

MASSENHAUSHALT 2003/2004 DER GLETSCHER IN DER GOLDBERGGRUPPE

Bernhard Hynek, Wien

1. Einleitung

Im Rahmen der Projekte MOMBASA und WURTEN wird von der Zentralanstalt für Meteorologie der Massenhaushalt der drei Gletscher Goldbergkees (früher Vogelmaier-Ochsenkarkees), Kleinfleißkees und Wurtenkees in der Goldberggruppe der Hohen Tauern mittels der direkten glaziologischen Methode (z.B. KASER et al, 2003) ermittelt. Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung der Messungen und Ergebnisse aus dem hydrologischen Jahr 2003/2004.

Das Kleinfleißkees und das Wurtenkees liegen südlich des Alpenhauptkammes, sind 0,8 bzw. 0,9 km² (2003) groß und nach West bis Südwest exponiert. Das nördlich des Alpenhauptkammes gelegene ca. 1,4 km² (2003) große Goldbergkees schließt an der Kleinfleißscharte direkt an das Kleinfleißkees an, ist im oberen Bereich nach Südost exponiert und im Zungenbereich nach Nordost. Das Kleinfleißkees und das Wurtenkees entwässern über den Kleinfleißbach bzw. den Fragantbach in die Möll und das Goldbergkees Richtung Norden über die Rauriser Ache in die Salzach.

Die bisherigen Massenbilanzen der Gletscher der Goldberggruppe wurden auf Basis der Gletscherflächen von 1998 ausgewertet. Im September 2003 gab es eine Befliegung der Goldberggruppe durch das Land Kärnten. Aus dem daraus erstellten Orthofoto, das uns vom Land Kärnten zur Verfügung gestellt wurde, konnten die Gletscherflächen brauchbar abgeleitet werden (siehe schwarze Umrisse in Abbildung 1). Die Massenbilanz 03/04 ist somit die erste Massenbilanz, die auf der neuen Gletscherfläche von 2003 ausgewertet wurde. Auffallend in Abbildung 1 ist vor allem die gegenüber 1998 fehlende Gletscherzunge am Kleinfleißkees, die im September 2002 in Form eines Eissturzes an der steilsten Stelle abbriss.

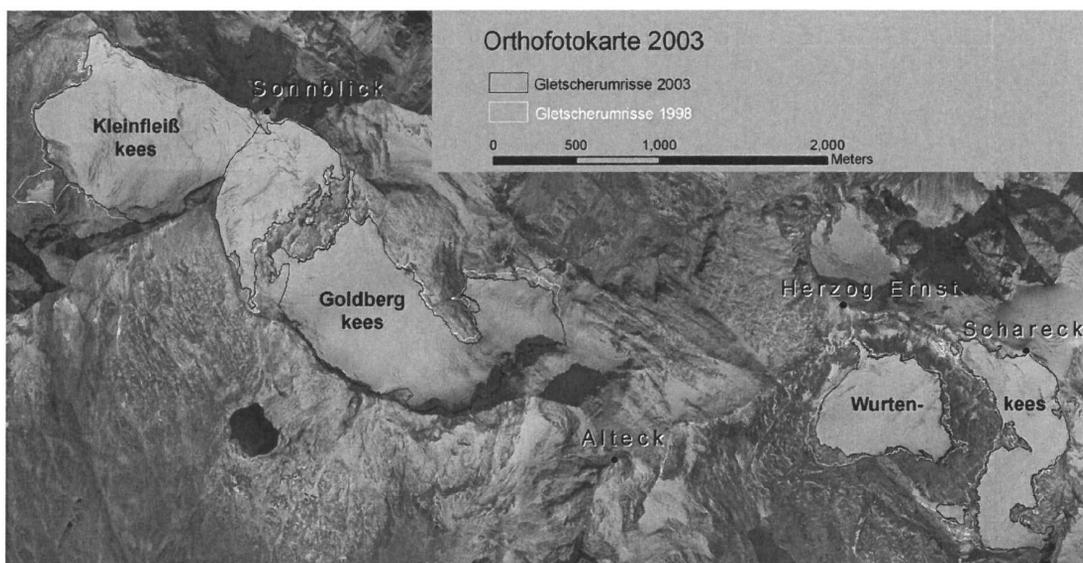


Abbildung 1: Orthofoto vom September 2003 (Quelle: Land Kärnten) mit Kleinfleißkees, Goldbergkees und Wurtenkees

2. Witterungsverlauf

Um einen Überblick über die Witterung im Haushaltsjahr 03/04 zu bekommen, sind nachfolgend die Monatsmittel bzw. -summen von Temperatur, Niederschlag und Schneehöhe von drei nahegelegenen Klimastationen und von Stationen aus dem Sondermessnetz der ZAMG jeweils im Vergleich zum dreißigjährigen Klimamittel 1961-90 (wo vorhanden) dargestellt.

