
HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2023/24
- inklusive der Auswertungen der Niederschlagsmessung im Rofental



Obwohl erste Schneefälle am 09.09.2024 die Eisablation für das Haushaltsjahr 2023/24 beendeten, konnte bis Ende Oktober aufgrund der warmen Witterung unterhalb von etwa 2800 m fast der gesamte Schnee nochmals abschmelzen. Quelle: foto-webcam.eu, 30.10.2024, Hintereisferner1 (Im Hinteren Eis)

HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2023/24

Innsbruck, im November 2024

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 2023/24.

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-8
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 25.+26.04.2024: Hintereisferner Winterbilanz	D-2
D.2.2	Feldkampagne 06.07.2024 Feldkurs.....	D-6
D.2.3	Feldkampagne 07.+08.08.2024 Hintereisferner.....	D-7
D.2.4	Feldkampagne 07.09.2024 Kesselwandferner	D-9
D.2.5	Feldkampagne 07.09.2024 Abschlussbegehung HEF	D-10
D.2.6	Feldkampagne 22.10.2024	D-12
D.3	Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental	D-13
D.3.1	Stromversorgung im Hinteren Eis 03.01.2024	D-13

D.3.2	Reparatur Stromversorgung Im Hinteren Eis 30.09. + 01.10.2024	D-14
D.3.3	Feldkampagne 15.11.2024 Im Hinteren Eis: Öffnen der Permafrostbohrlöcher	D-15

A. ZUSAMMENFASSUNG

Am **Hintereisferner** brachte das Haushaltsjahr 2023/24 mit **-1109 mm w.e.**¹ (Tabelle 1) eine moderat negative Massenbilanz. Die Winterbilanz mit 1700 mm w.e. liegt 39% über dem Durchschnitt der Dekade 2011-2020 und ist die positivste am Hintereisferner gemessene Winterbilanz der letzten Jahre. Die Gleichgewichtslinie lag auf 3275 m.

Ausschlaggebend für den Verlauf der Massenbilanz war der sehr schneereiche Winter (Oktober-April) mit 43% mehr Niederschlag in Vent (im Vergleich zu 1981-2010). Die zweite Aprilhälfte war überdurchschnittlich kalt und verhinderte ein frühes Einsetzen der Schneeschmelze. Besonders der schneereiche Mai sorgte dafür, dass die sommerliche Hitze nur wenig Eisablation verursachte, weil der Hintereisferner noch bis weit in den Juli hinein schneebedeckt war. Der heiße und trockene August führte jedoch zu starker Eisablation, die zum Teil bis in die höchsten Regionen des Gletschers noch den Winterschnee und abschmelzen ließ.

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

Tabelle 1: Kennzahlen des Bilanzjahres 2023/24 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	8789117	1700	-14524650	-2809	-5735533	-1109
S _C [10 ³ m ²]	964		B _C [m ³ w.e.]	262410		b _C [kg/m ²]	272
S _A [10 ³ m ²]	4207		B _A [m ³ w.e.]	-5997943		b _A [kg/m ²]	-1426
ELA	3275	m a.s.l.	S _C /S _A	0.229		AAR	0.186

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 2023/24 mit **-984 mm w.e.** eine moderat negative Massenbilanz (Abbildung 1 und Tabelle 2). Die ELA liegt auf 3447 m und somit höher als am Hintereisferner, auf dem größere Akkumulationsflächen den Sommer überdauerten.

Tabelle 2: Kennzahlen des Bilanzjahres 2023/24 für den Kesselwandferner.

	gesamtes Jahr					
	Fläche [10 ³ m ²]	B [m ³ w.e.]	b [mm w.e.]			
	3374	-3319053	-984			
S _C [10 ³ m ²]	340		B _C [m ³ w.e.]	85054	b _C [mm w.e.]	250
S _A [10 ³ m ²]	3034		B _A [m ³ w.e.]	-3404107	b _A [mm w.e.]	-1122
ELA	3447	m.a.s.l.	S _C /S _A	0.112	AAR	0.101

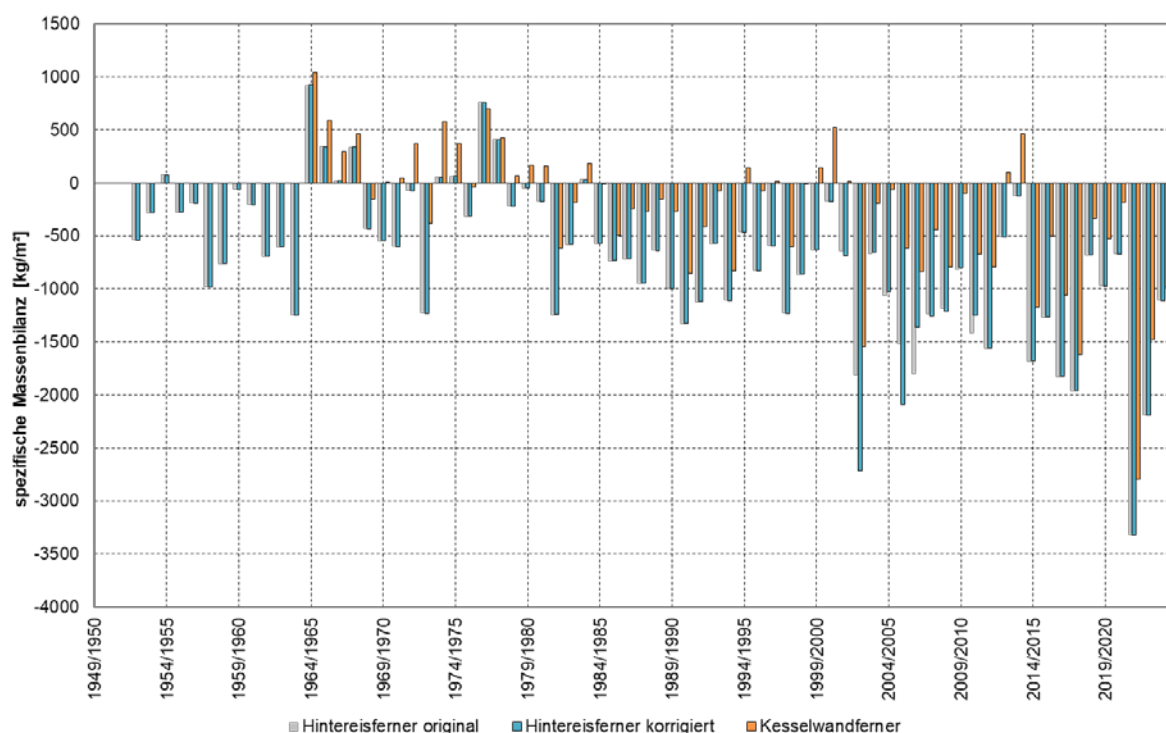


Abbildung 1: Die Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandfern timers (Quelle: ACINN). Die Bilanzjahre 2001 – 2011 wurden für den HEF nach Klug et al. (2018) korrigiert.

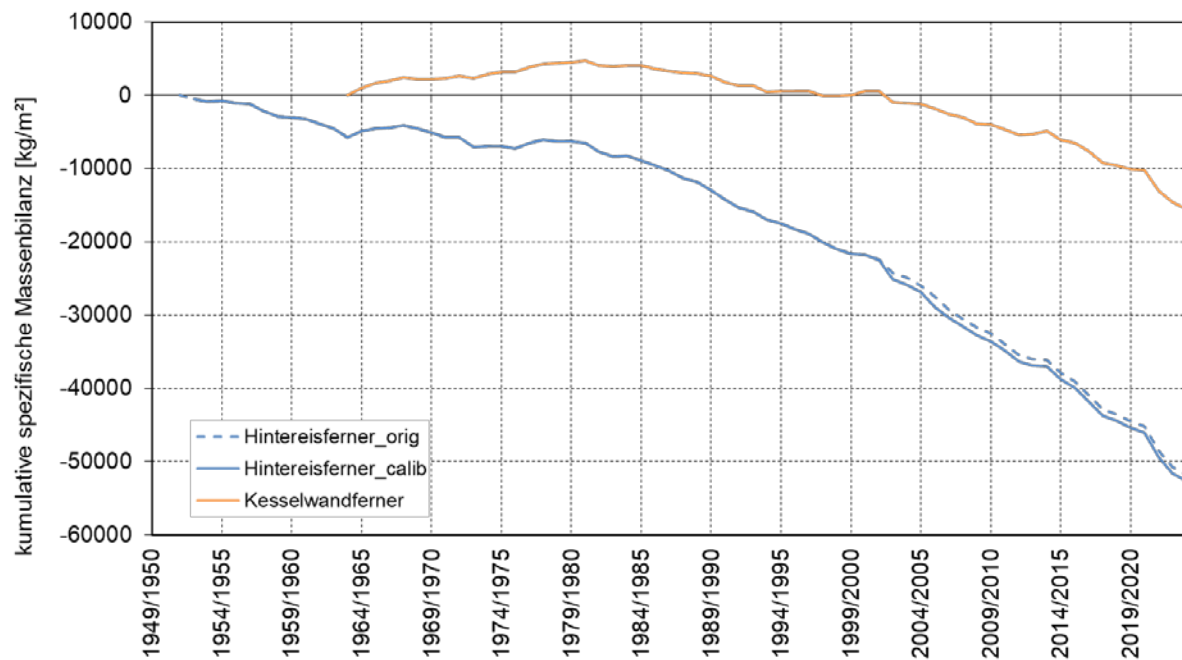


Abbildung 2: Die kumulativen Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandferners (Quelle: ACINN). Die Massenbilanz am HEF wurde 2001-2011 nach Klug et al. (2018) korrigiert.

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.

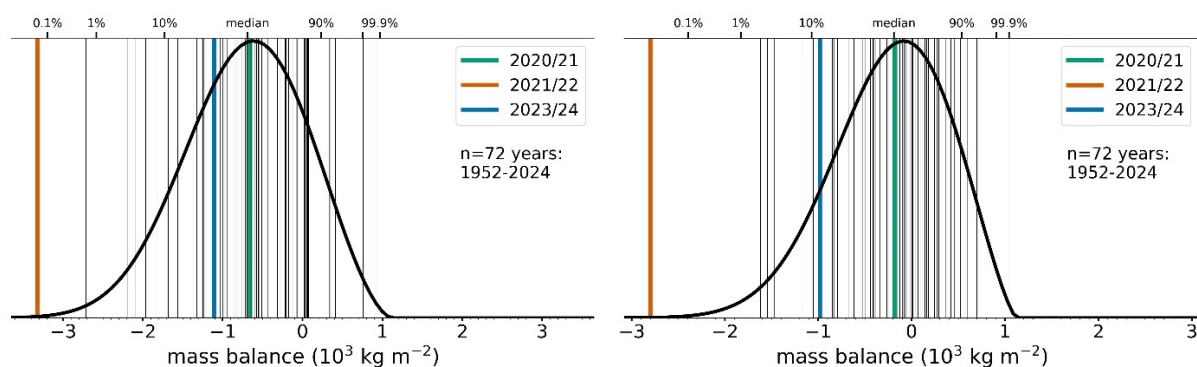


Abbildung 3: Statistische Verteilung der Massenbilanzjahre am Hintereis- (links) und Kesselwandferner (rechts). Jede Säule steht für ein Massenbilanzjahr mit dem entsprechenden Bilanzwert (untere x-Achse) und ihrer Position in einer generalisierten Extremwertverteilung (obere x-Achse) (Voordendag et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

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 Ötztaler 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 Bilanz ***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.

