
HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2021/22
- inklusive der Auswertungen der Niederschlagsmessung im Rofental



Der Hintereisferner zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung am 06.09.2022. Quelle: foto-webcam.eu, Hintereisferner1 (Im Hinteren Eis)

HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2021/22

Innsbruck, im November 2022

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 2021/22.

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-4
C.2.1	Winterbilanz	C-4
C.2.2	Jahresbilanz	C-6
C.2.3	Geodätische Massenbilanz	C-8
C.3	Massenbilanz Kesselwandferner	C-13
C.4	Niederschlagsmessungen im Rofental	C-18
C.4.1	Vergleich der Niederschlagsmessungen im Rofental	C-18
C.5	Literaturverzeichnis.....	C-20
C.6	Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole	C-21
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 18.-19.04.2022 – Winterbilanz am HEF	D-2
D.2.2	Feldkampagne 25.06.2022	D-6
D.2.3	Feldkampagne 02.07.2022	D-8
D.2.4	Feldkampagne 03.+04.08.2022	D-9
D.2.5	Feldkampagne 05.09.2022: KWF.....	D-10
D.2.6	Feldkampagne 22.+23.09.2022	D-11
D.3	Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental	D-13
D.3.1	Feldkampagne 16.12.2021: Im Hinteren Eis.....	D-13
D.3.2	Feldkampagne 23.12.2021: AWS CRNS	D-14

D.3.3	Feldkampagne 22.03.2022: Abbau MOMAA HEZ; Kontrolle StHE	D-16
D.3.4	Feldkampagne 10.08.2022: Wartung StHE	D-18
D.3.5	Feldkampagne 05.10.2022: Wartung Wetterstationen Vent und StHE	D-20
D.3.6	Feldkampagne 13.10.2022: Wartung Im Hinteren Eis und Tisenjoch	D-21

A. ZUSAMMENFASSUNG

Am **Hintereisferner** brachte das Haushaltsjahr 2021/22 mit **-3319 mm w.e.**¹ (Tabelle 1) die negativste Massenbilanz seit Beginn der Aufzeichnungen 1953. Die Winterbilanz mit 691 mm w.e. liegt ca. 40% unter dem Durchschnitt der letzten 10 Jahre. Aufgrund der intensiven Ablation blieben keine Massenrücklagen erhalten. Die ELA ist somit unbestimmt und liegt oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers. Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte ein trockenes Winterhalbjahr mit geringmächtiger Schneedecke. Aufgrund des warmen Frühlings konnte die Winterschneedecke außerordentlich schnell geschmolzen werden, sodass der Hintereisferner bereits Ende Juni vom Winterschnee befreit war und die Firn- und Eisablation den ganzen Sommer wirken konnte. Nennenswerte sommerliche Neuschneefälle fehlten zur Gänze. Insgesamt führte der schneearme Winter in Kombination mit dem zu warmen Sommer schließlich zu einer negativen Rekordmassenbilanz und zu einem Verlust von 4.9% des Gletschervolumens oder 20 Mio m³ Wasser.

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

Tabelle 1: Kennzahlen des Bilanzjahres 2021/22 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]
	6142	4245272	691	-24628750	-4010	-20383478	-3319
S _C [10 ³ m ²]	0		B _C [m ³ w.e.]	0		b _C [kg/m ²]	0
S _A [10 ³ m ²]	6142		B _A [m ³ w.e.]	-20383478		b _A [kg/m ²]	-3319
ELA	NaN	m a.s.l.	S _C /S _A	0.000		AAR	0.000

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 2021/22 mit **-2800 mm w.e.** ebenfalls einen Negativrekord in der Massenbilanzreihe (Abbildung 1 und Tabelle 2). Die ELA ist wie am Hintereisferner unbestimmt und liegt oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers.

Tabelle 2: Kennzahlen des Bilanzjahres 2021/22 für den Kesselwandferner

		gesamtes Jahr					
	Fläche	B	b				
	[10³ m²]	[m³ w.e.]	[mm w.e.]				
	3549	-9935489	-2800				
S _C [10³ m²]	0		B _C [m³ w.e.]	0		b _C [mm w.e.]	0
S _A [10³ m²]	3549		B _A [m³ w.e.]	-9935489		b _A [mm w.e.]	-2800
ELA	NaN	m.a.s.l	S _C /S _A	0.000		AAR	0.000

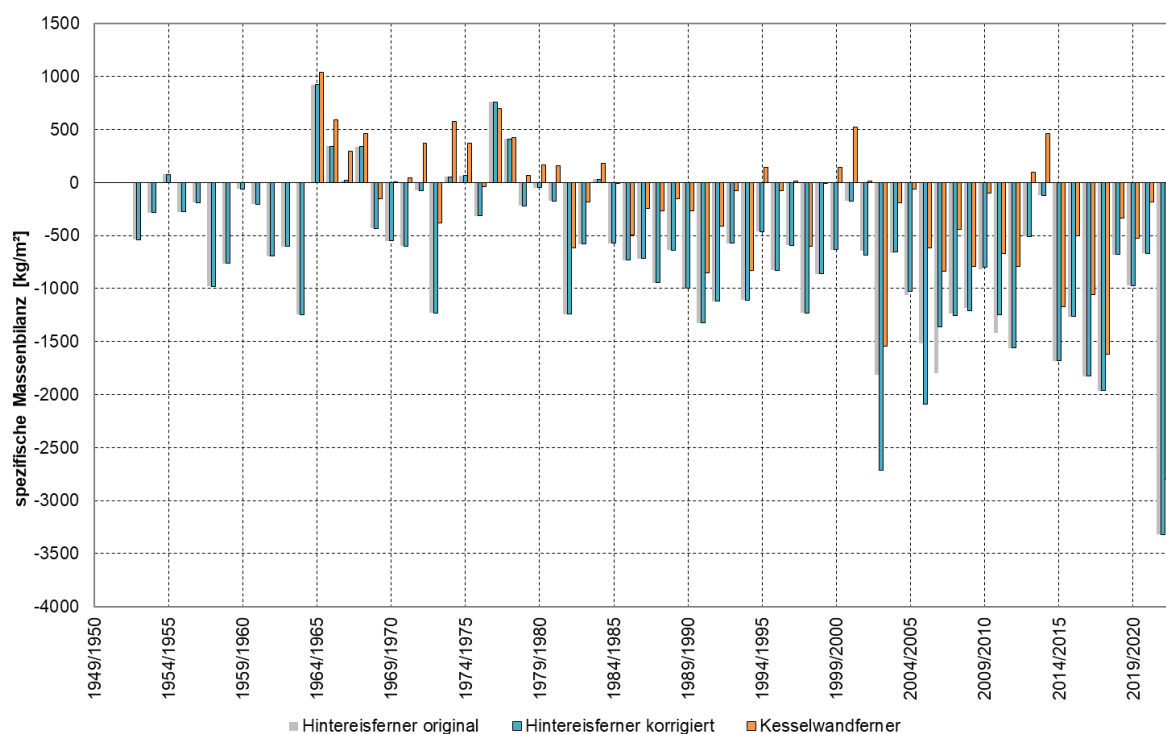


Abbildung 1: Die Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandfern timers (Quelle: ACINN). Die Bilanzjahre 2001 – 2011 wurden für den HEF nach Klug et al. (2018) korrigiert.

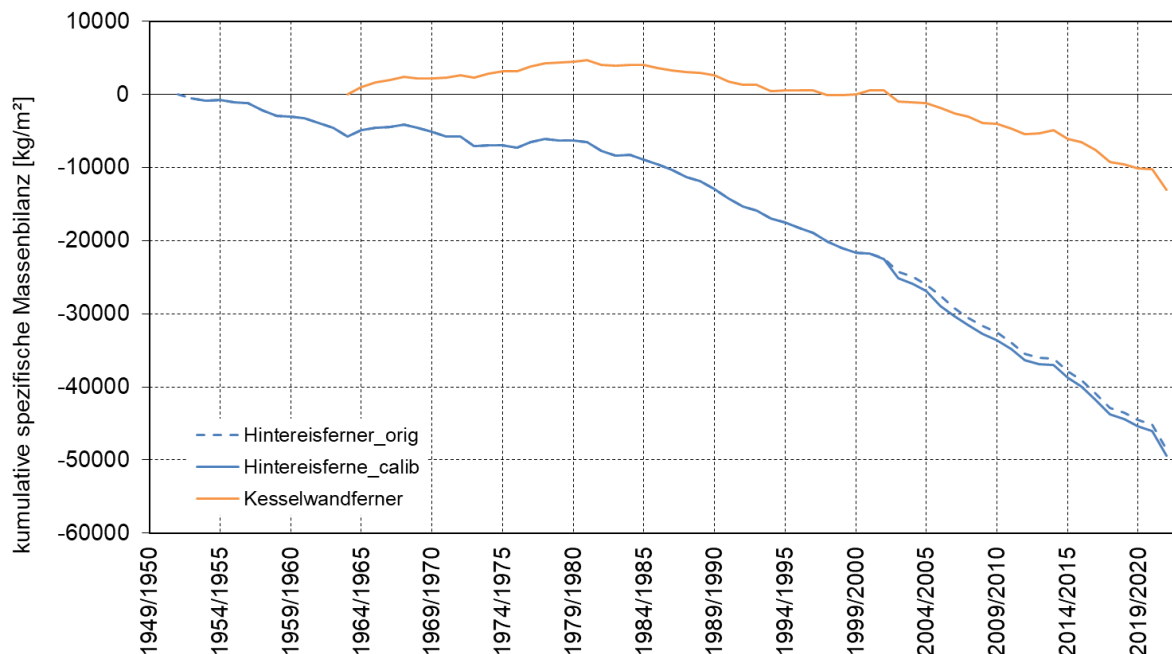


Abbildung 2: Die kumulativen Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandferners (Quelle: ACINN). Die Massenbilanz am HEF wurde 2001-2011 nach Klug et al. (2018) korrigiert.

Besonderheiten

Die (Feld)Arbeiten im Haushaltsjahr 2021/22 waren nur noch marginal von der COVID-19 Pandemie beeinträchtigt. Lediglich für die Messung der Winterbilanz am Hintereisferner mussten geringe arbeitsrechtliche Einschränkungen hingenommen werden.

Abbildung 3 zeigt wie außergewöhnlich negativ das Haushaltsjahr 2021/22 bilanzierte. Der bisherige Negativrekord aus dem Jahr 2003 wurde am Hintereisferner um etwa 600 mm w.e., am Kesselwandferner um etwa 1200 mm w.e. unterboten.

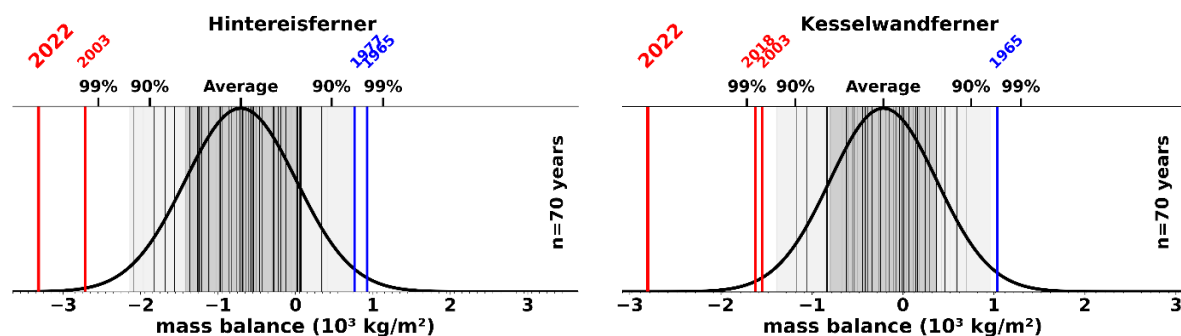


Abbildung 3: Statistische Verteilung der Massenbilanzjahre am Hintereis- (links) und Kesselwandferner (rechts). Jede Säule steht für ein Massenbilanzjahr mit dem entsprechenden Bilanzwert (untere Achse) und ihrer Position in einer Normalverteilung (obere Achse). Die schattierten Bereiche zeigen die 1σ (dunkelgrau) und 2σ (hellgrau) Bereiche der Standardabweichungen der Normalverteilung (Quelle: Lilian Schuster, ACINN).

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 (zur Messung der Schneedichte), die durch räumlich verteilte Schneehöhensondierungen ergänzt werden. 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 Höhenerstreckung 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., 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.

