
HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2024/25
- inklusive der Auswertungen der Niederschlagsmessung im Rofental



Der Hintereisferner nahe seiner maximalen Ausaperung im Haushaltsjahr 2024/25. Nach Schneefällen um den 20. August wurde eine ähnliche Ausaperung erst wieder um den 21. September erreicht. Quelle: foto-webcam.eu, 19.08.2025, Hintereisferner1 (Im Hinteren Eis)

HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2024/25

Innsbruck, im November 2025

im Auftrag von:
Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie
Herrengasse 1–3
A-6020 Innsbruck/Austria

Zusätzliche finanzielle Mittel wurden durch das Rektorat sowie durch das Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck erbracht.

Projektleitung: Mag. Rainer Prinz, PhD
Koordination der Feldarbeiten, Auswertungen und Bericht: Mag. Rainer Prinz, PhD

Kontakt: Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck
Innrain 52f, 6020 Innsbruck
E-mail: rainer.prinz@uibk.ac.at
Tel.: (+43) 0512 507 54415
Fax.: (+43) 0512 507 54599

Das Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck erhebt seit 1952 den Massenhaushalt des Hintereis- und seit 1965 den Massenhaushalt des Kesselwandfeners unter Anwendung der direkten glaziologischen Methode.

Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung der Arbeiten und Ergebnisse aus dem hydrologischen Haushaltsjahr 2024/25.

Inhaltsverzeichnis

A.	Zusammenfassung.....	A-1
B.	Einleitung.....	B-1
B.1	Lage des Untersuchungsgebietes.....	B-1
B.2	Methodik	B-1
B.3	Gletscherflächen und Messnetz	B-4
C.	Analysen und Ergebnisse.....	C-1
C.1	Witterung im Haushaltsjahr	C-1
C.2	Massenbilanz Hintereisferner	C-5
C.2.1	Winterbilanz	C-5
C.2.2	Jahresbilanz	C-7
C.2.3	Geodätische Massenbilanz	C-9
C.3	Massenbilanz Kesselwandferner	C-12
C.4	Niederschlagsmessungen im Rofental	C-17
C.4.1	Erkenntnisse aus jüngsten Arbeiten.....	C-17
C.4.2	Vergleich der Niederschlagsmessungen im Rofental.....	C-18
C.5	Literaturverzeichnis.....	C-21
C.6	Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole	C-23
D.	Anhang.....	D-1
D.1	Geleistete Arbeiten	D-1
D.1.1	Feldkampagnen	D-1
D.1.2	Messungen und Analysen.....	D-1
D.2	Dokumentation der Feldarbeiten am Hintereisferner und am Kesselwandferner	D-2
D.2.1	Feldkampagne 01.-03.(04.)04.2025: Hintereisferner Winterbilanz	D-2
D.2.2	Feldkampagne 02.07.2025 Feldkurs.....	D-6
D.2.3	Feldkampagne 05.08.-03.09.2025: Kampagnen während HEFEX III	D-8
D.2.4	Feldkampagne 31.08.+01.09.2025 Kesselwandferner	D-10
D.2.5	Feldkampagne 10.10.2025 Abschlussbegehung HEF und Stationswartung	D-11
D.3	Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental	D-13
D.3.1	Feldkampagne 30.12.2024 Im Hinteren Eis.....	D-13
D.3.2	Feldkampagne 10.07.2025 Wartung AWS Im Hinteren Eis und Vent	D-14

D.3.3	Feldkampagne 05.08.2025 Wartung Im Hinteren Eis	D-15
D.3.4	Feldkampagne 10.10.2025: Wartung Station Hintereis, Im Hinteren Eis und Vent...	D-16

A. ZUSAMMENFASSUNG

Am **Hintereisferner** brachte das Haushaltsjahr 2024/25 mit **-1793 mm w.e.**¹ (Tabelle 1) eine deutlich negative Massenbilanz. Die Winterbilanz mit 802 mm w.e. liegt 34% unter dem Durchschnitt der Dekade 2011-2020 und ist die dritt-negativste am Hintereisferner gemessene Winterbilanz seit 2006. Die Gleichgewichtslinie lag auf 3302 m.

Ausschlaggebend für den Verlauf der Massenbilanz war der sehr schneearme Winter (Oktober-April) mit 18% weniger Niederschlag in Vent im Vergleich zu 1981-2010. Obwohl die Witterung im Mai niederschlagsreich und kühl war, konnte die Winterschneedecke im zu warmen Juni soweit schmelzen, dass Mitte Juni die Zunge des Hintereisferner schon schneefrei war. Im Juli gab es eine Serie von sommerlichen Neuschneefällen, die die Winterschneedecke bis etwa 3100 m konservieren konnte. Die Eisablation an der Zunge konnte jedoch nicht unterbunden werden. Im warmen August und September kam es erneut zu starker Eisablation, der Winterschnee konnte in den höchsten Regionen aber knapp überdauern. Die Eisablationsperiode endete mit Schneefällen am 23. September.

Die jährliche und kumulative Entwicklung der Massenbilanzreihe ist jeweils in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 1: Kennzahlen des Bilanzjahres 2024/25 für den Hintereisferner².

	Winter			Sommer		gesamtes Jahr	
	Fläche	B _w	b _w	B _s	b _s	B	b
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]
	5171	4147967	802	-13419974	-2595	-9272007	-1793
S _C [10 ³ m ²]	1236		B _C [m ³ w.e.]	154492		b _C [kg/m ²]	125
S _A [10 ³ m ²]	3935		B _A [m ³ w.e.]	-9426499		b _A [kg/m ²]	-2395
ELA	3302	m a.s.l.	S _C /S _A	0.314		AAR	0.239

¹ Eine Liste der Akronyme und Symbole findet sich in Kapitel C.7.

² Die Werte für HEF und KWF werden den internationalen Gepflogenheiten entsprechend an das World Glacier Monitoring Service (WGMS) berichtet und damit der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich gemacht. Basis- und Zwischenwerte werden bei Anfrage und für wissenschaftliche Verwendung von ACINN zur Verfügung gestellt.

Für den **Kesselwandferner** brachte das Haushaltsjahr 2024/25 mit **-1090 mm w.e.** eine deutlich negative Massenbilanz (Abbildung 1 und Tabelle 2). Die ELA liegt auf 3275 m und damit etwas tiefer als am Hintereisferner.

Tabelle 2: Kennzahlen des Bilanzjahres 2024/25 für den Kesselwandferner.

	gesamtes Jahr					
	Fläche [10 ³ m ²]	B [m ³ w.e.]	b [mm w.e.]			
	3374	-3677577	-1090			
S_C [10³ m²]	586		B_C [m³ w.e.]	73310	b_C [mm w.e.]	125
S_A [10³ m²]	2788		B_A [m³ w.e.]	-3750887	b_A [mm w.e.]	-1345
ELA	3275	m.a.s.l	S_C/S_A	0.210	AAR	0.174

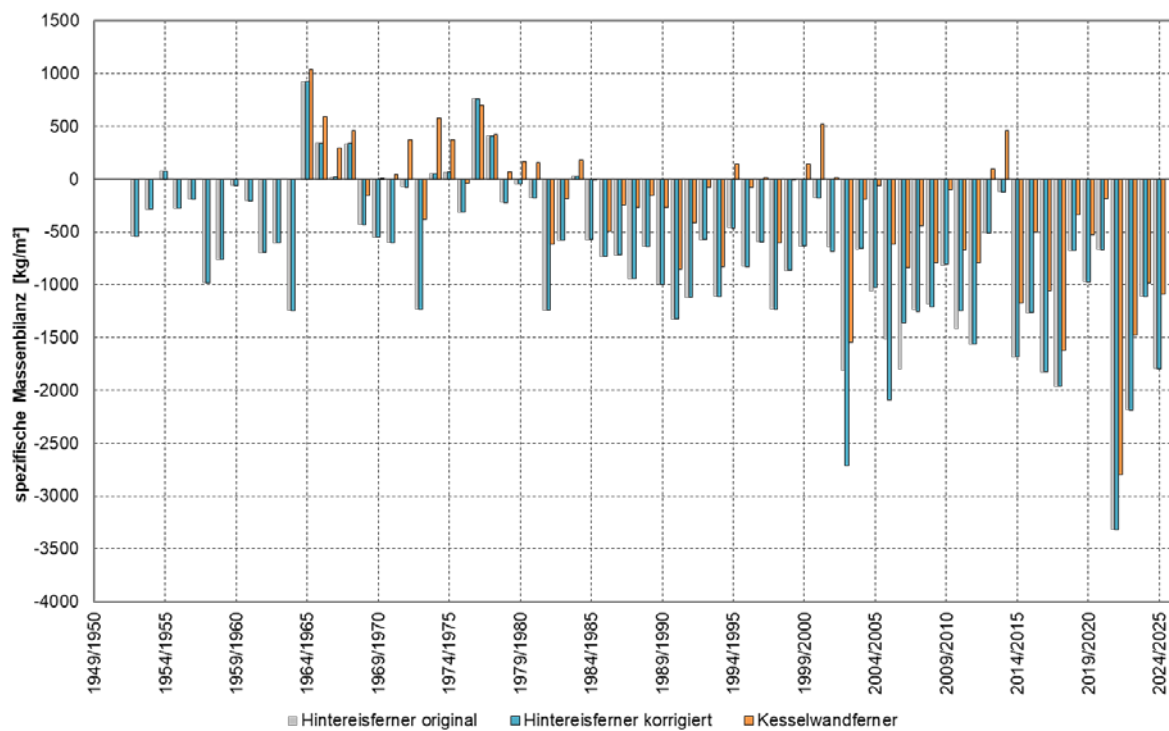


Abbildung 1: Die Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandfernern (Quelle: ACINN). Die Bilanzjahre 2001 – 2011 wurden für den HEF nach Klug et al. (2018) korrigiert.

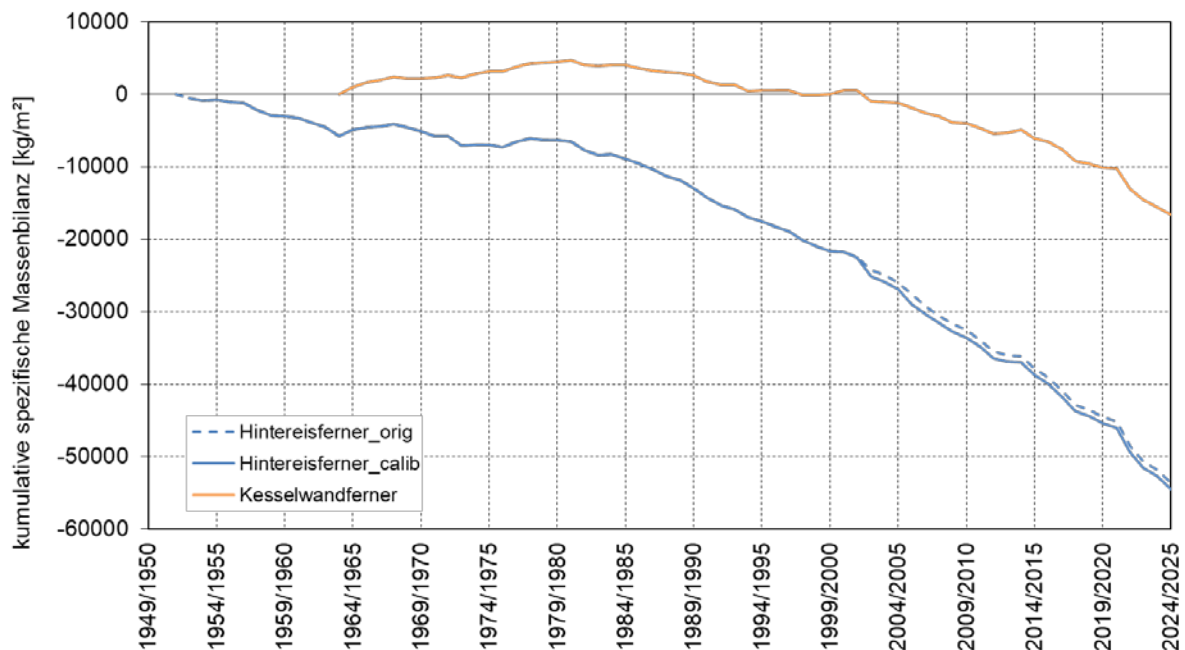


Abbildung 2: Die kumulativen Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandferners (Quelle: ACINN). Die Massenbilanz am HEF wurde 2001-2011 nach Klug et al. (2018) korrigiert.

Abbildung 3 zeigt eine generalisierte Extremwertverteilung der Massenbilanzwerte von Hintereis- und Kesselwandferner. Hervorgehoben sind ein mittleres (2020/21), ein extrem negatives (2021/22) und das vergangene Bilanzjahr.

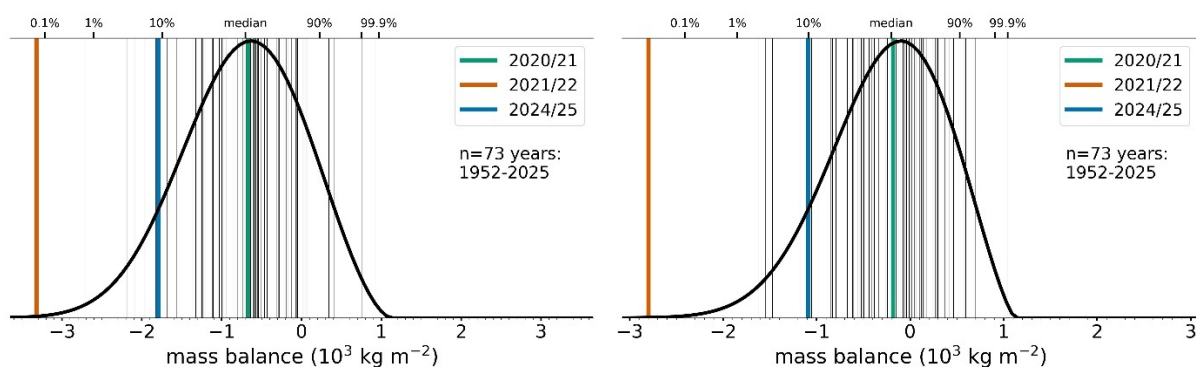


Abbildung 3: Statistische Verteilung der Massenbilanzjahre am Hintereis- (links) und Kesselwandferner (rechts). Jede Säule steht für ein Massenbilanzjahr mit dem entsprechenden Bilanzwert (untere x-Achse) und ihrer Position in einer generalisierten Extremwertverteilung (obere x-Achse) (Voordendag et al., 2023).

Besonderheiten

Von 05.08.-03.09.2025 fand das dritte Hintereisfernerexperiment (HEFEX III) statt. 35 Wissenschaftler:innen von zehn Forschungsstätten aus vier europäischen Staaten veranstalteten eine Kampagne zur skalenübergreifenden Messung von meteorologischen Prozessen in der gletschernahen Atmosphäre und der Talatmosphäre darüber. HEFEX III ist Teil des Projektes "Assessing the resilience and vulnerability of mountain ice"³ (Kooperation ACINN und Humboldt Universität Berlin, gefördert vom Österreichischen Wissenschaftsfonds und der Deutschen Forschungsgemeinschaft) und eingebettet in die Grenzschichtkampagnen von TEAMx⁴.

HEFEX I (2018) betrachtete spezielle Aspekte der gletschernahen Atmosphäre, wie z.B. den Einfluss der Rauheitslängen von Gletschereis auf die turbulenten Energieflüsse oder wie Schwerewellen die Struktur der Gletschergrenzschicht beeinflussen^{5,6,7,8,9}. HEFEX II (2023) untersuchte die Struktur und Charakteristik der Grenzschicht verteilt über die Gletscherfläche in verschiedenen Höhenstufen sowie in Längs- und Querprofilen¹⁰. HEFEX III interessiert sich für die skalenübergreifenden Prozesse zwischen Gletscher- und Gebirgsgrenzschicht¹¹. Teilnehmerzahl, Instrumentierung und Komplexität machen diese Experimente zu den umfangreichsten glazial-meteorologischen Kampagnen, die jemals auf Gebirgsgletschern durchgeführt wurden.