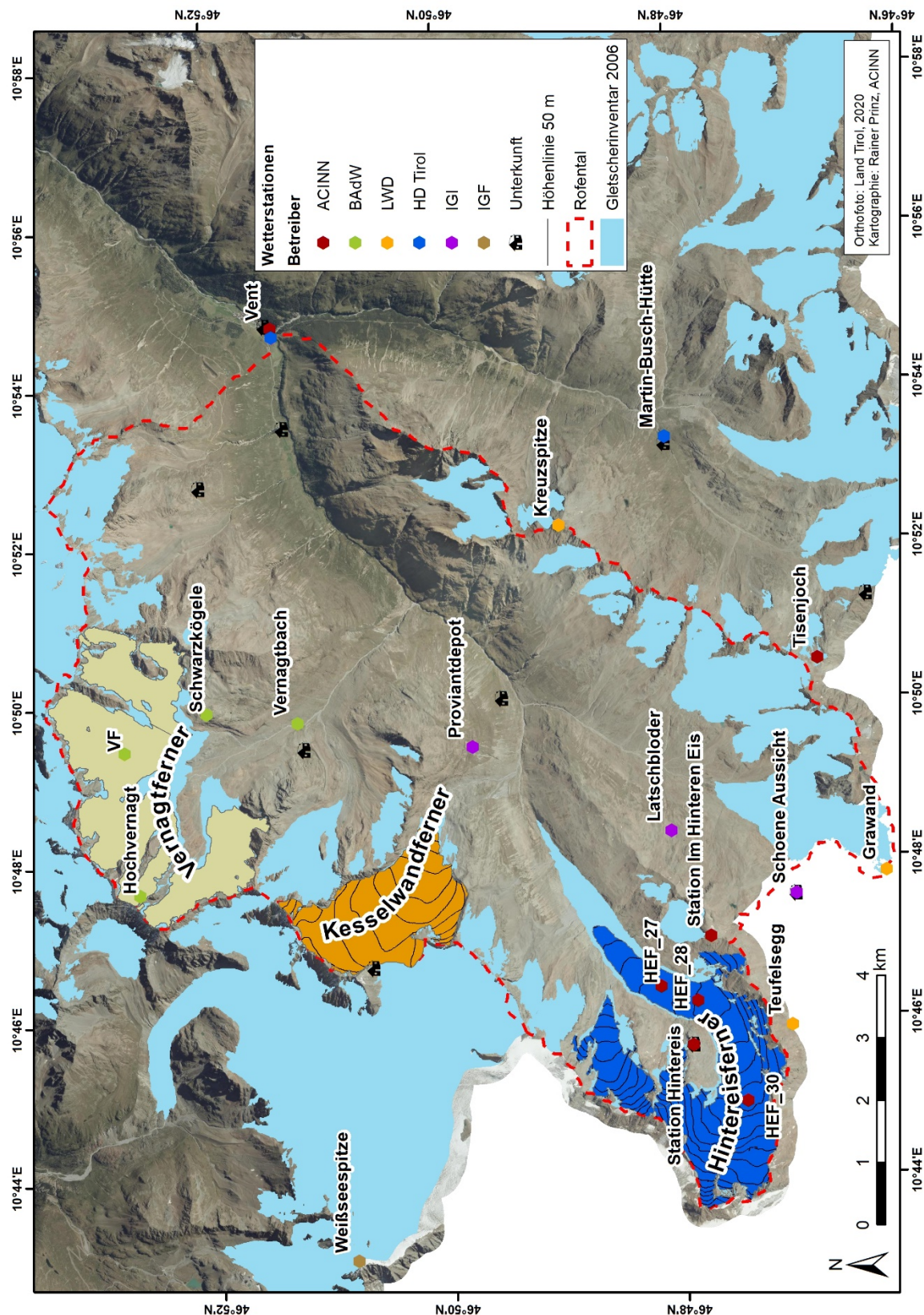


Abbildung 4: Übersichtskarte des Rofentals mit der Lage der Gletscher und automatischen Wetterstationen. Der Laserscanner befindet sich bei der Station Im Hinteren Eis.

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

Für das Haushaltsjahr 2022/23 wurden Gletschergrenzen und Hypsometrie auf Basis zweier Stereo-Satellitenbildszenen (16.08. und 21.08.2022) neu erhoben. Die Szenen werden vom Pléiades Glacier Observatory³ für alle weltweiten Referenzgletscher alle fünf Jahre frei zur Verfügung gestellt.

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.

Die Gletscherfläche des HEF 2022 beträgt 5.171 km², jene des KWF 3.374 km².

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. Das Pegelnetz wurde um wenige Standorte verringert, um mit den Veränderungen Schritt zu halten. Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten im Sommer einige Pegel nicht mehr aufgesucht werden bzw. liegen die obersten Pegel zum Teil (noch) unter altem Firn begraben. Schneehöhen und Schneedichten der Massenrücklagen bzw. Herbstakkumulation wurden bei den Abschlussbegehungen ermittelt: HEF (07.09.2024 und 22.10.2024), KWF (07.09.2024).

³ <https://www.legos.omp.eu/pgs/>

Die Ausaperung am HEF wird durch die Bilder der im Mai 2018 installierten automatischen Kameras (<https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner1/> und <https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner2/>) dokumentiert. Leider nahm die Stromleitung zur Versorgung des Standortes Im Hinteren Eis am 24.12.2022 nachhaltigen Schaden, der nur kurzfristig im August und Oktober 2023 und hoffentlich endgültig im Jänner 2024 repariert werden konnte. Am 30.09. und 01.10.2024 wurde die Schadtelle der Stromleitung aufgefunden und repariert. Eine Sentinel-2 Szene vom 07.09.2024 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 (Abbildung 4). Die Station Hintereis (3026 m) des ACINN dient als Unterkunft während der Feldkampagnen (Abbildung 4).

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	HEF_30	Im Hinteren Eis 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							

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 2023/24 wurden sieben Pegel abgelesen und ein Schneeschacht zur Bestimmung der Rücklagen angelegt.

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 der Wetterstation in Vent und in situ Beobachtungen während der Feldkampagnen können diese Faktoren quantifiziert werden.

- Die Winterniederschläge Oktober-April 2023/24 in Vent lagen 43% über dem Mittel der Klimanormalperiode 1981-2010 (Tabelle 4 und Abbildung 5). Fast alle Monate waren niederschlagsreicher als der langjährige Durchschnitt, der Dezember war sogar 116% zu feucht. Nur Feber (-17%) und April (-9%) brachten unterdurchschnittliche Niederschlagssummen. An der Station Hintereis stechen vor allem Niederschlagsereignisse Im Oktober, Anfang November und Ende März hervor (Abbildung 7).
- Die aus den Winterniederschlägen resultierende Winterbilanz liegt 39% über dem Mittel der Jahre 2011-2020 und ist die stärkste gemessene Winterbilanz seit Jahren. 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 (+2.7°C über dem langjährigen Mittel (1981-2010)). Keine Monatsmitteltemperatur lag unter dem langjährigen Schnitt. Der Februar (0.0°C) war um 5.9°C zu warm und somit der wärmste seit Aufzeichnungen. Auch an der Station Hintereis sind keine kalten Wintertage (Tagesmittel unter -20°C) erkennbar.
- Im Sommerhalbjahr lagen die Niederschläge 16% über dem langjährigen Mittel. Zu feucht waren alle Monate, außer der August war 46% trockener. Im gesamten Haushaltsjahr summierten sich die Niederschläge in Vent auf 872 mm, damit 28% mehr als der Durchschnitt (679 mm).
- Die Lufttemperatur übersteigt das langjährige Mittel (1981-2010) des hydrologischen Jahres um 2.5°C, wobei die positive Abweichung im Sommerhalbjahr (+2.1°C) etwas schwächer als im

Winterhalbjahr (+2.7°C) ausfällt (Tabelle 4). Der August war der wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen (Abbildung 6) und lag mit 14.4°C um 4.2°C über dem Durchschnitt.

- Sommerliche Neuschneefälle gab es zwischen Ende Juni und Anfang September überhaupt keine.
- Die mächtige Winterschneedecke konnte sich jedoch bis weit in den Juli hinein erhalten. Die Eisablation setzte verzögert ein und reichte im heißen August aber noch in große Höhen.
- Ein markanter Kaltlufteinbruch samt Schneefällen beendete am 09.09. die Ablationssaison. Bis um den 15. November blieb es sehr warm (auch Regen bis 3200 m), sodass der Schnee von Mitte/Ende September und in den untersten Lagen noch etwas Eis schmelzen konnten.

Tabelle 4: Monatsmittel der Lufttemperatur und Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent. Das Haushaltsjahr 2023/24 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1981-2010.

Monat	Lufttemperatur (°C)			Niederschlag (mm)			
	1981-2010	2023/24	Abweichung	1981-2010	2023/24	Abweichung (mm) (%)	
Oktober	3.7	7.6	3.9	57	86	29	50
November	-2.0	-1.7	0.3	59	82	23	39
Dezember	-2.9	-2.2	0.7	43	93	50	116
Jänner	-5.8	-3.3	2.5	36	30	-6	-17
Februar	-5.9	0.0	5.9	35	39	4	10
März	-2.7	-0.7	2.0	44	83	39	90
April	0.6	2.2	1.6	42	38	-4	-9
Winter	-2.4	0.3	2.7	316	450	134	43
Mai	5.6	6.5	0.9	65	123	58	90
Juni	8.7	10.9	2.2	75	80	5	7
Juli	10.8	13.7	2.9	82	90	8	10
August	10.2	14.4	4.2	87	47	-40	-46
September	7.0	7.4	0.4	54	81	27	50
Sommer	8.5	10.6	2.1	363	422	59	16
Hydr. Jahr	2.1	4.6	2.5	679	872	193	28

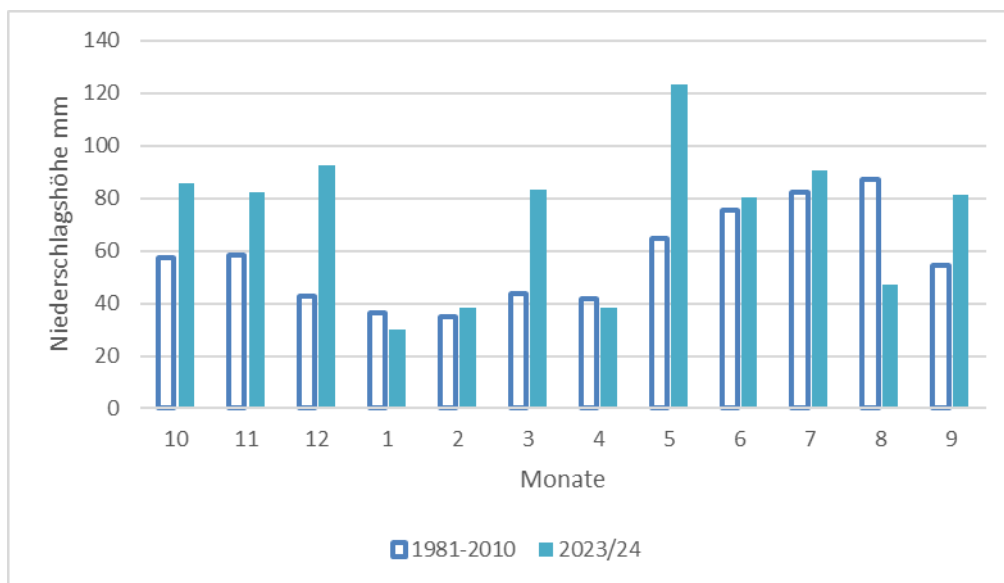


Abbildung 5: Die Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) mit dem hydrologischen Jahr 2023/24.