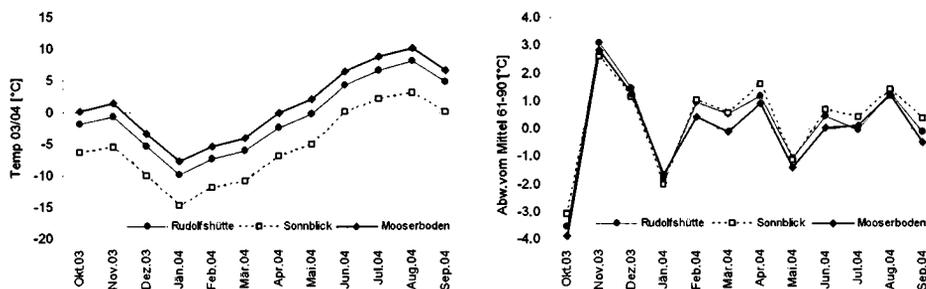


Abbildung 2: Monatsmittel der Temperatur (li) und Abweichungen vom Mittel 1961-90 (re)

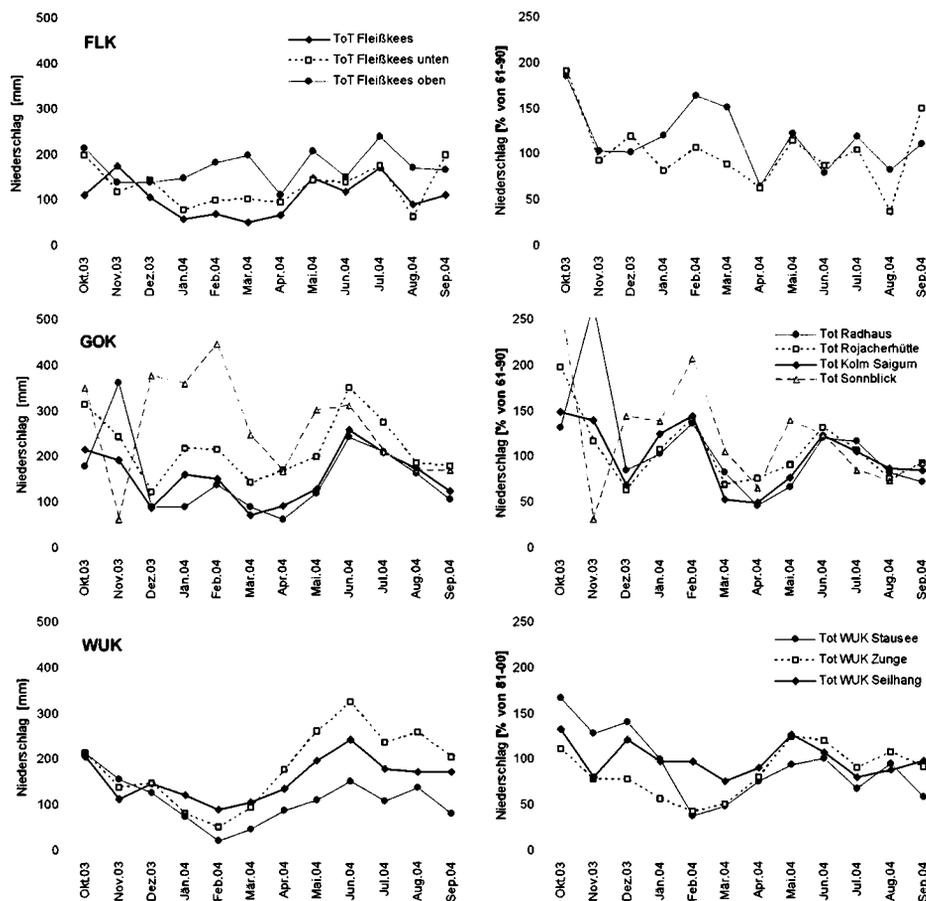


Abbildung 3: Monatswerte der Totalisatoren im Bereich Kleinfleißkees (oben) und Goldbergkees (Mitte) im Haushaltsjahr 2003/04 und die Abweichungen vom 30-jährigen Mittel (1961-90). Da die drei Totalisatoren am Wurtenkees (unten) noch nicht über so lange Messreihen verfügen wurde die Abweichung vom 20-jährigen Mittel (1981-00) dargestellt.