³<https://doi.org/10.55776/PIN1775223>

⁴<http://www.teamx-programme.org/>

⁵ Smith, T., Smith, M. W., Chambers, J. R., Sailer, R., Nicholson, L., Mertes, J., et al. (2020). A scale-dependent model to represent changing aerodynamic roughness of ablating glacier ice based on repeat topographic surveys. *Journal of Glaciology*, 66(260), 950-964. <https://doi.org/10.1017/jog.2020.56>

⁶ Chambers, J. R., Smith, M. W., Smith, T., Sailer, R., Quincey, D. J., Carrivick, J. L., et al. (2021). Correcting for Systematic Underestimation of Topographic Glacier Aerodynamic Roughness Values From Hintereisferner, Austria. *Frontiers in Earth Science*, 9, 691195. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.691195>

⁷ Mott, R., Stiperski, I., & Nicholson, L. (2020). Spatio-temporal flow variations driving heat exchange processes at a mountain glacier. *The Cryosphere*, 14(12), 4699–4718. <https://doi.org/10.5194/tc-14-4699-2020>

⁸ Goger, B., Stiperski, I., Nicholson, L., & Sauter, T. (2022). Large-eddy simulations of the atmospheric boundary layer over an Alpine glacier: Impact of synoptic flow direction and governing processes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148(744), 1319-1343. <https://doi.org/10.1002/qj.4263>

⁹ Goger, B., Stiperski, I., Ouy, M., & Nicholson, L. (2025). Investigating the influence of changing ice surfaces on gravity wave formation impacting glacier boundary layer flow with large-eddy simulations. *Weather and Climate Dynamics*, 6(2), 345–367. <https://doi.org/10.5194/wcd-6-345-2025>

¹⁰ Nicholson, L., Stiperski, I., Nitti, G., Prinz, R., Georgi, A., Groos, A. R., et al. (2025). The second HinterEisFerner EXperiment (HEFEX II): Initial insights into boundary layer structure and surface-atmosphere exchange processes from intensive observations at a valley glacier. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 106, E2143-E2169. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0010.1>

¹¹ Sauter, T., Brock, B. W., Collier, E., Georgi, A., Goger, B., Groos, A. R., et al. (2025). Glacier-Atmosphere Interactions and Feedbacks in High-Mountain Regions - A Review. *Reviews of Geophysics*. Accepted. <https://doi.org/10.22541/essoar.174164160.03475851/v1>

B. EINLEITUNG

B.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Der Hintereisferner (HEF) und der Kesselwandferner (KWF) liegen im Rofental (Abbildung 4), einem Seitental des Ötztals und entwässern über die Rofenache in die Venter Ache, in weiterer Folge in die Öztaler Ache und den Inn.

Der HEF erstreckt sich in ca. 5,6 km Länge von der Weißkugel (3739 m) in nord-östliche Richtung ins Rofental und endet auf etwa 2550 m (2020). Entlang des orographisch rechten Zungenbereiches erstreckt sich ein schuttbedeckter Toteiskörper, der traditionell nicht zur Fläche des Massenbilanzgletschers gezählt wird. Dieser schuttbedeckte Bereich nimmt stetig an Fläche zu, einerseits durch das Absinken der schuttfreien Gletscherzunge durch die starke Ablation, andererseits aufgrund des zunehmenden Schutteintrages aus dem darüber liegenden, zunehmend übersteilten, nicht konsolidierten Material der Ufermoräne. Zu der Ausdehnung des HEF werden die im unteren Teil nicht mehr mit der Hauptzunge des HEF verbundenen Gletscherteile des Stationsferners (SF) und des Langtaufererjochferners (LJF) gezählt.

Der KWF liegt nordöstlich des HEF. Den höchsten Punkt seines Einzugsgebiets bildet der Fluchtkogel (3497 m). Im Unterschied zum HEF besitzt der KWF ein ausladendes, südost-exponiertes und hohes Firnbecken und eine kurze Zunge, die bereits am Rand der Felsstufe des flachen Firnbeckens sitzt. Er grenzt mit einer Eisscheide an den westlich angeschlossenen Gepatschferner.

Der HEF und der KWF sind Gegenstand jahrzehntelanger glaziologischer Forschung am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. Ihre seit 1952/53 (HEF) und seit 1965/66 (KWF) aufgezeichneten Massenbilanzreihen zählen zu den längsten weltweit (Abbildung 1 und Abbildung 2).

B.2 Methodik

Zur Bestimmung der Massenbilanz wird die direkte glaziologische Methode mit fixem Datum (Cogley et al., 2011; Hoinkes, 1970) angewandt. Die Massenbilanz eines Gletschers wird dabei anhand von Messungen der Höhenänderung der Gletscheroberfläche an ausgewählten Punkten der Gletscheroberfläche ermittelt. Diese Messungen erfolgen im Ablationsgebiet an Pegelstangen, welche in das Gletschereis gebohrt sind, und im Akkumulationsgebiet in Schneeschächten, die durch räumlich verteilte Schneehöhensondierungen ergänzt werden. Anhand der Dichte (gemessen in Schneeschächten, bzw. konstant 900 kg/m^3 für Eis) werden die Höhenänderungen in Massenänderungen umgerechnet.

Der Zeitraum der Messung umfasst ein hydrologisches Haushaltsjahr (mittlerer Breiten der Nordhemisphäre), jeweils vom 01.10. bis zum 30.09. des Folgejahres. Das natürliche Massenhaushaltsjahr ist als die Zeitspanne von einem Massenminimum des Gletschers zum nächsten im darauffolgenden Spätsommer/Herbst definiert und kann vom hydrologischen Haushaltsjahr mehr

oder weniger stark abweichen. Aufgrund der Höhererstreckung des Gletschers und der damit verbundenen unterschiedlich langen Ablationsperioden ist die Definition des Zeitpunktes des Massenminimums des Gesamtgletschers schwierig und unscharf. Daher wird nur bei starken Abweichungen und operationeller Möglichkeit die natürliche Massenbilanz zusätzlich zu jener im hydrologischen Haushaltsjahr ermittelt. Beim Aufsummieren der Massenänderungen über mehrere Jahre verschwinden eventuelle Unterschiede zwischen natürlichem und hydrologischem Haushaltsjahr.

Um eine höhere zeitliche Auflösung v.a. des Ablationsverlaufes zu erhalten, aber auch zur laufenden Zustandskontrolle der Messpegel, werden diese während des Sommers mehrmals, in jedem Fall aber bei der Abschlussbegehung nahe dem 30.09 abgelesen. Zusätzlich wird am Ende der Akkumulationsperiode (01.10.-30.04.) die Winterbilanz mittels Schneehöhen- und Schneedichtemessungen ermittelt (nur am HEF). Die Werte werden jeweils in Höhe Wasseräquivalent (mm w.e.) oder, bei identischen Zahlenwerten, als Masse pro Einheitsfläche (kg m^{-2}) angegeben.

Die Analyse der Linien gleicher Bilanzwerte erfolgt händisch, meist in einer Äquidistanz von 250 mm w.e. (zumindest jedoch 500 mm w.e.) und gestützt auf die gemessenen Punktwerte und Informationen zur Ausdehnung von Altschneerücklagen aus der Fotodokumentation und mithilfe von Satellitenbildern gegen Ende der Ablationsperiode. Diese Linien werden digitalisiert und in einem Geoinformationssystem mit der Gletscherfläche, aufgeteilt in Höhenstufen mit 50 m Äquidistanz, verschnitten und ausgewertet.

Die mittlere, flächenspezifische Massenbilanz ***b*** ergibt sich aus dem Quotienten der Gesamtmassenänderung ***B*** und der Gesamtfläche ***S***. Die Gesamtfläche wird in Flächen mit Netto-Akkumulation ***S_C*** und Flächen mit Netto-Ablation ***S_A*** unterteilt. Die Bilanzen dieser Teilflächen lauten ***B_C*** und ***B_A*** mit den entsprechenden mittleren spezifischen Bilanzen ***b_C*** und ***b_A***. Die Accumulation Area Ratio (***AAR***) bezeichnet das Verhältnis ***S_C*** zu ***S***.

$$\begin{aligned} S &= S_C + S_A & [\text{m}^2] & & b_C &= B_C / S_C & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \\ B &= B_C + B_A & [\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}] & & b_A &= B_A / S_A & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \\ b &= B / S & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] & & AAR &= S_C / S \end{aligned}$$

Aus den Schneeschächten zu Ende des Winters (30.04.) und den Sondierungen der Schneehöhe wird die Winterbilanz (***B_w***, ***b_w***) und in Folge Sommerbilanz (***B_s***, ***b_s***) als Differenz zwischen Jahres- und Winterbilanz berechnet.

$$b_s = b - b_w \quad [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \quad B_s = b_s \cdot S \quad [\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}]$$

Nach Höhenstufen aufgetragene Bilanzwerte (***b_z***) führen zum vertikalen Bilanzprofil (VBP). Die Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA) definiert sich als niedrigster Schnittpunkt des VBP mit der Linie ***b*** = 0.

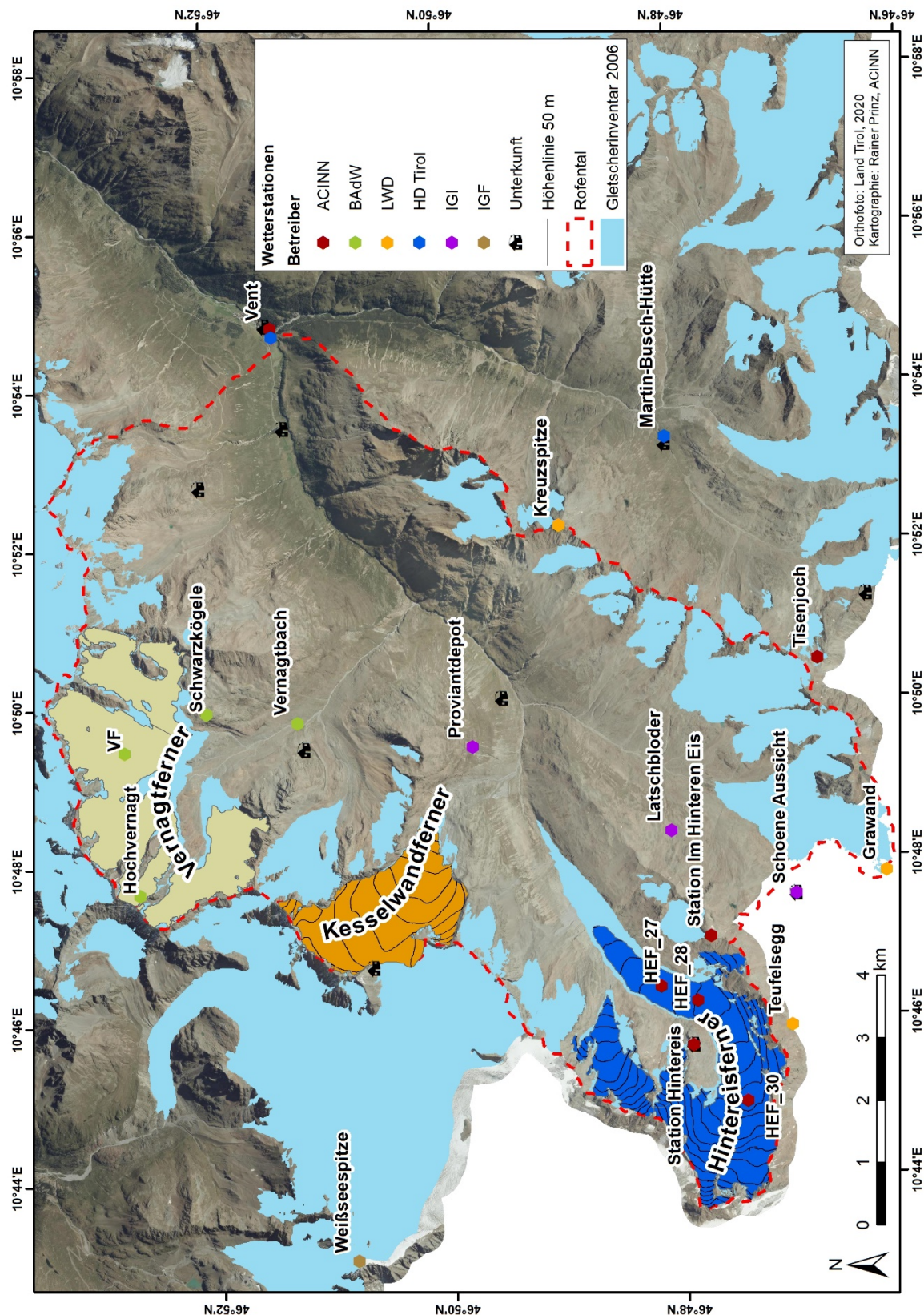


Abbildung 4: Übersichtskarte des Rofentals mit der Lage der Gletscher und automatischen Wetterstationen. Der Laserscanner befindet sich bei der Station Im Hinteren Eis.

Im September 2016 wurde im Hinteren Eis ein permanenter Laserscanner und im Laufe des Sommers 2017 eine automatische Wetterstation (Station Im Hinteren Eis, Abbildung 4) installiert. Zeitnahe Aufnahmen der Gletscheroberfläche zu den Messungen der glaziologischen Massenbilanz erlauben einen Vergleich der direkt gemessenen (glaziologischen) Massenbilanz mit der Höhenänderung aus der Differenz der beiden Laserscans (geodätische Bilanz) für die Winter- als auch die Jahresbilanz.

B.3 Gletscherflächen und Messnetz

Eine Aktualisierung der Gletschergrenzen und Hypsometrie wurde zuletzt für das Haushaltsjahr 2022/23 auf Basis zweier Stereo-Satellitenbildszenen (16.08. und 21.08.2022) vorgenommen. Die Szenen werden vom Pléiades Glacier Observatory¹² für alle weltweiten Referenzgletscher alle fünf Jahre frei zur Verfügung gestellt. Die Gletscherfläche des HEF 2022 beträgt 5.171 km², jene des KWF 3.374 km². Eine Aktualisierung der Gletscherfläche und Flächenhöhenverteilung wird für das Jahr 2026 angestrebt.

Hauptmerkmale der neuen Kartierung:

- Der kleine Bereich des HEF nahe Im Hinteren Eis ist durch eine Wolke abgeschattet. Hier wurde die Hypsometrie von 2018 verwendet, der Eisrand von einer Sentinel-2 Szene vom 16.08.2022 übernommen.
- Der Bereich am Südhang der Langtaufferer Spitze ist nun vom Hintereisferner getrennt und wird durch starke Fragmentierung weiter schnell Zerfallen.
- Die Bereiche des Hintereisferners entlang der Nordseite des Rofenberges wurden als gletscherfrei kartiert, obwohl aufgrund von Schuttbedeckung und Permafrost hier noch Eis (jedoch wohl kaum mehr Gletschereis) vorhanden ist. Die Entscheidung soll Konsistenz zum schuttbedeckten Teil nahe der Gletscherzunge bieten, der traditionell auch nicht zur Gletscherfläche gezählt wird. Der Flächenverlust seit der letzten Kartierung erfährt somit einen kleinen Sprung und ist nicht vollständig linear.

Das Messnetz am HEF umfasst Schneeschächte und Ablationspegel. Die Schneeschächte werden zur Bestimmung der Winterbilanz und der Massenrücklage am Ende des Haushaltsjahres an mehr oder weniger denselben Stellen gegraben. Die Anzahl der Schächte hängt von der Schneelage und der herrschenden Witterung ab. Die Ablation wird an den Ablationspegeln gemessen, die an repräsentativen Standorten eine flächenhafte Interpolation der Massenänderung erlauben. Aufgrund der starken Ablation der letzten beiden Jahre schmelzen die Ablationspegel schneller aus als man sie nachbohren kann. Ebenso vergrößern sich durch den starken Gletscherrückgang Bereiche mit hoher Steinschlaggefahr. Das Pegelnetz wurde um wenige Standorte verringert, um mit den Veränderungen Schritt zu halten. Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten im Spätsommer einige Pegel nicht mehr aufgesucht werden. Schneehöhen und Schneedichten der Massenrücklagen bzw.

¹² <https://www.legos.omp.eu/pgo/>

Herbstakkumulation wurden bei den Abschlussbegehungen ermittelt: HEF (10.10.2025), KWF (31.08.2025).

Die Ausaperung am HEF wird durch die Bilder von zwei im Mai 2018 installierten automatischen Kameras der Firma foto-webcam¹³ dokumentiert. Der Standort ist allerdings anfällig für Blitzschläge, somit war die Stromversorgung von 14.06.-05.08. und vom 29.08.-10.10.2025 unterbrochen. Sentinel-2 Szenen vom 18.08. und 19.09.2025 sowie Bilder von Feldarbeiten waren bei der Dokumentation der Ausaperung hilfreich.

Zusätzlich betreibt das ACINN sieben automatische Wetterstationen im Rofental zur Messung glazio-meteorologisch bedeutender Parameter (Tabelle 3 und Abbildung 4). Fehlwerte können mit Wetterstationen anderer Partner im Rofental abgeglichen werden. Die Station Hintereis (3026 m) des ACINN dient als Unterkunft während der Feldkampagnen.

Tabelle 3: Überblick über die gemessenen Parameter der automatischen Wetterstationen des ACINN im Rofental. Stationen "HEF_" stehen auf Gletschereis.