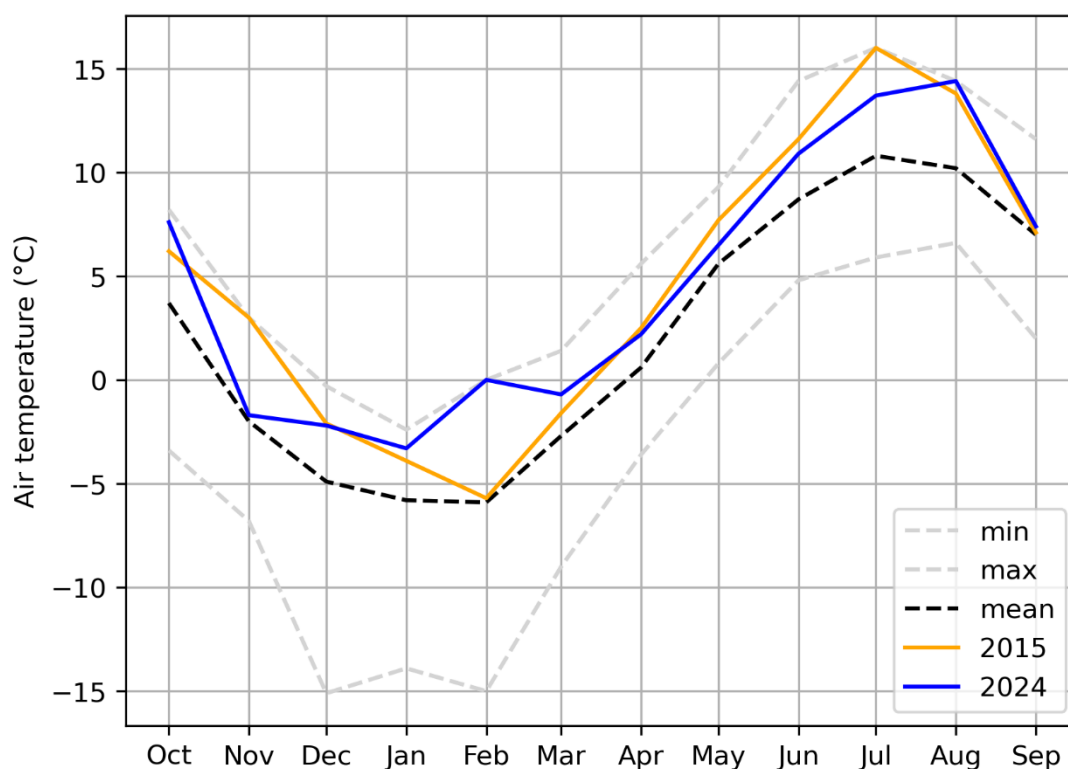


Abbildung 6: Die Monatsmittel der Lufttemperatur an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) der Lufttemperatur mit den Haushaltsjahren 2015 (bisheriger "Rekordsommer") und 2024. Der Februar und August 2024 waren jeweils die wärmsten seit Aufzeichnungen. 2015 und 2024 sind die wärmsten je in Vent gemessenen Haushaltsjahre.

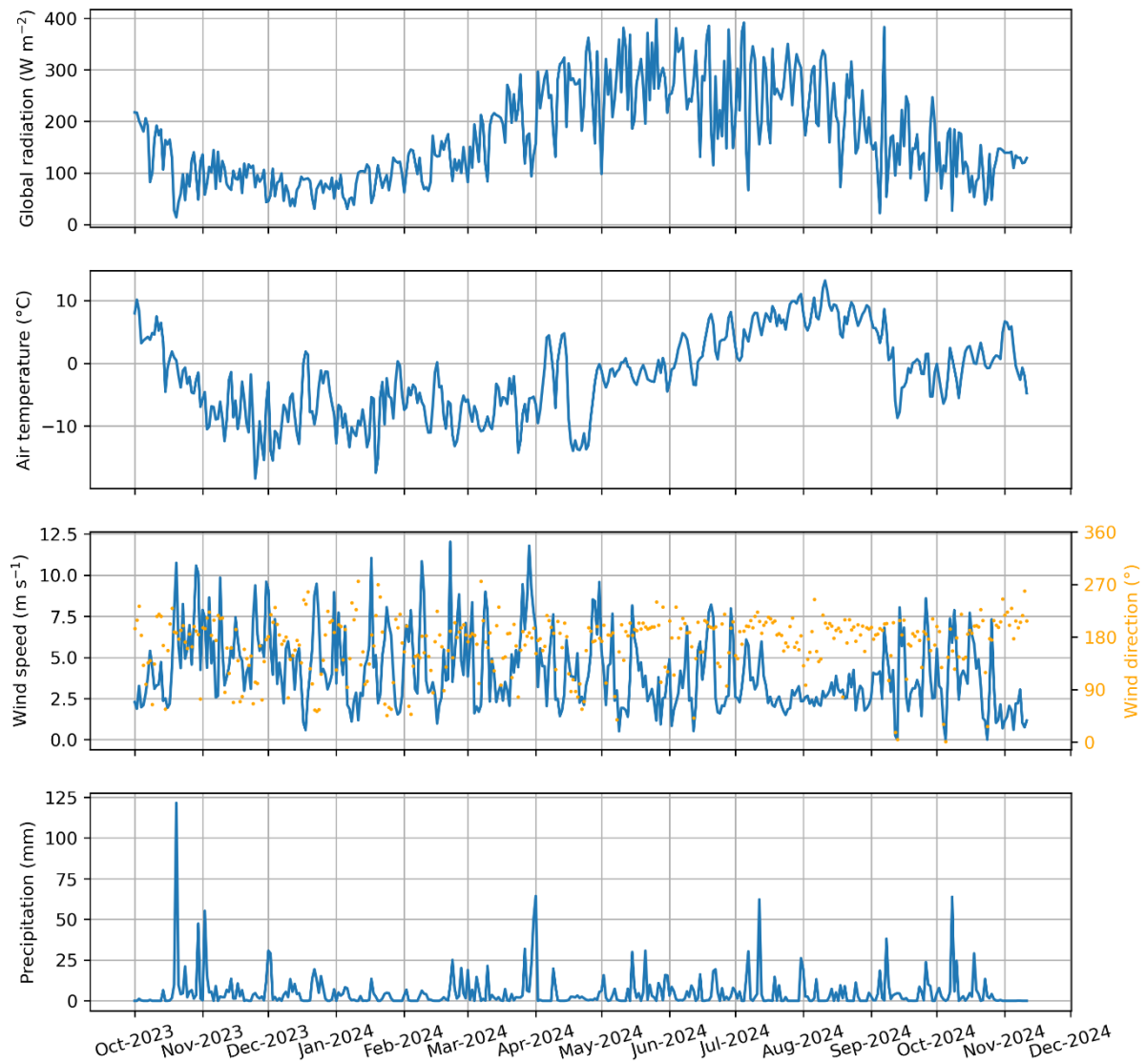


Abbildung 7: Verlauf von Tagesmittelwerten der Globalstrahlung, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, sowie Tagessummen des Niederschlages an der Station Hintereis (3030 m) im hydrologischen Jahr 2023/24.

C.2 Massenbilanz Hintereisferner

C.2.1 Winterbilanz

Die Messungen zur Erstellung der Winterbilanz 2023/24 wurden am 25. und 26.04.2024 durchgeführt. Ein zeitgleich geplanter Laserscanflug des Institutes für Geographie am Hintereisferner musste verschoben werden.

25 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 am 27.09.2023, unterhalb des Septemberschnees 2023 zeigte. Bei den Sondierungen zur Winterbilanz wurde also die Akkumulation vom September 2023 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 gedätische Winterbilanz konnte heuer leider noch nicht erstellt werden. (Kapitel C.2.3).

Tabelle 5: HEF, Winterbilanz 2023/24: 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/m ³]	Wasserwert [kg/m ²]	Wasserwert [kg/m ²] 30.04.
TE	3030	400	426	1705	1705
HEF27	2746	312	451	1406	1406

Die mittlere spezifische Winterbilanz des Hintereisferners 01.10.2023-30.04.2024 beträgt:

$$b_W = 1700 \text{ mm w.e. (= kg/m}^2\text{)},$$

$$B_W = 8.789 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ Wasser}$$

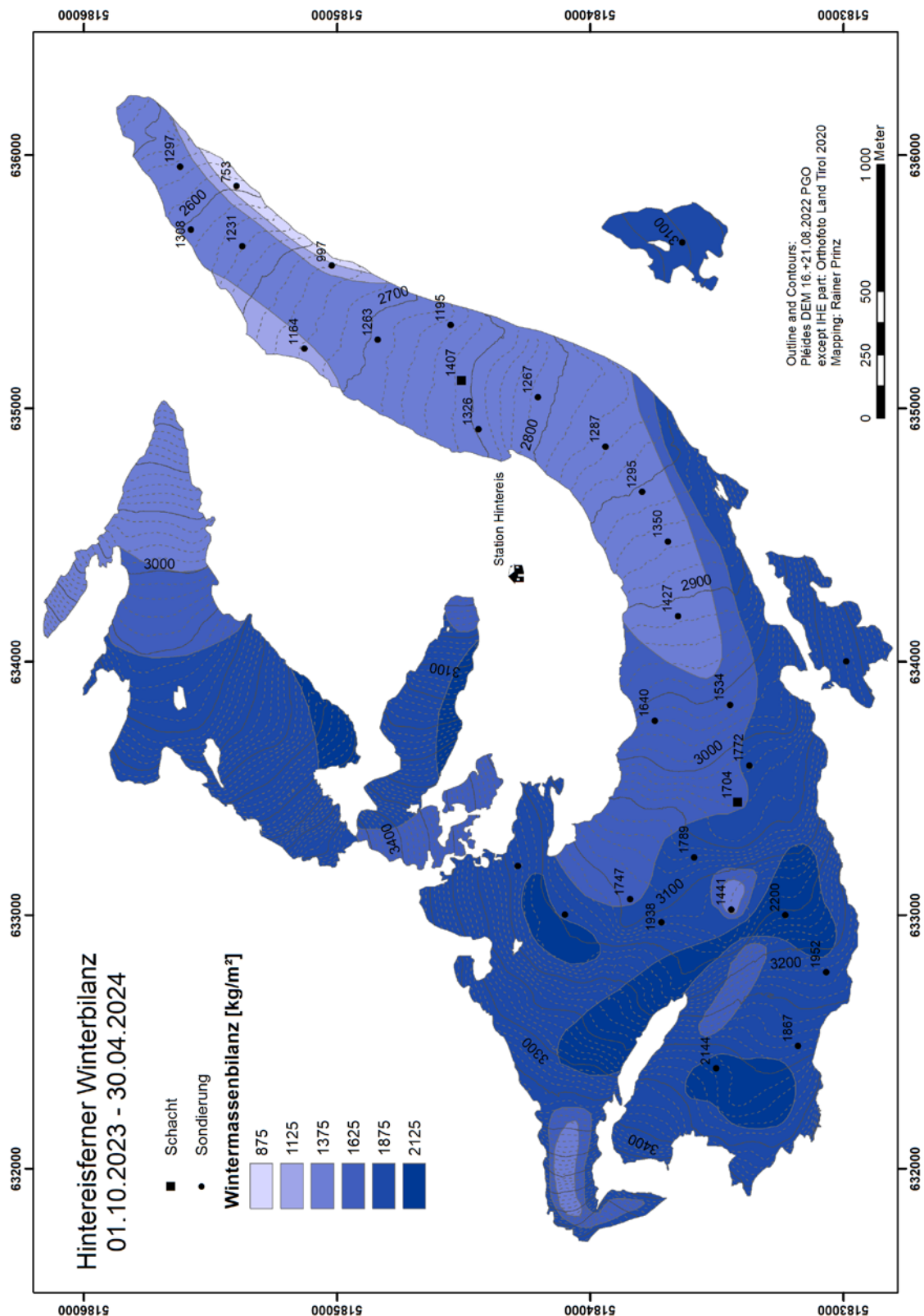


Abbildung 8: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz im Winterhaushaltsjahr am Hinterseisferner (01.10.2023 – 30.04.2024).

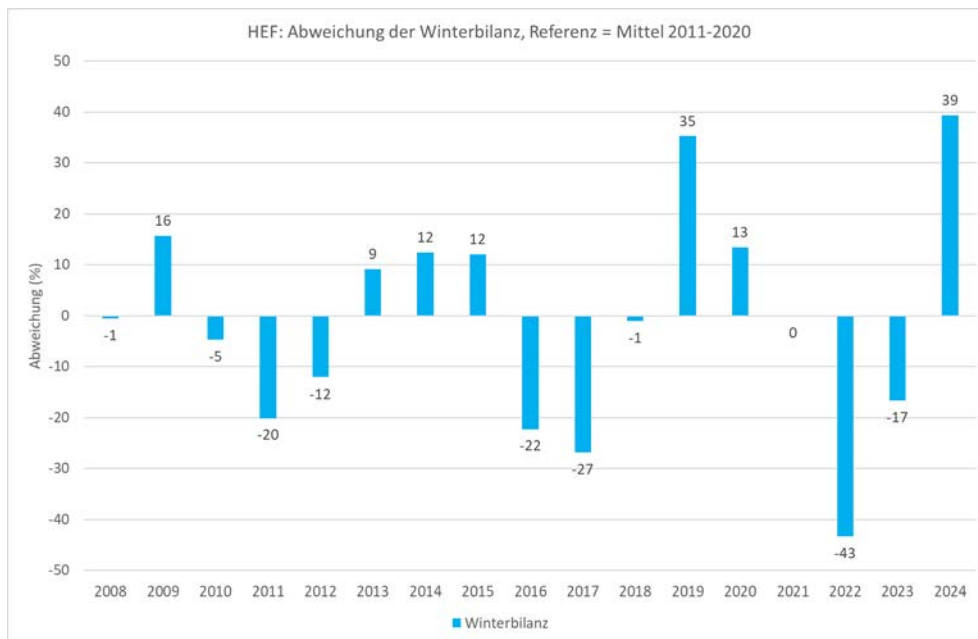


Abbildung 9: Abweichung der Winterbilanz (%) im Vergleich zum Mittelwert 2011-2020.

