereiche im Winterhalbjahr mit geringer Schwankung deuten auf Dämpfungseffekte durch eine mächtige Schneedecke (> 80 cm) hin (Erläuterungen im Text). In Grau sind die Tagesmittelwerte der automatischen meteorologischen Station im Hinteren Langtalkar (HLC-AWS) dargestellt.....	32
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte des gegenständlichen Projektjahres 2024/25 mit den durchschnittlichen Jahresmittelwerte über den Zeitraum 12-jährigen Messzeitraum 2013/14 bis 2024/15 an allen Bodentemperaturmessstationen mit entsprechenden Daten. Im Mittel liegen die beiden Wertepaare bei 0,99 °C (2024/25) bzw. 0,97 °C (12-Jahresmittel).....	33

Abbildung 19: Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten für den Zeitraum 01.08.–31.07. des Folgejahres für die Messjahre von 2007/08–2024/25. Lineare Trends sowie entsprechende Korrelationskoeffizienten sind dargestellt. Jene für DOV-UP-S, HLC-UP-N und PAG-UP sind statistisch signifikant (alle drei $p < 0,01$ – Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1 %). Zu beachten die gleiche Skalierung der Ordinaten.	34
Abbildung 20: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 01.10.2024–30.09.2025 in fünf unterschiedlichen Tiefen bis einschließlich 20 m sowie die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die Untere Grafik fokussiert auf die Temperatursprünge, die Ende Juni/Anfang Juli 2025 in 12 und 20 m Tiefe registriert wurden.	36
Abbildung 21: Tagesmitteltemperaturen im Bohrloch 3 am Sonnblick im Zeitraum 01.10.2014 bis 30.09.2025 in fünf unterschiedlichen Tiefen bis einschließlich 20 m sowie die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (AT) an der TAWES-Station Sonnblick. Die untere Darstellung fokussiert – mit einer anderen Abszissenskalierung – auf die drei unteren Sensoren und zeigt auch die linearen Erwärmungstrends der Sensoren in Tiefen von 4 und 12 m.	37
Abbildung 22: Jahresmitteltemperaturen für sechs Kalenderjahre mit geschlossenen Datenreihen zwischen 2016 und 2025 im Bohrloch 3 am Sonnblick.	38
Abbildung 23: Mitteltemperaturen in verschiedenen Tiefen des Monats Jänner für die zehn Jahre 2016–2025 im Bohrloch 3 am Sonnblick. Ergänzend dazu sind die Lufttemperaturwerte für den Sonnblick (vgl. Kapitel 3.1.) dargestellt.	39
Abbildung 24: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 34 am Dösener Blockgletscher mit Messingbolzen stabilisierten Messpunkte für den Zeitraum 2024/25. Punktnummern in Gelb, 11 zentrale Punkte (10–17, 21–23) mit schwarzgefüllten Kreisen, Geschwindigkeiten (cm/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2\text{--}3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Orthofoto 20.09.2010 © Land Kärnten.	40
Abbildung 25: 2D-Bewegungsvektoren (rot) der 33 am Blockgletscher Hinteres Langtalkar mit Messingbolzen stabilisierten, messbaren Messpunkte für den Zeitraum 2024/25. Punktnummern in Gelb, Geschwindigkeiten (m/Jahr) in Schwarz auf weißem Grund. Das Signifikanzniveau liegt bei ca. $\pm 2\text{--}3$ cm/Jahr (1σ -Schranke). Eine maximale Geschwindigkeit von 2,79 m/Jahr wurde im Punkt 27 gemessen. Die Punkte 21, 23, 24, 25 und 31 (rot) sind im Gelände nicht mehr auffindbar und daher auch nicht mehr messbar. Orthofoto 28.08.2012 © Land Kärnten.	41
Abbildung 26: Vergleich der mittleren jährlichen horizontalen Oberflächenbewegung der beiden Blockgletscher Dösen (zentraler Bereich) und Hinteres Langtalkar (oberer Bereich) für den Zeitraum 1995–2025. Mittelbildung über 11 Punkte (10–17, 21–23) am Dösener Blockgletscher und 9 Punkte (10–17, 37) am Blockgletscher Hinteres Langtalkar. Für Vergleichszwecke ist auch der zeitliche Verlauf der Bewegungsraten am Weißenkar-Blockgletscher (Schobergruppe, Osttirol) dargestellt (jedoch 2025 keine Messung dort).	42