	Vent	Station Hintereis	HEF_28 ¹	HEF_27 ³	HEF_30	Im Hintereis ²	Tisenjoch
Lufttemperatur	+	+	+	+	+	+	+
Feuchte	+	+	+	+	+	+	+
Windgeschwindigkeit	+	+	-	+	+	+	+
Windrichtung	+	+	-	+	+	+	+
Strahlung (4 Komponenten)	-	+	-	+	+	+	+
Luftdruck	+	+	-	+	+	+	+
Schneehöhe	+	+	+	+	+	+	+
Bodentemperatur	-	+	-	+	+	-	+
Niederschlag	+	+	-	-	-	+	-
3D Anemometer	-	-	-	-	-	+	-
Schneedrift	-	+	-	-	-	+	-
Schneewasseräquivalent	-	-	-	+	+	-	-
¹ nur während der Ablationsperiode; nur Ablationsmessung							
² Dez22 - Sep24 defekt bzw. kein Strom, keine Daten							
³ abgebaut im August 2025							

Das Messnetz am KWF wurde im Haushaltsjahr 2013/14 vom ACINN komplett neu aufgesetzt und seitdem nur marginal verändert. Dabei wurden die Ablationspegel in der Nähe der bestehenden Pegel zur Bewegungsmessung gebohrt, zusätzlich aber auch über die Gletscherfläche verteilt. Im Haushaltsjahr 2014/15 wurde das Pegelnetz weiter ausgebaut und die Anzahl der Ablationspegel am KWF auf 19 erhöht und in den Jahren 2019-2022 auf 14 Pegel reduziert. Zwei Pegelpositionen (K1, K2) nahe der Gletscherzunge haben sich durch den Gletscherrückgang erübrigt, weitere Positionen (K3, K7, K13, K8, K14) waren nicht repräsentativ. Zwei Positionen (SS1, SS2) wurden zur zusätzlichen Messung der Akkumulation (sofern vorhanden) festgelegt. Zur Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2024/25 wurden sieben Pegel abgelesen und ein Schneeschacht zur Bestimmung der Rücklagen angelegt.

¹³ <https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner1/> und <https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner2/>

C. ANALYSEN UND ERGEBNISSE

C.1 Witterung im Haushaltsjahr

Auf den Massenhaushalt eines Alpengletschers haben drei meteorologische Faktoren besonderen Einfluss (Hoinkes & Steinacker, 1975):

1. Der feste Niederschlag sorgt im Winterhalbjahr für den Großteil der Akkumulation,
2. die Temperatur der Umgebungsluft steht während der Sommermonate für das Wärmeangebot,
3. die Anzahl und Menge der Neuschneefälle während des Sommers kann Schmelzvorgänge maßgeblich unterbrechen und zur Nettoakkumulation beitragen.

Durch automatische Aufzeichnungen an den Wetterstationen in Vent und an der Station Hintereis sowie von in situ Beobachtungen während der Feldkampagnen können diese Faktoren quantifiziert werden.

- Die Winterniederschläge Oktober-April 2024/25 in Vent lagen 18% unter dem Mittel der Klimanormalperiode 1981-2010 (Tabelle 4 und Abbildung 5). Fast alle Monate waren trockener als der langjährige Durchschnitt. Im Februar fielen nur 9% des langjährigen Niederschlages. Nur Oktober (63%) und Jänner (22%) brachten überdurchschnittliche Niederschlagssummen. An der Station Hintereis stechen vor allem Niederschlagsereignisse Anfang Oktober, Ende Jänner und Mitte April hervor (Abbildung 7).
- Die aus den Winterniederschlägen resultierende Winterbilanz liegt 34% unter dem Mittel der Jahre 2011-2020. Die Niederschlagsgradienten mit der Höhe sind besonders in den Frühjahrsmonaten groß (Kuhn, 2012; Winter, 2022). Daher spielt ein kühles und niederschlagsreiches Frühjahr eine besondere Rolle für die Massenbilanz aufgrund der daraus folgenden langen Schneebedeckung des Eises im Sommer.
- Der Winter war durchwegs zu warm (+2.4°C über dem langjährigen Mittel (1981-2010)). Keine Monatsmitteltemperatur lag unter dem langjährigen Schnitt. Besonders warm waren die Monate Februar und April mit Abweichungen größer als 3°C. Auch an der Station Hintereis sind keine kalten Wintertage (Tagesmittel unter -20°C) erkennbar.
- Im Sommerhalbjahr lagen die Niederschläge 28% über dem langjährigen Mittel. Zu feucht waren alle Monate. Im gesamten Haushaltsjahr summierten sich die Niederschläge in Vent auf 724 mm, damit 7% mehr als der Durchschnitt (679 mm).
- Die Lufttemperatur übersteigt das langjährige Mittel (1981-2010) des hydrologischen Jahres um 2.2°C, wobei die positive Abweichung im Sommerhalbjahr (1.8°C) etwas schwächer als im

Winterhalbjahr (2.4°C) ausfällt (Tabelle 4). Der Juni war der zweitwärmste seit Beginn der Aufzeichnungen (Abbildung 6) und lag mit 13.6°C um 4.9°C über dem Durchschnitt.

- Sommerliche Neuschneefälle gab es besonders um den 8., 16., und 28. Juli sowie 2. und 20. August. Die Schneefallgrenze lag selten unter 2900 m, sodass in tieferen Lagen die Eisablation nicht unterbunden werden konnte, in höheren Lagen allerdings etwas Winterschnee konserviert wurde.
- Die Winterschneedecke war an der Zunge bereits Mitte Juni abgeschmolzen. Die Eisablation setzte somit früh ein und erreichte im warmen Sommer noch in große Höhen.
- Ein markanter Kaltlufteinbruch samt Schneefällen beendete am 20.09. die Ablationssaison. Die Schneedecke im Herbst konnte die warmen Wochen im November gut überdauern.

Tabelle 4: Monatsmittel der Lufttemperatur und Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent. Das Haushaltsjahr 2024/25 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1981-2010.

Monat	Lufttemperatur (°C)			Niederschlag (mm)			
	1981-2010	2024/25	Abweichung	1981-2010	2024/25	Abweichung (mm) (%)	
Oktober	3.7	6.2	2.5	57	93	36	63
November	-2.0	0.1	2.1	59	17	-42	-71
Dezember	-4.9	-3.7	1.2	43	36	-7	-16
Jänner	-5.8	-3.3	2.5	36	44	8	22
Februar	-5.9	-2.5	3.4	35	3	-32	-91
März	-2.7	-0.9	1.8	44	33	-11	-25
April	0.6	4.3	3.7	42	33	-9	-21
Winter	-2.4	0.0	2.4	316	259	-57	-18
Mai	5.6	5.9	0.3	65	88	23	35
Juni	8.7	13.6	4.9	75	88	13	17
Juli	10.8	10.8	0.0	82	132	50	61
August	10.2	12.3	2.1	87	91	4	5
September	7.0	8.9	1.9	54	66	12	22
Sommer	8.5	10.3	1.8	363	465	102	28
Hydr. Jahr	2.1	4.3	2.2	679	724	45	7

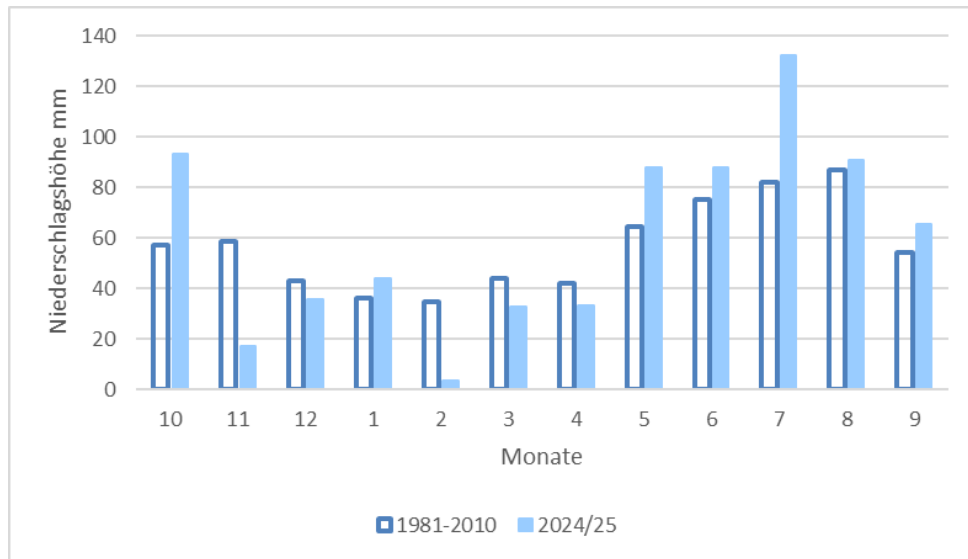


Abbildung 5: Die Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) mit dem hydrologischen Jahr 2024/25.

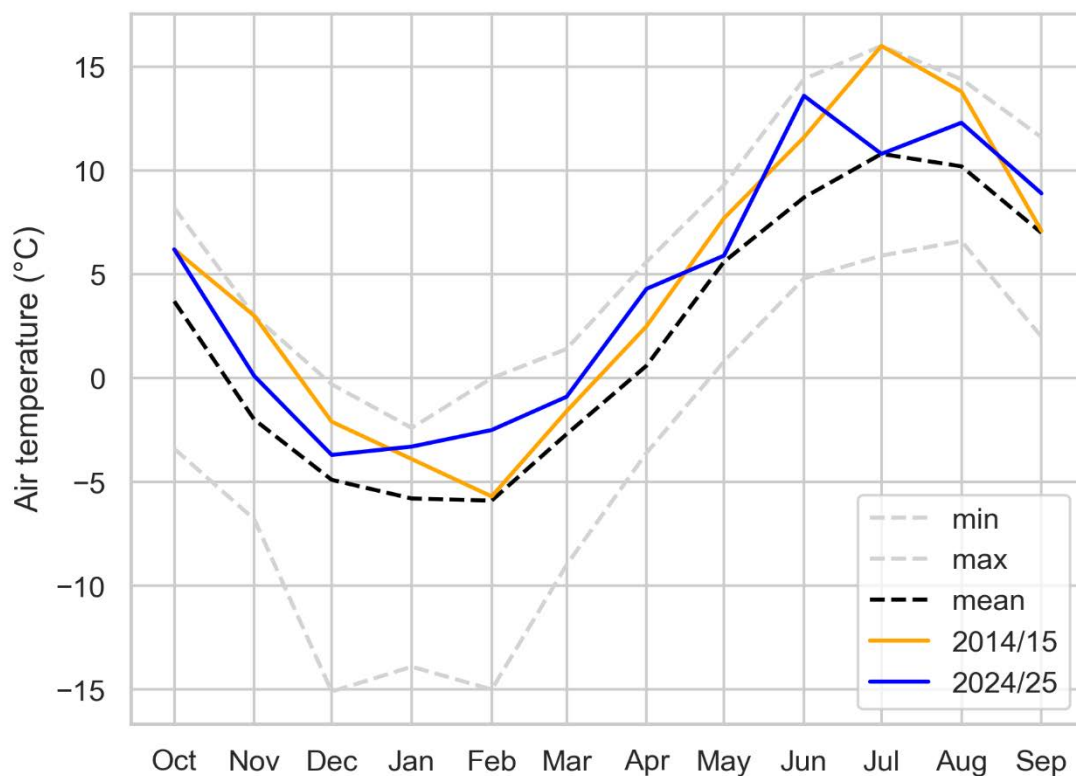


Abbildung 6: Die Monatsmittel der Lufttemperatur an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) der Lufttemperatur mit den Haushaltsjahren 2014/15 (bisheriger "Rekordsommer") und 2024/25. Der Juni 2025 erreichte knapp den Monatsrekord. Alle Monatsmitteltemperaturen 2024/25 waren überdurchschnittlich. 2014/15 und 2023/24 sind die wärmsten je in Vent gemessenen Haushaltsjahre.

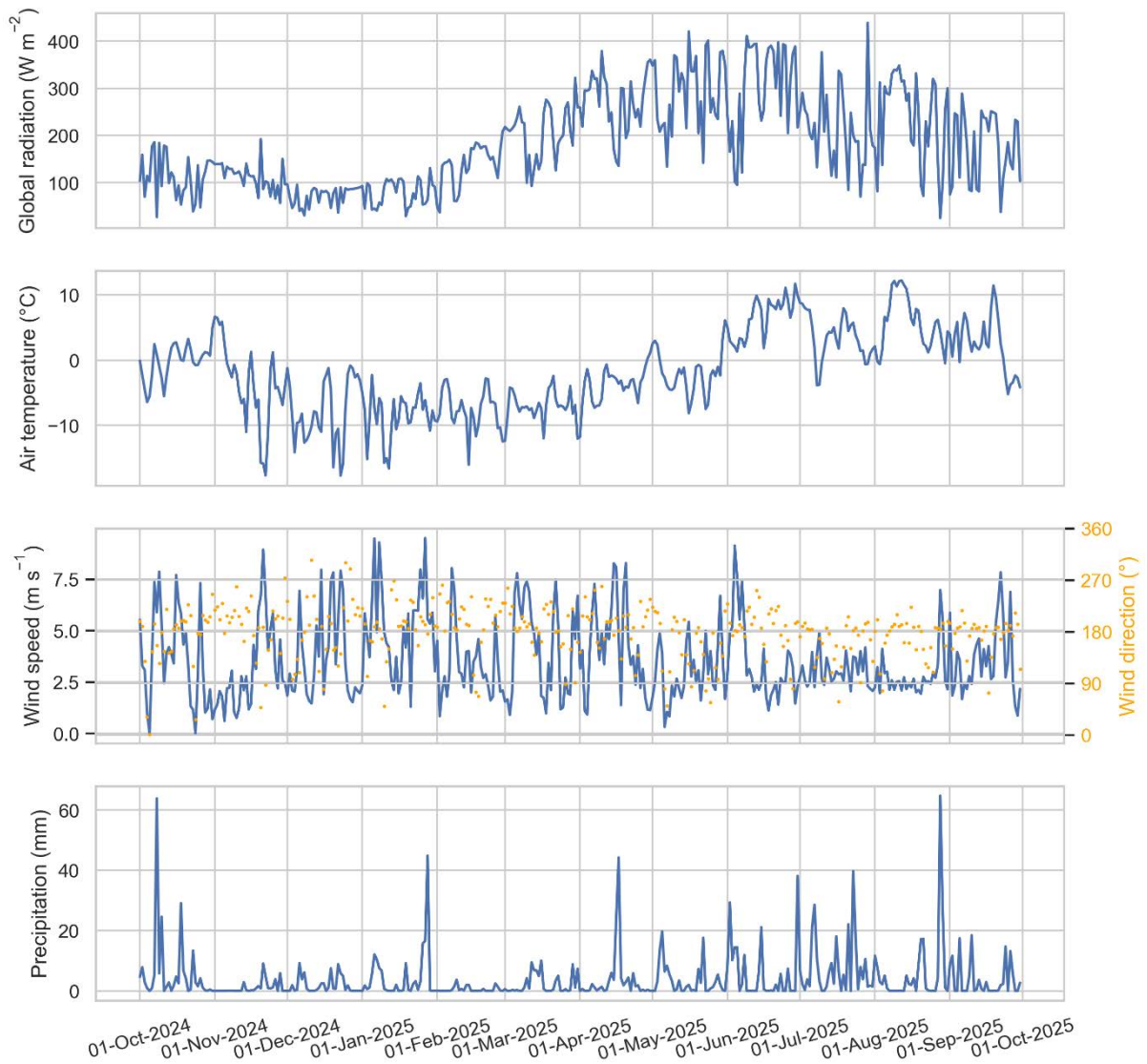


Abbildung 7: Verlauf von Tagesmittelwerten der Globalstrahlung, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, sowie Tagessummen des Niederschlages an der Station Hintereis (3030 m) im hydrologischen Jahr 2024/25.

C.2 Massenbilanz Hintereisferner

C.2.1 Winterbilanz

Die Messungen zur Erstellung der Winterbilanz 2024/25 wurden bereits am 02. und 03.04.2025 durchgeführt, um gleichzeitig eine Forschungsgruppe der Universität Erlangen-Nürnberg zu begleiten. Mithilfe der Niederschlagsmessung an der Station Hintereis und der kontinuierlichen Messung des Schneewasserwertes an der Station HEF30 am Hintereisferner konnte die Winterbilanz zum Stichtag 30.04. korrigiert werden.

30 Schneehöhenmesspunkte und zwei Schneeschächte (Tabelle 5 und Abbildung 8) zur Dichtemessung bildeten die Basis zur Analyse der Winterbilanz. Die stratigraphische Bestimmung des letztjährigen Oberflächenhorizontes im Akkumulationsgebiet erfolgte durch den harten, gefrorenen Horizont, der sich bereits bei den Abschlussbegehungen im September und Oktober 2024 zeigten. Bei den Sondierungen zur Winterbilanz wurde also die Akkumulation vom September 2024 mitgemessen, bei der Berechnung der Bilanz anhand der Daten aus dem Vorjahr aber wieder abgezogen.

Die Analyse der Winterbilanz ist Abbildung 8 und Tabelle 7 dargestellt. Das vertikale Bilanzprofil der Winterbilanz ist in Abbildung 10 abgebildet. Die detaillierten Mess- und Beobachtungswerte aus den Schneeschächten sind im Kapitel D.2.1 aufgelistet. Eine geodätische Winterbilanz konnte heuer leider noch nicht erstellt werden (Kapitel C.2.3).

Tabelle 5: HEF, Winterbilanz 2024/25: Schneehöhe, Dichte und Wasserwert der Schneeschächte für das hydrologische Winterhaushaltsjahr. Die Lage der Schneeschächte ist in Abbildung 8 eingetragen.