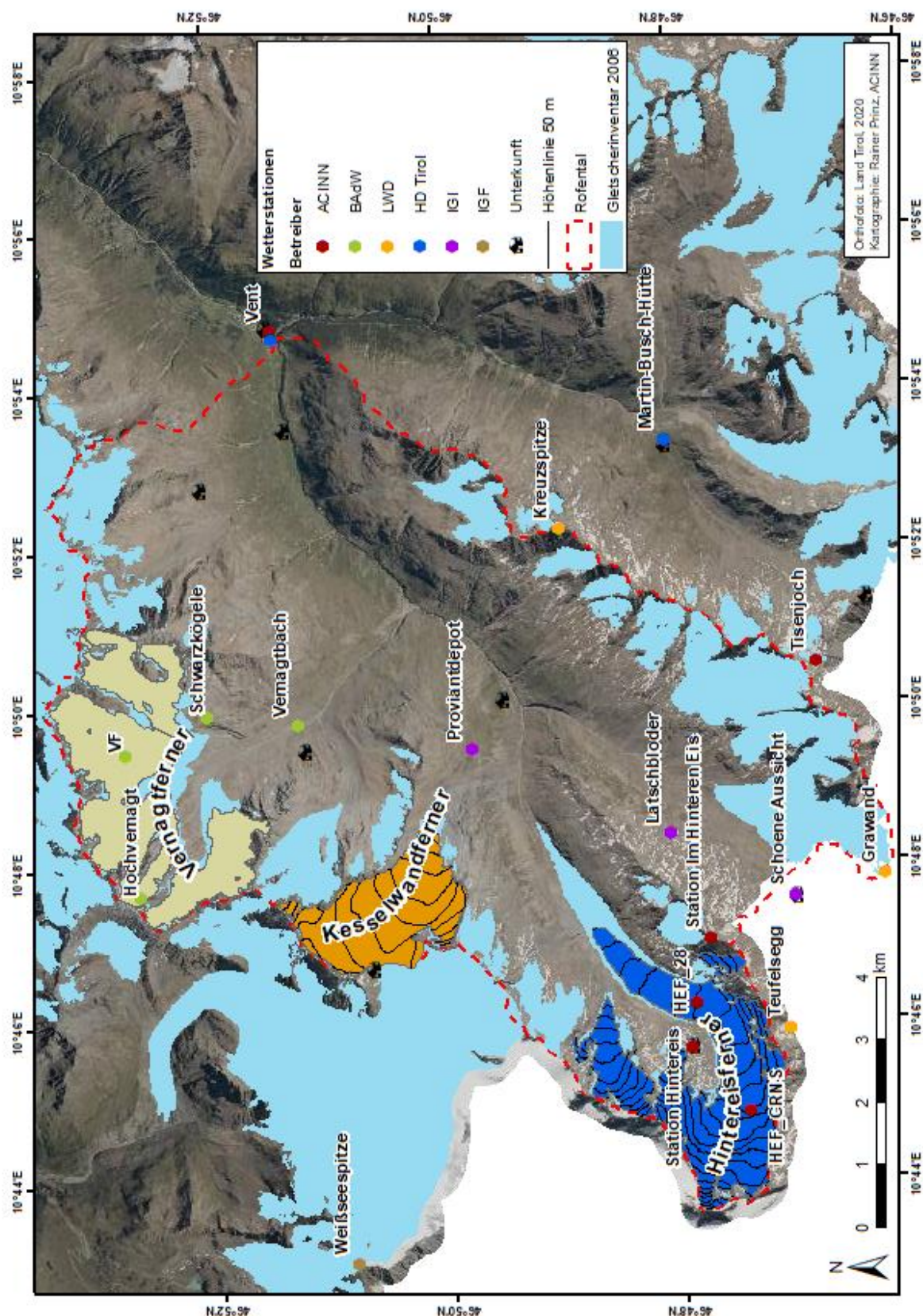


Abbildung 4: Übersichtskarte des Rofentals mit der Lage der Gletscher und automatischen Wetterstationen. Der Laserscanner befindet sich bei der Station Im Hinteren Eis.

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 2021/22 wurden dieselben Eisränder wie im vorigen Berichtsjahr verwendet:

- HEF Stand 2018, aufgrund der Vermurung an der Zunge (Ende August 2020) aktualisiert mittels einer Sentinel-2 Szene (Oktober 2020) und im Gelände validiert (09.07.2021);
- KWF Stand 2018 (auf Basis des Laserscan Geländemodelles des Landes Tirol).

Die Gletscherfläche des HEF beträgt 6,141 km², jene des KWF 3,589 km². Für das kommende Haushaltsjahr stehen neue Geländedaten zur Verfügung, um die Flächen-Höhen-Verteilung beider Gletscher zu aktualisieren.

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 Spaltenbildung konnten im Sommer 2022 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 (23.09.2022), KWF (05.09.2022).

Die Ausaperung am HEF wurde 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. Trotz immer wieder auftretender Störungen in der Stromversorgung kann der Verlauf sowie der Maximalstand der Ausaperung, heuer am 06.09.2022, hinreichend festgehalten werden.

Zusätzlich betreibt das ACINN sieben automatische Wetterstationen im Rofental zur Messung glaziometeorologisch 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.

	Vent	Station Hintereis	HEF_28 ¹	HEF_CRNS ²	Im Hinteren Eis	Tisenjoch
Lufttemperatur	+	+	-	+	+	+
Feuchte	+	+	-	+	+	+
Windgeschwindigkeit	+	+	-	+	+	+
Windrichtung	+	+	-	+	+	+
Strahlung (4 Komponenten)	-	+	-	+	+	+
Luftdruck	+	+	-	+	+	+
Schneehöhe	+	+	+	+	+	+
Bodentemperatur	-	+	-	+	-	-
Niederschlag	+	+	-	-	+	-
3D Anemometer	-	-	-	-	+	-
Schneedrift	-	+ ²	-	+	+ ²	-
Schneewasseräquivalent	-	-	-	+	-	-
¹ nur während der Ablationsperiode; 2022 defekt; nur Ablationsmessung						
² zur Zeit nur Fallstudien; nicht im Regelbetrieb						

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 zwei Positionen (K3, K7, K13) waren nicht repräsentativ. Zwei Positionen (SS1, SS2) wurden zur zusätzlichen Messung der Akkumulation (sofern vorhanden) festgelegt. Zur Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2021/22 wurden 14 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 and 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 2021/22 lagen 16% unter dem Mittel der Klimanormalperiode 1981-2010 (Tabelle 4 und Abbildung 5). Die einzig feuchten Monate waren November (+47%) und Februar (+31%). Sonst waren alle Monate deutlich zu trocken, besonders der März, in dem nur 7 mm Niederschlag (-84%) registriert wurden. Die daraus resultierende Winterbilanz liegt ca. 40% unter dem Mittel der letzten 10 Jahre.
- Der Winter war durchwegs zu warm (+0.9°C). Besonders warm waren anschließend die Monate Mai und Juni, deren Zweimonatsmittel das höchste je an der Station in Vent gemessen war. Somit konnte die Winterschneedecke nicht in den Sommer konserviert werden und schmolz bis Ende Juni zur Gänze ab.
- Im Sommerhalbjahr lagen die Niederschläge in fast allen Monaten nahe dem langjährigen Mittel. Im gesamten Haushaltsjahr summierten sich die Niederschläge in Vent auf 665 mm, damit nur gering unter dem Durchschnitt.
- Die Lufttemperatur übersteigt das langjährige Mittel (1981-2010) des hydrologischen Jahres um 1.8°C, wobei die positive Abweichung im Sommerhalbjahr (+3.0°C) deutlich überwiegt (Tabelle 4). Deutlich zu warm waren vor allem die Sommermonate Mai bis August (Abbildung 6).
- Unergebbige sommerliche Neuschneefälle mit wenigen cm gab es lediglich am 28.07., 19.08. und 03.09. immer nur oberhalb von ~3200 m. Der geringe Schneebedeckungsgrad und die geringen Schneemengen konnten die Ablation nicht merklich unterbinden.
- Bereits Ende Juni war das Gletschereis unterhalb etwa 3100 m größtenteils aper. In den höheren Bereichen schmolzen nach der Winterschneedecke auch die Firnrücklagen der Jahre 2019-2021.

- Die warme Witterung bis Mitte September führte noch zu geringer Ablation bis in die höchsten Lagen der Gletscher. Ein markanter Kaltlufteinbruch samt Schneefällen beendete am 17.09. die Ablationssaison. Die zweite Septemberhälfte blieb kühl und brachte noch knapp 80 mm Niederschlag (Schnee) an der Station Hintereis.

Tabelle 4: Monatsmittel der Lufttemperatur und Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent. Das Haushaltsjahr 2021/22 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1981-2010.

Monat	Lufttemperatur (°C)			Niederschlag (mm)			
	1981-2010	2021/22	Abweichung	1981-2010	2021/22	Abweichung (mm) (%)	
Oktober	3.7	3.8	0.1	57	39	-18	-32
November	-2.0	-1.6	0.4	59	87	28	47
Dezember	-2.9	-4.2	-1.3	43	28	-15	-35
Jänner	-5.8	-4.8	1.0	36	23	-13	-36
Februar	-5.9	-3.8	2.1	35	46	11	31
März	-2.7	-2.1	0.6	44	7	-37	-84
April	0.6	2.4	1.8	42	35	-7	-17
Winter	-2.4	-1.5	0.9	316	265	-51	-16
Mai	5.6	9.3	3.7	65	54	-11	-17
Juni	8.7	13.3	4.6	75	97	22	29
Juli	10.8	14.5	3.7	82	92	10	12
August	10.2	13.2	3.0	87	83	-4	-5
September	7.0	7.2	0.2	54	64	10	19
Sommer	8.5	11.5	3.0	363	390	27	7
Hydr. Jahr	2.1	3.9	1.8	679	655	-24	-4

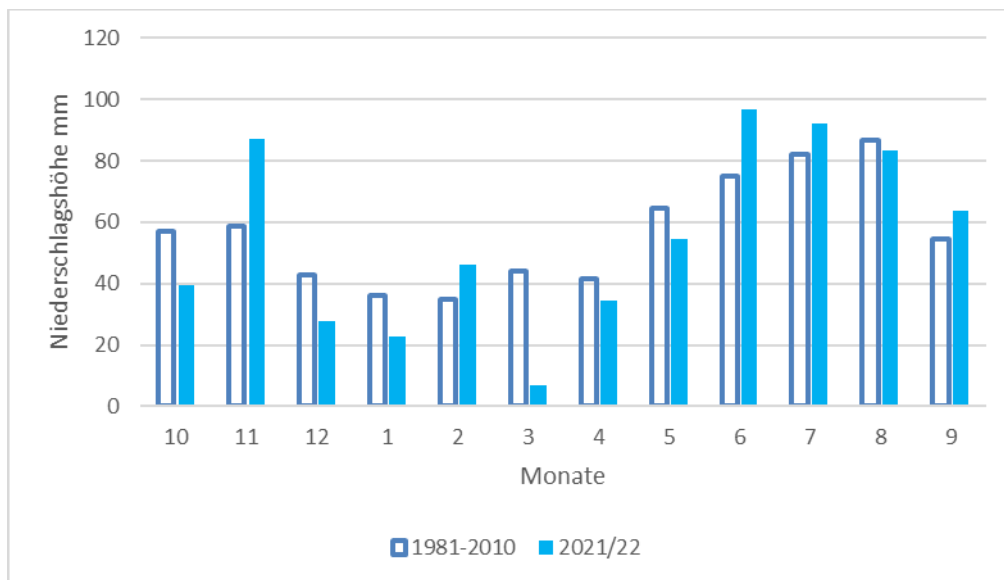


Abbildung 5: Die Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) mit dem hydrologischen Jahr 2021/22.

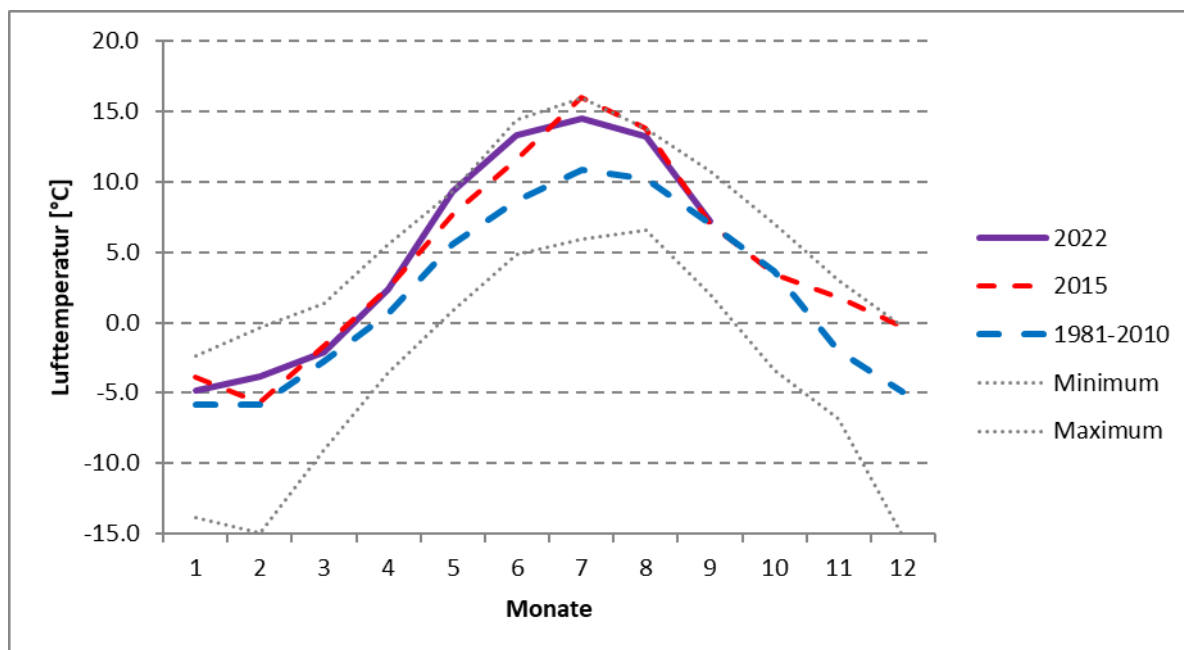


Abbildung 6: Die Monatsmittel der Lufttemperatur an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) der Lufttemperatur mit den Jahren 2015 (bisheriger "Rekordsommer") und 2022. Das Zweimonatsmittel der Lufttemperatur Mai und Juni 2022 waren das bisher wärmste je an der Station in Vent gemessene.