Auffallend am Temperaturverlauf 03/04 im Vergleich zum langjährigen Mittel sind die starken Gegensätze im Herbst 2003, der relativ kalte Oktober und der relativ warme November. Die Jahresmitteltemperaturen an den drei Messstationen aus Abbildung 2 Hoher Sonnblick, Rudolphshütte und Mooserboden waren um nur 0.1°C wärmer als das Mittel 61-90.

Verantwortlich für die sehr späte Ausaperung der Gletscher waren die überdurchschnittlich starken Niederschläge vor allem im Mai, teilweise aber auch die im Sommer. In Abbildung 3 sind die monatlichen Niederschlagsmessungen aller im Sonnblickgebiet vorhandenen Totalisatoren dargestellt. Die Totalisatoren nördlich des Alpenhauptkammes (GOK) weisen 03/04 im Mittel um 40% mehr Niederschlag auf als die auf der Südseite des Alpenhauptkammes (FLK und WUK). Wie an den einzelnen Messwerten sichtbar, ist die Variabilität des Niederschlages innerhalb der Goldberggruppe sehr hoch. Die Lage der einzelnen Totalisatoren ist aus der Karte in Abbildung 4 zu entnehmen.

Die überdurchschnittlich starken Niederschläge im Mai führten dazu, dass das Maximum der Winterakkumulation zumindest am Goldbergkees und am Kleinfleißkees erst nach dem ersten Juni erreicht wurde. Dies belegen sowohl die Ablesungen der Schneepegel am Goldbergkees und Kleinfleißkees, dargestellt in Abbildung 6, als auch der Verlauf der Schneehöhe an der Kleinfleißscharte in Abbildung 5. Die räumliche Verteilung der permanenten Schneepegel aus dem Messnetz der ZAMG und der KELAG ist aus Abbildung 4 ersichtlich.