Name	Höhe [m.a.s.l.]	Schneehöhe [cm]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert 03.04.2025 [kg/m²]	Wasserwert 30.04.2025 [kg/m²]
TE	3030	245	354	702	864
AWS27	2746	140	339	390	497
Schneehöhe: gesamt (inkl. Sep 24)					
Wasserwerte: korrigiert (exkl. Sep 24)					

Die mittlere spezifische Winterbilanz des Hintereisferners 01.10.2024-30.04.2025 beträgt:

$$b_w = 802 \text{ mm w.e. (= kg/m}^2\text{)},$$

das entspricht: $B_w = 4.148 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser

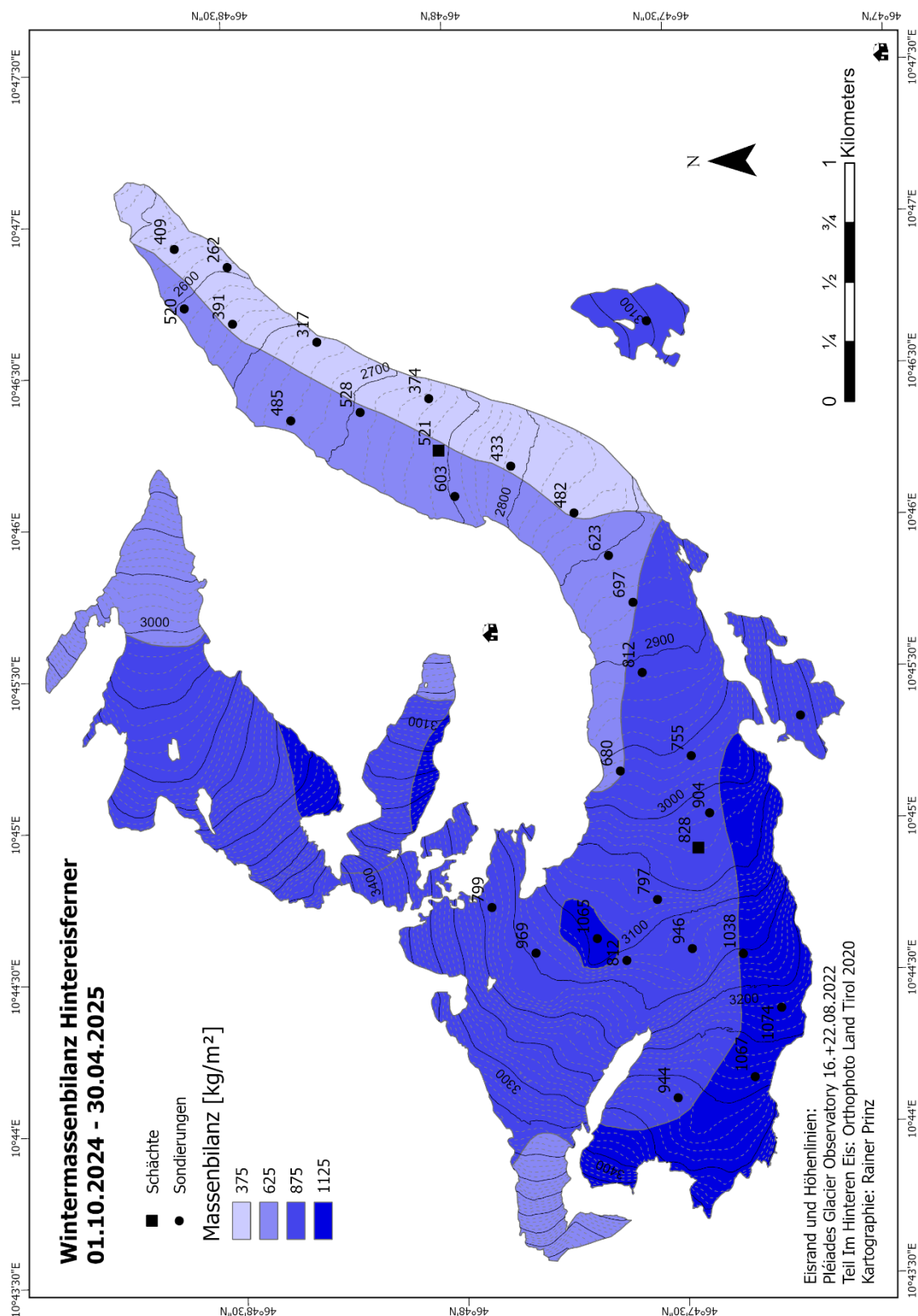


Abbildung 8: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz im Winterhaushaltsjahr am Hintereisferner (01.10.2024 – 30.04.2025).

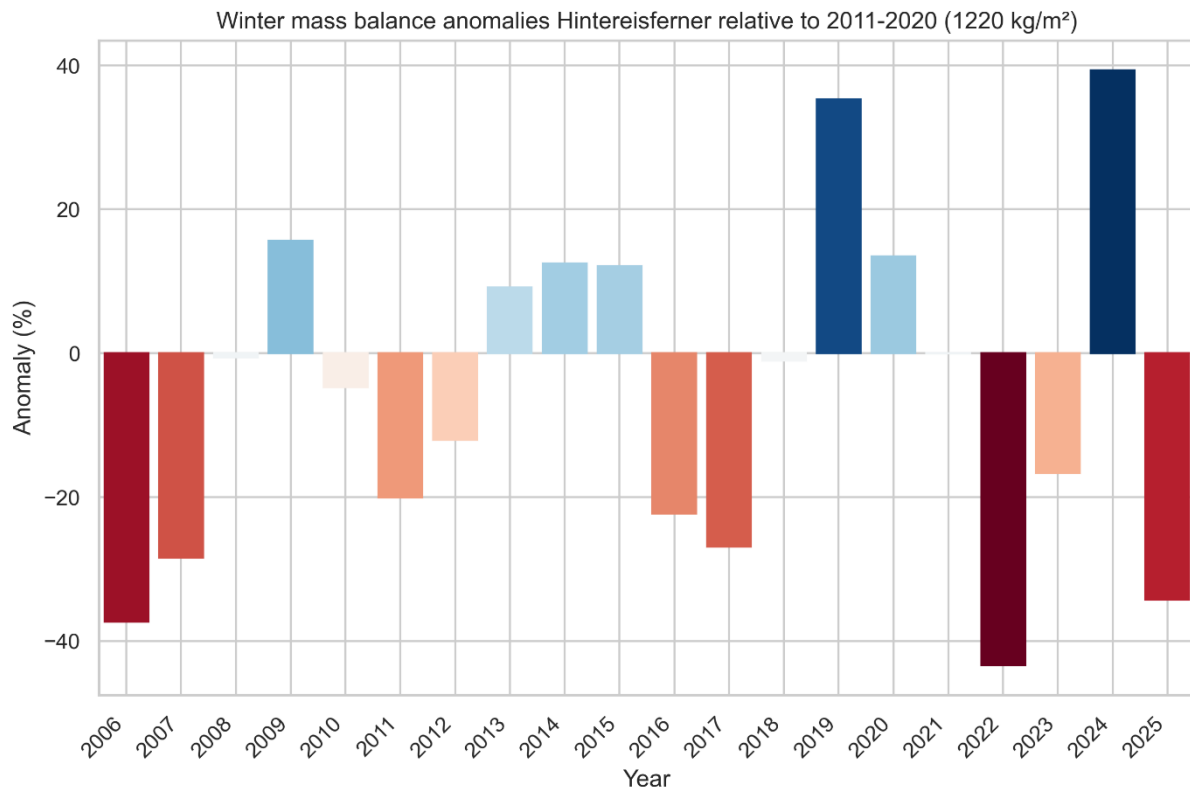


Abbildung 9: Abweichung der Winterbilanz (%) im Vergleich zum Mittelwert 2011-2020.

C.2.2 Jahresbilanz

Der Bestimmung der Ablation im Haushaltsjahr 2024/25 liegen Messungen und Beobachtungen aus fünf Feldkampagnen und an 16 Pegeln und Messpunkten zugrunde (Tabelle 6). Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Pegel in den oberen Bereichen des HEF nur eingeschränkt erreicht werden. Die Abschlussbegehung am HEF fand am 10.10. (Pegelablesungen und Akkumulationsmessung) statt. Eine Korrektur zum Stichtag (30.09.) war aufgrund der unveränderten Witterung nicht nötig. Die Punktwerte sind neben den vertikalen Bilanzprofilen in Abbildung 10 sowie in Abbildung 11 eingetragen. Tabelle 7 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2024/25. Zur Extrapolation der Punktwerte auf die Gletscherfläche wurden Fotos der Begehungen und zwei ähnliche Sentinel-2 Satellitenszenen vom 18.08. und 19.09.2025 hinzugezogen (Abbildung 12). Eine geodätische Massenbilanz aus der Höhenänderung von zwei Laserscans wurde nicht erstellt (Kapitel C.2.3).

Aufgrund der intensiven Ablation blieben nur geringe Massenrücklagen erhalten. Die sommerlichen Neuschneefälle konservierten etwas Winterschnee und hielten die AAR auf 24%, die Massenrücklage ist aber aufgrund der geringen Mächtigkeit schwach. Die ELA liegt auf 3302 m. Ausschlaggebend für den Verlauf der Massenbilanz war der sehr schneearme Winter (Oktober-April) resultierend in einer

unterdurchschnittlichen Winterbilanz (-34% im Vergleich zu 2011-2020, Abbildung 9). Obwohl es im Mai feucht und kühl war, konnte die Winterschneedecke im warmen Juni schnell geschmolzen werden und sorgte für ein frühes einsetzen der Eisablation bereits Mitte Juni. Sommerliche Neuschneefälle im Juli konservierten den Winterschnee, konnten die Eisablation in tiefen Lagen aber nicht verhindern. Im Laufe des warmen Sommers kam es zu starker Schmelze, die zum Teil bis in die höchsten Regionen des Gletschers noch zu Ablation führte, jedoch dort meist eine dünne Winterschneedecke noch bis zum Ende des Haushaltsjahres überdauern ließ. Die Kombination aus einem schneearmen Winter und einem warmen Sommer führte insgesamt zu einem Verlust von etwa 2.5% des Gletschervolumens oder 9.3 Mio m³ Wasser.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Hintereisferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2024 – 30.09.2025 beträgt: **$b = -1793 \text{ mm w.e.}$** (= kg/m²),
das entspricht: **$B = -9.272 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** Wasser

Tabelle 6: Ablationsverlauf an den Pegeln des Hintereisferners 2024/25. Die Ablation zu den Ablesezeitpunkten entspricht der Periode seit der letzten Ablesung.

Name	Ablation (cm)			Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz 2024/25 (kg/m ²)
	07./11.08.	26.08.	30.09.	Sep.24	Sep.25	
L8	506	88	105	41	0	-6332
L7	449	136	99	54	42	-6168
22	500	81	86	68	28	-6039
51	407	70	106	70	28	-5289
L6	336	76	93	75	0	-4620
26	395	65	87	85	28	-4980
LIDAR = L5	253	108	93	105	34	-4157
71		385	82	88	28	-4263
L4	237	68	78	122	53	-3516
L3	166	63	53	134	56	-2616
101		275	34	150	42	-2903
TE_B	64	68	50	164	64	-1738
104	69	67	50	182	70	-1786
105	1	63	50	194	70	-1150
110				223	300	77
111				239	300	61
Von anderen Pegeln übertragene Werte in rot						
(Neu)schneedichte September 2024: 391 kg/m ³						
Altschneedichte September 2024: 489 kg/m ³						
(Neu)schneedichte September 2025: 280 kg/m ³						
Altschneedichte September 2025: 569 kg/m ³						

C.2.3 Geodätische Massenbilanz

Aufgrund schwerwiegender Probleme mit der Stromversorgung und Datenverbindung im Hinteren Eis konnten keine terrestrischen Laserscans durchgeführt werden. Die Laserscanflüge per Hubschrauber vom Institut für Geographie der Universität Innsbruck wurden aus Mangel an Ressourcen ausgesetzt. Es konnte keine geodätische Massenbilanz ermittelt werden.

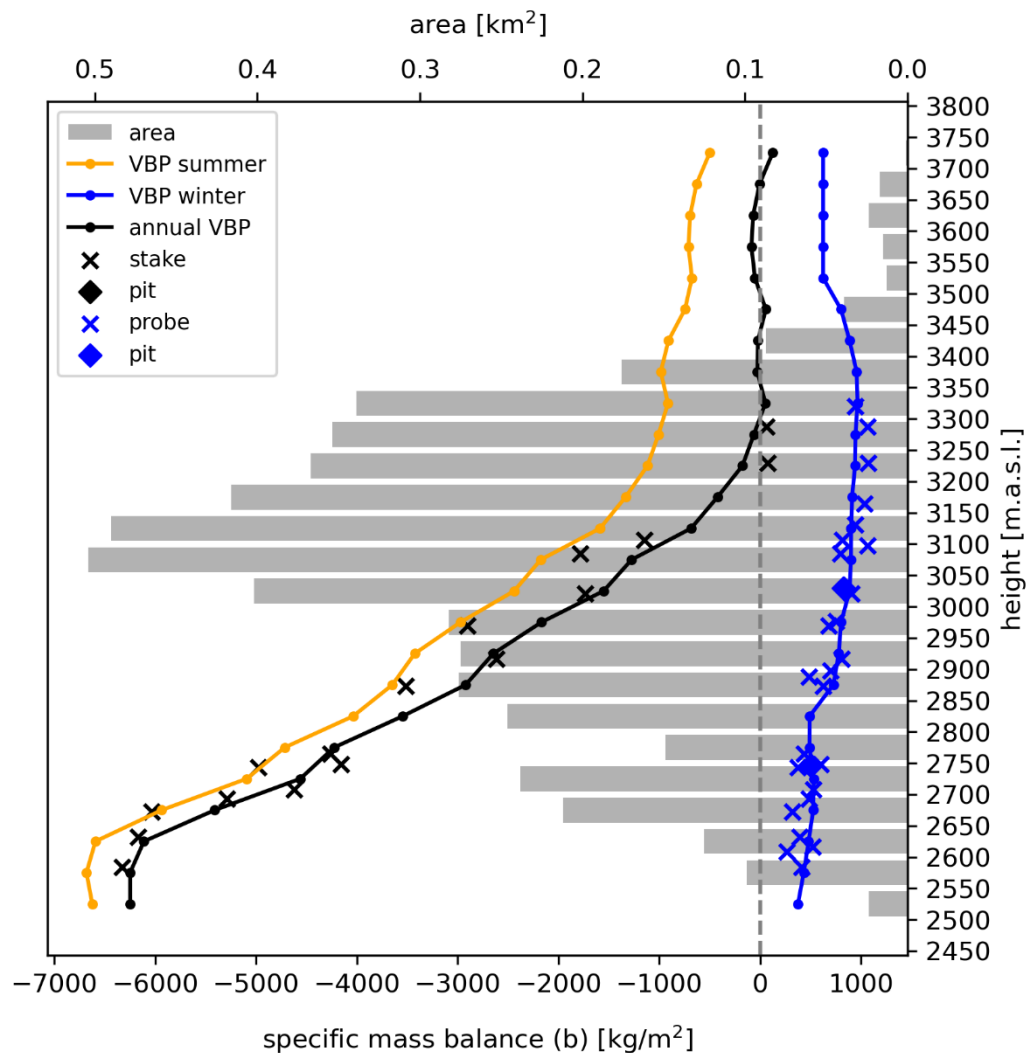


Abbildung 10: Die vertikalen Bilanzprofile nach der glaziologischen Methode am Hintereisferner im Haushaltsjahr 2024/25.