C.2 Massenbilanz Hintereisferner

C.2.1 Winterbilanz

Die Messungen zur Erstellung der Winterbilanz 2021/22 wurden an zwei Tagen, 18.+19.04.2022, durchgeführt werden. Ein Test eines Georadars der Universität Tübingen wurde am 28.04.2022 am Hintereisferner analog zu 2021 wiederholt. Bei dieser Gelegenheit wurde erneut an der Position TE ein Schacht angelegt. Mit diesem Schacht und der Niederschlagsdaten der Station Hintereis wurde eine Korrektur der Winterbilanz (etwa +50 mm w.e.) zum 30.04. durchgeführt.

31 Schneehöhenmesspunkte und zwei Schneeschächte (Tabelle 5 und Abbildung 7) 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 14.+15.09. sowie am 25.09.2021, unterhalb des Septemberschnees 2021 zeigte. Bei den Sondierungen zur Winterbilanz wurde also die Akkumulation vom September 2021 mitgemessen, bei der Berechnung der Bilanz anhand der Daten aus dem Vorjahr aber wieder abgezogen.

Die Analyse der Winterbilanz ist Abbildung 7 und Tabelle 7 dargestellt. Das vertikale Bilanzprofil der Winterbilanz ist in Abbildung 11 abgebildet. Die detaillierten Mess- und Beobachtungswerte aus den Schneeschächten sind im Kapitel D.2.1 aufgelistet. Die geodätische Winterbilanz überschätzt die glaziologische Winterbilanz um knapp 28%. Der Ursprung dieses großen Unterschiedes ist nicht ganz klar. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass in schneearmen Wintern die Variabilität der Schneehöhe aufgrund des Windeinflusses sehr groß. Möglicherweise sind die Messpunkte der glaziologischen Bilanz in schneearmen Wintern nicht repräsentativ (Kapitel C.2.3).

Tabelle 5: HEF, Winterbilanz 2021/22: Schneehöhe, Dichte und Wasserwert der Schneeschächte für das hydrologische Winterhaushaltsjahr. Die Lage der Schneeschächte ist in Abbildung 7 eingetragen.

Name	Höhe [m.a.s.l.]	Schneehöhe [cm]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert 18.04.2022 [kg/m ²]	Korrektur Wasserwert [kg/m ²]	Wasserwert 30.04.2022 [kg/m ²]
TE	3030	140	417	584	32	616
L7	2639	216	405	875	46	921

Die mittlere spezifische Winterbilanz des Hintereisferners 01.10.2021-30.04.2022 beträgt:

$$b_W = 691 \text{ mm w.e. (= kg/m}^2\text{)},$$

$$B_W = 4,245 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ Wasser}$$

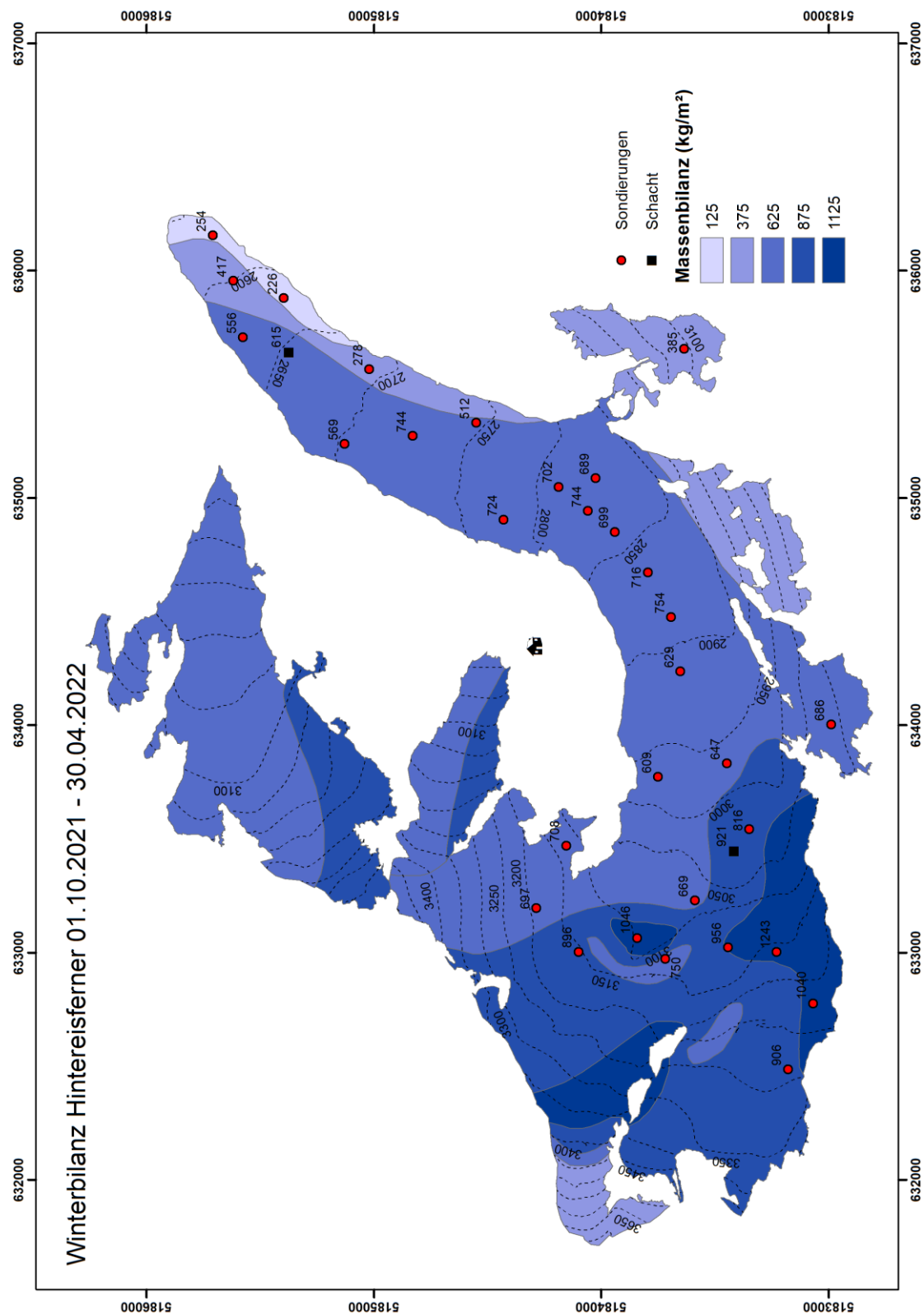


Abbildung 7: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz im Winterhaushaltsjahr am Hintereisferner (01.10.2021 – 30.04.2022).

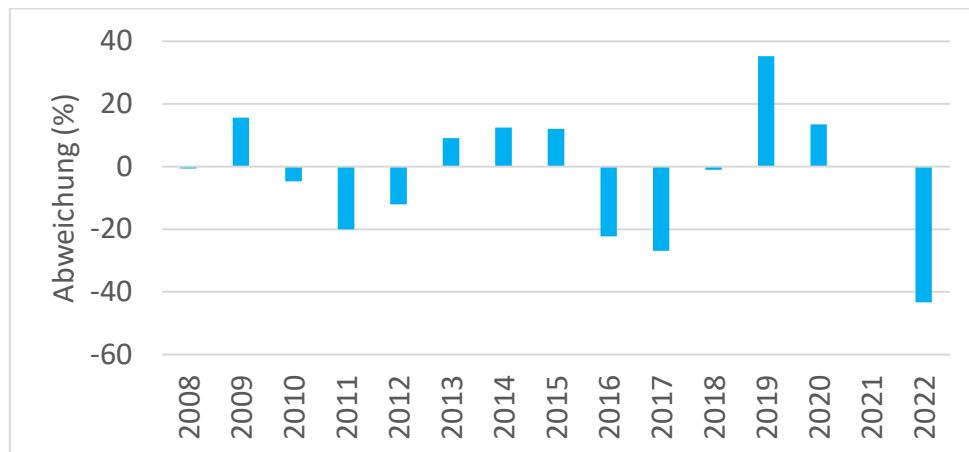


Abbildung 8: Abweichung der Winterbilanz (%) im Vergleich zum Mittelwert 2011-2020.

C.2.2 Jahresbilanz

Der Bestimmung der Ablation im Haushaltsjahr 2021/22 liegen Messungen und Beobachtungen aus vier Feldkampagnen und an 21 Pegeln und Messpunkten zugrunde (Tabelle 6). Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Firnpegel nur eingeschränkt erreicht werden. Die Abschlussbegehung am HEF fand am 22.+23.09. (Pegelablesungen und Akkumulationsmessungen) statt. Die Punktwerte sind neben den vertikalen Bilanzprofilen in Abbildung 11 sowie in Abbildung 12 eingetragen. Tabelle 7 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2021/22. Eine Validierung der Interpolation der Punktwerte auf die Fläche bildet der Vergleich mit der geodätischen Massenbilanz aus der Höhenänderung von zwei Laserscans (Abbildung 11 und Kapitel C.2.3).

Aufgrund der intensiven Ablation blieben keine Massenrücklagen erhalten. Die ELA ist somit unbestimmt und liegt oberhalb des höchsten Punktes des Gletschers. Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte ein trockenes Winterhalbjahr mit gering mächtiger Schneedecke. Aufgrund des warmen Frühlings konnte die Winterschneedecke außerordentlich schnell geschmolzen werden, sodass der Hintereisferner bereits Ende Juni vom Winterschnee befreit war und die Firn- und Eisablation den ganzen Sommer wirken konnte. Nennenswerte sommerliche Neuschneefälle fehlten zur Gänze. Insgesamt führte der schneearme Winter in Kombination mit dem zu warmen Sommer schließlich zu einer negativen Rekordmassenbilanz und zu einem Verlust von 4.9% des Gletschervolumens oder 20 Mio m³ Wasser. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen den Hintereisferner zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung im Jahr 2021 und 2022.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Hintereisferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2021 – 30.09.2022 beträgt: **$b = -3319 \text{ mm w.e.}$** (= kg/m²),

Das entspricht: **$B = -20,383 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** Wasser



Abbildung 9: Die maximal Ausaperung des Hintereisferners am 18.09.2021.



Abbildung 10: Die maximal Ausaperung des Hintereisferners am 06.09.2022. Der Winterschnee ist zur Gänze abgeschmolzen. Die Firnrücklagen der Jahre 2019-2021 sind fast vollständig aufgebraucht. An den Flanken zum Teufelsegg werden die Felsinseln immer größer und zur Langtauferspitze ist der Hintereisferner fast vollständig abgeschmolzen.

Tabelle 6: Ablationsverlauf an den Pegeln des Hintereisferners 2021/22. Die Ablation zu den Ablesezeitpunkten entspricht der Periode seit der letzten Ablesung.

Name	Ablation (cm)					Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz 2021/22 (kg/m ²)
	25.06.	02.07.	03.08.	23.09.	30.09.	Sep.21	Sep.22	
41	34	47	291	494	0	0	63	-7731
L8	26	42	260	219	0	0	63	-4860
42	0	72	260	219	0	0	63	-4896
50	46	48	267	206	0	0	63	-5037
L7	0	42	250	195	0	0	63	-4320
22	0	42	250	195	0	0	63	-4320
51	0	34	247	189	0	0	63	-4167
L6	0	50	246	173	0	0	63	-4158
26		43	232	209	0	0	63	-4296
LIDAR = L5		110	200	187	0	0	83	-4390
71		48	246	198	0	0	83	-4345
102			0	0	0	0	83	83
L4			215	184	0	0	83	-3508
89			0	0	0	0	83	83
L3			218	157	0	0	83	-3292
103			221	163	0	15	83	-3385
101			218	198	0	15	83	-3676
TE_B				133	0	24	103	-1118
104				138	0	0	103	-1139
105				143	0	93	103	-1277
109				0	0	0	0	0
106								
107				138	0	15	103	-1154
110								-1922
111								-1866
aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt								
Neuschneedichte September 2021: 300 kg/m ³								
Altschneedichte September 2021: 519 kg/m ³								
Neuschneedichte September 2022: 230 kg/m ³								
Altschneedichte September 2022: -- kg/m ³								
Ablation bis zum 30.09. berechnet aus Energiebilanzüberlegungen								

C.2.3 Geodätische Massenbilanz

Wie bereits im letzten Bilanzjahr wurde auch heuer die Massenbilanz geodätisch mit dem terrestrischen Laserscanner (TLS) im Hintereis bestimmt. Die Akquisitionsdaten der Laserscans waren 01.10.2021 und 29.04.2022 (Winterbilanz) bzw. 28.09.2022 (Jahresbilanz). Von den genannten Zeitpunkten werden Differenzgeländemodelle erstellt, um die Höhenänderung der Gletscheroberfläche zu ermitteln. Die Umrechnung von der mittleren Höhenänderung pro Höhenstufe in eine Massenänderung erfolgte anhand der gemessenen Schneedichten:

- Winterbilanz: unterhalb 2850 m 417 kg/m³ und oberhalb 405 kg/m³
- Jahresbilanz: 900 kg/m³ für alle Höhenstufen aufgrund der starken Schmelze und Eisablation in allen Höhenstufen.