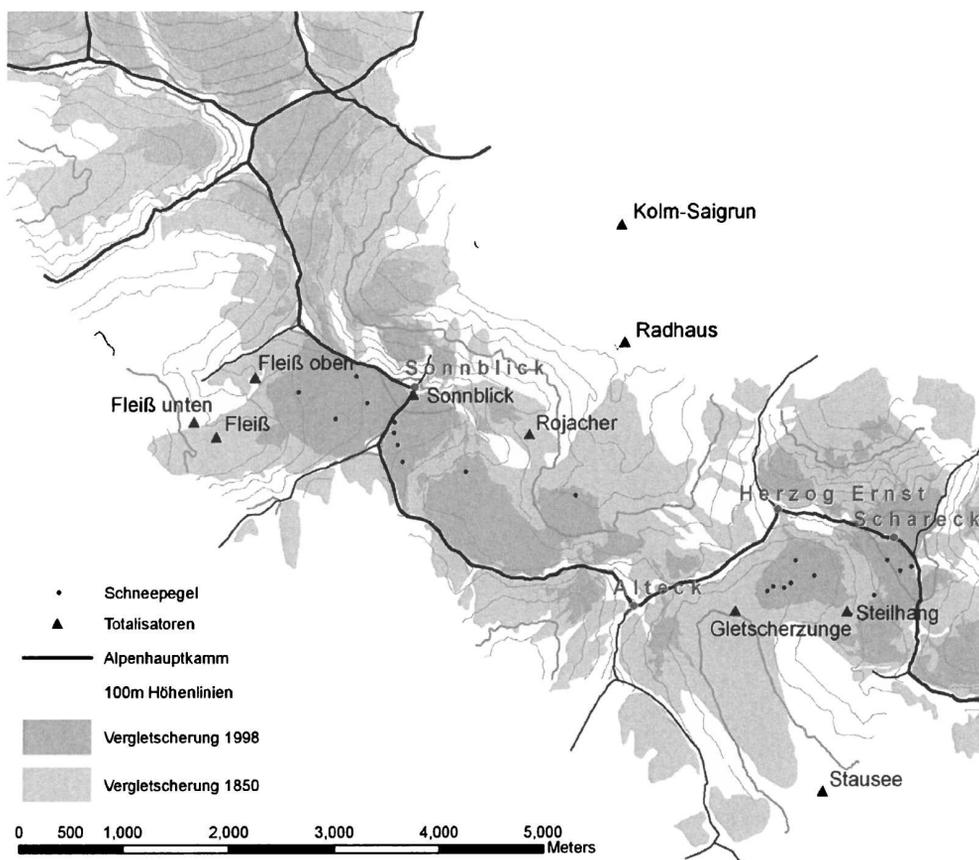


Abbildung 4: Lage der Totalisatoren und Schneepegel in der Goldberggruppe. (Rekonstruktion der vergletscherten Flächen nach BÖHM et al., 2007)

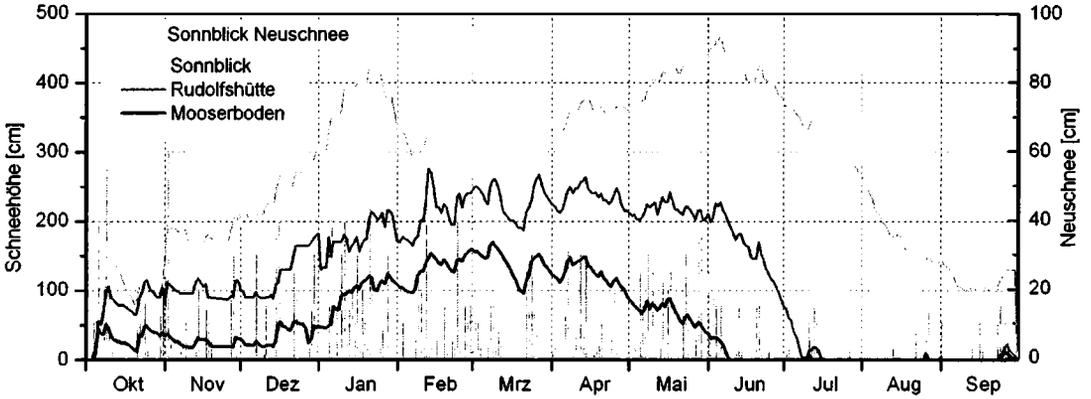


Abbildung 5: Zeitreihe der Gesamtschneehöhe im Haushaltsjahr 03/04 an den Stationen Sonnblick (Kleinfleißcharte, 2980m), Rudolfshütte (2304m) und Mooserboden (2036m) und der täglichen Neuschneemengen am Sonnblick