C.2.2 Jahresbilanz

Der Bestimmung der Ablation im Haushaltsjahr 2023/24 liegen Messungen und Beobachtungen aus drei Feldkampagnen und an 16 Pegeln und Messpunkten zugrunde (Tabelle 6). Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Firnpegel nur eingeschränkt erreicht werden. Die Abschlussbegehung am HEF fand am 07.09. (Pegelablesungen) und am 22.10. (Akkumulationsmessung) statt. 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 2023/24. Eine Validierung der Interpolation der Punktwerte auf die Fläche kann mit der geodätischen Massenbilanz aus der Höhenänderung von zwei Laserscans erstellt werden. Leider war dies heuer noch nicht möglich (Abbildung 10, Kapitel C.2.3).

Aufgrund der intensiven Ablation blieben nur geringe Massenrücklagen erhalten. Die ELA liegt auf 3275 m. Ausschlaggebend für den Verlauf der Massenbilanz war der sehr schneereiche Winter (Oktober-April) mit 43% mehr Niederschlag in Vent (im Vergleich zu 1981-2010). Die zweite Aprilhälfte war überdurchschnittlich kalt und verhinderte ein frühes Einsetzen der Schneeschmelze. Besonders der schneereiche Mai sorgte dafür, dass die sommerliche Hitze nur wenig Eisablation verursachte, weil der Hintereisferner noch bis weit in den Juli hinein schneebedeckt war. Der heiße und trockene August führte jedoch zu starker Eisablation, die zum Teil bis in die höchsten Regionen des Gletschers noch den Winterschnee und abschmelzen ließ. Sommerliche Neuschneefälle fehlten zur Gänze. Die Kombination aus einem schneereichen Winter und einem heißen Sommer führte insgesamt zu einem Verlust von 1.5% des Gletschervolumens oder 5.7 Mio m³ Wasser.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Hintereisferners für das hydrologische Haushaltsjahr

01.10.2023 – 30.09.2024 beträgt: **$b = -1109 \text{ mm w.e.}$** ($= \text{kg/m}^2$),

Das entspricht: **$B = -5.736 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** Wasser

Tabelle 6: Ablationsverlauf an den Pegeln des Hintereisferners 2023/24. Die Ablation zu den Ablesezeitpunkten entspricht der Periode seit der letzten Ablesung.

Name	Ablation (cm)			Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz 2023/24 (kg/m ²)
	08.08.	07.09.	30.09.	Sep.23	Sep.24	
L8	349	188	0	7	41	-4799
L7	291	194	0	10	54	-4321
22	317	171	0	10	68	-4334
51	212	174	0	17	70	-3421
L6	170	170	0	27	75	-3012
26	256	179	0	24	85	-3854
LIDAR = L5	177	153	0	27	105	-2892
71	168	182	0	17	88	-3079
L4	119	143	0	17	122	-2253
L3		214	0	30	134	-1822
101		128	0	0	150	-1002
TE_B		132	0	37	164	-1061
104		107	0	74	182	-855
105		42	0	74	194	-258
110			50	100	223	173
111			50	100	239	189
Von anderen Pegeln übertragene Werte in rot						
(Neu)schneedichte September 2023: 338 kg/m ³						
Altschneedichte September 2023: -- kg/m ³						
Ablation/Akkumulation bis zum 30.09. aufgrund der Witterung angenommen.						
(Neu)schneedichte September 2024: 391 kg/m ³						
Altschneedichte September 2024: 489 kg/m ³						

C.2.3 Geodätische Massenbilanz

Aufgrund schwerwiegender Probleme mit der Stromversorgung im Hinteren Eis konnten keine terrestrischen Laserscans durchgeführt werden. Es wurden jedoch Laserscans per Hubschrauber vom Institut für Geographie der Universität Innsbruck zeitnah zu den Daten der Abschluss- und Frühjahrsbegehungen (22.09.2022, 04.05.2023 und 27.09.2023, 05.05.2024 und 04.11.2024) akquiriert. Eine Auswertung der jeweiligen geodätischen Massenbilanz liegt mit Berichtlegung jedoch noch nicht vor.

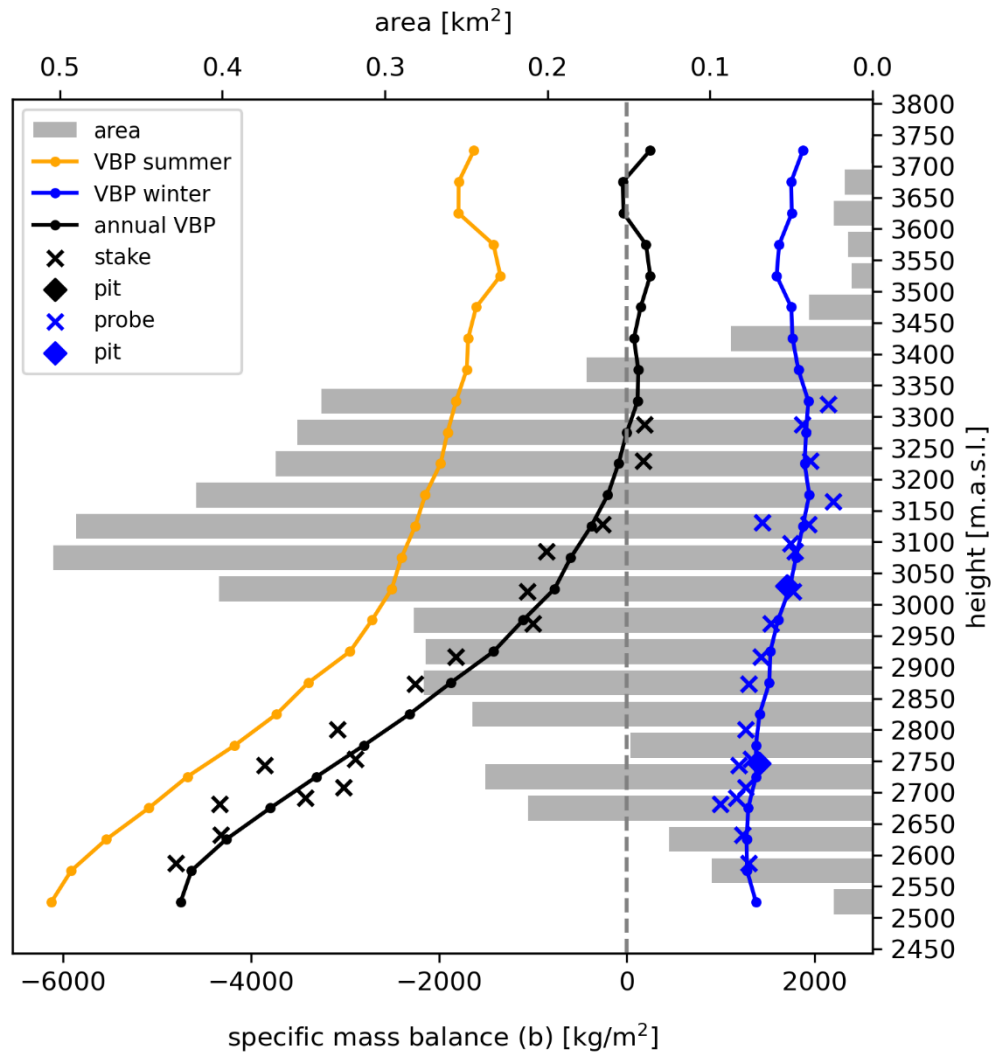


Abbildung 10: Die vertikalen Bilanzprofile nach der glaziologischen Methode am Hintereisferner im Haushaltsjahr 2023/24.

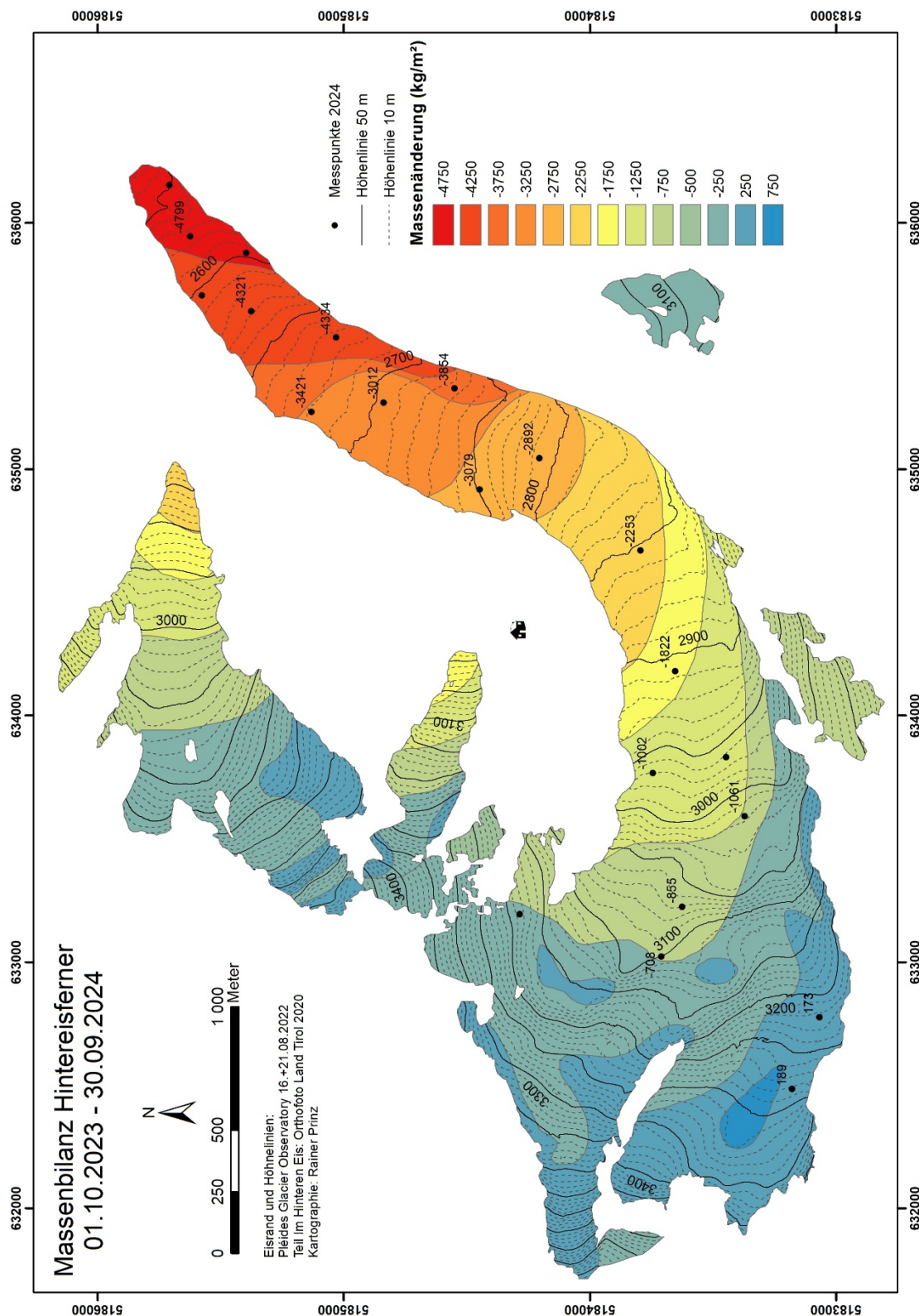


Abbildung 11: Die räumliche Verteilung der Massenbilanz am Hintereisferner im Haushaltsjahr 01.10.2023 – 30.09.2024.