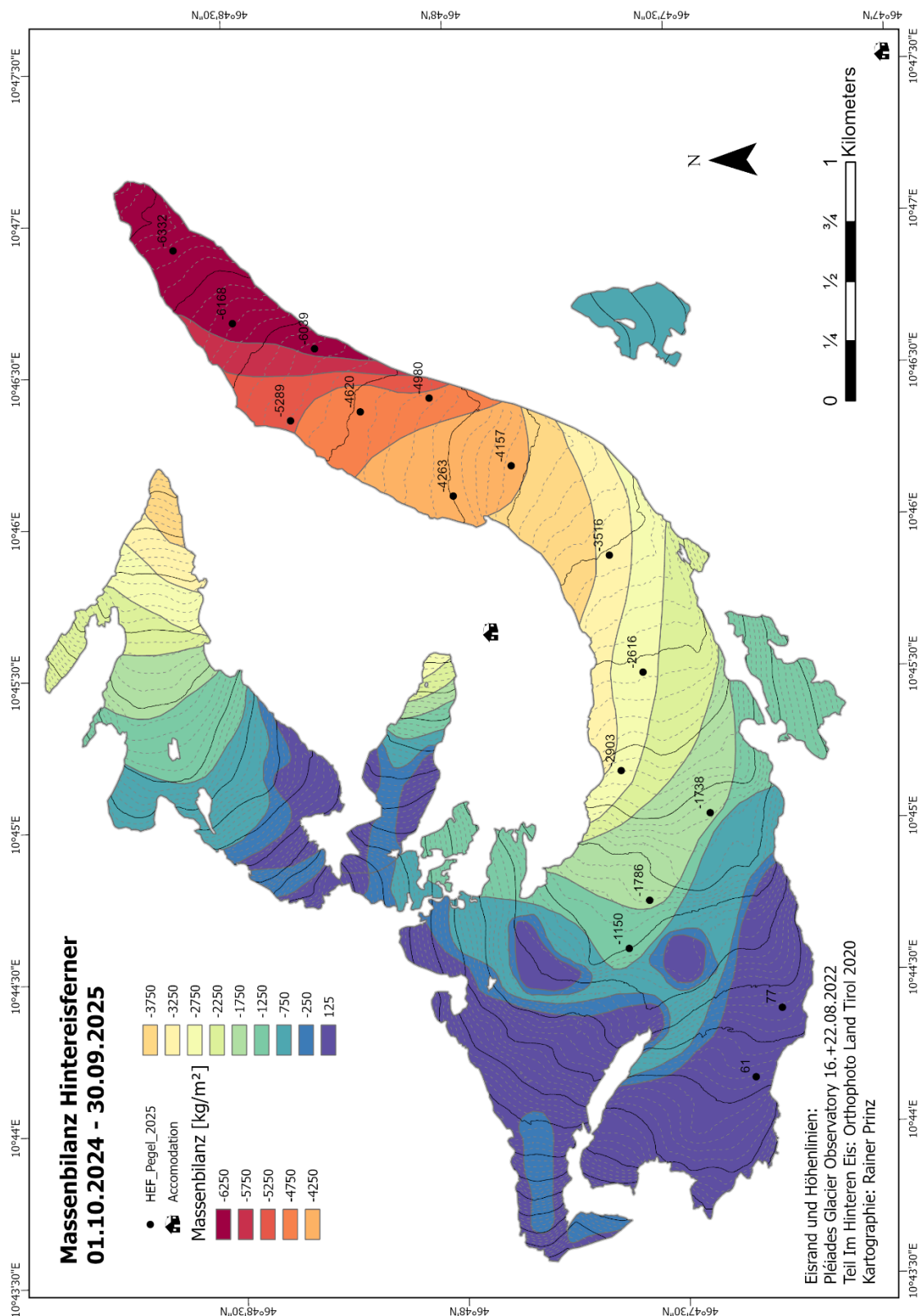


Abbildung 11: Die räumliche Verteilung der Massenbilanz am Hintereisferner im Haushaltsjahr 01.10.2024 – 30.09.2025.

Tabelle 7: Kennzahlen und glaziologische Massenbilanzen des Hintereisferners im Haushaltsjahr 2024/25 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

	Winter			Sommer		gesamtes Jahr	
	Fläche	B _w	b _w	B _s	b _s	B	b
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]
	5171	4147967	802	-13419974	-2595	-9272007	-1793
S _C [10 ³ m ²]	1236		B _C [m ³ w.e.]	154492		b _C [kg/m ²]	125
S _A [10 ³ m ²]	3935		B _A [m ³ w.e.]	-9426499		b _A [kg/m ²]	-2395
ELA	3302	m a.s.l.	S _C /S _A	0.314		AAR	0.239
Winterbilanz				Sommerbilanz		Jahresbilanz	
Höhenstufe	Fläche	B _w	b _w	B _s	b _s	B	b
[m.a.s.l.]	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]	[m ³ w.e.]	[kg/m ²]
2525	24	9069	375	-160218	-6625	-151149	-6250
2575	99	43067	433	-664437	-6683	-621370	-6250
2625	125	60080	481	-824059	-6593	-763979	-6113
2675	212	111800	526	-1260756	-5936	-1148957	-5409
2725	238	126360	532	-1210242	-5094	-1083882	-4562
2775	149	73050	490	-703490	-4716	-630440	-4227
2825	246	120761	491	-993007	-4037	-872245	-3546
2875	276	200684	727	-1007457	-3649	-806773	-2922
2925	275	214047	780	-940431	-3426	-726384	-2646
2975	282	226204	803	-837469	-2973	-611265	-2170
3025	402	356414	887	-980296	-2440	-623883	-1553
3075	504	454550	901	-1097396	-2176	-642845	-1275
3125	490	442646	903	-778573	-1588	-335927	-685
3175	416	379436	912	-555437	-1335	-176001	-423
3225	367	345272	942	-409735	-1118	-64463	-176
3275	354	335191	946	-357149	-1008	-21958	-62
3325	339	327901	966	-310211	-914	17690	52
3375	176	169006	958	-173905	-985	-4899	-28
3425	87	77225	887	-79179	-910	-1953	-22
3475	39	31398	802	-29190	-746	2208	56
3525	13	7914	625	-8564	-676	-650	-51
3575	15	9208	625	-10476	-711	-1268	-86
3625	24	15284	625	-16972	-694	-1688	-69
3675	17	10477	625	-10586	-631	-109	-6
3725	1	923	625	-738	-500	185	125
Summe	5171	4147967	802	-13419974	-2595	-9272007	-1793

C.3 Massenbilanz Kesselwandferner

Der Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2024/25 liegen Messungen und Beobachtungen aus einer Feldkampagne an acht Pegeln und Akkumulationsmesspunkten zugrunde (Tabelle 8 und Abbildung 15).

Die Abschlussbegehung am KWF fand am 31.08.2025 statt. Anhand der Beobachtungen vom Hintereisferner wurde die Ablation zum 30.09. am Kesselwandferner korrigiert.

Zur Extrapolation der Punktwerte auf die Gletscherfläche wurden Fotos der Begehung vom 31.08. und zwei ähnliche Sentinel-2 Satellitenszenen vom 18.08. und 19.09.2025 hinzugezogen (Abbildung 12). Die Punktwerte der Massenbilanz (Pegel und Schächte) sind in der Abbildung des vertikalen Bilanzprofils (Abbildung 14) und in der Bilanzkarte (Abbildung 15) eingetragen. Tabelle 9 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2024/25.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Kesselwandferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2024 – 30.09.2025 beträgt: $b = -1090 \text{ mm w.e.}$ ($= \text{kg/m}^2$),
das entspricht $B = -3.678 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser

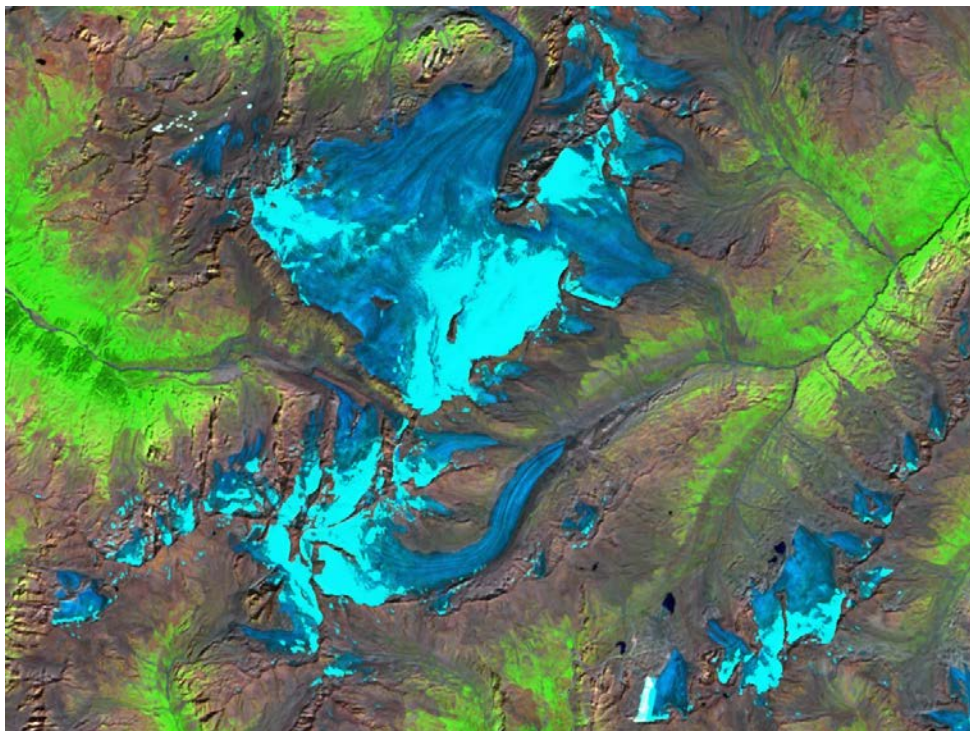


Abbildung 12: Sentinel-2 Satellitenszene (short wave infrared) vom 18.08.2025 zur Bestimmung der Schneegrenze am HEF und KWF (oben rechts). Die Aufnahme vom 19.09.2025, die ebenfalls zur Auswertung verwendet wurde, zeigt eine etwas größere Neuschneebedeckung.

Tabelle 8: KWF, Haushaltsjahr 2024/25: Die Massenänderung an den einzelnen Messpunkten und zwischen den Ablesezeitpunkten.

	Ablation (cm)	Ablation (cm)	Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz		
Name	31.08.	30.09.	Sep.24	Sep.25	2024/25 (kg/m ²)		
K5	300	50	160	70	-3240		
K9	195	50	175	70	-2310		
K10	121	50	175	70	-1644		
K12	40	30	200	70	-760		
K16	99	30	190	70	-1281		
K18	80	30	220	100	-1110		
K19	0	0	240	300	60		
K20							
SS1							
SS2			240	150	-90		
Akkumulation September 2024: von HEF übertragen							
Ablation/Akkumulation bis zum 30.09. berechnet aus Niederschlag, Gradtagfaktoren und Ablation vom HEF							
Altschneedichte von KSS2: 569 kg/m ³							



Abbildung 13: Blick über die mittleren und unteren Bereiche des Kesselwandferners nach Süden. Die geringe Neuschneeauflage stammt vom 29.08. und wurde bis Mitte September fast vollständig abgeschmolzen. Foto: Rainer Prinz, 31.08.2025.

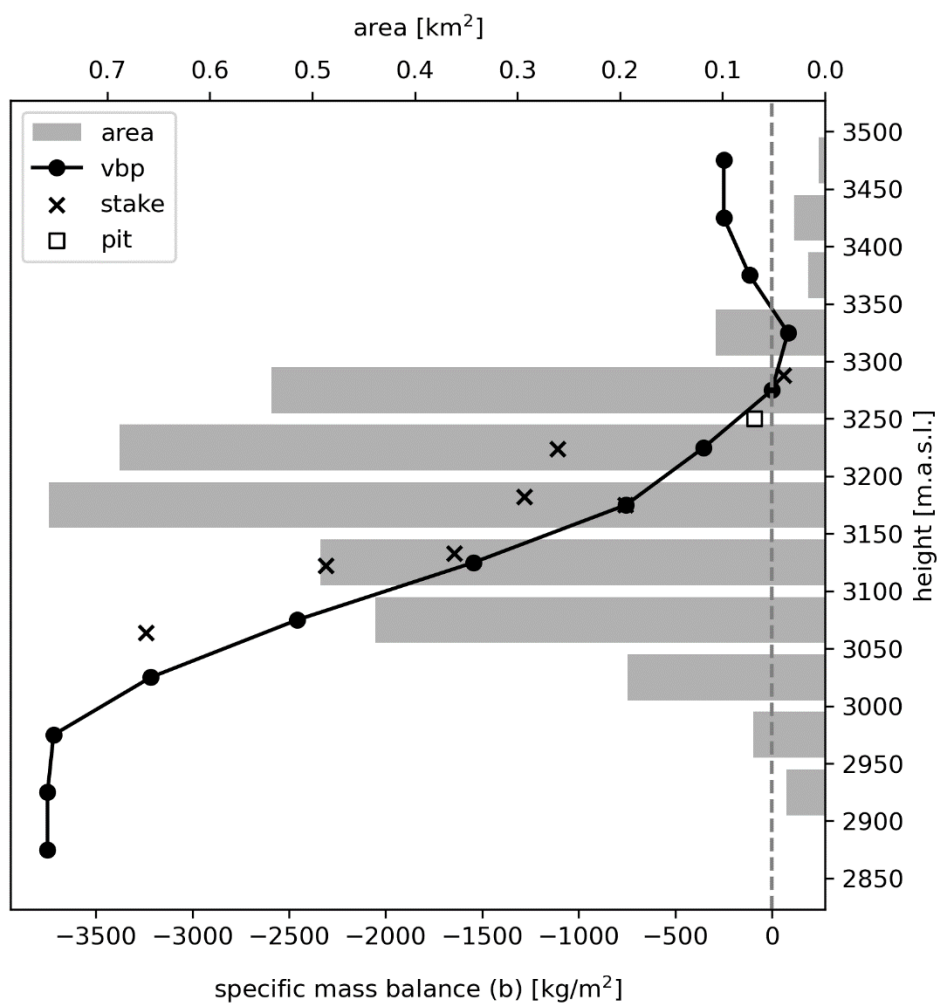


Abbildung 14: Das vertikale Bilanzprofil am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 2024/25.

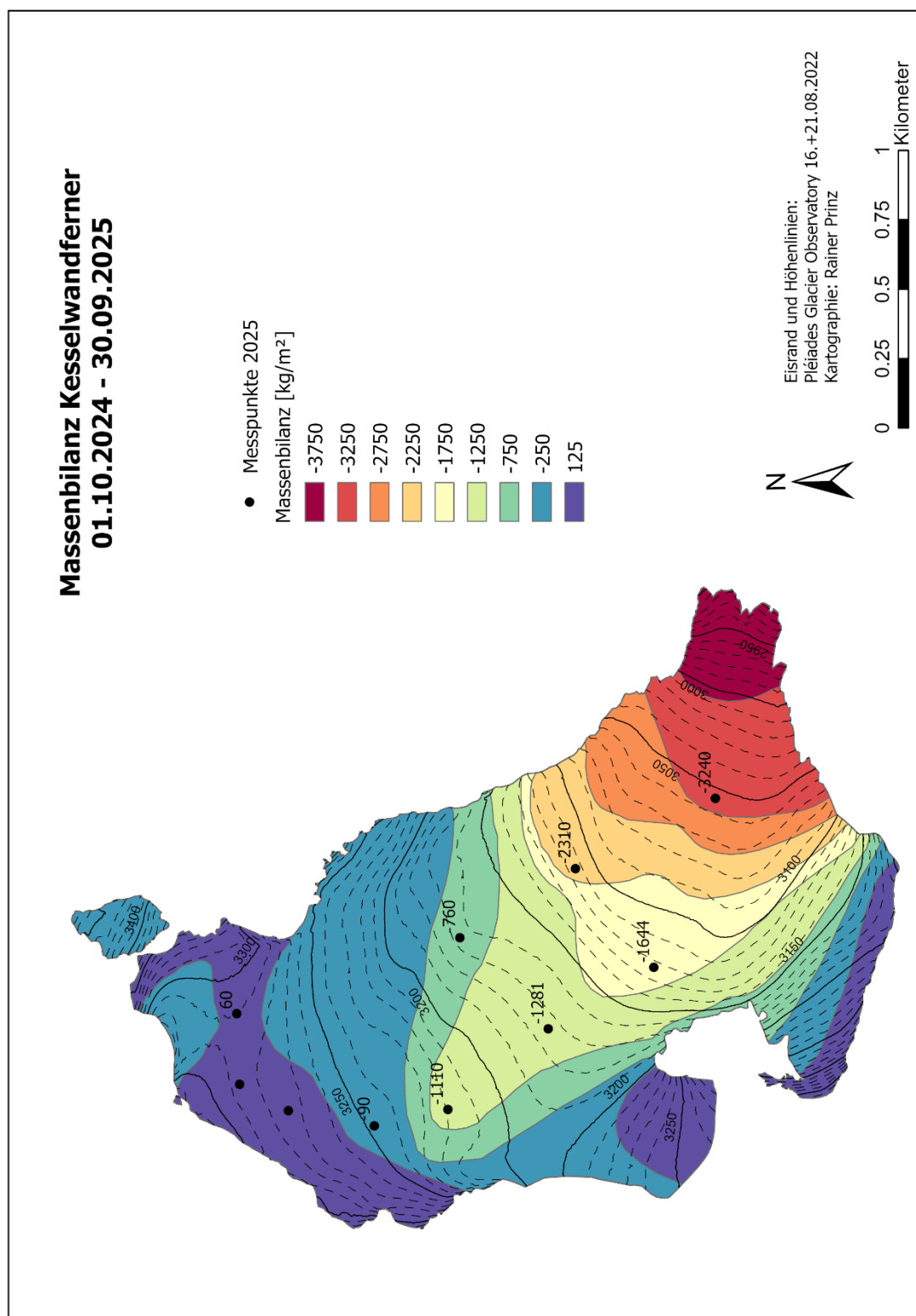


Abbildung 15: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 01.10.2024 – 30.09.2025.