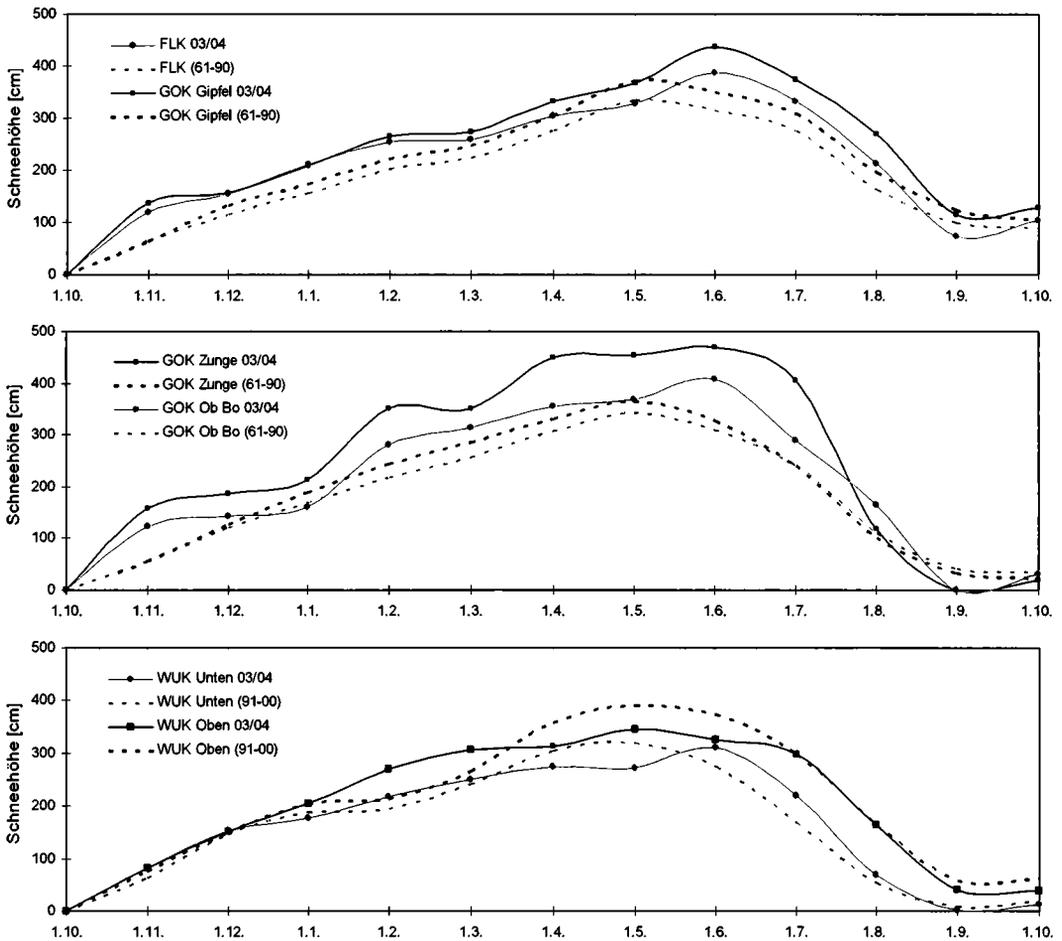


Abbildung 6: Verlauf der Schneehöhen an den jeweils am Monatsersten abgelesenen Schneepegeln am Kleinfleißkees, Goldbergkees und Wurtenkees im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-90 (bzw. 91-00 beim WUK.)

3. Messungen

3.1 Winterbilanzmessungen vom 27.4. bis 5.5.2004

Die Feldmessungen für die Winterbilanz 03/04 wurden von 27. April bis 1. Mai am Goldberg- und Kleinfleißkees und von 4. bis 5. Mai am Wurtenkees in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie der BOKU im Rahmen der Lehrveranstaltung Gletscherpraktikum durchgeführt. Zur Bestimmung der winterlichen Schneeeakkumulation wurden in Summe auf allen drei Gletschern 19 Schneeprofile gegraben. Dabei wurden Schneedichte und Schneetemperatur in den einzelnen Schichten sowie der Schneedeckenaufbau ermittelt. Die Messwerte aus den Schneeprofilen sind in Tabelle 1, die Schneetemperaturen in Tabelle 2 dargestellt. Um eine genauere Information über die räumliche Verteilung der Schneedecke zu erhalten, wurde auf allen drei Gletschern im Abstand von ca. 100 m die Schneetiefe sondiert. Die Schneetiefen an den Sondierungspunkten sind in Tabelle 3 enthalten. Die räumliche Lage der Sondierungspunkte und Schneeprofile wurde mit GPS bestimmt und kann aus Abbildung 8 und den Massenbilanzkarten im Anhang entnommen werden.

Die Schneetemperaturen waren teilweise unter 0°C, nur im Zungenbereich des Wurten- und Goldbergkeeses war die Schneedecke bereits teilweise durchfeuchtet (siehe Abbildung 7), trotz dieser teilweisen Durchfeuchtung wurde das Maximum der Akkumulation 2004 besonders spät erreicht, nämlich erst nach dem 1. Juni.

Tabelle 1: Schneeprofile am Goldbergkees (GOK), Kleinfleißkees (FLK) und Wurtenkees (WUK)