Tabelle 7: Kennzahlen und glaziologische Massenbilanzen des Hintereisferners im Haushaltsjahr 2023/24 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	8789117	1700	-14524650	-2809	-5735533	-1109
S _c [10 ³ m ²]	964		B _c [m ³ w.e.]	262410		b _c [kg/m ²]	272
S _A [10 ³ m ²]	4207		B _A [m ³ w.e.]	-5997943		b _A [kg/m ²]	-1426
ELA	3275	m a.s.l.	S _c /S _A	0.229		AAR	0.186
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	33253	1375	-148126	-6125	-114873	-4750
2575	99	127308	1281	-587975	-5914	-460668	-4634
2625	125	159499	1276	-692420	-5540	-532921	-4264
2675	212	274606	1293	-1080765	-5088	-806159	-3795
2725	238	326682	1375	-1111339	-4678	-784658	-3303
2775	149	205099	1375	-622631	-4174	-417532	-2799
2825	246	347828	1414	-916738	-3727	-568910	-2313
2875	276	419047	1518	-936361	-3391	-517314	-1874
2925	275	419785	1529	-808696	-2946	-388911	-1417
2975	282	453405	1610	-764061	-2713	-310656	-1103
3025	402	696323	1733	-1005089	-2502	-308766	-769
3075	504	908805	1802	-1209351	-2398	-300546	-596
3125	490	918687	1874	-1104560	-2253	-185874	-379
3175	416	808273	1943	-892495	-2145	-84222	-202
3225	367	694389	1894	-726591	-1982	-32203	-88
3275	354	676446	1909	-676189	-1908	257	1
3325	339	655875	1933	-616671	-1817	39204	116
3375	176	322426	1827	-300655	-1704	21771	123
3425	87	153653	1765	-147002	-1689	6652	76
3475	39	68571	1751	-62785	-1603	5786	148
3525	13	20198	1595	-17032	-1345	3166	250
3575	15	23917	1623	-20900	-1419	3017	205
3625	24	42962	1757	-43802	-1791	-840	-34
3675	17	29314	1749	-30011	-1790	-697	-42
3725	1	2768	1875	-2404	-1628	364	247
Summe	5171	8789117	1700	-14524650	-2809	-5735533	-1109

C.3 Massenbilanz Kesselwandferner

Der Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2023/24 liegen Messungen und Beobachtungen aus einer Feldkampagne an acht Pegeln und Akkumulationsmesspunkten zugrunde (Tabelle 8 und Abbildung 15).

Die Abschlussbegehung am KWF fand am 07.09.2024 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 07.09.2024 und eine Sentinel-2 Satellitenszene vom 07.09.2024 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 2023/24.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Kesselwandferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2023 – 30.09.2024 beträgt: **$b = -984 \text{ mm w.e.}$** ($= \text{kg/m}^2$),
das entspricht **$B = -3.319 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** Wasser

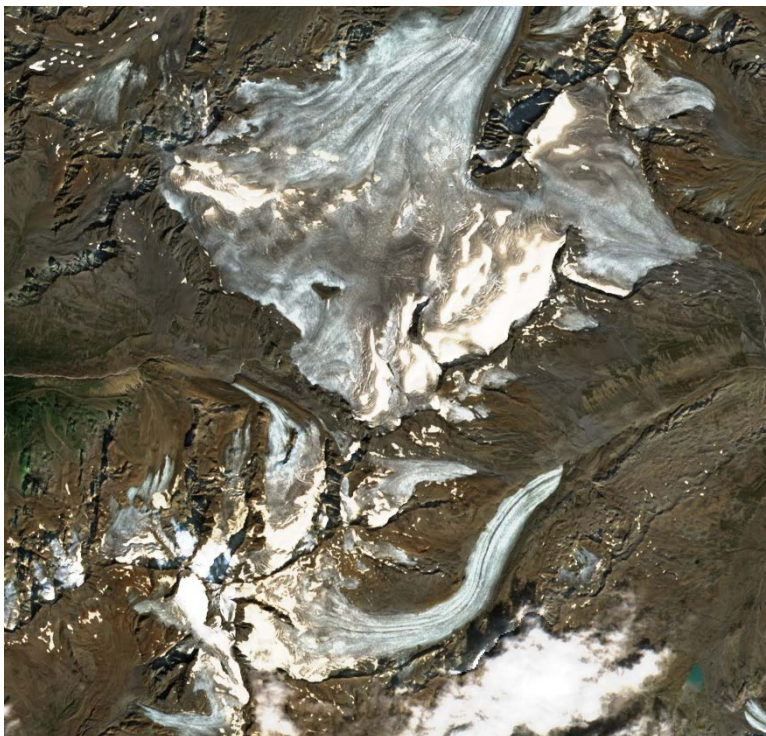


Abbildung 12: Sentinel-2 Satellitenszene vom 07.09.2024 zur Bestimmung der Firngrenze am HEF und KWF (oben rechts).

Tabelle 8: KWF, Haushaltsjahr 2023/24: Die Massenänderung an den einzelnen Messpunkten und zwischen den Ablesezeitpunkten.

Name	Ablation (cm)	Ablation (cm)	Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz
	07.09.	30.09.	Sep.23	Sep.24	2023/24 (kg/m ²)
K5	275	0	40	160	-2355
K9	210	0	40	175	-1755
K10	200	0	40	175	-1665
K12	95	0	80	200	-735
K16	235	0	80	190	-2005
K18	106	0	100	220	-834
K19	100	0	100	240	-760
K20			100	262	162
SS1					
SS2					
Akkumulation September 2023: von HEF übertragen					
Ablation/Akkumulation bis zum 30.09. berechnet aus Niederschlag, Gradtagfaktoren und Ablation vom HEF					
Altschneedichte von K20: 489 kg/m ³					



Abbildung 13: Blick von Pegel K18 über die oberen Bereiche des Gepatschferners zu den Hintereisspitzen. Trotz des schneereichen Winters sind auch am oberen Gepatschferner nur mehr wenige Reste des Winterschnees erkennbar. Foto: Emily Collier, 07.09.2024.

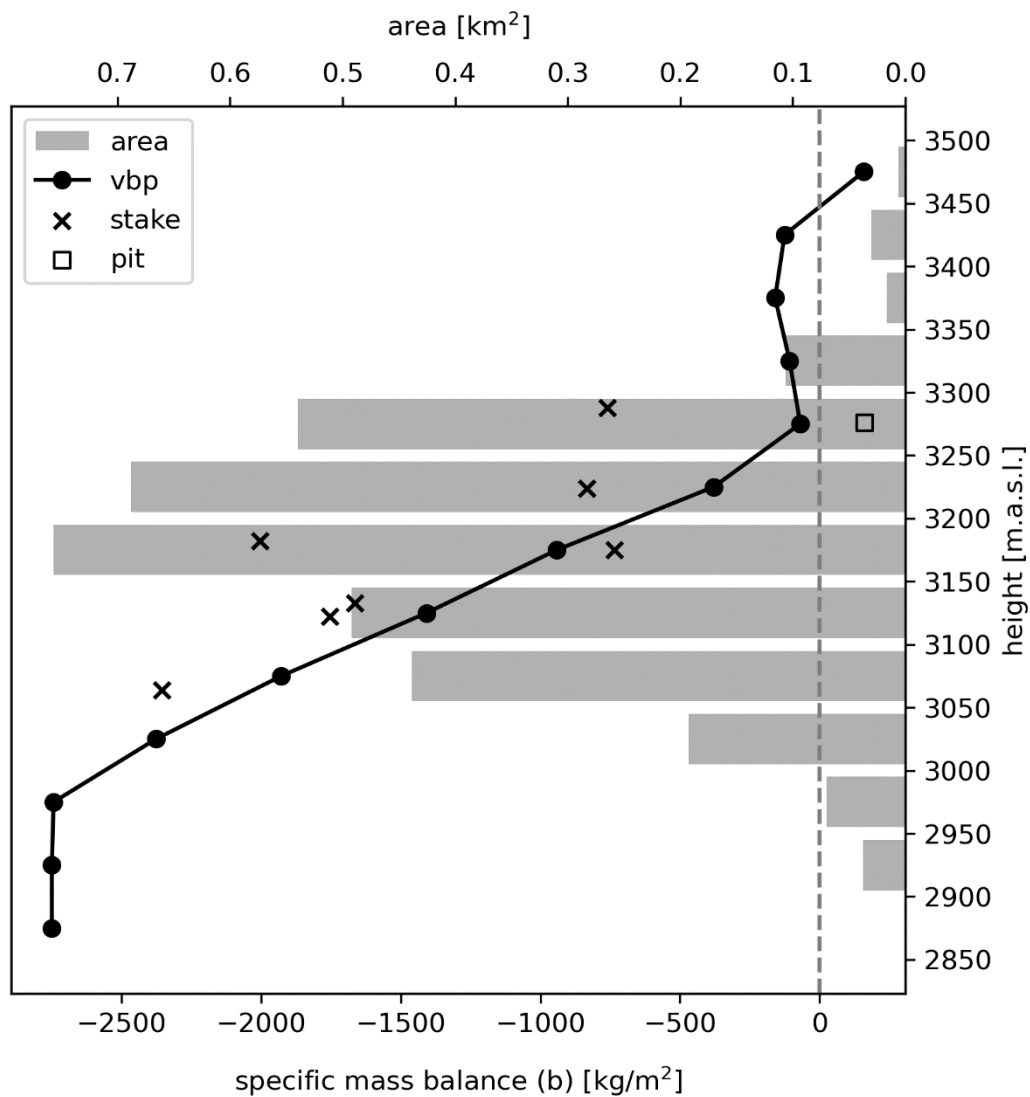


Abbildung 14: Das vertikale Bilanzprofil am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 2023/24.

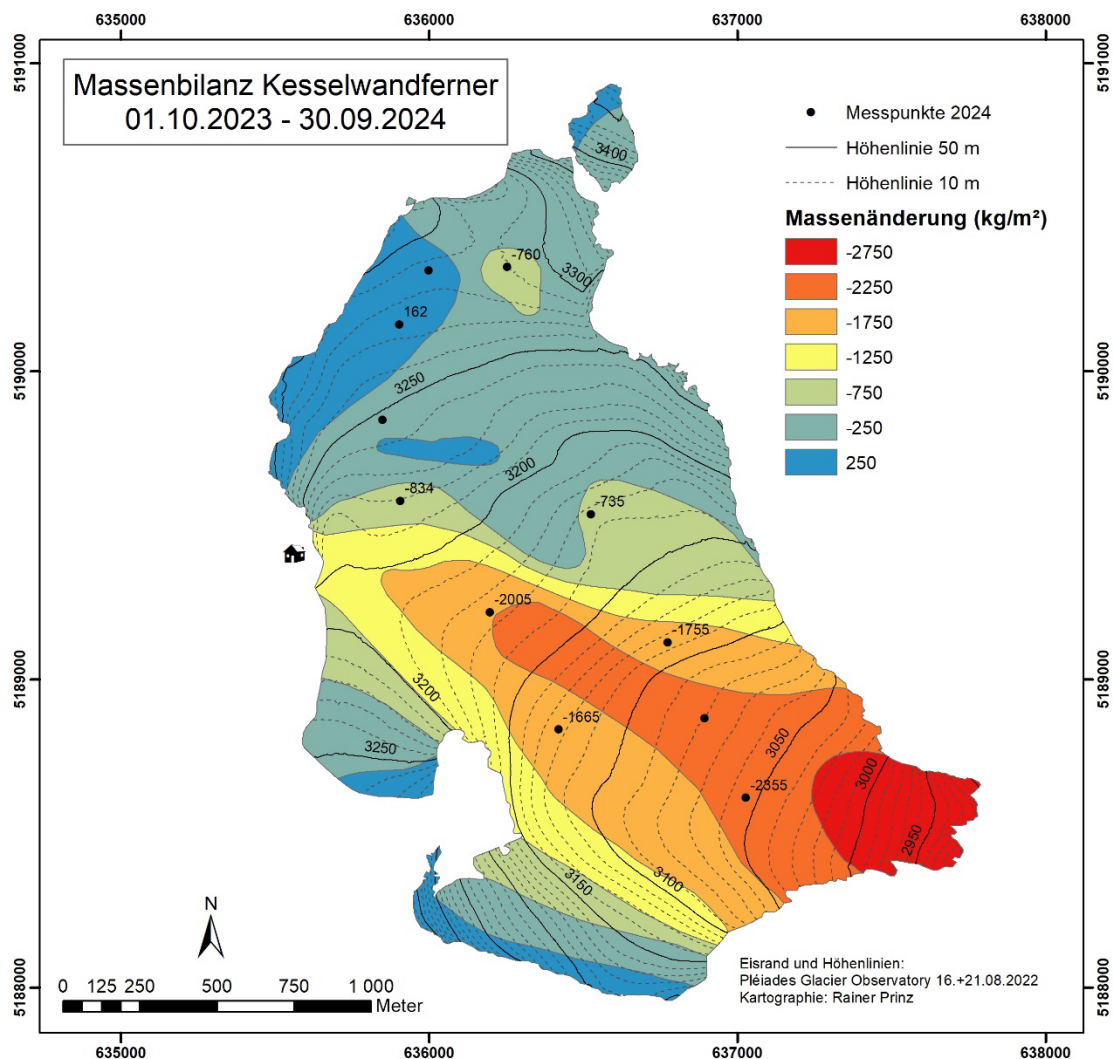


Abbildung 15: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 01.10.2023 – 30.09.2024.