Tabelle 9: Kennzahlen und Massenbilanz des Kesselwandfeners im Haushaltsjahr 2024/25 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

	gesamtes Jahr					
	Fläche	B	b			
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]			
	3374	-3677577	-1090			
S _C [10 ³ m ²]	586		B _C [m ³ w.e.]	73310	b _C [mm w.e.]	125
S _A [10 ³ m ²]	2788		B _A [m ³ w.e.]	-3750887	b _A [mm w.e.]	-1345
ELA	3275	m.a.s.l.	S _C /S _A	0.210	AAR	0.174
	Jahresbilanz					
	Höhenstufe	Fläche	B	b		
	[m.a.s.l.]	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]		
	2875	0	-879	-3750		
	2925	38	-141502	-3750		
	2975	70	-260349	-3719		
	3025	193	-619528	-3216		
	3075	439	-1077674	-2457		
	3125	492	-759735	-1544		
	3175	756	-572232	-756		
	3225	688	-242979	-353		
	3275	540	-363	-1		
	3325	106	8762	82		
	3375	16	-1891	-117		
	3425	30	-7573	-250		
	3475	7	-1635	-250		
	Summe	3374	-3677577	-1090		

C.4 Niederschlagsmessungen im Rofental

Die Niederschlagsmessungen im Rofental wurden bis zum Ende des hydrologischen Jahres 2020 mit Totalisatoren an abgelegenen Standorten, sowie einer Niederschlagswaage in Vent durchgeführt. Vorschriften der Arbeitssicherheit an der Universität Innsbruck erlauben ein Ablesen der Totalisatoren jedoch nicht mehr. Eine bauliche Abänderung der Messeinrichtung entsprechend der Arbeitssicherheitsbestimmungen und in Einklang mit den Messprinzipien ist nicht finanzierbar. Mittlerweile stehen an fünf der sieben ehemaligen Totalisatorstandorte elektronische Niederschlagswaagen, mit denen die Messreihe fortgeführt wird (Tabelle 10). Die Standorte Rofenberg und Hochjochhospiz werden derzeit nicht weiter betrieben.

C.4.1 Erkenntnisse aus jüngsten Arbeiten

In seiner Masterarbeit vergleicht Winter (2022)¹⁴ die Messwerte aus Niederschlagswaagen und Totalisatoren und stellt synoptische Beziehungen zu (Extrem)Niederschlägen her:

- An den Standorten Vent und Vernagtbach, wo Niederschlagswaagen und Totalisatoren in direkter Nachbarschaft über mehrere Jahre parallel betrieben wurden, unterscheiden sich die Jahresniederschläge kaum. In Vent überschätzt der Totalisator den gewogenen Niederschlag um 1% für den Zeitraum 2000-2020. An der Station Vernagtbach gibt der Totalisator 3% mehr Niederschlag für die Jahre 2012-2020.
- Die Abweichung im Monatsniederschlag zwischen den beiden Messmethoden ist wesentlich variabler, über- bzw. unterschreitet aber nicht die 10%-Marke. Lediglich in den Monaten September und Oktober überschätzt die Niederschlagswaage Vernagtbach den Totalisator um knapp 20%. In den Sommermonaten überschätzt generell die Niederschlagswaage, in den Wintermonaten der Totalisator. Am Standort Latschbloder treten Messfehler der Waage in einzelnen Monaten auf (besonders Juli und November) und aufgrund des kurzen Vergleichszeitraumes (4 Jahre) wird die Statistik an diesem Standort als nicht robust erachtet.
- Saisonale Niederschlagsveränderungen im Rofental seit den 1960er Jahren sind nicht signifikant. Ein Anstieg der Winterniederschläge um 0.27 mm pro Monat und Jahr (bis 2000 und seitdem fast konstant) bleibt allerdings nur knapp unterhalb der Signifikanzgrenze.
- Die Änderung der Variabilität der saisonalen Niederschläge mit einer Abnahme der Variabilität von etwa 1960 bis etwa 1980 gefolgt von einer Zunahme von 2000-2020 ist signifikant und konform zu einer Studie der Niederschlagsvariabilität im Alpenraum (Haslinger et al., 2021).
- Hohe Winterniederschläge im Rofental korrelieren zunehmend mit der positiven Phase der nordatlantischen Oszillation, geringe Sommerniederschläge mit deren negativen Phase.

¹⁴ <https://digital.obvsg.at/urn/urn:nbn:at:at-ubi:1-121916>

- Synoptische Analysen sowohl der täglichen als auch der monatlichen Niederschlagsextreme zeigen, dass extreme Niederschläge im Allgemeinen mit Höhentiefs über Nordwesteuropa und trockenere Perioden mit Blockierung von Luftmassen aufgrund eines starken Hochs über Skandinavien oder Nordeuropa verbunden sind.
- Schwache Niederschlagsgradienten (kaum Zunahme des Niederschlages mit der Höhe) im Rofental korrelieren mit einem starken skandinavischen Hoch, starke Gradienten mit Tiefdruck über Skandinavien (Winter) oder über den britischen Inseln (Frühjahr, oft Südföhnlagen).
- Die verschiedenen Stationen im Rofental weisen auch unterschiedliche Charakteristika in der Niederschlagsverteilung auf, wobei die feuchtesten Tage am Vernagtbach im Allgemeinen mit einer nördlichen, an der Martin-Busch-Hütte eher mit einer südlichen und in Vent mit einer westlichen Anströmung assoziiert sind.

Schroeder (2023)¹⁵ zeigt in ihrer Masterarbeit kontinuierliche Messungen des Schneewasser-äquivalentes mittels eines Neutronenzählers am Hintereisferner für den Zeitraum Oktober 2021 – Juli 2022. Die Abweichung zu manuellen Schneedichtemessungen betragen $-7 \pm 10\%$. Gemessene Schneedichte und Schneewasserwert unterscheiden sich kaum von Werten, die je mit einem komplexen, prozessorientierten Modell, SNOWPACK (Lehning et al., 1999), sowie mit einem semi-empirischen Modell, Δ Snow (Winkler et al., 2021), ermittelt wurden. Wobei letzteres Modell aufgrund seiner Genauigkeit trotz großer Einfachheit besonders hervorsticht und lediglich bei großen Schneehöhen und großen Dichten (im Frühjahr) größere Abweichungen zeigt. Ebenso lässt sich aus den kontinuierlichen Daten zum Schneewasserwert auch der Niederschlagsgradient mit der Höhe quantifizieren und bietet somit eine tägliche Auflösung des Niederschlagsgeschehens während der Wintermonate. Diese Messungen konnten nun bereits über drei Winter durchgeführt werden (Schroeder et al., 2024). Eine weitere Veröffentlichung ist in Arbeit.

C.4.2 Vergleich der Niederschlagsmessungen im Rofental

Im Folgenden sollen ausgewählte Niederschlagsmessungen im Rofental aus Messeinrichtungen des ACINN und des Sachgebietes Hydrographie und Hydrologie der Abteilung Wasserwirtschaft des Landes Tirol (HD Tirol) sowie des Institutes für Geographie der Universität Innsbruck (IGI) verglichen werden (Tabelle 11 und Abbildung 16). Die Lage der Messstationen ist in Abbildung 4 ersichtlich, Höhe und Koordinaten in Tabelle 10. Die Daten entsprechen Rohwerten ohne Korrekturen, die z.B. für Messfehler durch Wind vorgeschlagen werden (vgl. Kochendorfer et al., 2017; Pan et al., 2016). Beispielhaft für alle Stationen zeigt Abbildung 7 den täglichen Verlauf des Niederschlages an der Station Hintereis.

¹⁵ <https://ulb-dok.uibk.ac.at/urn:urn:nbn:at:at-ubi:1-140212>

Tabelle 10: Koordinaten der Niederschlagswaagen im Rofental (inkl. Martin-Busch-Hütte).

Betreiber	Name	Lat	Lon	Höhe (m)
HD Tirol	Vent	46.8572	10.9109	1890
ACINN	Vent	46.8573	10.9128	1905
HD Tirol	Martin-Busch-Hütte	46.8009	10.8884	2470
HD Tirol	Vernagtbach	46.8546	10.8298	2640
IGI	Proviantdepot	46.8295	10.8241	2737
IGI	Bella Vista	46.7834	10.7921	2805
IGI	Latschbloder	46.8012	10.8056	2910
ACINN	Station Hintereis	46.7986	10.7606	3030

Die beiden Niederschlagswaagen in Vent liefern ähnliche Werte, wobei die Waage des HD Tirol immer etwas höhere Werte registriert, heuer +9% (Tabelle 11). Die Ursache liegt vermutlich in den Standorten, der im Fall der Waage des HD etwas windgeschützter als der freie Standort des ACINN erscheint. Die Jahressummen des Niederschlages in Vent liegen zwischen 723 mm (Waage ACINN) und 792 mm (Waage HD). Der Niederschlag nimmt mit der Höhe zu und erreicht auf der Station Hintereis (3030 m) fast das 2-fache als in Vent (1905 m). In einzelnen Monaten kann der Niederschlag auch über das 3-fache erreichen (z.B. im April). An Monaten mit sehr wenig Niederschlag (z.B. Februar) können diese Verhältnisse große Zahlenwerte annehmen, weil die Unterschiede im Niederschlag zwischen den einzelnen Standorten ähnlich groß zum Gesamtwert werden. Auch hier kann Windexposition als mögliche Ursache für die Unterschiede in der Niederschlagsmenge angenommen werden, zum Teil auch Regen in Vent und Schneefall auf höher gelegenen Stationen.

Der Winterniederschlag 2024/25 (Okt.-Apr.) in Vent beträgt 259 mm, auf der Station Hintereis 636 mm – ungefähr das 2.5-fache; ein im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren hoher Gradient. Die Wintermassenbilanz, die grob dem Gebietsniederschlag am Hintereisferner im selben Zeitraum entspricht, ergibt 802 mm oder etwa das 3.1-fache des Winterniederschlages von Vent.

Der unkorrigierte Niederschlag auf der Station Hintereis der Winter 2020/21-24/25 unterschätzt die Winterbilanz um 21% bis 51%. Nach Korrektur des Niederschlages (Kochendorfer et al., 2017) wird die Winterbilanz zwischen 11% unter- und bis zu 66% überschätzt. Aufgrund der vielen Niederschlagstage und des beständigen starken Windes ergeben die Faktoren meist eine viel zu hohe Überkorrektur.

Tabelle 11: Niederschlagsmengen (mm) an den Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache (inkl. Martin-Busch-Hütte) nach Monaten im hydrologischen Jahr 2024/25.

Messstelle	Betreiber	Höhe	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	HHJ 2025
Vent	ACINN	1905 m	93	17	36	44	3	33	33	88	88	132	91	66	723
Vent	HD Tirol	1890 m	99	20	36	55	4	40	35	98	91	144	97	72	792
Verhältnis Vent ACINN			1.06	1.20	1.02	1.26	1.15	1.22	1.03	1.11	1.03	1.09	1.07	1.11	1.09
Martin-Busch-Hütte	HD Tirol	2470 m	156	22	42	68	8	66	68	94	97	144	112	82	957
Verhältnis Vent ACINN			1.68	1.33	1.18	1.55	2.30	2.02	2.03	1.06	1.10	1.09	1.23	1.25	1.32
Vernagtbach	HD Tirol	2640 m	101	22	43	41	6	32	23	89	101	210	113	77	856
Verhältnis Vent ACINN			1.08	1.28	1.20	0.93	1.79	0.99	0.68	1.01	1.14	1.59	1.25	1.18	1.18
Provianddepot	IGI	2737 m	105	24	34	55	6	37	40	90	81	176	88	119	854
Verhältnis Vent ACINN			1.13	1.43	0.94	1.26	1.91	1.13	1.19	1.02	0.92	1.33	0.96	1.82	1.18
Latschbloder	IGI	2910 m	114	25	36	52	6	34	53	84	107	175	124	96	906
Verhältnis Vent ACINN			1.22	1.49	1.00	1.20	1.67	1.06	1.58	0.96	1.22	1.32	1.36	1.47	1.25
Station Hintereis	ACINN	3030 m	194	34	61	145	16	74	112	109	173	235	172	110	1434
Verhältnis Vent ACINN			2.08	1.99	1.71	3.33	4.70	2.27	3.36	1.23	1.96	1.78	1.89	1.68	1.98

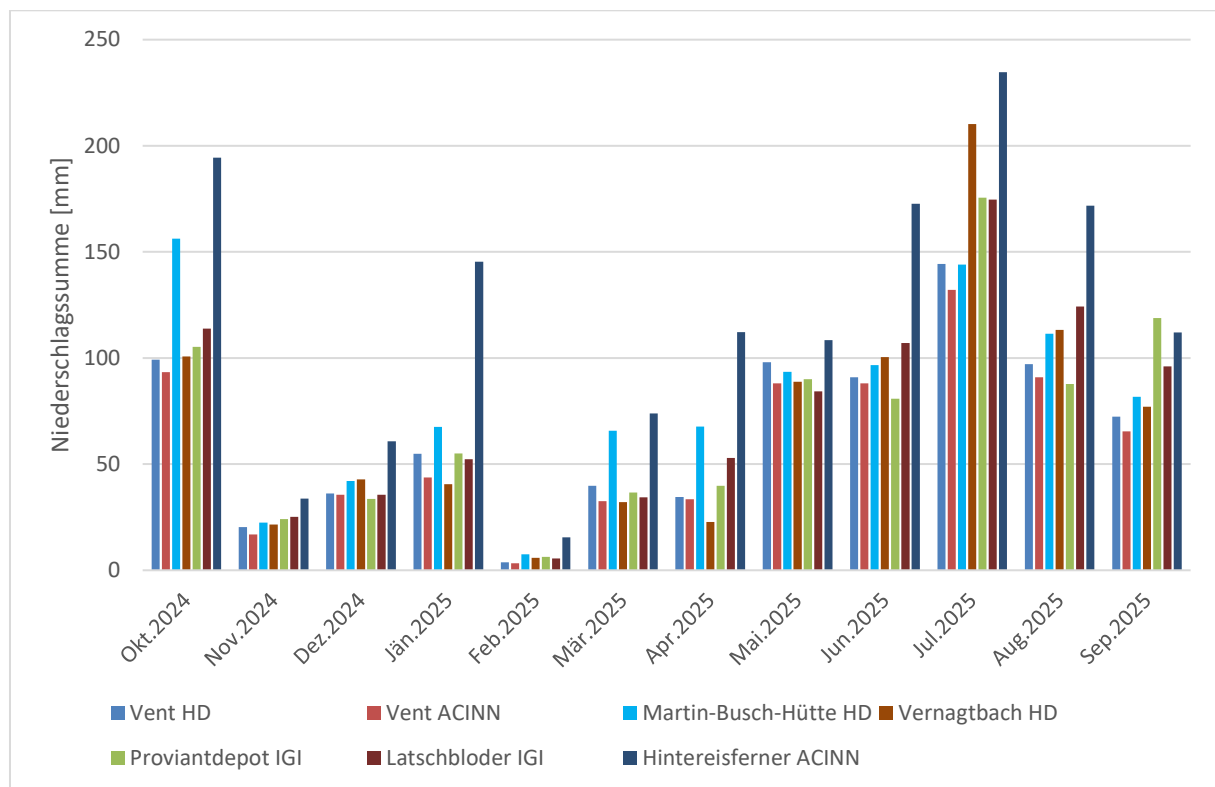


Abbildung 16: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaagen. Beachtlich ist der hohe Niederschlag an den Stationen Hintereisferner und Martin-Busch-Hütte besonders in Monaten mit Südostlagen (Oktober, April) mit gleichzeitig geringeren Niederschlägen an der Station Vernagtbach.

C.5 Literaturverzeichnis

- Cogley, J. G., Hock, R., Rasmussen, L. A., Arendt, A. A., Bauder, A., Braithwaite, R. J., et al. (2011). *Glossary of Mass Balance and Related Terms. IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2*. Paris: UNESCO-IHP.
- Haslinger, K., Hofstätter, M., Schöner, W., & Blöschl, G. (2021). Changing summer precipitation variability in the Alpine region: on the role of scale dependent atmospheric drivers. *Climate Dynamics*, 57(3–4), 1009–1021. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05753-5>
- Hoinkes, H. (1970). Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. *Zeitschrift Für Gletscherkunde Und Glazialgeologie*, 6(1–2), 37–90.
- Hoinkes, H., & Steinacker, R. (1975). Zur Parametrisierung der Beziehung Klima - Gletscher. *Rivista Italiana Di Geofisica e Scienze Affini*, 1, 97–103.
- Klug, C., Bollmann, E., Galos, S. P., Nicholson, L., Prinz, R., Rieg, L., et al. (2018). Geodetic reanalysis of annual glaciological mass balances (2001–2011) of Hintereisferner, Austria. *The Cryosphere*, 12, 833–849. <https://doi.org/10.5194/tc-12-833-2018>
- Kochendorfer, J., Rasmussen, R., Wolff, M., Baker, B., Hall, M. E., Meyers, T., et al. (2017). The quantification and correction of wind-induced precipitation measurement errors. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(4), 1973–1989. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1973-2017>
- Kuhn, M. (2012). Rain and Snow at High Elevation. In C. Lütz (Ed.), *Plants in Alpine Regions* (pp. 1–10). Vienna: Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0136-0_1
- Lehning, M., Bartelt, P., Brown, B., Russi, T., Stöckli, U., & Zimmerli, M. (1999). snowpack model calculations for avalanche warning based upon a new network of weather and snow stations. *Cold Regions Science and Technology*, 30(1–3), 145–157. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(99\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(99)00022-1)
- Pan, X., Yang, D., Li, Y., Barr, A., Helgason, W., Hayashi, M., et al. (2016). Bias corrections of precipitation measurements across experimental sites in different ecoclimatic regions of western Canada. *The Cryosphere*, 10(5), 2347–2360. <https://doi.org/10.5194/tc-10-2347-2016>
- Schroeder, M. (2023). *Snow Water Equivalent measured by a Cosmic Ray Neutron Sensor: A Case Study from Hintereisferner, Austria*. University of Innsbruck.
- Schroeder, M., Prinz, R., Binder, M., Winkler, M., & Schellander, H. (2024). Continuous snow water equivalent monitoring on glaciers using cosmic ray neutron sensor technology. A case study on Hintereisferner, Austria. In *International Snow Science Workshop 2024, Tromsø, Norway* (pp. 1107–1114).