Abbildung 27: Jahresmitteltemperatur aller Messstandorte mit geschlossenen Datenreihen an/nahe der Bodenoberfläche im Messjahr 2024/25. Bei den Mehrkanal-Datenloggern sind die Messsensoren in 3, 10 und 40 cm Tiefe im Felsen installiert und entsprechend in der Grafik ausgewiesen. Zum Vergleich sind die Mittelwerte der gesamten sieben Jahre (siehe Tabelle 15) in der Grafik ebenfalls dargestellt.	45

Abbildung 28: Verlauf der Tagesmitteltemperatur an drei Standorten im Arbeitsgebiet Innerer Knorrkogel im Messjahr 2024/25: Der in diesem Jahr wärmste (F-3K-S-2871-3 cm) und kälteste (F-1K-NE-2840) Standort sowie ein Standort mit relativ langer Schneedecke abgeleitet aus der thermischen Pufferung (G-1K-SW-2840). Alle drei Temperaturkurven verlaufen nur sehr ähnlich in der schneefreien Zeit im Herbst sowie ab Mitte Juni 2025.	46
Abbildung 29: Tagesmitteltemperaturen an neun Bodentemperaturmessstandorten im Sattelkar im Zeitraum 01.10.2023–30.09.2025. Die untere Grafik zeigt die Kurven von zwei dieser neun Standorte mit konträrem thermischem Muster.	47
Abbildung 30: Tagesmitteltemperaturen an neun Bodentemperaturmessstandorten im Sattelkar im Zeitraum 01.10.2015–30.09.2025. Logger_16 wurde am 26.07.2022 neu eingerichtet. Die untere Grafik zeigt die Kurven von zwei dieser neun Standorte mit konträrem thermischem Muster.	49
Abbildung 31: Vergleich der Monatsmitteltemperaturen an 14 Bodentemperatur-Messstandorten im Sattelkar mit entsprechenden Datenreihen für die zehn Jänner zwischen 2016 und 2025. Die untere Grafik hebt die beiden letzten Berichtsjahre hervor.	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TAWES-Stationen der GeoSphere Austria, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden, mit Angabe des jeweiligen Beginns der verfügbaren Datenreihe. 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 01.-31.03.2019. (2) nur Niederschlagsdaten (keine Temperaturaufzeichnung). *Vereinfacht in weiterer Folge nur als „Felbertauern“ bezeichnet.....	3
Tabelle 3: HZB-Oberflächengewässer-Messstellen der Hydrographischen Landesdienste, die für die gegenständliche Studie verwendet wurden. Koordinaten sind als geographische Koordinaten sowie in BMN – M31 (EPSG 31258) als Rechtswert (RW) und Hochwert (HW) angegeben. Erläuterungen siehe Text. Lage siehe Abbildung 1.....	3
Tabelle 4: Gletscher in den Hohen Tauern, an denen aktuell Massenbilanzen durch verschiedene Institutionen bestimmt werden (Quelle: WGMS 2026, ergänzt). ÖAW=Österreichische Akademie der Wissenschaft; HD-Sbg=Hydrographischer Dienst des Landes Salzburg; HD-Tirol= Hydrographischer Dienst des Landes Tirol; Z_GIS= Fachbereich Geoinformatik, Universität Salzburg. *= Daten für 2024/25 lagen zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht vor.....	5
Tabelle 5: Auflistung der vier Untersuchungsgebiete im (bzw. Fallbichl-Hochtor im Nahbereich vom) Nationalpark Hohe Tauern Kärnten und deren Instrumentierung mit Miniatur-Temperaturdatenloggern. Lage siehe Abbildung 2. Abbildungen 17 und 19 zeigen Daten bzw. Auswertungen der jeweils grau hinterlegten Sensoren. Codes: HLC = Hinteres Langtalkar-Kögelekar, FAL = Fallbichl, HOT = Hochtor, DOV = Dösen-Säuleck, PAG = Pasterze-Burgstall. Der Code für jeden Standort besteht im Wesentlichen aus diesen Bezeichnungen in Kombination mit weiteren, internen Kürzeln; z. B. N = Nord, S = Süd.....	7
Tabelle 6: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an 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 die vorjährigen Berichte). Siehe hierzu auch die Dokumentation in den beiden Dateien „rohdaten_metadaten_20260325.csv“ und „bearb_daten_metadaten_20260410.csv“.	10