Die geodätische Jahresbilanz ist mit -3368 kg/m^2 nur wenig negativer als die glaziologische (Tabelle 7). Die Winterbilanz aus der geodätischen Methode entspricht 883 kg/m^2 und liegt knapp innerhalb der Messungenauigkeit beider Methoden, die $\pm 140 \text{ kg/m}^2$ (geodätisch) und $\pm 210 \text{ kg/m}^2$ (glaziologisch) beträgt (Klug et al., 2018).

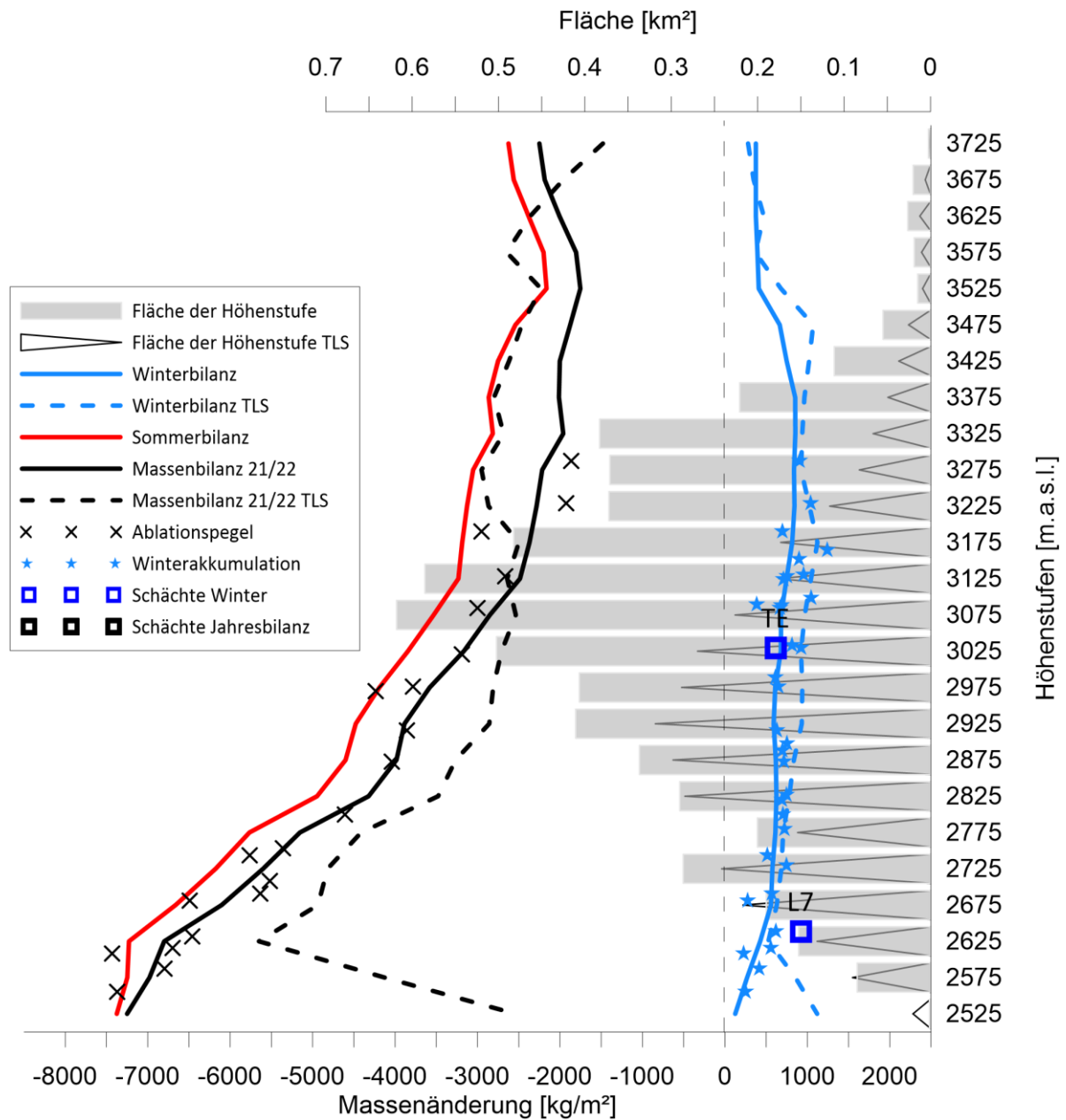
Der Unterschied zur glaziologischen Bilanz besteht im Wesentlichen darin, dass der Gletscherteil des LJF für den TLS topographisch abgescattet ist und sich somit die Gletscherfläche unterscheidet, ebenso kann der TLS nicht in den Mulden des oberen HEF messen. In manchen Jahren war in den Mulden Akkumulation zu verzeichnen, während an den Kanten und Übergängen zwischen den Mulden Eisablation bereits früh im Jahr aufgetreten ist. Der TLS misst daher in den oberen Bereichen des HEF nur die Ablation, nicht aber die Akkumulation und die geodätische Massenbilanz ist daher ähnlich wie im Vorjahr zu negativ. Im Gegensatz dazu deckt der TLS Höhenstufen des HEF ab, die aufgrund ihrer Unzugänglichkeit glaziologisch nicht gemessen werden können. Diese besitzen aber eine sehr geringe Flächenausdehnung, sodass sie auf die Gesamtmassenbilanz keine Auswirkungen haben. Auf eine Korrektur der Fließdynamik für einzelne Höhenstufen wurde verzichtet, da die geodätische Methode hier lediglich als Vergleich bzw. Verifizierung der gemessenen gletscherweiten Bilanz dient. Eine ausführliche Diskussion der Vergleichbarkeit der beiden Methoden findet sich in Klug et al. (2018).

Tabelle 7: Gegenüberstellung der glaziologischen und geodätischen Massenbilanzen der letzten Jahre.

<i>Jahr</i>	<i>b_w glaz.</i> <i>[kg/m²]</i>	<i>b_w geod.</i> <i>[kg/m²]</i>	<i>Differenz</i> <i>[kg/m²]</i>	<i>b glaz.</i> <i>[kg/m²]</i>	<i>b geod.</i> <i>[kg/m²]</i>	<i>Differenz</i> <i>[kg/m²]</i>
2016/17	892	791	-101	-1826	-1822	4
2017/18	1207	1277	70	-1963	-2084	-121
2018/19	1650	1564	-86	-680	-687	-7
2019/20	1396	1386	-10	-970	-1312	-342
2020/21	1219	1235	16	-688	-1299	-611
2021/22	691	883	192	-3319	3368	-49

Massenhaushalt Hintereisferner 2021/22

Höhenverteilung der glaziologischen und geodätischen Massenbilanzen, der Massenbilanz an den einzelnen Pegeln und Flächen der Höhenstufen



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 11: Die vertikalen Bilanzprofile nach der glaziologischen und geodätischen (TLS) Methode am Hintereisferner im Haushaltsjahr 2021/22.

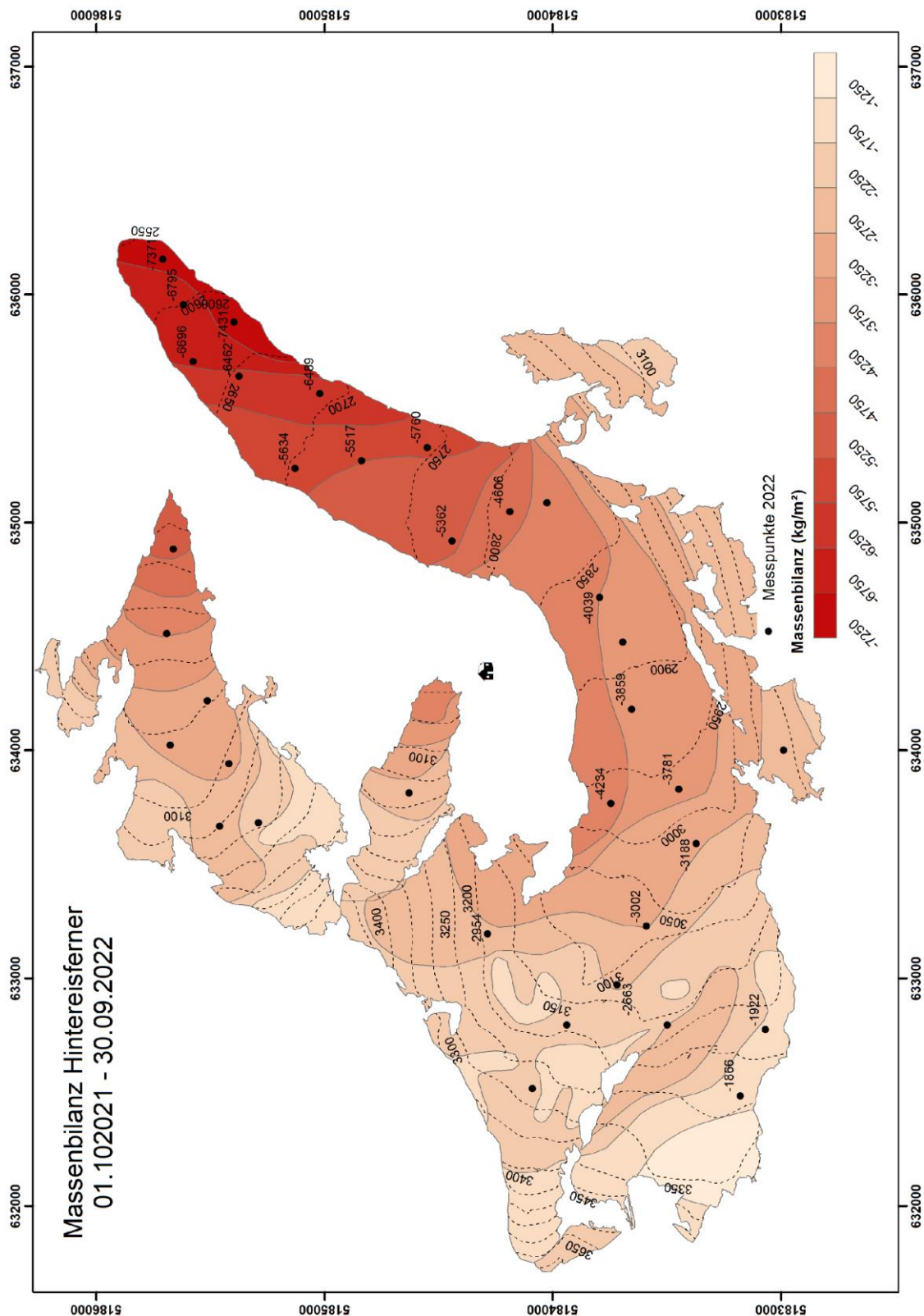


Abbildung 12: Die räumliche Verteilung der Massenbilanz am Hinterseisferner im Haushaltsjahr 01.10.2021 – 30.09.2022.

Tabelle 8: Kennzahlen und glaziologische Massenbilanzen des Hintereisferners im Haushaltsjahr 2021/22 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]
	6142	4245272	691	-24628750	-4010	-20383478	-3319
S _C [10 ³ m ²]	0		B _C [m ³ w.e.]	0		b _C [kg/m ²]	0
S _A [10 ³ m ²]	6142		B _A [m ³ w.e.]	-20383478		b _A [kg/m ²]	-3319
ELA	NaN	m a.s.l.	S _C /S _A	0.000		AAR	0.000
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	1	139	125	-8227	-7375	-8088	-7250
2575	85	22821	269	-614645	-7248	-591823	-6978
2625	153	65194	427	-1102240	-7227	-1037046	-6800
2675	190	106181	559	-1266059	-6662	-1159878	-6103
2725	286	164622	575	-1767910	-6176	-1603289	-5601
2775	200	122615	612	-1154893	-5767	-1032278	-5154
2825	290	181382	625	-1435520	-4946	-1254138	-4321
2875	337	207887	617	-1549762	-4601	-1341875	-3983
2925	411	242743	591	-1838615	-4477	-1595873	-3886
2975	406	247917	610	-1703151	-4190	-1455234	-3580
3025	502	340476	678	-1930956	-3845	-1590481	-3167
3075	618	421065	681	-2182499	-3532	-1761434	-2851
3125	585	437281	747	-1891646	-3233	-1454365	-2485
3175	482	393527	816	-1536772	-3186	-1143245	-2370
3225	372	313866	843	-1163963	-3128	-850097	-2284
3275	371	310899	838	-1133192	-3054	-822293	-2216
3325	383	327090	854	-1077885	-2815	-750795	-1961
3375	221	188091	852	-632424	-2865	-444333	-2013
3425	111	83416	749	-306405	-2752	-222989	-2002
3475	55	36486	664	-139525	-2540	-103039	-1876
3525	15	6012	410	-31718	-2163	-25705	-1753
3575	19	7399	394	-41261	-2200	-33862	-1805
3625	26	9827	375	-62416	-2382	-52589	-2007
3675	20	7484	375	-51102	-2561	-43618	-2186
3725	2	852	375	-5964	-2625	-5112	-2250
Summe	6142	4245272	691	-24628750	-4010	-20383478	-3319

C.3 Massenbilanz Kesselwandferner

Der Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2021/22 liegen Messungen und Beobachtungen aus einer Feldkampagne an 14 Pegeln und Akkumulationsmesspunkten zugrunde (Tabelle 9 und Abbildung 16). Aufgrund des Fehlens von Altschnee wurde kein Schneeschacht gegraben. Auf Firndichtemessungen wurde verzichtet.