Tabelle 9: Kennzahlen und Massenbilanz des Kesselwandfeners im Haushaltsjahr 2023/24 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

	gesamtes Jahr					
	Fläche	B	b			
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]			
	3374	-3319053	-984			
S _C [10 ³ m ²]	340		B _C [m ³ w.e.]	85054	b _C [mm w.e.]	250
S _A [10 ³ m ²]	3034		B _A [m ³ w.e.]	-3404107	b _A [mm w.e.]	-1122
ELA	3447	m.a.s.l.	S _C /S _A	0.112	AAR	0.101
	Jahresbilanz					
	Höhenstufe	Fläche	B	b		
	[m.a.s.l.]	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]		
	2875	0	-645	-2750		
	2925	38	-103768	-2750		
	2975	70	-192097	-2744		
	3025	193	-458023	-2377		
	3075	439	-845744	-1928		
	3125	492	-692801	-1408		
	3175	756	-711572	-941		
	3225	688	-260477	-379		
	3275	540	-37236	-69		
	3325	106	-11377	-107		
	3375	16	-2575	-159		
	3425	30	-3773	-125		
	3475	7	1036	158		
	Summe	3374	-3319053	-984		

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 Totalisatorstandorte elektronische Niederschlagswaagen, mit denen die Messreihe fortgeführt wird. Die Standorte Rofenberg und Hochjochhospiz werden derzeit nicht weiter betrieben.

C.4.1 Erkenntnisse aus jüngsten Arbeiten

In seiner Masterarbeit vergleicht Winter (2022)⁴ 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 Vernagtbach gibt ebenfalls 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) ist allerdings nur knapp nicht signifikant.
- 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.

⁴ <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)⁵ 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 sehr einfachen, empirischen Modell, Δ Snow (Winkler et al., 2021), ermittelt wurden. Wobei letzteres Modell aufgrund seiner Genauigkeit trotz großer Einfachheit besonders hervorsteicht 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).

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.

⁵ <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 +16%). 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 872 mm (Waage ACINN) und 1016 mm (Waage HD). Der Niederschlag nimmt mit der Höhe zu und erreicht auf der Station Hintereis (3030 m) etwas mehr als das 2-fache als in Vent (1905 m). In einzelnen Monaten kann der Niederschlag auch über das 3-fache erreichen (z.B. im April). Besonders in Monaten mit Schneeniederschlag registrieren einzelne Waagen weniger Niederschlag als in Vent. Auch hier kann Windexposition als mögliche Ursache für die Unterschätzung der Niederschlagsmenge angenommen werden, zum Teil auch Regen in Vent und Schneefall auf höher gelegenen Stationen.

Der Winterniederschlag 2023/24 (Okt.-Apr.) in Vent beträgt 450 mm, auf der Station Hintereis 1139 mm – ungefähr das 2.6-fache; ein im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren hoher Gradient. Die Wintermassenbilanz, die grob dem Gebietsniederschlag am Hintereisferner im selben Zeitraum entspricht, ergibt 1700 mm oder etwa das 3.8-fache des Winterniederschlages von Vent.

Der unkorrigierte Niederschlag auf der Station Hintereis der Winter 2020-23 unterschätzt die Winterbilanz um 36% bis 51%. Nach Korrektur des Niederschlages (Kochendorfer et al., 2017) wird die Winterbilanz um 10% bis 16% überschätzt, für 2024 um mehr als 100%. Aufgrund der vielen Niederschlagstage und des beständigen starken Windes ergeben die Faktoren ein 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 2023/24.

Messstelle	Betreiber	Höhe	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	HHJ 2024
Vent	ACINN	1905 m	86	82	93	30	39	83	38	123	80	90	47	81	872
Vent	HD Tirol	1890 m	100	109	120	36	47	102	47	133	85	99	48	92	1016
Verhältnis Vent ACINN			1.17	1.32	1.29	1.22	1.23	1.22	1.21	1.08	1.05	1.09	1.02	1.14	1.16
Martin-Busch-Hütte	HD Tirol	2470 m	155	102	139	42	64	146	43	165	108	90	78	121	1251
Verhältnis Vent ACINN			1.81	1.24	1.50	1.39	1.67	1.75	1.11	1.34	1.34	1.00	1.66	1.49	1.43
Vernagtbach	HD Tirol	2640 m	77	103	134	41	55	63	26	109	90	128	82	106	1013
Verhältnis Vent ACINN			0.90	1.26	1.44	1.38	1.42	0.75	0.68	0.88	1.12	1.42	1.75	1.31	1.16
Provianddepot	IGI	2737 m	88	86	151	46	52	127	91	131	94	112	68	110	1156
Verhältnis Vent ACINN			1.03	1.05	1.63	1.53	1.34	1.53	2.37	1.06	1.17	1.24	1.44	1.36	1.33
Latschbloder	IGI	2910 m	122	131	135	51	45	106	48	130	121	125	109	129	1252
Verhältnis Vent ACINN			1.43	1.59	1.46	1.70	1.16	1.27	1.24	1.06	1.50	1.39	2.33	1.59	1.44
Station Hintereis	ACINN	3030 m	249	174	198	72	107	217	120	189	131	184	94	155	1893
Verhältnis Vent ACINN			2.92	2.13	2.14	2.41	2.78	2.61	3.14	1.54	1.64	2.03	2.00	1.92	2.17

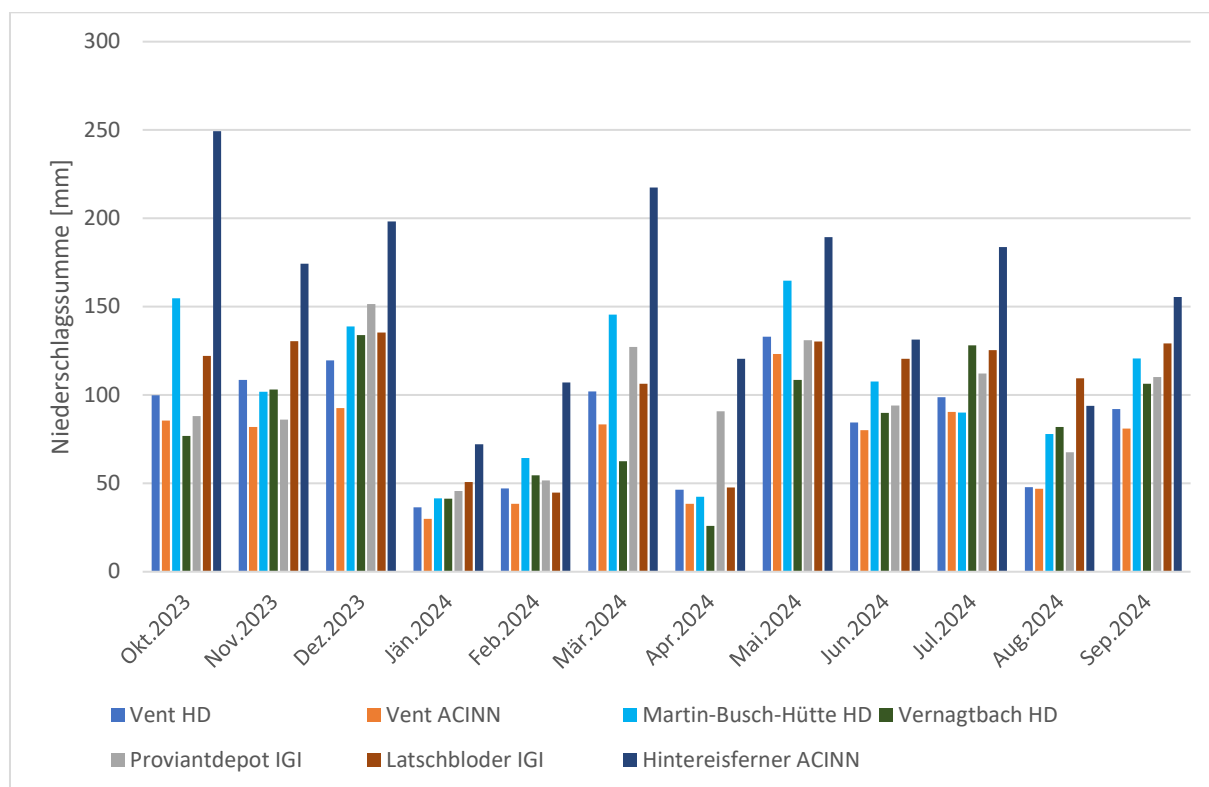


Abbildung 16: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaagen. Beachtlich ist der Niederschlag an der Station Hintereis/Hintereisferner besonders in Monaten mit Südtaulagen (Oktober, März) mit gleichzeitig geringeren Niederschlägen an der Station Vernagtbach.

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 2023/24 im Rofental erforderten vier Arbeitseinsätze am HEF und einen am KWF, die zum Teil mehrtägig absolviert wurden. Am HEF wurden sechs Pegel neu gebohrt, am KWF musste kein Pegel neu gebohrt werden. 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

- 17 Personentage – HEF Massenbilanz
- 2 Personentage – KWF Massenbilanz
- 11 Personentage – Wartung von Station Hintereis, Wetterstationen und Pluviometer

Personen:

Universität Innsbruck: Rainer Prinz, Lindsey Nicholson, Emily Collier, Marie Schroeder, Alzbeta Medvedova, Leo Schlagbauer, Moritz Mairl, Jan Beutel, Dominik Amschwand, Studierende des Feldkurses für Atmosphärenwissenschaften

ETH Zürich: Annelies Voordendag

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 25.+26.04.2024: Hintereisferner Winterbilanz

Ziel der Feldkampagne:

- Messung der Winterbilanz am Hintereisferner
- Kontrolle Station Hintereis
- Auslesen der Wetterstationen HEF30, HEF27 und STHE
- Zeitgleicher ALS Flug Inst. f. Geografie
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Marie Schroder, Alzbeta Medvedova – ACINN
- Annelies Voordendag – ETH Zürich

Ausgeführte Arbeiten:

25.04.: Flug von Rofen auf die Station Hintereis zum Transport von Material und Sensoren (08:30). Weiterflug zur Position HJ. Schneehöhensondierungen bis TE (HEF30). Tausch der Membran des Schneehöhensensors, Ausgraben der Loggerbox und Auslesen der Daten. Anlage eines Schneeschachtes zur Dichtemessung bei Position TE. Sondierung bis Punkt 89 danach Aufstieg zur Station Hintereis.

Wartung Station Hintereis:

- Freischaufeln des westseitigen Lüftungseinlasses der Heizung.
- Montage des neuen 1.Hilfe Kastens.
- Neue Leintücher aufgezogen, Polsterabgezogen (keine zweite Garnitur)
- Es braucht einen Tausch der Gasflaschen!!
- Wetterstation
 - Tausch des T/RH Fühlers: Feuchtemessung defekt
 - Auslesen der Daten (nur Meteo_Ilf und 1 h Daten des Pluviometers)
 - FlowCapt wieder montiert
 - Pluvio nicht entleert (gefroren!)