- Voordendag, A., Prinz, R., Schuster, L., & Kaser, G. (2023). Brief communication: The Glacier Loss Day as an indicator of a record-breaking negative glacier mass balance in 2022. *The Cryosphere*, 17(8), 3661–3665. <https://doi.org/10.5194/tc-17-3661-2023>
- Winkler, M., Schellander, H., & Gruber, S. (2021). Snow water equivalents exclusively from snow depths and their temporal changes: the Δ snow model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(3), 1165–1187. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1165-2021>
- Winter, C. (2022). *Temporal and spatial trends in precipitation in the Rofental*. University of Innsbruck.

C.6 Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole

Akronym	Bedeutung	Einheit
AAR	Accumulation Area Ratio	
ACINN	Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck	
ALS	airborne laserscanning	
AWS	automatische Wetterstation	
CRNS	cosmic ray neutron sampling	
DGPS	differential global positioning system	
ELA	equilibrium line altitude	m
HEF	Hintereisferner	
IGI	Institut für Geografie der Universität Innsbruck	
KWF	Kesselwandferner	
LJF	Langtaufenerjochferner	
SF	Stationsferner	
TLS	Terrestrischer Laserscanner (Im Hinteren Eis)	
VBP	vertikales Bilanzprofil	
VF	Vernagtferner	
w.e.	Wasseräquivalent	
WGMS	World Glacier Monitoring Service	

Symbol	Bedeutung	Einheit
B	Gesamtmassenbilanz	$\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}$
b	(flächen)spezifische Massenbilanz	$\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$
a	(flächen)spezifische Ablation	$\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$
c	(flächen)spezifische Akkumulation	$\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$
S	Gletscherfläche	m^2

Subskript	Bedeutung
A	Ablation (z.B.: B _A : Gesamtmassenbilanz der Gletscherteilfläche mit Netto-Ablation)
C	Akkumulation
W	hydrologisches Winterhalbjahr
S	hydrologisches Sommerhalbjahr
fix	nach fixem Datum (01.10. – 30.09.)
nat	nach dem natürlichen Haushaltsjahr
z	Höhe

D. ANHANG

D.1 Geleistete Arbeiten

D.1.1 Feldkampagnen

Die Feldkampagnen in der Saison 2024/25 im Rofental erforderten vier Arbeitseinsätze am HEF (wobei hier die mehrwöchige Kampagne HEFEX III nur als eine Kampagne zählt) und einen am KWF, die zum Teil mehrtägig absolviert wurden. Am HEF wurden acht Pegel neu gebohrt, am KWF zwei. Die meisten Feldkampagnen wurden mit Wartungsarbeiten gemeinsam durchgeführt. Drei Kampagnen wurden durch einen Hubschrauber unterstützt.

Kompensationen für CO₂-Emissionen durch Hubschrauberflüge oder Fahrten mit PKWs durch zertifizierte Kompensationsprojekte wurden für die Jahre 2020 und 2021 in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) bereits geleistet. Umstrukturierungen auf Seiten der BOKU führten zu einer Einstellung des Programmes. An einer Lösung wird bis dato noch gearbeitet.

Personentage

- 20 Personentage – HEF Massenbilanz
- 2 Personentage – KWF Massenbilanz
- 6 Personentage – Wartung von Station Hintereis, Wetterstationen und Pluviometer

Personen:

Universität Innsbruck: Rainer Prinz, Marie Schroeder, Leo Schlagbauer, Christian Wild, Philipp Vettori, Julian Hinderegger, Sebastian Brandl, Jan Niklas Lorenz, Alexander Fischer, Robert Peal sowie Studierende des Feldkurses für Atmosphärenwissenschaften

Humboldt Universität Berlin: Alexander Georgi

Alle Kampagnen verliefen unfall- und verletzungsfrei. Allen Teilnehmern sei hiermit für ihren Einsatz und ihr Engagement herzlichst gedankt!

D.1.2 Messungen und Analysen

- Es wurden die Grundlagen für die Erstellung der Winter- und Jahresmassenbilanzen nach der glaziologischen Methode am HEF und am KWF (nur Jahresbilanz) gesammelt und ausgewertet, Zustand und Veränderung der Gletscheroberfläche im Lauf der Ablationsperiode dokumentiert und das Netz von Ablationspegeln gewartet.
- Die Daten der Wetterstation in Vent wurden als Tageswerte der Lufttemperatur und des Niederschlages berechnet.

- Die monatlichen Niederschlagssummen der Niederschlagswaagen im Rofental wurden ausgewertet.

D.2 Dokumentation der Feldarbeiten am Hintereisferner und am Kesselwandferner

D.2.1 Feldkampagne 01.-03.(04.)04.2025: Hintereisferner Winterbilanz

Ziel der Feldkampagne:

- Messung der Winterbilanz am Hintereisferner
- Kontrolle Station Hintereis
- Auslesen der Wetterstationen HEF30, HEF27
- Wartung Wetterstation STHE
- Begleitung GPR Team FAU Erlangen (Kontakt: Sam Cook - blieb bis 04.04.)
- Gasversorgung Station Hintereis
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Marie Schroder, Leo Schlagbauer – ACINN
- Céline Walker (FAU Erlangen), Felix Pfluger (TU München), Lea Rodari (EPFL Lausanne)

Ausgeführte Arbeiten:

01.04.: Arrived at Station Hintereis by Heli together with Felix, Celine and Lea at 17h. Delayed flight because of low clouds hanging over the mountain tops.

02.04.: Start at 9h from Station Hintereis, no visibility, fog, medium wind

Skied/Skinned from Station Hintereis direction west to reach point 107. Probed points 107, WJ, WP28 and 104. As there was still no visibility in the higher part of the glacier, we skied down to the station HEF30 (11:15).

Reading HEF30: Loggernet doesn't connect (probably wrong COM port) used HEF27 to read out. Changed filenames afterwards to HEF30. Set clock, was 30 sec off, attached ACINN sticker to the loggerbox

Snow Profile: Dig snow profile east (down glacier) of the station. 245cm total height. See details in snow profile. Pretty homogeneous snow pack with fresh snow from the recent snowfall on top, then some layers of still rather low density rounded grains. Then harder layers but without distinct ice layers in there.

Probing around SR50 (13:50): 235, 234, 235, 232, 236cm; Reading from SR50: 240cm

As clouds moved higher, the visibility improved, and we went to the upper part of the glacier for probing. We probed points: 110, 111, HJ, WP27, WP26, 105, TEB, 103, 101, L3; from there skinned back to the hut

Maintenance AWS Station Hintereis Relative Humidity Sensor: Blue cable from sensor not connected (hanging loose in the box) → connected to SE5

03.04.: skied down south of the station to the glacier. Probed: 89, L4, 88, LIDAR, SR50(139, 134cm), 71. At point 71 we had big differences from 270 to 163cm. Maybe something below? Or crevasse?

Reading HEF27 at 9h. Loggerbox Height: 160cm; Probings SR50: 153, 149, 140, 143cm

Connected laptop → No program running! SD card says: 'last modified 11-01-2025'; Lots of battery errors in station status → maybe station ran out of battery and logger battery is also empty?

Dilemma: Files on SD card too big to download over cable (says 8hours) and no SD card reader on laptop → BUT if you resart the program the SD card will be deleted. Logger SN: 24597; SD Card Memory: 8GB

Downloaded lf.dat and snowfox_data.dat for 15min each which saved some data (not sure how the saving works in is not chronological, it seems that we have 1 timestep a day or something like that). Saved in folder on desktop of field laptop, BACKUP_SDcard_HEF27.

Then restarted program, that was still on the CPU at 10h45. Programm was running and all sensors measuring.

Snow Profile: 140cm height

Continued with the rest of the probing points until the end of the glacier and then skied/walked out of Rofen.

04.04.: Wartung Station Hintereis – Gas: Beim Rückflug des GPR Teams noch zwei 33 kg Gasflaschen auf die Station geflogen und angeschlossen. – Notiz Marie Schroeder 12.04. Alles funktioniert einwandfrei

Situation:

02.04.: Weather: foggy, 8/8 cloud cover, we were just below the clouds; with time the cloud base ascended and ripped open slowly with some sun coming through; medium wind, changing direction

03.04.: sunny, no wind, no clouds, stayed the same all day

Tabelle 12: Auswertungen Schacht TE (HEF30) und HEF27.

Schacht							
HEF30							
Schacht:	H = 245cm	lon: 10.7485	lat: 46.791	Alt: 3030 m	Date:	02.04.2025	
M. Schroeder, L. Schlagbauer					Time:	11:30 MESZ	
Abstich mit 1000 cm ³ Keil	TARA:772g						
Höhe [cm]	Masse [g]	Dichte [kg/	Schichthöh	Wasserwert [kg/m ²]		Höhe [cm]	Schneetemperatur [°C]
245						Luft	-5.5
235	151	151	10	15		245	-1.1
225	229	229	10	23		235	-3.2
215	263	263	10	26		225	-5.3
205	295	295	10	30		215	-5.5
195	254	254	10	25		205	-5.3
185	268	268	10	27		195	-5
175	322	322	10	32		185	-4.8
165	369	369	10	37		175	-4.8
155	407	407	10	41		165	-4.8
145	343	343	10	34		155	-4.7
135	405	405	10	41		145	-4.6
125	410	410	10	41		135	-4.7
115	420	420	10	42		125	-4.4
105	448	448	10	45		115	-4.4
95	430	430	10	43		105	-4.3
85	411	411	10	41		95	-4.1
75	430	430	10	43		85	-4.1
65	430	430	10	43		75	-4.1
55	345	345	10	35		65	-3.9
45	379	379	10	38		55	-3.7
35	401	401	10	40		45	-3.6
25	394	394	10	39		35	-3.5
0	344	344	25	86		25	-3.4
Gesamt:		354	245	866		0	-3.2
Akkumulation Sep 24		164		702			
Akkumulation Apr 25		162		864			

Schacht							
HEF27							
Schacht:	H = 140cm	lon: 10.7706	lat: 46.800	Alt: 2746 m	Date:	03.04.2025	
M. Schroeder, L. Schlagbauer					Time:	09:30 MESZ	
Abstich mit 1000 cm³ Keil		TARA:772g					
Höhe [cm]	Masse [g]	Dichte [kg/	Schichthöh	Wasserwert [kg/m²]		Höhe [cm]	Schneetemperatur [°C]
140						Luft	
130	180	180	10	18		140	-7.3
120	228	228	10	23		130	-7.4
110	280	280	10	28		120	-5.1
100	250	250	10	25		110	-4.3
90	342	342	10	34		100	-4
80	320	320	10	32		90	-3.8
70	371	371	10	37		80	-3.8
60	360	360	10	36		70	-3.8
50	434	434	10	43		60	-3.8
40	511	511	10	51		50	-3.8
30	424	424	10	42		40	-3.7
20	349	349	10	35		30	-3.7
0	348	348	20	70		20	-3.7
Gesamt:		339	140	475		0	-3.6
Akkumulation Sep 24		85		390			
Akkumulation Apr 25		107		497			



Abbildung 17: Auslesen der Daten der Wetterstation HEF30 und dortiger Schacht TE. Foto: Marie Schroeder, 02.04.2025.

Tabelle 13: Werte der Schneehöhensondierungen zur Bestimmung der Winterbilanz

Ident	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Snowdepth (cm)	Density (kg/m ³)	Accumulation Sep 2024 (kg/m ²)	Accumulation Mai2025 (kg/m ²)	SWE (kg/m ²)	Comment
L8	46.8102504	10.7820117	2587	110	339	41	76	409	
50	46.808264	10.78095	2608	67	339	46	80	262	
42	46.809916	10.778734	2616	143	339	47	81	520	
L7	46.808111	10.777825	2639	106	339	54	84	391	
22	46.804945	10.776727	2681	86	339	68	94	317	
51	46.80599	10.772458	2691	135	339	70	96	485	
L6	46.803368	10.772829	2730	149	339	75	99	528	
26	46.800765	10.773501	2743	104	339	85	106	374	
AWS27	46.800438	10.770628	2746	147	339	85	107	521	Pit
71	46.799869	10.768088	2780	171	339	88	113	603	
LIDAR	46.797725	10.76968	2798	124	339	105	117	433	FES: 151 (unterkante)
L4	46.7941051	10.764654	2873	173	354	122	131	623	
88	46.7953727	10.7670406	2888	133	354	122	134	482	
89	46.7932268	10.7620542	2898	193	354	122	136	697	
L3	46.792933	10.758196	2916	228	354	134	140	812	
103	46.7911526	10.7535505	2976	192	354	150	150	680	
101	46.793838	10.752814	2989	213	354	150	151	755	
TE	46.7909599	10.7484997	3030	234	354	164	162	828	Pit
TE_B	46.790513	10.750396	3033	256	354	164	163	904	
104	46.7925414	10.7457075	3085	228	354	182	173	797	
WP28	46.794858	10.743616	3098	306	354	194	175	1065	
105	46.793762	10.7423794	3128	233	354	194	181	812	
WP26	46.79127	10.742962	3131	271	354	194	182	946	
WJ	46.7971854	10.7428948	3152	278	354	202	186	969	
WP27	46.78935	10.742626	3164	297	354	202	188	1038	
107	46.798811	10.745463	3190	226	354	194	193	799	
110	46.7879544	10.7396239	3229	310	354	223	201	1074	
111	46.7890017	10.7358449	3287	309	354	239	212	1067	
HJ	46.7919346	10.7347786	3320	277	354	255	219	944	

D.2.2 Feldkampagne 02.07.2025 Feldkurs

Ziel der Feldkampagne:

- Feldkurs für Atmosphärenwissenschaften (glazialmeteorologische Messungen)
- Wartung und Auslesen der Wetterstationen und Sensoren
- Schneesnacht
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, sechs Studierende – ACINN
- Robert Ciatti – Bergführer Passeier

Ausgeführte Arbeiten:

02.07. Von der Schönen Aussicht über das Teufelsegg zur AWS HEF30 (CRNS), immer wieder Messungen mit dem EcoBot. Aufgabe der Studierenden war es räumliche Unterschiede im Tal- und

Gletscherwindsystem zu diskutieren, sowie die turbulenten Energieflüsse über verschiedene Methoden (Bulk- und Profilmethode) zu ermitteln. Retour zur Schönen Aussicht.

Wartung AWS30 (CRNS): Auslesen der Daten. Anlage und Messung eines Schneeschaters, Pegelablesungen.

Situation:

Schneegrenze bereits zwischen Pegeln 103 (aufgelassen) und 101, auf ca. 2950 m. Warmer aber feuchter Sommertag mit 5/8-7/8 Bewölkung und knapp 10°C auf 3000 m. Leichter Wind.



Abbildung 18: Studierende des ACINN bei der Datenakquisition der Lehrveranstaltung Feldkurs für Atmosphärenwissenschaften. Foto: Rainer Prinz, 02.07.2025.

D.2.3 Feldkampagne 05.08.-03.09.2025: Kampagnen während HEFEX III

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung
- Bohren von Pegeln
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Leo Schlagbauer, Marie Schroeder, Robert Peal, Alexander Fischer, Rainer Prinz – ACINN
- Alexander Georgi – HU Berlin

Ausgeführte Arbeiten:

Neben dem Aufbau und der Wartung der Instrumente der HEFEX Kampagne konnten auch Massenbilanzarbeiten durchgeführt werden. Ablesung aller Pegel, zum Teil mehrmals während des Zeitraums der Kampagne. Neubohrung der Pegel 104, 105, TE_B, L5 (=LIDAR), L6, 51, 22, L8, sowie der kontinuierlichen Ablationsmessung HEF_28.



Abbildung 19: Blick auf den oberen HEF bei Pegel L4 nahe der maximalen Ausaperung. Foto: Rainer Prinz, 19.08.2025.