Die Abschlussbegehung am KWF fand am 05.09.2022 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 05.09.2022 und eine Sentinel-2 Satellitenszene vom 29.08.2022 hinzugezogen (Abbildung 13). Die Punktwerte der Massenbilanz (Pegel und Schächte) sind in der Abbildung des vertikalen Bilanzprofils (

Abbildung 15) und in der Bilanzkarte (Abbildung 16) eingetragen. Tabelle 10 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2021/22.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Kesselwandferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2021 – 30.09.2022 beträgt: $b = -2800 \text{ mm w.e.}$ ($= \text{kg/m}^2$),
das entspricht $B = -9,935 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser



Abbildung 13: Sentinel-2 Satellitenszene vom 29.08.2022 zur Bestimmung der Firngrenze am KWF (oben rechts).

Tabelle 9: KWF, Haushaltsjahr 2021/22: Die Massenänderung an den einzelnen Messpunkten und zwischen den Ablesezeitpunkten.

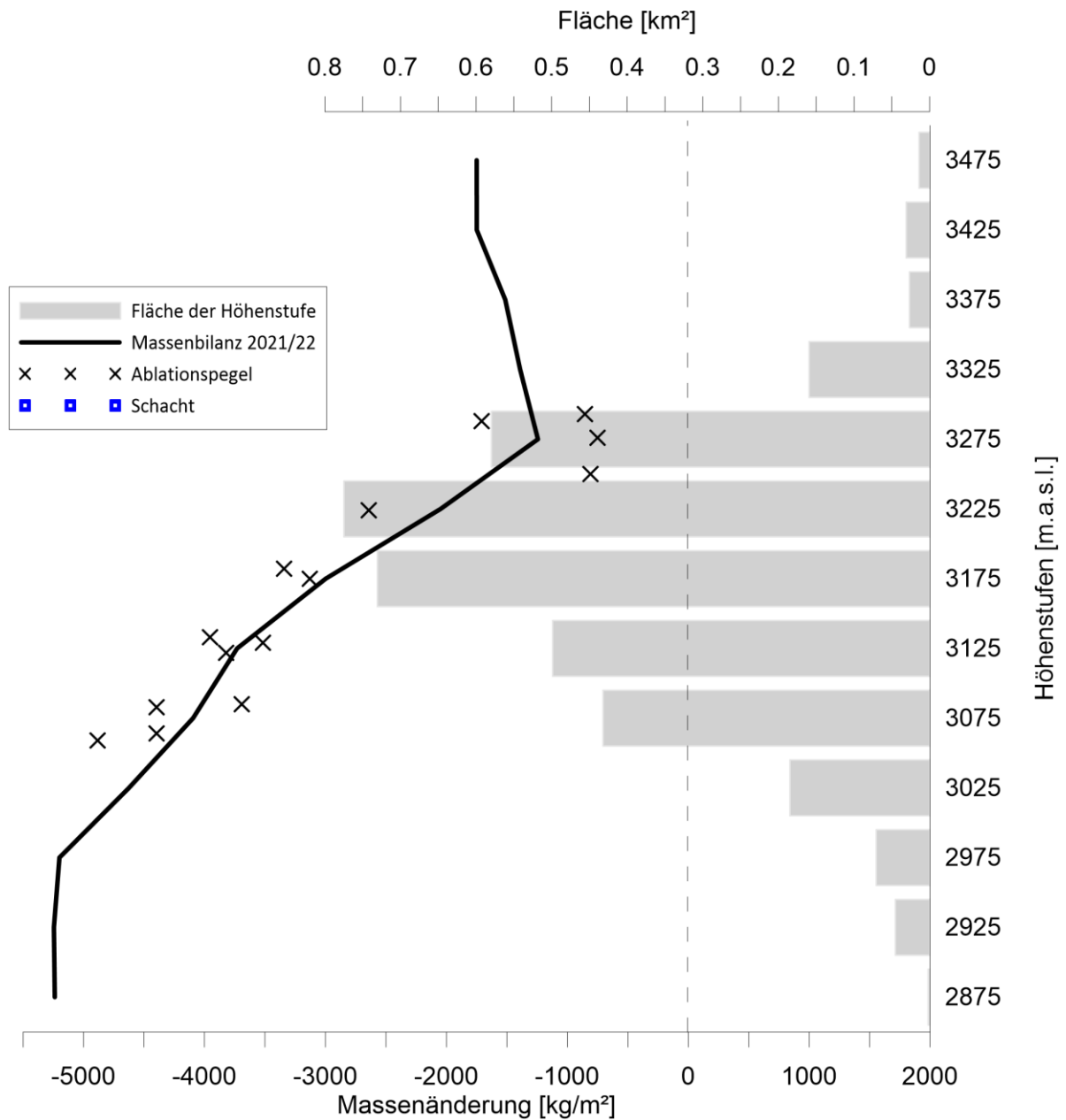
	Ablation (cm)	Ablation (cm)	Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz
Name	05.09.	30.09.	Sep.21	Sep.22	2020/21 (kg/m ²)
K3					
K4	459	39	0	83	-4396
K5	459	39	0	83	-4396
K6	513	39	0	83	-4882
K8	383	39	0	103	-3692
K9	398	39	0	103	-3823
K10	412	39	0	103	-3953
K12	307	28	215	103	-3131
K14	358	39	51	103	-3518
K16	343	28	104	103	-3344
K18	218	28	554	130	-2641
K19	105	28	637	130	-1707
K20			882	130	-752
SS1			983	130	-853
SS2			938	130	-808
aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt					
Schneedichte September 2021: 360 kg/m ³					
Altschneedichte September 2021: 530 kg/m ³					
Ablation bis zum 30.09. berechnet aus Gradtagfaktoren und Ablation vom Hintereisferner					
Akkumulation K19-SS2: Massenrücklage aus den Jahren 2019-2021: abgeschmolzen 2022					
Akkumulation September 2022: Von Hintereisferner übertragen					



Abbildung 14: Blick über die oberen Bereiche des KWF zum Brandenburger Haus und Gepatschferner. Foto: Rainer Prinz, 05.09.2022.

Massenhaushalt Kesselwandferner 2021/22

Höhenverteilung der spezifischen Massenbilanzen, der Massenbilanz an den einzelnen Pegeln und Flächen der Höhenstufen



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 15: Das vertikale Bilanzprofil am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 2021/22.

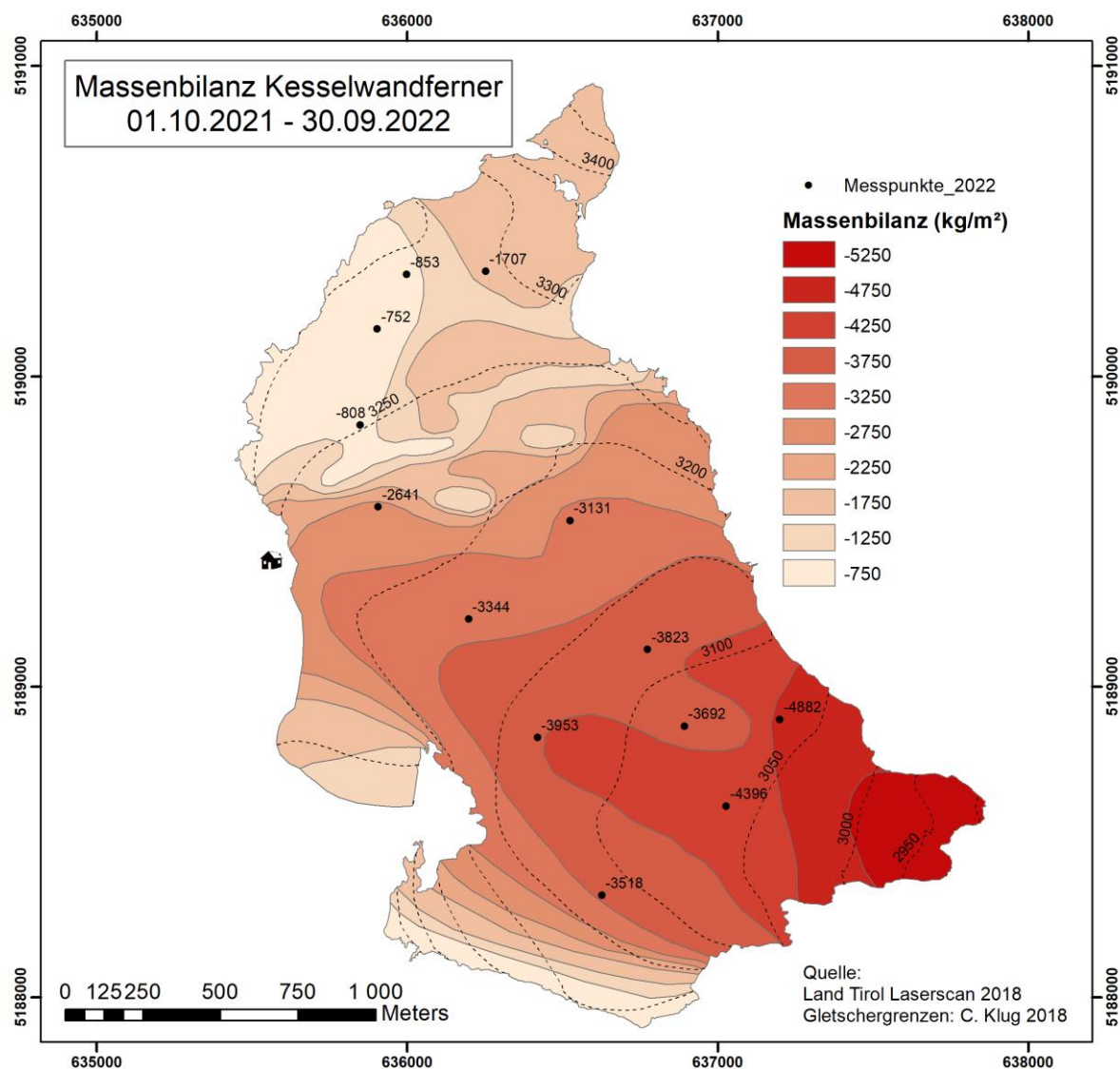


Abbildung 16: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 01.10.2021 – 30.09.2022.

Tabelle 10: Kennzahlen und Massenbilanz des Kesselwandfeners im Haushaltsjahr 2021/22 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

	gesamtes Jahr					
	Fläche	B	b			
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]			
	3549	-9935489	-2800			
S_C [10³ m²]	0		B_C [m³ w.e.]	0	b_C [mm w.e.]	0
S_A [10³ m²]	3549		B_A [m³ w.e.]	-9935489	b_A [mm w.e.]	-2800
ELA	NaN	m.a.s.l.	S_C/S_A	0.000	AAR	0.000
	Jahresbilanz					
	Höhenstufe	Fläche	B	b		
	[m.a.s.l.]	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]		
	2875	2	-9263	-5238		
	2925	45	-237178	-5245		
	2975	71	-366864	-5200		
	3025	185	-854584	-4625		
	3075	432	-1769017	-4095		
	3125	499	-1860437	-3731		
	3175	731	-2190226	-2998		
	3225	775	-1586969	-2048		
	3275	580	-720675	-1243		
	3325	159	-221678	-1391		
	3375	27	-40266	-1514		
	3425	31	-54053	-1749		
	3475	14	-24280	-1750		
	Summe	3549	-9935489	-2800		

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. Eine Masterarbeit beschäftigt sich mit Homogenisierung der Daten und einer generellen Niederschlagsklimatologie im Rofental (Abgabe vermutlich Frühjahr 2023).

Die Lage der Wetterstationen im Rofental zeigt Abbildung 3, die Koordinaten der Niederschlagswaagen sind in Tabelle 11 angeführt.

Tabelle 11: 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	Provianddepot	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

C.4.1 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 12 und Abbildung 17). Die Daten entsprechen Rohwerten ohne Korrekturen, die z.B. für Messfehler durch Wind vorgeschlagen werden (vgl. Kochendorfer et al., 2017; Pan et al., 2016).

Die beiden Niederschlagswaagen in Vent liefern ähnliche Werte, wobei die Waage des HD Tirol immer etwas höhere Werte registriert. 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 655 mm (Waage ACINN) und 739 mm (Waage HD). Der Niederschlag nimmt mit der Höhe zu und erreicht auf der Station Hintereis (3030 m) ungefähr das 1.7-fache als in Vent (1905 m). In einzelnen Monaten kann der Niederschlag auch knapp das 2.5-fache erreichen (z.B. im Oktober). Besonders in Monaten mit Schneeniederschlag (Oktober – Dezember, März, April) registrieren die Waagen Vernagtbach und Provianddepot weniger Niederschlag als in Vent.