26.04.: Sondierung der Schneehöhe an allen verbleibenden Punkten. HEF27: Ausgraben der Loggerbox und Auslesen der Daten. Anlage eines Schneeschatzes zur Dichtemessung.

Abholung mit Helikopter am Zungenende gegen 15:30. Anflug STHE scheiterte aufgrund von Schlechtwetter, also ist alles Material (Leintücher, Polster, alter 1. Hilfe Kasten, Werkzeug) auf der Station verblieben.

Aufgrund von wetterbedingten Verschiebungen im Helikopterzeitplan konnte kein zeitgleicher ALS Flug durchgeführt werden. Dieser wird auf unbestimmte Zeit verschoben.

Situation:

25.04.: Bewölkung 0-3/8, morgens kalt mit -15°C auf 3000 m, Tageserwärmung mit Sonneneinstrahlung. Wind vormittags schwach aus N, nachmittags SW. 26.04.: Beginnende Südföhnlage mit 3/8 Bewölkung am Vormittag bis 7/8 nachmittags. Erwärmung auf -10°C auf 3000 m. Wind aus SW, im Tagesverlauf Steigerung auf mäßig. Überdurchschnittliche Schneehöhe. Schneedecke TE noch kalt und trocken, bei HEF27 unterhalb des zweiten Saharastaubhorizontes feucht und isotherm. Geringer Dichtegradient zwischen diesen Punkten.

Tabelle 12: Auswertungen Schacht TE und HEF27.

Schacht: TE	H = 400 cm	X:	Y:	Alt: 3030 m	Date:	25.04.2024
R. Prinz, M. Schroeder, A. Medvoda, A. Voordendag					Time:	11:00 MESZ
Rohr (cm³)	525	Tara (g)	545			
Radius (cm)	2.82					
Abstich	Füllhöhe [cm]	Masse [g]	Masse korr. [g]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [kg/m²]	
1	21.0	630	85	162	34	
2	21.0	690	145	276	58	
3	21.0	770	225	429	90	
4	20.5	770	225	439	90	
5	21.5	770	225	419	90	
6	21.0	770	225	429	90	
7	21.0	750	205	391	82	
8	21.0	765	220	419	88	
9	21.0	770	225	429	90	
10	21.0	780	235	448	94	
11	21.0	785	240	457	96	
12	21.0	780	235	448	94	
13	21.0	795	250	477	100	
14	21.0	795	250	477	100	
15	21.0	795	250	477	100	
16	21.0	800	255	486	102	
17	21.0	800	255	486	102	
18	21.0	800	255	486	102	
19	21.0	790	245	467	98	
Gesamt	399.0	13975	4250	426	1701	
Korrektur	Akkumulation Sep 2023				0	
	Korrekture Schneehöhe				4	
Korrigierter Wasserwert für 30.04.2024					1705	
Stratigrafie						
400-360	Neuschnee April					
360-350	Schmelzkrusten mit Saharastaub					
350-315	viele Eislamellen					
315-310	Schmelzkrusten mit viel Saharastaub					
3-0	aufbauend umgewandelt					
0	Oberfläche September 2023					

Schacht: AWS27	H = 312 cm	X:	Y:	Alt: 2746 m	Date:	26.04.2024
R. Prinz, M. Schroeder, A. Medvoda, A. Voordendag					Time:	11:00 MESZ
Rohr (cm³)	525	Tara (g)	550			
Radius (cm)	2.82					
Abstich	Füllhöhe [cm]	Masse [g]	Masse korr. [g]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [kg/m²]	
1	20.0	690	140	280	56	
2	21.0	775	225	429	90	
3	21.0	790	240	457	96	
4	21.0	780	230	438	92	
5	21.0	775	225	429	90	
6	21.0	765	215	410	86	
7	21.0	795	245	467	98	
8	21.0	795	245	467	98	
9	21.0	800	250	477	100	
10	22.0	800	250	455	100	
11	21.0	820	270	515	108	
12	21.0	790	240	457	96	
13	21.0	795	245	467	98	
14	21.0	810	260	496	104	
15	8.0	670	120	600	48	
Gesamt	302.0	10960	3400	451	1361	
Korrektur	Akkumulation Sep 2023			0		
	Korrekter Schneehöhe			45		
Korrigierter Wasserwert für 30.04.2024				1406		
Stratigrafie						
312-293	Neuschnee April					
293-285	Schmelzkrusten mit Saharastäub					
285-255	viele Eislamellen					
255-247	Schmelzkrusten mit viel Saharastäub					
247-0	Schnee feucht, isotherm					
212-210	Eisschicht					
197-195	Eisschicht					
150-147	Eisschicht					
0	Oberfläche September 2023					



Abbildung 17: Beachtliche Schneehöhe von 4 m bei HEF_30 (CRNS) und Schacht TE. Foto: Rainer Prinz, 25.04.2024.

Tabelle 13: Werte der Schneehöhensondierungen zur Bestimmung der Winterbilanz

Ident	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Snowdepth (cm)	Density (kg/m ³)	Accumulation Sep 2023 (kg/m ²)	Accumulation Mai2024 (kg/m ²)	SWE (kg/m ²)	Comment
L8	46.8102504	10.7820117	2587	288	451	0	0	1297	
50	46.808264	10.78095	2608	167	451	0	0	753	
42	46.809916	10.778734	2616	290	451	0	0	1308	
L7	46.808111	10.777825	2639	273	451	0	0	1231	
22	46.804945	10.776727	2681	221	451	0	0	997	
51	46.80599	10.772458	2691	258	451	0	0	1164	
L6	46.803368	10.772829	2730	280	451	0	0	1263	
26	46.800765	10.773501	2743	265	451	0	0	1195	
AWS27	46.800438	10.770628	2746	312	451	0	0	1407	Pit
71	46.799869	10.768088	2780	294	451	0	0	1326	
LIDAR	46.797725	10.76968	2798	281	451	0	0	1267	FES: 20 cm
L4	46.7941051	10.764654	2873	304	426	0	0	1295	
88	46.7953727	10.7670406	2888	302	426	0	0	1287	
89	46.7932268	10.7620542	2898	317	426	0	0	1350	
L3	46.792933	10.758196	2916	335	426	0	0	1427	
103	46.7911526	10.7535505	2976	385	426	0	0	1640	
101	46.793838	10.752814	2989	360	426	0	0	1534	
TE	46.7909599	10.7484997	3030	416	426	0	0	1704	Pit
TE_B	46.790513	10.750396	3033	400	426	0	0	1772	
104	46.7925414	10.7457075	3085	420	426	0	0	1789	
WP28	46.794858	10.743616	3098	410	426	0	0	1747	
105	46.793762	10.7423794	3128	455	426	0	0	1938	
WP26	46.79127	10.742962	3131	350	426	50	0	1441	
WP27	46.78935	10.742626	3164	525	426	50	0	2200	Minimum
110	46.7879544	10.7396239	3229	470	426	50	0	1952	
111	46.7890017	10.7358449	3287	450	426	50	0	1867	
HJ	46.7919346	10.7347786	3320	515	426	50	0	2144	

D.2.2 Feldkampagne 06.07.2024 Feldkurs

Ziel der Feldkampagne:

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

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, sechs Studierende – ACINN
- Jörg Hölzl – Bergführer Meran

Ausgeführte Arbeiten:

06.07. Von der Schönen Aussicht über das Teufelsegg zur AWS HEF30 (CRNS), immer wieder Messungen mit dem EcoBot. Aufgabe der Studierenden war es räumliche Unterschiede der Albedo 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.

Situation:

Schneegrenze unterhalb L5. Warmer aber feuchter Sommertag mit 6/8-8/8 Bewölkung und knapp 10°C auf 3000 m. Leichter Wind. Saharastaub an der Schneeoberfläche.



Abbildung 18: Studierende des ACINN bei der Datenakquisition der Lehrveranstaltung Feldkurs für Atmosphärenwissenschaften. Foto: Rainer Prinz, 06.07.2023.

D.2.3 Feldkampagne 07.+08.08.2024 Hintereisferner

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung
- Bohren von Pegeln
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Lindsey Nicholson – ACINN
- Martin Prettnner - privat

Ausgeführte Arbeiten:

Zu Fuß zur Station Hintereis. Neubohrung der Pegel L7, 26, L5 (=LIDAR), L4. Ablesung aller Pegel unterhalb von L4. Darüber noch zum Teil starke Schneebedeckung.



*Abbildung 19: Der neu gebohrte Pegel L5 (LIDAR), oder auch "Lollipop" genannt.
Foto: Lindsey Nicholson 08.08.2024*

D.2.4 Feldkampagne 07.09.2024 Kesselwandferner

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung aller Pegel
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Emily Collier – ACINN
- Moritz Mairl – Institut für Ökologie Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Helikopter von Rofen zum Kesselwandferner. Ablesung aller Massenbilanzpegel. Schacht zur Messung der Massenrücklage bei K20. Zu Fuß nach Rofen.

Situation:

Warmer Sommertag mit $\sim 10^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Mäßiger Wind aus S, annähernd wolkenlos.



Abbildung 20: Pegel K12 am Kesselwandferner. Foto: Emily Collier, 07.09.2024.

Tabelle 14: Die bescheidene Massenrücklage aus dem letzten Winter an Punkt K20.

Schacht: K20	H = 6.75 cm			Alt: m	Date:	07.09.2024			
E. Collier, M. Maierl					Time:				
Durchmesser Rohr cm		5.64							
Abstich	Füllhöhe [cm]	Masse [g]	Tara [g]	korrigierte Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [mm w.e.]			
1	4.5	590	535	0.055	489	22	Altschnee aus dem Winter 23/24		
Gesamt:	4.5	590	535	0.055	489	22	22		

D.2.5 Feldkampagne 07.09.2024 Abschlussbegehung HEF

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung aller Pegel
- Bohren von Pegeln
- Auslesen der Wetterstationen
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Lindsey Nicholson, Leopold Schlagbauer – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Helikopter von Rofen zur Station Hintereis. Ablesung aller Massenbilanzpegel (außer 110 und 111). Neubohrung von 101 und L3.

Auslesen der Stationen HEF27 und HEF30. Die Schneelast des Winters ließ die Halterung des Schneedriffsensors und den Sensor selbst brechen. Sensor abmontiert. Auch das Gehäuse des unteren Thermometers ist beschädigt. Notdürftig repariert. Tausch der Speicherkarte SmartStake. Zu Fuß nach Rofen.

Situation:

Warmer Sommertag mit ~10°C auf 3000 m. Mäßiger Wind aus S, annähernd wolkenlos.