Tabelle 7: Jahresmittelwerte der Lufttemperatur (T, in °C) und Jahressummen des Niederschlags (P, in mm) in den elf hydrologischen Haushaltsjahren 2014/15–2024/25 (jeweils 01.10.–30.09. des Folgejahres) der neun ausgewählten, als repräsentativ für das Arbeitsgebiet angesehenen Klimastationen in den Hohen Tauern. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Fettstellung markiert den jeweils höchsten Wert der 10-jährigen Periode, kursiv hingegen den tiefsten Wert. n.d.=fehlende Daten. *Datenlücke 01.03.2019–31.03.2019.	12
Tabelle 8: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) und Abweichungen der Monatsmittelwerte in den sechs Gletscherhaushaltsjahren 2019/20 bis 2024/25 von jenen der Klimanormalperiode 1981–2010 (in °C) an der Station Sonnblick (3109 m).....	17



Tabelle 9: Jahresmenge des Abflusses (Q) an den Abflussmessstationen Mallnitz (Kärnten), Neukirchen (Salzburg) und Innerschlöss (Tirol) im Zeitraum 01.10.2014–30.09.2025; Gesamtabfluss in den einzelnen Gletscherhaushaltsjahren sowie Monatsminima und Monatsmaxima. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum.	20
Tabelle 10: Abflusshöhe (Quotient aus Durchflussvolumen pro Beobachtungsperiode und Einzugsgebietsfläche) in mm für die elf glaziologischen Haushaltsjahre 2014/15–2024/25 in den drei Einzugsgebieten oberhalb der Stationen Mallnitz (Einzugsgebiet 85,3 km²), Neukirchen (40,5 km²) und Innerschlöss (39,3 km²). Grau hinterlegt das aktuelle Projektjahr. Fettstellung markiert den jeweils höchsten Wert der 10-jährigen Periode, Kursivstellung den tiefsten Wert.....	23
Tabelle 11: Die im Nationalpark Hohe Tauern bzw. im Nahbereich davon (*) durch den Österreichischen Alpenverein jährlich vermessenen Gletscher mit Angaben zur Längenänderung in den Gletscherhaushaltsjahren 2015/16 bis 2024/25. Lage siehe Abbildung 1. Grau hinterlegt ist das gegenständliche Gletscherhaushaltsjahr 2024/25.	25
Tabelle 12: Spezifische Massenbilanzen an sieben Gletschern im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern für die neun Gletscherhaushaltsjahre 2015/16–2024/25 in mm Wasseräquivalent. Grau hinterlegt ist das aktuelle Gletscherhaushaltsjahr. Die Daten von 2022/23 für das Wurtenkees (*) lagen, wie in Kapitel 2.3 erläutert, erst 2024 vor.	28
Tabelle 13: Bewegungsraten am Dösener Blockgletscher für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2016/17–2024/25. Die Mittelwerte wurden aus den Bewegungsraten der zentralen Punkte 10–17 und 21–23 gerechnet. Die Maximalwerte wurden – bis auf die letzten beiden Jahre – im Punkt 15 gemessen. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Für die Punkte 28 und 29 konnte wiederholt keine signifikante Bewegung festgestellt werden.....	40
Tabelle 14: Bewegungsraten am Blockgletscher Hinteres Langtalkar für die Einzeljahre des Beobachtungszeitraumes 2016/17 bis 2024/25 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. Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum.	41
Tabelle 15: Übersicht über die 18 Monitoring-Standorte an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels mit Angaben zu Code, interner Loggernummer, Tiefe des Temperatursensors bzw. der Sensoren (bei Dreikanaldatenlogger eingebaut in Felsen) mit den gemessenen Jahresmittelwerten für 2018/19 bis 2024/25 sowie deren Mittelwert über die 7 Jahre (mit einer Ausnahme 6 Jahre*). ND = no data (siehe hierzu Kapitel 2.4). Grau hinterlegt ist der aktuelle Berichtszeitraum. Für 2024/25: tiefster Wert in fett, höchster Wert in fett/kursiv.	44