Auch hier kann Windexposition als mögliche Ursache für die Unterschätzung der Niederschlagsmenge angenommen werden.

Der Winterniederschlag (Okt.-Apr.) in Vent beträgt 265 mm, auf der Station Hintereis 464 mm – ungefähr das 1.8-fache. Die Wintermassenbilanz, die dem Gebietsniederschlag am Hintereisferner im selben Zeitraum entspricht, ergibt 691 mm oder das 2.6-fache des Winterniederschlages von Vent. Der März 2022 war außerordentlich trocken. An allen Stationen fiel weniger als 10 mm Niederschlag. Der feuchteste Monat war der Juni mit 97 – 201 mm.

Tabelle 12: Niederschlagsmengen (mm) an den Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache (inkl. Martin-Busch-Hütte) nach Monaten im hydrologischen Jahr 2021/22..

Messstelle	Betreiber	Höhe	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	HHJ 2022
Vent	ACINN	1905 m	39	87	28	23	46	7	35	54	97	92	83	64	655
Vent	HD Tirol	1890 m	47	101	37	20	62	8	40	61	103	100	87	73	739
Verhältnis Vent ACINN			1.19	1.16	1.34	0.86	1.34	1.15	1.16	1.11	1.07	1.09	1.04	1.15	1.13
Martin-Busch-Hütte	HD Tirol	2470 m	69	123	37	19	54	8	40	72	133	84	74	80	790
Verhältnis Vent ACINN			1.74	1.41	1.31	0.83	1.17	1.16	1.15	1.32	1.37	0.91	0.88	1.25	1.21
Vernagtbach	HD Tirol	2640 m	40	99	36	33	71	5	34	94	149	90	80	86	817
Verhältnis Vent ACINN			1.03	1.14	1.28	1.42	1.54	0.81	0.98	1.73	1.54	0.97	0.96	1.34	1.25
Provianddepot	IGI	2737 m	51	105	34	32	57	6	36	93	136	81	79	81	793
Verhältnis Vent ACINN			1.29	1.21	1.22	1.41	1.24	0.92	1.05	1.72	1.40	0.88	0.95	1.28	1.21
Latschbloder	IGI	2910 m	46	64	32	23	100	6	43	98	140	92	75	95	813
Verhältnis Vent ACINN			1.16	0.73	1.15	1.00	2.17	0.82	1.25	1.79	1.45	1.00	0.90	1.49	1.24
Station Hintereis	ACINN	3030 m	97	127	57	40	54	10	79	106	201	119	108	131	1128
Verhältnis Vent ACINN			2.48	1.45	2.04	1.73	1.16	1.54	2.29	1.94	2.08	1.29	1.30	2.05	1.72

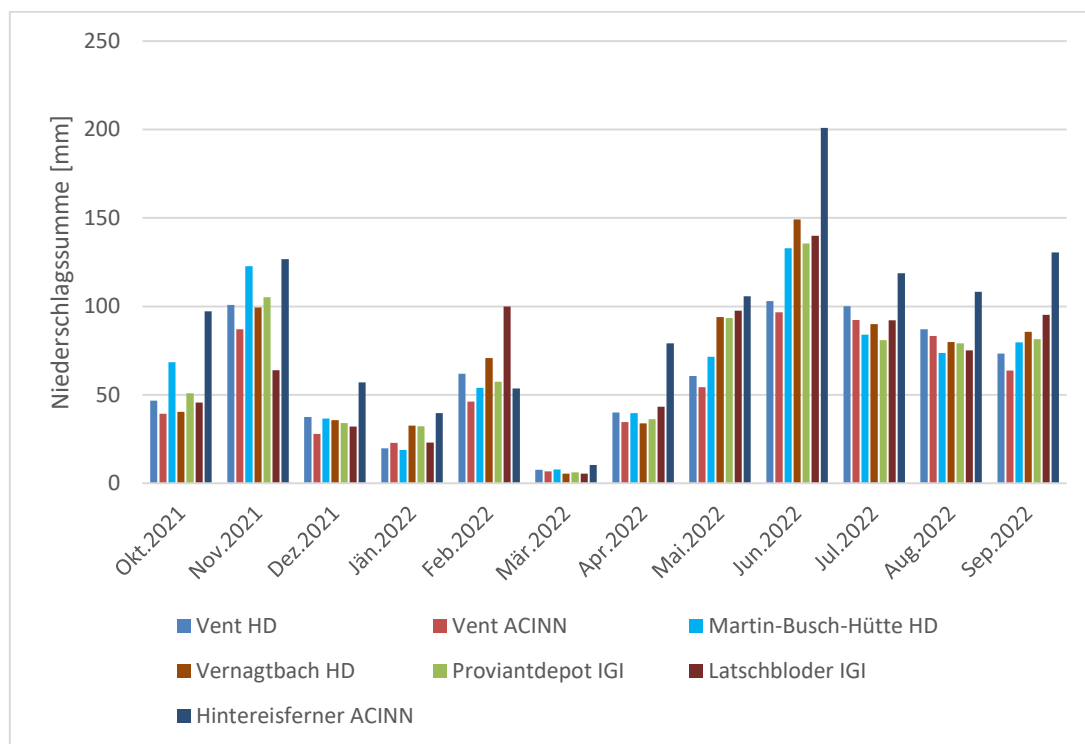


Abbildung 17: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaagen.

C.5 Literaturverzeichnis

Cogley, J. G., Hock, R., Rasmussen, L. A., Arendt, A. A., Bauder, A., Braithwaite, R. J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson, L. and Zemp, M.: Glossary of Mass Balance and Related Terms, UNESCO-IHP, Paris., 2011.

Hoinkes, H.: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern, Zeitschrift für Gletscherkd. und Glazialgeol., 6(1–2), 37–90, 1970.

Hoinkes, H. and Steinacker, R.: Zur Parametrisierung der Beziehung Klima - Gletscher, Riv. Ital. di Geofis. e Sci. Affin., 1, 97–103, 1975.

Klug, C., Bollmann, E., Galos, S. P., Nicholson, L., Prinz, R., Rieg, L., Sailer, R., Stötter, J. and Kaser, G.: Geodetic reanalysis of annual glaciological mass balances (2001–2011) of Hintereisferner, Austria, Cryosph., 12, 833–849, doi:10.5194/tc-12-833-2018, 2018.

Kochendorfer, J., Rasmussen, R., Wolff, M., Baker, B., Hall, M. E., Meyers, T., Landolt, S., Jachcik, A., Isaksen, K., Brækkan, R. and Leeper, R.: The quantification and correction of wind-induced precipitation measurement errors, Hydrol. Earth Syst. Sci., 21(4), 1973–1989, doi:10.5194/hess-21-1973-2017, 2017.

Pan, X., Yang, D., Li, Y., Barr, A., Helgason, W., Hayashi, M., Marsh, P., Pomeroy, J. and Janowicz, R. J.: Bias corrections of precipitation measurements across experimental sites in different ecoclimatic regions of western Canada, Cryosph., 10(5), 2347–2360, doi:10.5194/tc-10-2347-2016, 2016.

C.6 Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole

Akronym	Bedeutung	Einheit
AAR	Accumulation Area Ratio	
ALS	airborne laserscanning	
AWS	automatische Wetterstation	
DGPS	differential global positioning system	
ELA	Höhe der Gleichgewichtslinie	m
HEF	Hintereisferner	
IGI	Institut für Geografie der Universität Innsbruck	
ACINN	Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck	
KWF	Kesselwandferner	
LJF	Langtauferejochferner	
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 2021/22 im Rofental erforderten fünf Arbeitseinsätze am HEF und einen am KWF, die zum Teil mehrtägig absolviert wurden. Am HEF wurden elf Pegel neu gebohrt, am KWF fünf. Sieben Feldkampagnen wurden mit Wartungsarbeiten oder anderen Forschungsprojekten gemeinsam durchgeführt. Sieben Kampagnen wurden durch einen Hubschrauber unterstützt.

Sämtliche CO₂-Emissionen durch Hubschrauberflüge oder Fahrten mit PKWs (insgesamt 4534 kg) werden durch zertifizierte Kompensationsprojekte abgegolten.

Personentage

- **22 Personentage – HEF Massenbilanz**
- **4 Personentage – KWF Massenbilanz**
- **20 Personentage – Wartung von Station Hintereis, Wetterstationen und Pluviometer**

Personen:

Universität Innsbruck: Rainer Prinz, Wolfgang Gurgiser, Silvia Barbieri, Annelies Voordendag, Marie Schroeder, Leopold Schlagbauer, Udo Haefeker, Eva Fessler, Caroline Hillforth

University of Saskatchewan: Caroline Aubrey-Wake

TU Delft: Paco Frantzen

Tischlerei Santer: Wolfgang Santer

Privat: Josef Mayerl, Georg Unterberger, Andreas Prinz, Thomas Geisler

Fast alle Kampagnen verliefen unfall- und verletzungsfrei. Eine Schnittverletzung an den Fingern musste drei Wochen ausheilen. 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.
- Auswertung der geodätischen Winter- und Jahresbilanz auf Basis von drei Lasercans: 01.10.2021, 29.04.2022, 28.09.2022

- 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 18.-19.04.2022 – Winterbilanz am HEF

Ziel der Feldkampagne:

- Messung der Winterbilanz am Hintereisferner
- Kontrolle der Wetterstation HEF CRNS und Station Hintereis
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Marie Schroeder, Silvia Barbieri – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

18.04.: Mit dem Lift von Kurzras zum Teufelsegg (letzter Betriebstag) und zur Schachtposition Teufelsegg (~10:15). Kontrolle der Wetterstation HEF CRNS. Dichtemessung mit Keil und Zylinder zur Abschätzung der Messgenauigkeit. Sondierung der Schneehöhe am oberen HEF und zur Station Hintereis.

19.04.: Kontrolle der Wetterstation Station Hintereis. Pluvio entleert (38% Inhalt belassen). Sondierung unterer HEF, Schacht bei L7, von dort in ca. 2 h zur Schönen Aussicht und nach Kurzras.

Situation:

Meist wolkenlos mit ~-7°C auf 3000 m. Wind aus W bis N, Böen bis 12 m/s. Wenig Schnee, Schneeoberfläche z.T. vom Saharastaub gefärbt.



Abbildung 18: Wenig Schnee und Verdunstungsmuster bei P41 am Zungenende 19.04.2022. Foto: Rainer Prinz.

Tabelle 13: Auswertung Schacht TE. Abstiche jeweils mit Zylinder und Federwaage, sowie mit Keil und elektronischer Waage. Dichtewert von Keil für die Analysen verwendet.

Schacht TE						
Schacht: TE	H = 216 cm	X: 633447	Y: 5183419	Alt: 3030 m	Date:	18.04.2022
R. Prinz, M. Schroeder, S. Barbieri					Time:	13:30 MESZ
Durchmesser Rohr [cm]		5.64				
		Federwaage				
Abstich	Füllhöhe [cm]	Masse [g]	Tara [g]	korrigierte Masse [kg]	Dichte [kg/m³]	Wasserwert [mm w.e.]
1	21.0	700	550	0.150	286	60
2	21.0	710	550	0.160	305	64
3	21.0	750	550	0.200	381	80
4	21.0	770	550	0.220	419	88
5	21.0	780	550	0.230	438	92
6	21.0	770	550	0.220	419	88
7	20.5	760	550	0.210	410	84
8	21.0	770	550	0.220	419	88
9	21.0	750	550	0.200	381	80
10	19.0	730	550	0.180	379	72
11	9.0	630	550	0.080	356	32
Gesamt:	216.5	8120	6050	2.070	383	829

Korrektur Abstichfehler	36
Akkumulation 30.09.2021	24
Akkumulation bis 30.04.2022	46
Winterbilanz 01.10.2021-30.04.2022	887

Keil					
Dichte Keil [kg/m ³]	Differenz zu Zylinder (Federwaage) [kg/m ³]	%	Wasserwert Keil [mm w.e.]	Differenz zu Zylinder (Federwaage) [kg/m ³]	%
291	5	1.75	58	-2	-3.52
324	19	5.87	65	1	1.47
422	41	9.67	84	4	4.70
434	15	3.38	87	-1	-1.22
440	2	0.37	93	1	1.01
424	5	1.10	91	3	3.23
440	30	6.81	92	8	8.85
451	32	7.02	90	2	2.16
398	17	4.22	80	0	-0.07
420	41	9.71	84	12	14.23
350	-6	-1.66	32	-1	-1.66
405	22	5.50	874	33	3.79

Korrektur Abstichfehler		
Akkumulation 30.09.2021		
Akkumulation bis 30.04.2022		46
Winterbilanz 01.10.2021-30.04.2022		920

Tabelle 14: Werte der beiden Schneeschächte zur Bestimmung der Schneedichte der Winterbilanz.

Name	Höhe [m.a.s.l.]	Schneehöhe [cm]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [kg/m ²]	Wasserwert [kg/m ²] 30.04.
TE	3030	226	405	874	920
L7	2639	144	417	600	632



Abbildung 19: Marie Schroeder und Silvia Barbieri bei Schacht L7. Foto: Rainer Prinz, 19.04.2022.