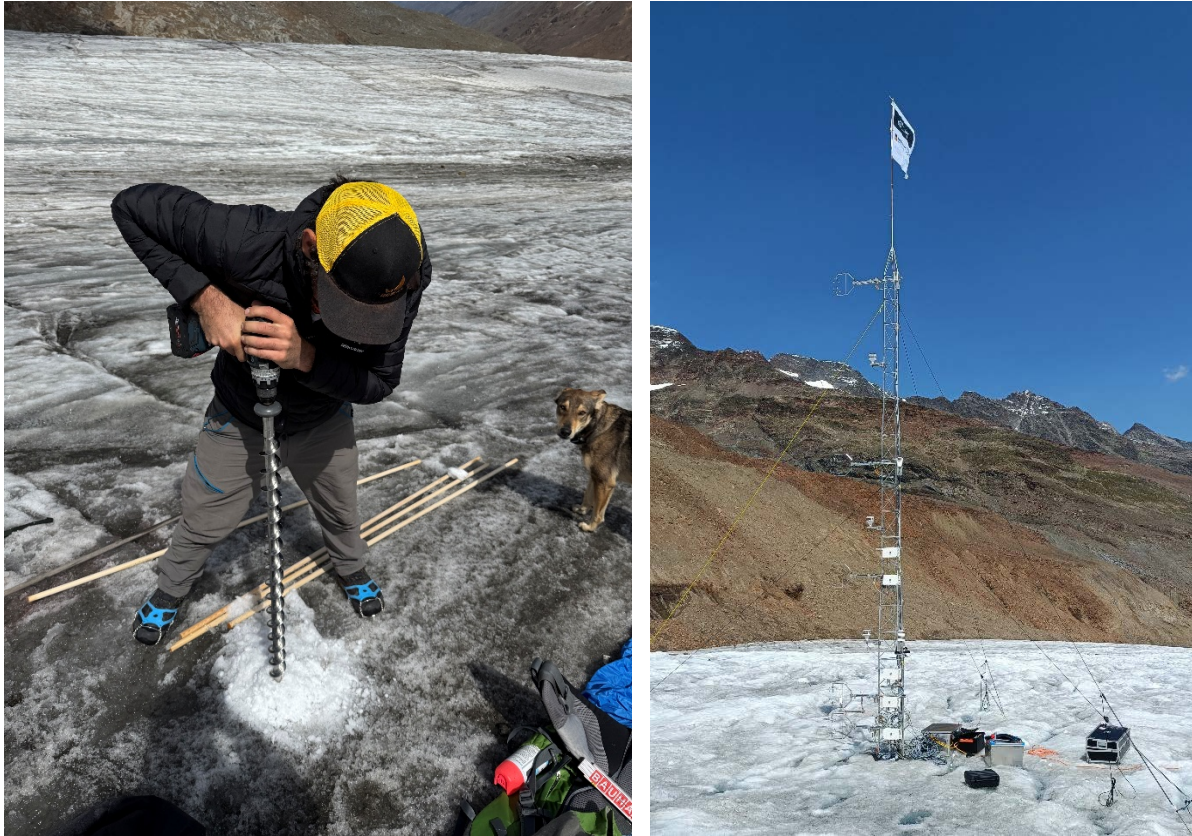


Abbildung 20: Links: Nachbohren von Ablationspegeln, Foto: Marie Schroeder, 11.08.2025. Rechts: Der 10 m hohe Turm für meteorologische Messungen in der Gletschergrenzschicht, Foto: Rainer Prinz, 07.08.2025.

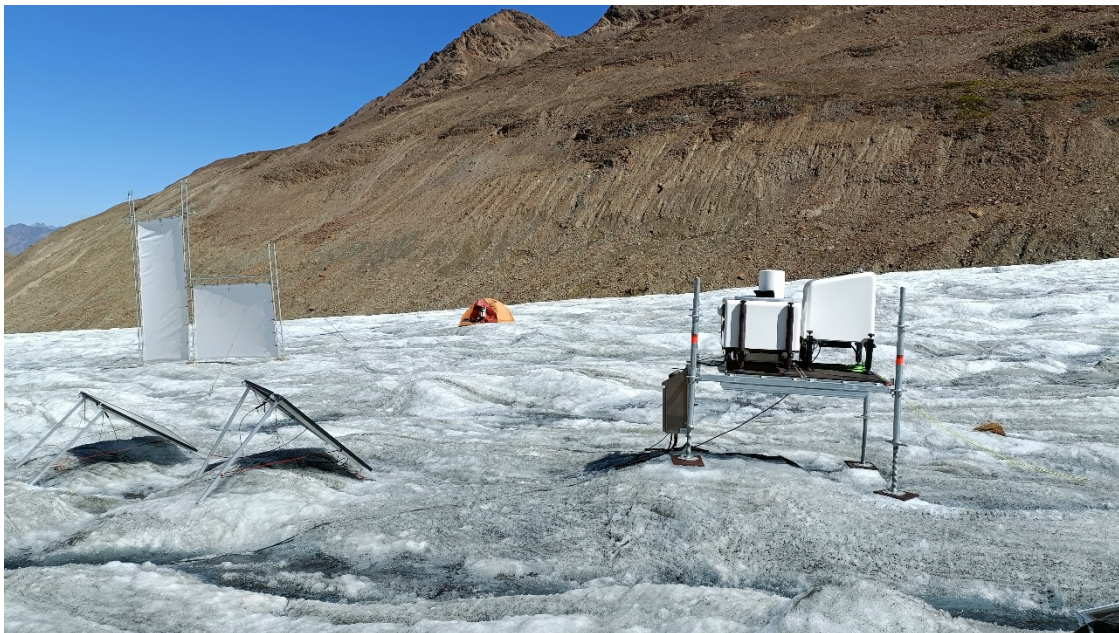


Abbildung 21: Infrarotpaneele (links) zur Messung der Grenzschichtstruktur und zwei Wind LIDAR zur skalenübergreifenden Messung der Windstrukturen in der Talatmosphäre. Foto: Rainer Prinz, 18.08.2025.

D.2.4 Feldkampagne 31.08.+01.09.2025 Kesselwandferner

Ziel der Feldkampagne:

- Abbau der beiden Wetterstationen zur Messung der CO₂ Flüsse im Vorfeld des HEF im Rahmen von HEFEX III
- Pegelablesung KWF

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Jan Nicklas Lorenz – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Am 31.08. aufgrund der Straßensperre des Ötztal Radmarathons recht spät nach Vent. Zu Fuß zum Hospiz. Aufnahme des Dampfbohrers und weiter zum KWF. Alle Pegel (außer K19) abgelesen, K5 und K9 neu gebohrt. Schneeschacht SS2. Spät abends zum Hospiz.

Am 01.09. bei bedecktem Himmel und kalten W wind die beiden Stationen abgebaut und in BigBags für späteren Abtransport per Heli (03.09.) verstaut. Am späten Nachmittag wieder in Vent. JNL mit ÖPNV nach Innsbruck. RP bleibt zu Koordination Abbau HEFEX III.

Situation:

31.08. Sonniger, warmer, fast windstiller Sommertag >5°C auf 3000 m. 01.09. Bedeckt kühl und Wind aus W.



Abbildung 22: Schacht SS2 am Kesselwandferner. Foto: Jan Niklas Lorenz, 31.08.2025.

Tabelle 14: Die bescheidene Massenrücklage aus dem letzten Winter an Punkt SS2.

Schacht: KSS2	H = 6.75 cm			Alt: m	Date:	31.08.2025			
R. Prinz, J.N. Lorenz					Time:	16:55			
Durchmesser Rohr cm		5.64							
Abstich	Füllhöhe [cm]	Masse [g]	Tara [g]	korrigierte Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [mm w.e.]			
1	9.2	630	540	0.090	392	36	Neuschnee (Graupel, Hagel)		
2	9.5	675	540	0.135	569	54	Altschnee aus dem Winter 24/25		
Gesamt:	18.7	1305.0	1080.0	0.2	482	90	90		

D.2.5 Feldkampagne 10.10.2025 Abschlussbegehung HEF und Stationswartung

Ziel der Feldkampagne:

- Station Hintereis: Wartung Pluvio, Tausch der Batterie
- Abschlussbegehung Hintereisferner
- Im Hinteren Eis: Wartung Pluvio, Tausch CNR4
- Vent: Wartung Pluvio
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Julian Hinderegger, Marie Schroeder, Christian Wild – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Heli von Hochgurgl (08:45) zu HEF30. MS und CW beginnen dort die Abschlussbegehung des HEF. Schacht bei HEF30. Alle Pegel unterhalb abgelesen. Tausch Speicherkarte HEF28.

RP und JH zur Station Hintereis, Heli wartet. Tausch der Batterie, Wartung Pluvio (nicht entleert, nur Gefrierschutz nachgefüllt). Tausch Speicherkarte.

Weiter zu IHE: Neuer Gefrierschutz für Pluviometer (10:00 LT) und Tausch des CNR4. Sichtkontrolle, Check Container. Interne Batterie CR6 tauschen!! Abholung Heli 12:00 Uhr.

Vent: Neuer Gefrierschutz, Sichtkontrolle.

Situation:

Warmer Herbsttag mit 2°C auf 3000 m. Wolkenlos, z.T. böiger Wind aus N IHE.



Abbildung 23: Pegel L5 (= LIDAR) am Hintereisferner. Die Schneefälle Ende September erlaubten die Abschlussbegehung bereits mit Ski durchzuführen. Foto: Christian Wild, 10.10.2025.

Tabelle 15: Die Akkumulation im Herbst 2025 am Punkt HEF30 (= Schacht TE).

Schacht: TE	H = 36 cm	X:	Y:	Alt: 3030	Date:	10.10.2025
M. Schroeder, C. Wild					Time:	14:30 MESZ
Zylinder, Durchmesser (cm)		5.64				
Höhe [cm]	Tara [g]	Masse [g]	korr. Masse [g]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [kg/m²]	
16	550	650	100	250	40	Schnee Okt
20	550	690	140	280	56	Schnee Sep
36			240	267	96	

D.3 Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental

D.3.1 Feldkampagne 30.12.2024 Im Hinteren Eis

Ziel der Feldkampagne:

- Der Kontakt ins Hintere Eis wurde am 23.12. abends unterbrochen. Vermutlich aufgrund der Schneefälle, nicht aufgrund der Stromversorgung.
- Wiederherstellung Datenverbindung
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Ski vom Hintereislift aufgestiegen, Ankunft ca. 09:50.

Stromzufuhr vom Hintereislift in Ordnung. Stromversorgung IHE ohne Probleme. Wie vermutet war die Antenne verbogen. Somit war die Richtfunkstrecke zur Grawand unterbrochen. Antenne wieder in die Richtung gebogen und mit Reepschnur behelfsmäßig vor weiterem Verbiegen gesichert. Datenverbindung somit wieder hergestellt. Allgemeine Kontrolle.

Philipp Kofler hat die Gletscherbahn verlassen. Neuer Kontakt ist Lukas Tumler.

Links zu Webcams und Visualisierungen der Wetterstationen (StHE und TIJ) an Paul Grüner geschickt.

Situation:

Warmer, wolkenloser Wintertag mit etwa -3°C auf 3000 m. Sehr schwacher Wind aus N. Sehr wenig Schnee. HEF Zunge tw. aper.

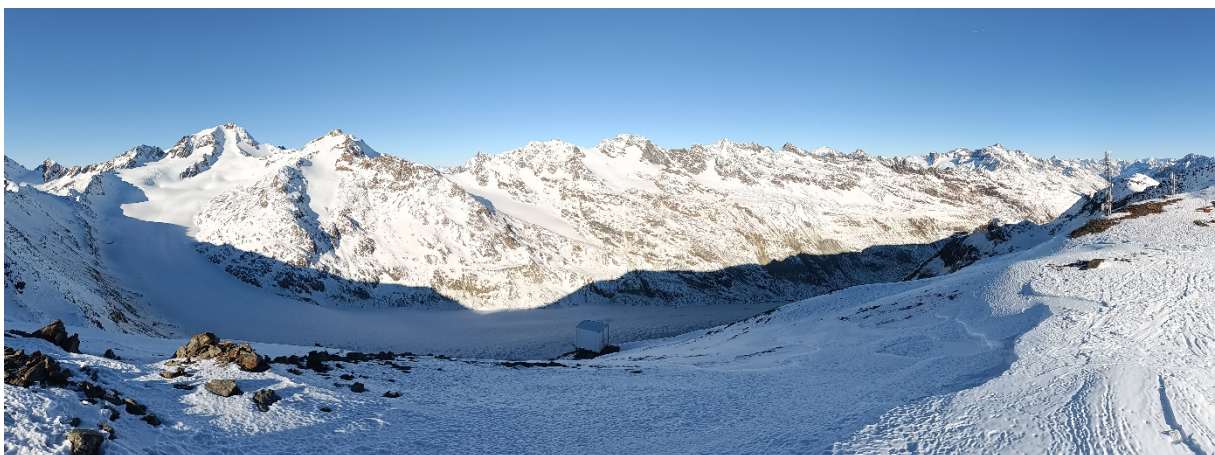


Abbildung 24: Wenig Schnee im Rofental. Foto: Rainer Prinz, 30.12.2024

D.3.2 Feldkampagne 10.07.2025 Wartung AWS Im Hinteren Eis und Vent

Ziel der Feldkampagne:

- Tausch der beiden kaputten Luft Ventus 2D Anemometer (1.5 (Ventus 1) und 3 m (Ventus 2) Höhe)
- Tausch der beiden Lufttemperatur- und Feuchtesensoren inklusive der Ventilationseinheit
- Überprüfung der Stromversorgung
- Entleerung Pluviometer Vent
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Philipp Vettori, Sebastian Brandl – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Anflug mit Helikopter aus Rofen um 08:00 Uhr.

Stromversorgung: Die Schäden an der Versorgung des Hintereisliftes (Gewitter Ende Juni, Anfang Juli) wurden von den Verantwortlichen des Schigebietes repariert. Der FI zur Leitung ins Hintere Eis musste in der Bergstation des Hintereisliftes noch eingeschaltet werden.

Der Sensortausch war erfolgreich. Die neuen Ventus 2D messen mehr Variablen als die alten. Damit kommt der Datenlogger bei der hohen Messfrequenz (1 s) nicht ganz zurecht und es musste zur Abfrage des 2. Ventus eine Verzögerung von 0.1 s eingebaut werden. Die Isolation zu den Kabeln (Ventus 1 und 2) war tw. beschädigt und wurde repariert.

SR50: Der Stecker am Sensor (und auch kableseitig) ist korrodiert und kaputt (ua. ein Pin abgebrochen) und muss samt Sensor ersetzt werden.

CNR4: Innen beschlagen, Ventilation und Heizung defekt: Auch hier scheint ein Stecker am Sensor defekt zu sein (korrodiert).

Alle Abspannungen oben und unten nachgezogen und gesichert.

Keine Internetverbindung, aber keine Schäden an unserer Seite erkennbar. Vermutlich Probleme an der Südtiroler Seite – nach Gewitter.

Rückflug: 15:30 Uhr

Vent: entleert ca. 16:15 Uhr, T/RH muss ersetzt werden

Situation:

Schwach bewölkter Sommertag. Nach Durchzug von Kaltfront (Schnee bis < 2500 m am 08.07.) kalt bei -2°C und Wind bis 30 km/h aus N.



Abbildung 25: Wartungsarbeiten im Hinteren Eis. Foto: Rainer Prinz, 10.07.2025

D.3.3 Feldkampagne 05.08.2025 Wartung Im Hinteren Eis

Ziel der Feldkampagne:

- Im Hinteren Eis: Erneuerung der Datenverbindung, Kontrolle Stromversorgung

Teilnehmer:

- Philipp Vettori, Julian Hinderegger – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Anflug und Abflug mit Helikopter aus Rofen im Rahmen der Installationsflüge für HEFEX III.

Die Datenverbindung über das Datennetz des Zivilschutzes der Provinz Bozen – Südtirol (via Richtfunkstrecke zur Grawand) musste aufgrund neuer Sicherheitsauflagen der italienischen Regierung eingestellt werden. Da mittlerweile LTE-Empfang im Hinteren Eis vorliegt, wurde eine neue Antenne samt Modem und SIM Karte (Magenta, Uni Innsbruck) installiert. Stromversorgung war aufrecht.

D.3.4 Feldkampagne 10.10.2025: Wartung Station Hintereis, Im Hinteren Eis und Vent

Ziel der Feldkampagne:

- Station Hintereis: Tausch der Batterien, Wartung Pluviometer
- Im Hinteren Eis: Tausch des CNR4 Radiometers, Wiederherstellung der Datenverbindung, Wartung Pluviometer
- Vent: Wartung Pluviometer
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Julian Hinderegger – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Anflug mit Helikopter aus Rofen um 09:00 Uhr. Absetzung von zwei Personen am HEF zur Massenbilanzmessung.

STHE: Heli wartet, während Arbeiten problemlos ausgeführt werden. Pluviometer wurde nicht entleert, auch nicht Gehäuse abgenommen – nur Frostschutz eingefüllt. Hoffentlich kein Datensprung, sonst Korrektur notwendig.

IHE: Strom liegt an. Es muss also die Datenverbindung unterbrochen sein. Strom aus/ein beim Modem hilft nicht, erst nach Reset des Modems (Knopf) oder durch Ein- und Ausbau der SIM-Karte funktioniert die Datenverbindung wieder; Ursache bleibt unklar. Der Sensortausch CNR4 war erfolgreich. Wartung des Pluviometers einfach.

SR50: Der Stecker am Sensor (und auch kableseitig) ist korrodiert und kaputt (ua. ein Pin abgebrochen). Der Sensor wird vermutlich nicht ersetzt, da sich am extrem windexponierten Standort ohnehin keine Schneedecke ausbildet.

Rückflug: 12:30 Uhr

Vent: entleert ca. 13:15 Uhr, T/RH muss ersetzt werden

Situation:

Schwach bewölkt bis wolkenloser und warmer Herbsttag. 0°C Grenze auf etwa 3500 m, Wind bis 20 km/h aus N. Gletscher zur Gänze schneebedeckt.