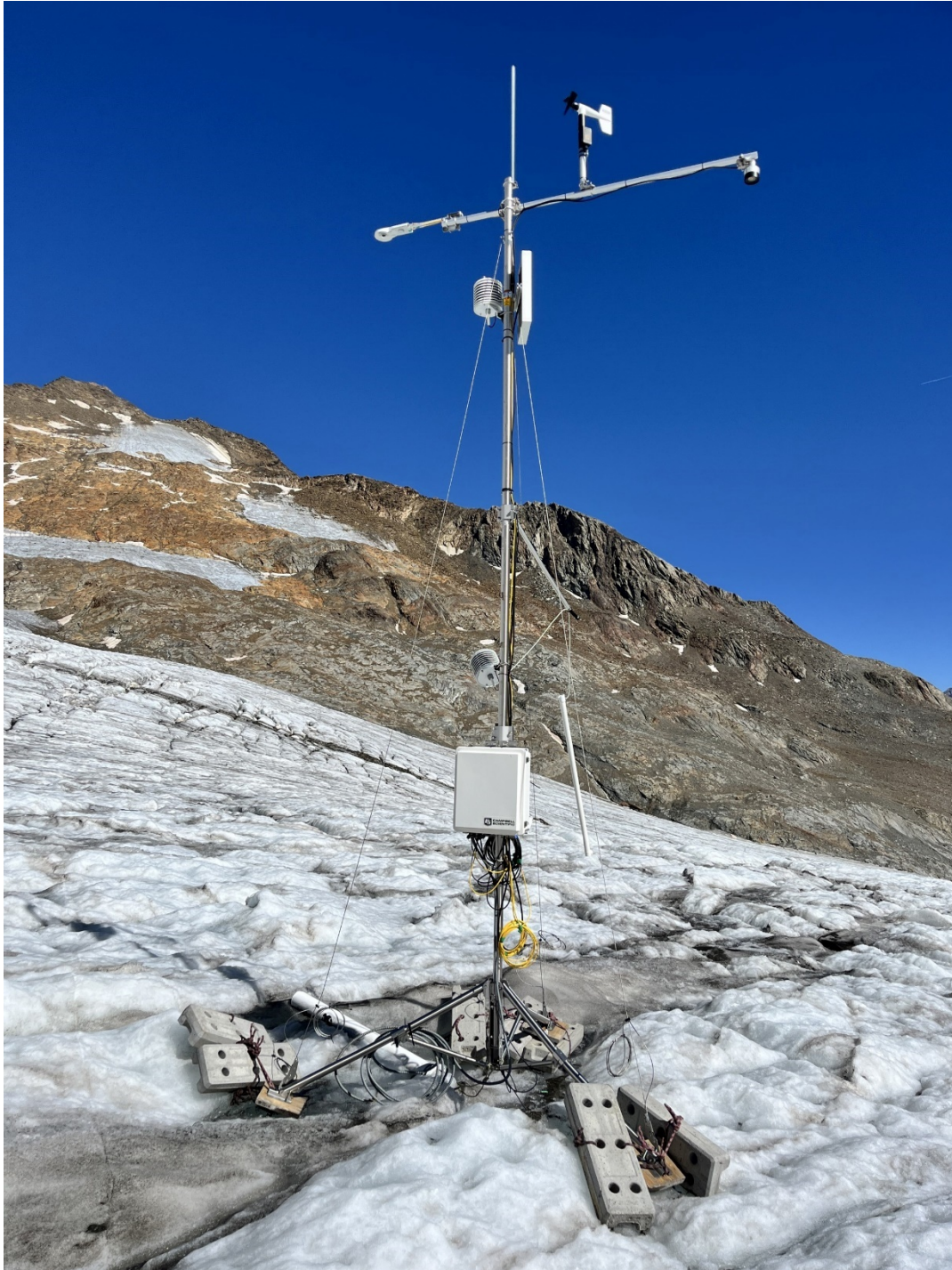


Abbildung 21: Die Wetterstation HEF_30 an der Schachtposition TE misst neben Variablen der Energiebilanz auch kontinuierlich Schneewasseräquivalent aus kosmischen Neutronen. Durch die hohe Schneelast des Winters wurde die Halterung des Schneedriffsensor und der Sensor selbst zerstört. Das Gehäuse des unteren Thermometers ist gebrochen. Keine Massenrücklagen an der Langtauferspitze (Hintergrund). Foto: Lindsey Nicholson, 07.09.2024.

D.2.6 Feldkampagne 22.10.2024

Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Pluvio Station Hintereis
- Tausch der Batterie an der Station HEF30
- Schneedichte HEF30
- Wartung Pluvio im Hinteren Eis
- Check PC im Hinteren Eis
- Wartung Vent

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Lindseys Nicholson – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Heli von Rofen zu HEF30. Tausch der 5 Jahre alten Batterie, die im Winter immer wieder Aussetzer hatte. Befestigung des Thermometergehäuses. Abspannungen der Wetterstation waren locker und hatten sich gelöst. Wieder nachgespannt und repariert. Messung der Massenrücklage in einem Schneeschacht (42 cm), weil ein Großteil des Schnees aus dem September stammte.

Weiter zur STHE: Neuer Gefrierschutz für Pluviometer und Ersatztopf in der Hütte verstaut, sollte einmal der Pluvio einfrieren.

IHE: War leider in Wolken und konnte nicht angefliegen werden.

Vent: Neuer Gefrierschutz, Sichtkontrolle.

Situation:

Warmer Herbsttag mit 3°C auf 3000 m. Kräftiger Wind aus S (Föhn) mit Staubewölkung am Rofenberg. Nördlich davon wolkenlos.

Tabelle 15: Dichte und Masse der Akkumulation vom September 2024.

Schacht: TE	H = 42 cm	X:	Y:	Alt: 3030	Date: 22.10.2024
R. Prinz, L. Nicholson					Time: 14:30 MESZ
Zylinder, Durchmesser (cm)		5.64			
Höhe [cm]	Tara [g]	Masse [g]	korr. Masse [g]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [kg/m²]
21	540	760	220	419	88
21	540	730	190	362	76
42			410	391	164

D.3 Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental

D.3.1 Stromversorgung im Hinteren Eis 03.01.2024

Teilnehmer

- Rainer Prinz – ACINN

Vorgeschichte

Nach dem Defekt am 24.12.2022 wurde die Stromleitung in Hintere Eis am 24.08.2023 durch die Firma Elektro Permoser repariert und dreiphasig angeschlossen. Wetterstation und Container hatten wieder Strom, Details zur Funktionalität der Geräte konnten aufgrund Zeitmangels nicht erhoben werden, außer dass der PC im Container kaputt war und nach Innsbruck gebracht wurde. Philipp Vettori bemerkte Schäden der Ultraschallwindsensoren, die keine oder unklare Signale sandten.

Die Stromversorgung lief allerdings nicht stabil, weil vermutlich nicht alle Schadstellen im Kabel gefunden und repariert wurden. So fiel der Strom am 03.09. wieder aus. Philipp Kofler konnte dankenswertereise kleinere Reparaturen durchführen und am 08.09. die Versorgung wieder herstellen.

Am 10.09. konnte Rainer Prinz einen neuen PC in den Container bringen. Trotz Strom an der Wetterstation konnte keine Stromversorgung in den Container hergestellt werden. Aufgrund des wartenden Helikopters blieb keine Zeit für nähere Analysen.

Am 14.09. brach die Stromversorgung ins Hintere Eis schließlich wieder zusammen. Am 13.10. wurde wieder repariert, am 21.10. brach die Versorgung nach 19:00 Uhr wieder ab.

Ausgeführte Arbeiten

Auffahrt mit der Schnalstaler Gletscherbahn zur Bergstation Hintereislift. Weiter mit Ski, Ankunft gegen 10 Uhr.

Strom: Die fehlenden Überspannungsschützer Hintereislift Berg wurden ersetzt. Die Sicherung war gefallen, konnte allerdings stabil eingeschaltet werden.

PC: automatischer reboot funktioniert.

Datenverbindung: Der Router am Mast der Wetterstation konnte sofort eine Datenverbindung von der Wetterstation nach Innsbruck aufbauen.

Sensoren:

- Der PC im Container läuft problemlos.
- Die Webcams funktionieren einwandfrei.

- Das Netzteil des Metek 3D-Anemometers wurde ersetzt. Der provisorische Anschluss des Metek an ein Ventus Netzteil wurde wieder rückgebaut, der Ventus wieder angeschlossen.
- Beide Temperatur- und Feuchtesensoren funktionieren einwandfrei.

Abfahrt um ca. 11:30 Uhr zur schönen Aussicht, im Tal um ca. 12:45. Kurzes Treffen mit Philipp Kofler.

Situation

Warmer Wintertag mit etwa -7°C auf 3000 m. Bewölkung 1-3/8. Böiger Wind aus W tw. stark.

Am 03.01. nach 23:00 Uhr ist die Stromversorgung wieder zusammengebrochen. Philipp Kofler am 04.01. telefonisch informiert.

29.01.2024: Tel P Kofler: Hat alles durchgemessen, Kurzschlüsse auf allen Phasen. Elektro Permoser für Sommer 2024 wieder engagieren.

D.3.2 Reparatur Stromversorgung Im Hinteren Eis 30.09. + 01.10.2024

Ziel der Feldkampagne:

- Wiederherstellung der Stromversorgung
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Messtechnik Permoser (Christian und Manuel)

Ausgeführte Arbeiten:

30.09. Frühe Anfahrt damit Treffpunkt um 07:00 in Kurzras. Auffahrt mit Mitarbeiter der Gletscherbahn und Hintereislift. Aufsuchen der Fehlerstellen im Kabel schwierig, da nicht immer eindeutig. Fehler gegen 14:30 gefunden, ausgegraben und behoben. Zu Fuß zur Schönen Aussicht. Nächtigung. Insgesamt eine schlampig geflickte Stelle und ein paar Meter weiter einen massiven Blitzschlag repariert. Aufgegrabene Stellen wieder abgedeckt. Beide Schadstellen im alten Kabelteil entlang des Rückens gleich oberhalb der Bergstation Hintereislift.

01.10. Mit Lift wieder hinauf. Wiederherstellung und Test der Stromversorgung. Jetzt wieder dreiphasige Stromversorgung mit guten Kabelwerten im Hinteren Eis. Wetterstationen, Fenster im Container und Webcams funktionieren. Remoteverbindung zum PC im Container fehlerhaft. Protective housing des TLS wird wieder belüftet, aber kein Funktionstest durchgeführt.

Auf Bitte von Paul Gedenktafel für Michael und Monika Grüner im Hinteren Eis montiert.

Abfahrt mit Lift gegen 13:00 mit einsetzendem Schneefall.

Pluvio IHE gefroren, kein Gefrierschutz im Container!

Situation:

30.09. Schwach bewölkter Herbsttag mit 0°C auf 3000 m. Kammnah kräftige Böen aus N. 01.10. Hohe Bewölkung, wenig Wind. Bis Mittag Annäherung einer Kaltfront aus W mit einsetzendem Schneefall.



Abbildung 22: Die Schadstelle in der Stromleitung zum Hinteren Eis wurde endlich gefunden und repariert. Trotz dieses Schadens (Blitzschlag) konnten unsere Installationen acht Jahre lang mit Strom versorgt werden. Die einzelnen Leiter waren aufgespreizt und das Luftvolumen dazwischen reichte meist zur gegenseitigen Isolation aus. Bei Feuchte oder Gewittern jedoch nicht mehr und die Leitung blieb durch Kurzschluss tot. Foto: Rainer Prinz, 30.09.2024

D.3.3 Feldkampagne 15.11.2024 Im Hinteren Eis: Öffnen der Permafrostbohrlöcher

Ziel der Feldkampagne:

- Öffnung der beiden Bohrlöcher zur Temperaturmessung im Permafrost
- Wiederherstellung der Remote Desktop Verbindung zum PC im Container
- Wartung Pluviometer
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Jan Beutel, Dominik Amschwand – Institut für Informatik, Universität Innsbruck

Hintergrund

Bei der Errichtung der Installationen im Hintereis 2016 wurden mit einer Bohrlafette Verankerungen für den Container und die Wetterstation errichtet. Im Zuge dessen wurden auch zwei Permafrostbohrlöcher (eines am Kamm neben der Wetterstation, eines im Nordhang neben dem Container) gebohrt. Fehlendes Personal aber auch unzureichende Dokumentation ließen die Bohrlöcher in Vergessenheit geraten, bis im Zuge eines Austausches zwischen Jan Beutel und Rainer Prinz diese Bohrlöcher wieder ins Gespräch kamen und Jan Beutel sich offen für eine mögliche Instrumentierung zeigte.

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Heli ab Rofen gegen 09:15 ins Hintereis. Abholung gegen 13:15.

Öffnung des oberen Bohrloches neben dem Pluviometer mit Kovacsbohrer problemlos. Nur in den obersten 1-2 m Schnee, Reif und wiedergefrorenes Schmelzwasser, nach unten hin frei; Tiefe 10 m. Bestätigung einer durchgängigen Kunststoffauskleidung des Bohrloches mittels Endoskopkamera. Das untere Bohrloch war zur Gänze mit Eis verfüllt, konnte aber bis in eine Tiefe von 8.5 m aufgebohrt werden. Jan Beutel überlegt Instrumentierung und weiteres Vorgehen.

Remote Desktop Verbindung mit PC im Container wurde wiederhergestellt. Der Fehler lag in der Konfiguration des PC im Container. Scanner ansprechbar. Scanprogramme müssen überarbeitet werden.

Pluvio IHE gefroren, aufgetaut (im Container) und getauscht (5 l Gefrierschutz, 0.5 l Wasser, 0.5 l Paraffinöl). Topf abgenommen 09:40, wieder funktionsfähig 12:00 (LT). 10 l Frostschutz im Container deponiert.

Situation:

Warmer, weitgehend wolkenloser Herbsttag mit etwa 0°C auf 3000 m. Schwacher Wind aus N.