Tabelle 15: Werte der Schneehöhensondierungen zur Bestimmung der Winterbilanz

Ident	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Snowdepth (cm)	Density (kg/m³)	Accumulation Oct2021 (kg/m²)	Accumulation Apr2022 (kg/m²)	SWE (kg/m²)	SWE corr (kg/m²)	Comment
41	46.811013	10.784652	2555	54	417	0	29	225	254	FEE: 168
L8	46.810250	10.782012	2587	93	417	0	30	388	418	FEE: 143
42	46.809916	10.778734	2616	126	417	0	31	525	557	
50	46.808264	10.780950	2608	47	417	0	31	196	227	FEE: 270
L7	46.808111	10.777825	2639	140	417	0	32	584	616	pit
22	46.804945	10.776727	2681	59	417	0	34	245	278	
51	46.805990	10.772458	2691	128	417	0	34	535	569	
L6	46.803283	10.772843	2730	170	417	0	35	709	744	
26	46.800765	10.773501	2743	114	417	0	36	477	513	
LIDAR	46.797560	10.769710	2800	164	405	0	38	664	702	FEE: 223
71	46.799760	10.767879	2780	170	405	0	37	687	724	
102	46.796086	10.770156	2820	161	405	0	39	651	689	
PWB21	46.796421	10.768286	2827	174	405	0	39	706	745	
88	46.795373	10.767041	2888	163	405	0	41	659	700	
L4	46.794105	10.764654	2873	167	405	0	41	676	717	
89	46.793227	10.762054	2898	176	405	0	42	713	754	
L3	46.792908	10.758919	2916	145	405	0	42	587	629	
103	46.791153	10.753551	2976	153	405	15	44	618	647	
101	46.793881	10.752866	2989	143	405	15	45	579	609	
TE_B	46.790320	10.749737	3033	196	405	24	47	794	816	
104	46.792541	10.745708	3085	153	405	0	48	621	669	
105	46.793762	10.742379	3128	196	405	93	50	794	751	
109	46.797578	10.749031	3124	163	405	0	50	658	708	
107	46.798811	10.745463	3190	163	405	15	52	660	697	
110	46.787954	10.739624	3229	244	405	0	54	987	1041	
111	46.789002	10.735845	3287	210	405	0	56	851	906	
100	46.786990	10.755656	3088	158	405	0	49	638	686	
WP26	46.791270	10.742962	3131	228	405	15	50	921	957	
WP27	46.789350	10.742626	3164	298	405	15	51	1207	1243	
WP28	46.794858	10.743616	3098	250	405	15	49	1013	1046	
WP29	46.792479	10.777502	3089	87	405	15	49	352	386	
WJ	46.797185	10.742895	3152	213	405	15	51	861	897	
TE	46.790960	10.748500	3030	216	405	0	46	875	921	pit

D.2.2 Feldkampagne 25.06.2022

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung Hintereisferner
- Kontrolle der AWS28
- Tausch Speicherkarte SmartStake
- Schneedichtemessung und Kontrolle AWS CRNS
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Andreas Prinz – privat

Ausgeführte Arbeiten:

Von Rofen über das Hochjochhospiz zum Hintereisferner (~11:30). Pegelablesungen bis 103/101.

AWS28: Leider hat der Akku über den Winter seinen Geist aufgegeben. Strahlungsschild für Temperatursensor montiert. Sensor nicht. **ToDo:** Logger, Laderegler und Akku ersetzen, T/RH-Sensor installieren, SR50 Membran tauschen. SR50 eventuell nachbohren (spätestens wohl Ende Juli).

SmartStake: Speicherkarte getauscht.

AWS CRNS: Daten ausgelesen. Schneedichtemessung (512 kg/m³, 58 cm Schnee, SWE: 297 kg/m²). Schneehöhenmessung (48,43, 40, 40 cm unter SR50, 40 cm Nähe Snowfox).

Situation:

Nach Durchzug einer schwachen Kaltfront in der Nacht 0/8-4/8 mit ~8°C auf 3000 m. Schwacher Wind aus S/SW. Schneefall in der Nacht bis ~3000 m; am Vormittag bereits wieder geschmolzen. Noch nie war der Hintereisferner so früh im Jahr soweit hinauf aper. Eine Folge des trockenen Winters und des warmen Frühjahres (wärmste Zweimonatsperiode Mai-Juni) in Vent.



Abbildung 20: Letzte Schneereste bei der Wetterstation am Teufelsegg. Foto: Rainer Prinz, 25.06.2022.



Abbildung 21: Der Abfluss vom Kesselwandferner ist bereits enorm. Foto: Rainer Prinz, 25.06.2022.

D.2.3 Feldkampagne 02.07.2022

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung Hintereisferner
- Reparatur AWS28
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Caroline Hillforth – Studentin Universität Uppsala, Erasmus ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Von Rofen über das Hochjochhospiz zum Hintereisferner (~11:30). Pegelablesungen bis L5.

AWS28: Logger und Akku ersetzt, T/RH-Sensor (Hygrovue10) installiert, SR50 Membran getauscht.

ToDo: SR50 nachbohren, neue Speicherkarte einsetzen, Kontrolle der Station mit Laptop.

Situation:

Nach Durchzug einer schwachen Kaltfront in der Nacht 0/8 mit $\sim 12^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Schwacher Wind aus S/SW.



Abbildung 22: Der HEF ist bereits über 3100 m aper. Der Oberflächenabfluss ist groß (L6). Foto: Rainer Prinz, 02.07.2022.

D.2.4 Feldkampagne 03.+04.08.2022

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung Hintereisferner
- Bohren von Ablationspegel
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

03.08.: Von Rofen mit Heli zur Station Hintereis zwecks Mitnahme von genügend Trinkwasser, da mit dem schneearmen Winter und warmen Sommer keine Schneeflecken für Schmelzwasser mehr zur Verfügung stehen. Bohren (Heucke) der Pegel 101, L3, L4, 71 und 26. Pegel 102 wird aufgelassen.

04.08.: Obere Pegelrunde. Leider funktioniert Kovacsbohrer mangelhaft. 107, 104, TE_B jeweils nur 1x2 m gebohrt. L5 konnte 5 m gebohrt werden.

AWS28 (SR50) muss aufgelassen werden. Wir konnten weder den Sensor neu bohren noch den Logger in Gangsetzen. Hat seit 02.07. nur NaNs verzeichnet – Grund unklar.

Situation:

Hochsommertage mit 0/8-3/8 Bewölkung und ~14°C auf 3000 m. Schwacher Wind aus W/NW.



Abbildung 23: Panorama über den oberen HEF. Die Ausaperung für Anfang August ist extrem. Steinschlag und Spaltenbildung sind für die Arbeiten eine Herausforderung. Foto: Rainer Prinz, 04.08.2022.

D.2.5 Feldkampagne 05.09.2022: KWF

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung Kesselwandferner
- Bohren von Ablationspegel
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Marie Schroeder, Silvia Barbieri, Leopold Schlagbauer – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

Von Rofen mit Heli zu Pegel 19 unterhalb des Fluchtkogels. Bohren der Pegel 19, 18, 12, 9 und 5. Pegel 3, 4, 6 und 17 werden aufgelassen.

Pegelstangendepot (27) am Gletscherende, direkt neben dem Steig.

Situation:

Sommertag mit 4/8-8/8 Bewölkung und $\sim 7^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Schwacher Wind aus W/NW.



Abbildung 24: Silvia Barbieri beim Pegelbohren am KWF. Foto: Rainer Prinz, 05.09.2022.

D.2.6 Feldkampagne 22.+23.09.2022

Ziel der Feldkampagne:

- Pegelablesung Hintereisferner
- Bohren von Ablationspegel
- Schneedichtemessung
- Wiederaufstellung der AWS CRNS
- Wartung AWS Station Hintereis
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Silvia Barbieri, Marie Schroeder – ACINN
- Thomas Geisler – IGI, GridIT

Ausgeführte Arbeiten:

22.09.: Von Rofen mit Heli zur AWS CRNS zwecks Mitnahme von sechs Stück Betonsockel zur Beschwerung der Füße der AWS. AWS neu ausgerichtet (Mast senkrecht, Dreibein waagrecht, Halterung Anemometer getauscht, Windrichtung und Strahlungssensor justiert, Halterung und Membran Schneehöhensensor getauscht). Dort auch Schneedichte gemessen. Bohren (Heucke) des Pegels TE_B.

Frostschutz Pluviometer Station Hintereis neu mit Gefrierschutz befüllt.

23.09.: Bohren (Heucke) und Neustart des SmartStakes (mittlere Düse; SD Karte vergessen, daher nicht getauscht). Pegel L6, L7, L8 neu gebohrt.

Situation:

Herbsttage mit 0/8-2/8 Bewölkung und $\sim 0^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Am 22. kaum Wind, am 23. anfangs böig aus E, im Tagesverlauf auf S/SW drehend mit Bewölkungsaufzug, $\sim 3^{\circ}\text{C}$ wärmer. Durch die starke Schmelze ist die Gletscheroberfläche von Abflusskanälen und -mulden bis ~ 30 cm Tiefe geprägt. Die Septemberschneefälle mit starkem Wind (zB am 17.09.) füllten diese Mulden auf, während die Buckel aper blieben. Durch das Einsinken in die Mulden und verborgenen Spalten mühsames gehen am Gletscher. Aufgrund der extremen Ausaperung und der starken Spaltenbildung sind Pegel oberhalb 105 nicht erreichbar.

Zu bohrende Pegel 2023: 51, 22, 104, 105, 107

41 auflassen – kaum mehr zugänglich aufgrund Schutt. Auch 103 – hat sich nicht bewährt. 107 ist durch Steinschlag ungut zu erreichen.



Abbildung 25: Wieder einmal Pegelbohren. Foto: Rainer Prinz 23.09.2022.



Abbildung 26: In der Flanke zum Hinteren Eis ist der Gletscher fast zur Gänze abgeschmolzen. Der tauende Permafrost macht sich durch Steinschlag bemerkbar. Foto: Rainer Prinz 22.09.2022.

D.3 Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental

D.3.1 Feldkampagne 16.12.2021: Im Hinteren Eis

Ziel der Feldkampagne:

- Überprüfung der Fenster IHE
- Installation eines Thermistors
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag – ACINN
- Caroline Aubrey-Wake – Centre for Hydrology, University of Saskatchewan, Canada

Ausgeführte Arbeiten:

Anmarsch von der Bergstation des Hintereisliftes ins Hintere Eis. Fenster kontrolliert. Keine Beschädigungen festgestellt. Ein wenig war Schnee in die oberen Fensterschienen geweht. Dieser stellt kein Problem dar, wurde aber trotzdem so weit wie möglich entfernt. Grund für das Blockieren der Fenster bei Lufttemperaturen unter ca. -16°C also weiter unklar. Anschläge der Fenster in der oberen Schiene waren lose -> wieder festgeschraubt. Alle Schrauben in der Abdeckung/Befestigung der Zahnstangen angezogen.

Thermistor am Logger im Container verkabelt, nach außen geführt und unterhalb des Containers, an seinem Boden, befestigt. Dieser Sensor soll den Temperaturgrenzwert liefern, ab dem die Fenster geschlossen bleiben – z.B. bei Lufttemperaturen <-16°C.

Situation:

Wolkenloser Wintertag mit ~-3°C auf 3000 m. Lebhafter Nordwind, ab Mittag stark.

D.3.2 Feldkampagne 23.12.2021: AWS CRNS

Ziel der Feldkampagne:

- Kontrolle der AWS CRNS
- Auslesen des Datenloggers
- Schneeprofil: Schneehöhe, -dichte, -temperatur
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Josef Mayerl - privat

Ausgeführte Arbeiten:

Anmarsch von der Bergstation des Hintereisliftes ins Hintere Eis. Von dort Abfahrt zum HEF und Anmarsch zum AWS CRNS bei der Schachtposition TE.

Wetterstation funktioniert einwandfrei. Batteriespannung aufgrund der wenigen Sonnenstunden niedrig. Schlimmstenfalls kurzzeitiger Ausfall der AWS bei schlechtem Wetter und kurzen Tagen zu befürchten.

Schneehöhe bei SR50 (cm): 103, 104, 103, 104

Schneeschart: siehe LAWIS

Situation:

Gering bewölkter Wintertag (Durchzug hoher Zirren) mit $\sim -5^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Lebhafter Nordwestwind, ab Mittag stark. Entlang den windexponierten Kämme wenig Schnee und überhaupt ausgesprochen schlechte Schneequalität. Durch lange Trockenperiode und Wind Ausbildung unterschiedlich mächtiger, stark ausgetrockneter Windharschdeckel. In steilen Südhängen unterhalb ~ 2500 m tw. Mikropenitentes sichtbar.

Schneeprofil: Teufelsegg

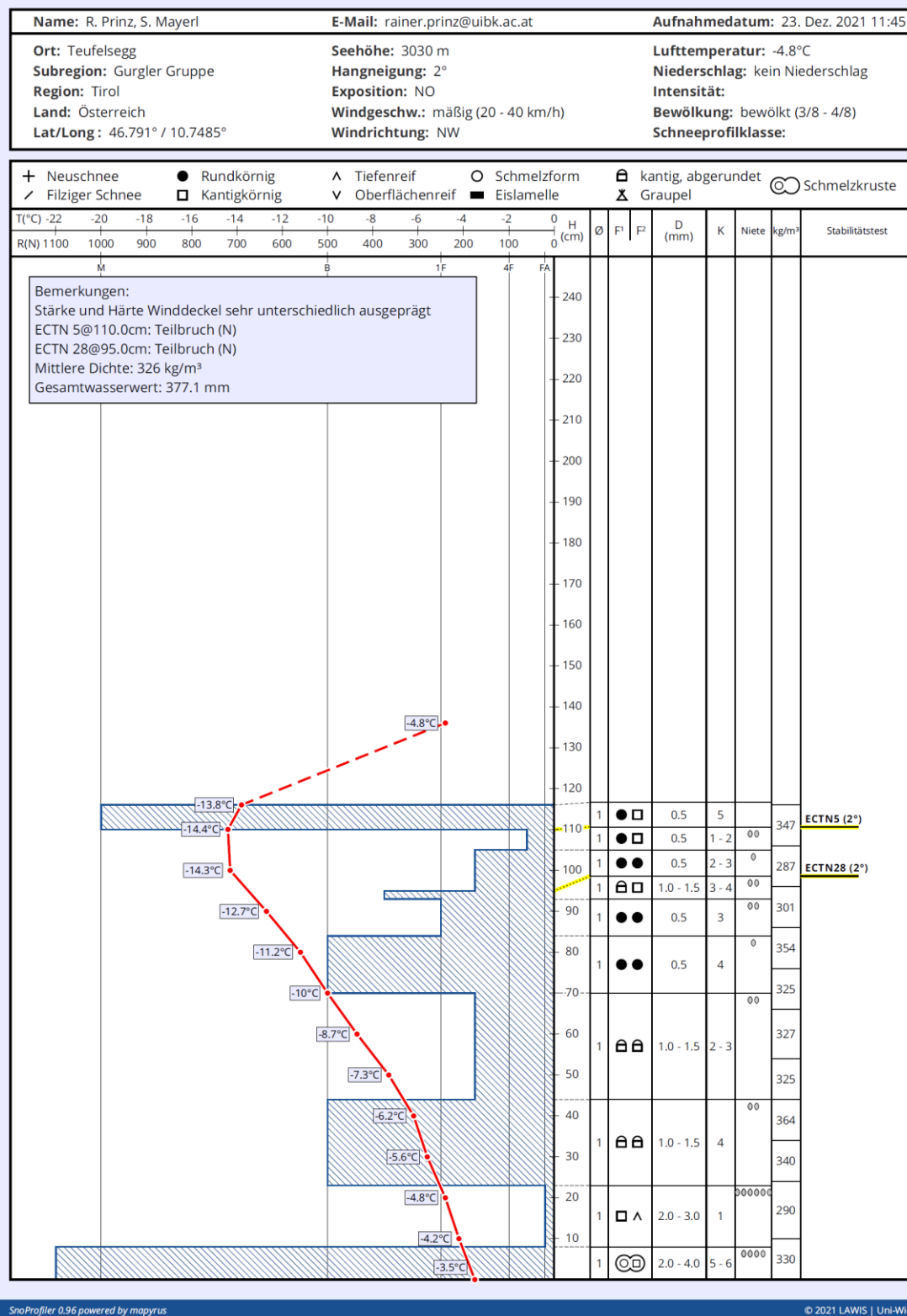


Abbildung 27: Schneeprofil am Standort der Teufelsegg.

D.3.3 Feldkampagne 22.03.2022: Abbau MOMAA HEZ; Kontrolle StHE

Ziel der Feldkampagne:

- Abbau der AWS HEZ
- Kontrolle der Station Hintereis
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag, Marie Schroeder – ACINN
- Georg Unterberger – Leiter der Abteilung Hütten, Wege und Kartographie des ÖAV

Ausgeführte Arbeiten:

Mit Helikopter von Rofen zur AWS HEZ und weiter zur Station Hintereis. Nach ca .1 h wieder Abholung der beiden Teams.

Status Station Hintereis: Unbefugte Gäste vom 20.11. (Webcam) hatten wohl den Gasschrank nicht ordentlich versperrt. Der Wind hat die Tür ausgerissen und irgendwohin vertragen. Sonst alles ok. Behebung kleinerer Mängel siehe Bericht Unterberger.

Situation:

Wolkenlos mit $\sim -7^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Wenig Schnee, Schneeoberfläche vom Saharastaub gefärbt.

Besichtigung der Station Hintereis 22.03.2022

DI Georg Unterberger, Abteilungsleiter Hütten und Wege ÖAV

Die Hütte ist im Prinzip sehr gut in Schuss, ggf. könnte man das Blech mal wieder beschichten (also streichen) lassen. Einige Altlasten unter der Hütte sind zu entsorgen, sowie unbedingt die Gasflaschentüre(n) zu ersetzen/reparieren. Ich würde auch regelmäßig den Gasanschluss warten lassen, v.a. wenn die Schläuche porös werden.

Stichworte und Materialien:

- Tür Gasschrank links ersetzen
- (Zirben-)Bretter statt Pressspanplatten unter Betten
- Kaltschaummatratzen
- Sikaflex 291i als Dichtmasse, oder Skiaflex 292i als Kleb-und Dichtmasse (doppelt so teuer, beides z.B. bei compass24.at zu bestellen)
- Ideal wäre, den PVC-boden zu entfernen, damit drunter das Holz nicht schimmeln kann.
- Wenn wir mal in den Spitzboden (siehe Foto - minimale schwarze Schimmelspuren- Abtötung/Behandlung: mit 70-90% Isopropanol (=Isopropylalkohol, in Internet zu bestellen)) ansprühen) von innen schauen wollen, müssten wir die Untersicht der Decke öffnen, dann kann evtl. man genauer sehen, wo das Wasser vom Dach (entweder 2 alte Anbauten der 2 Bretter (Foto Dach) oben, oder doch der eine Kabelauslass seitlich) herkommt...
- Oder Du dichtet mal alles ab und schaust, wie es sich weiter entwickelt.
- Für die Lufthutzen seitlich fehlten glaub ich 2 Edelstahl M8 Muttern.
- Die Türklinke hält noch, ggf. kann man hier mal über ein neues Einstemmschloss nachdenken.
- Die Fensterladenverriegelungsbolzen gehen ist Leere (morsches Holz), da würde ich die Löcher mit Epoxymasse füllen (Epoxidspachtel- Baumarkt oder compass24), und dann ein neues Loch ins Epoxy bohren, das hält vermutlich besser als im relativ weichen Sika, wobei der 292i schon sehr gut klebt, wenn man davor alles entfettet (Reinigungsbenzin).

LG

Georg

D.3.4 Feldkampagne 10.08.2022: Wartung StHE

Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Station Hintereis
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Silvia Barbieri – ACINN
- Wolfgang Santer – privat
- (Philipp Vettori musste kurzfristig aufgrund einer Covid-Infektion absagen)

Ausgeführte Arbeiten:

Von Rofen um 08:00 mit Heli zur Station Hintereis: Materialtransport 1 BigBag. Retour gegen 17:15

Ausgeführte Arbeiten (nach Beratung von Georg Unterberger vom 23.03.2022):

- Linke Tür am Gasschrank ersetzt, nachdem ungebetene Gäste (unbekannt) am November 2021 den Schrank unversperrt ließen und der Wind die Tür aus den Angeln gerissen und im Gelände verteilt hatte. Tür wurde am 03.08. wiedergefunden und zur Hütte gebracht.
- Abdichtung: Aus der alten Tür wurde ein kleines Dach gebaut, das die westseitige Luftzufuhr der Heizung überspannt. Abdichtung aller westseitigen Öffnungen mit SikaFlex. Wir hoffen somit, dass weniger Schmelz- und Niederschlagswasser in die Hütte eindringt.
- Einkleben des Studentenkopfes am Fensterladen des Küchenfensters.
- Reparatur der gerissenen Lüftungsabdeckung der westseitigen Heizung.
- Austausch der Matratzen: Nach knapp 60 Jahren hatten die Matratzen ausgedient und besonders jene der unteren Stockbetthälfte bereits Schimmelflecken angesetzt. Die Sperrholzplatte als Unterlage aus dem unteren Stockbett wurde durch Glattkantbretter ersetzt, um etwas mehr Luftzirkulation an der Matratzenunterseite zu gewährleisten und Schimmelbildung einzudämmen.
- Bezug der Matratzen mit frischen Spannleintüchern.
- Auslüften aller Decken.
- Alle Räume der Hütte wurden gesaugt.
- Behandlung der Holzdecke oberhalb der westseitigen Heizung mit Isopropanol um Schimmelbildung einzudämmen.
- Noch offen: Batterien der Wetterstation tauschen, Anheften einiger Blechteile mit Blechnägeln (zB im Eingangsbereich), Versteifung Hüttentisch (lange Stuhlwinkel und 3(4)x50 Spax), Hütte streichen (außen).

Situation:

Hochsommertag mit 0/8-4/8 Bewölkung und $\sim 12^{\circ}\text{C}$ auf 3000 m. Schwacher Wind aus W.



Abbildung 28: Anbau einer Abdeckung der westlichen Lufthutze. Regenwasser an der Wetterseite der Hütte sollte somit nicht mehr durch die Lufthutze in die Hütte gelangen. Foto: Rainer Prinz, 10.08.2022.

D.3.5 Feldkampagne 05.10.2022: Wartung Wetterstationen Vent und StHE

Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Wetterstation Vent
- Wartung Wetterstation Station Hintereis
- Dreharbeiten NHK (japanisches Fernsehen – Doku über Gletscher)
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Silvia Barbieri

Ausgeführte Arbeiten:

Vent: 09:20-09:30:

- Hinterlegung des Schlüssels zum Stromverteilerkasten in die Loggerbox. TINETZ will Stromzähler ersetzen.
- Tausch Gefrierschutz Pluviometer

Station Hintereis:

- AWS: Tausch der Batterien
- AWS: Tausch der SR50 Membran
- Putzmittel aufgefüllt
- Seil (30 m) hinterlegt
- Müll entsorgt

Situation:

Warmer Herbsttag mit 0/8-2/8 Bewölkung und ~8°C auf 3000 m. Auflebender wind aus Süd. Tw. >30 cm Schnee zwischen den Steinen verweht.

D.3.6 Feldkampagne 13.10.2022: Wartung Im Hinteren Eis und Tisenjoch

Ziel der Feldkampagne:

- Wartung der Wetterstationen am Tisenjoch und Im Hinteren Eis
- Kontrolle Container Laserscanner
- Footages des BfÖ zur Medienarbeit (Universität, Alpiner Raum, ACINN)
- Fotodokumentation

Teilnehmer:

- Wolfgang Gurgiser, Rainer Prinz – ACINN
- Udo Haefeker, Eva Fessler – BfÖ

Ausgeführte Arbeiten:

Mit dem Heli von Rofen ab ~09:10 aufs *Tisenjoch*. Austausch beider Batterien, allgemeine Sichtkontrolle. Reinigung des Schutzglases der Webcam. Messung Sensorhöhen.

Sensor	Höhe über Unterkante Bodenplatte (cm)
Thermo-/Hygrometer nicht ventiliert	234 (Unterkante Strahlungsschutz)
Thermo-/Hygrometer nicht ventiliert	242 (Messfühler)
Thermo-/Hygrometer ventiliert	240 (Messfühler)
Anemometer	392 (Propellerachse)

Im Hinteren Eis: Erneuerung des Gefrierschutzes im Pluviometer (08:00-08:10 UTC). Sichtkontrolle Loggerbox Pluviometer. Abspannungen AWS Mast nachgezogen. Kontrolle der ventilierten Thermo-/Hygrometer. Allgemeine Sichtkontrolle.

Container: Fenster auf und wieder zu. Depot von zwei Platinen für die Webcams. Reinigung des Schutzglases der Webcam. Schrauben Schutzgehäuse Webcams nachgezogen. Entfernung der von der äußeren Fenstereinhausung herabhängenden Fugendichtung. Meine Reichweite zum Abschneiden war zu kurz. Ich konnte nur an der Dichtung ziehen und musste die Dichtung entlang der gesamten Fuge herausziehen. Auswirkung unbekannt. Am anderen Fenster scheint es keine Dichtung zu geben.

Die Helicrew hat an den jeweiligen Standorten den Hubschrauber abgestellt, sodass wir stressfrei arbeiten und das BfÖ-Team in Ruhe filmen und fotografieren konnte. Rückflug nach Rofen ~11:00.

Situation:

Angenehmer Herbsttag mit bis 2°C auf 3000 m. In der Früh tw. sogar Windstille, später leichter Wind aus S-W. Bewölkung in der Früh 0-1/8, am späten Vormittag Aufzug hoher Bewölkung bis 4/8. Nordseitig IHE Bildung von Oberflächenreif (Nigg-Effekt von feucht-warmer Luft?). Meldung an LWD.



Abbildung 29: Die Wetterstation an der Ötzifundstelle am Tisenjoch. Foto: Rainer Prinz, 13.10.2022.