Profil	Gletscher	Datum	Koordinaten (östr. BMN)		Seehöhe [m]	Schnee- tiefe [cm]	mittlere Dichte [kg/m ³]	Wasser- äquivalent [mm]	Vorjahres- horizont	
			x	y						
1	Liesstang	GOK	29.04.04	421725	212635	3010	365	431	1573	Eis
2	Steilhang	GOK	28.04.04	421399	212180	2878	315	404	1272	Eis
3	OB Bockp	GOK	28.04.04	421687	211802	2675	391	428	1672	Eis
4	OB Mitte	GOK	28.04.04	422121	211668	2687	447	430	1921	Eis
5	OB Bruch	GOK	28.04.04	422667	211337	2626	350	413	1447	Eis
6	Zunge	GOK	01.05.04	422948	211646	2441	450	433	1947	Eis
7	SP Oben	FLK	27.04.04	421099	212560	2935	260	400	1041	Eis
8	SP Unten	FLK	27.04.04	420558	212720	2825	467	436	2035	Eis
9	Pilatus	FLK	27.04.04	420882	212486	2876	380	408	1550	Fels
10	FLK Mitte	FLK	27.04.04	421022	212886	2914	390	404	1576	Eis
11	Zunge	FLK	27.04.04	420210	212790	2774	245	389	953	Eis
12	Chemie	WUK	04.05.05	426084	211297	3043	338	394	1331	Eis
13	Scharte	WUK	04.05.04	426291	210861	3008	430	462	1985	Eis
14	Piste Mitte	WUK	04.05.04	426012	210775	2910	342	434	1484	Eis
15	Schneekanone	WUK	05.05.04	425794	210466	2806	390	460	1794	Eis
16	Lawi	WUK	05.05.04	425330	211055	2663	320	465	1487	Eis
17	Herzog Ernst	WUK	05.05.04	425127	211217	2640	310	461	1429	Eis
18	Mitte unten	WUK	05.05.04	425203	211001	2634	300	440	1321	Eis
19	Zunge	WUK	05.05.04	424858	210941	2552	215	445	958	Eis

Tabelle 2: Messwerte der Schneetemperatur (in °C) in den einzelnen Schneeprofilen und in unterschiedlichen Schneetiefen. (* Mittelwert der Messwerte aus 50, 100, 150, 200 und 250 cm)

Profil	Gletsch.	Datum	Höhe	Schneetiefe in cm																	Mittel*		
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350	400				
1	Lieslstang	GOK	29.4.04	3010	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-0.3		
2	Steilhang	GOK	28.4.04	2878	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
3	OB Bockp	GOK	28.4.04	2675	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-1.1	-1.6	-1.1	-1.3	-1.4		-0.9		
4	OB Mitte	GOK	28.4.04	2687	-0.3	-0.3	-0.6	-1.1	-1.3	-1.8	-2.1	-2.4	-2.9	-3.4	-4.7	-4.9	-4.8	-4.4	-3.9		-3.8		
5	OB Bruch	GOK	28.4.04	2626	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.7	-1.1	-1.5	-2.1	-2.4	-4.2	-4.7	-4.9	-4.8			-3.3		
6	Zunge	GOK	1.5.04	2441	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.5	-1.3	-1.7	-1.9	-2.7	-2.8	-2.8	-2.7	-2.4		-2.0		
7	SP Oben	FLK	27.4.04	2935	-2.5	-1.7	-0.4	0.0	0.0	-0.5	-0.9	-1.4	-2.0	-2.3	-3.6	-3.8	-3.5				-2.6		
8	SP Unten	FLK	27.4.04	2825	-3.2	-2.4	-1.8	-1.5	-2.0	-2.7	-3.6	-4.0	-4.3	-5.0	-5.2	-5.7	-5.1	-5.2	-4.7	-4.1		-4.6	
9	Pilatus	FLK	27.4.04	2876	-5.0	-2.5	-1.1	-1.0	-1.5	-1.8	-1.4	-1.9	-2.6	-2.9	-4.2	-4.3	-4.0	-3.5	-3.2			-3.4	
10	FLK Mitte	FLK	27.4.04	2914	0.0	-0.2	-0.1	0.0	-0.4	-1.1	-1.6	-2.2	-2.7	-3.3	-4.1	-3.9	-3.9	-3.4	-2.9			-3.1	
11	Zunge	FLK	27.4.04	2774	-0.6	-0.9	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.8	-1.0	-1.4	-2.8	-3.2	-3.1					-2.1	
12	Chemie	WUK	4.5.04	3043	-1.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2		-0.5	-0.6	-0.8	-1.3	-2	-2.2	-2.4					-1.3	
13	Scharte	WUK	4.5.04	3008	-1.9	-1.7	-1.4	-1.3	-1.3	-1.4	-1.6	-1.8	-2	-2.2	-2.9	-3.3	-3.9	-4.1	-4.1				-2.7
14	Piste Mitte	WUK	4.5.04	2910	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2					-2.8									
15	Schneekan.	WUK	5.5.04	2806	-0.6	-0.1			-0.2		0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	-3.0	-3.4	-3.8			-1.4	
16	Lawi	WUK	5.5.04	2663	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1			0.0	
17	Hzg. Ernst	WUK	5.5.04	2640	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	
18	Mitte unten	WUK	5.5.04	2634	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9			0.0	
19	Zunge	WUK	5.5.04	2552	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	

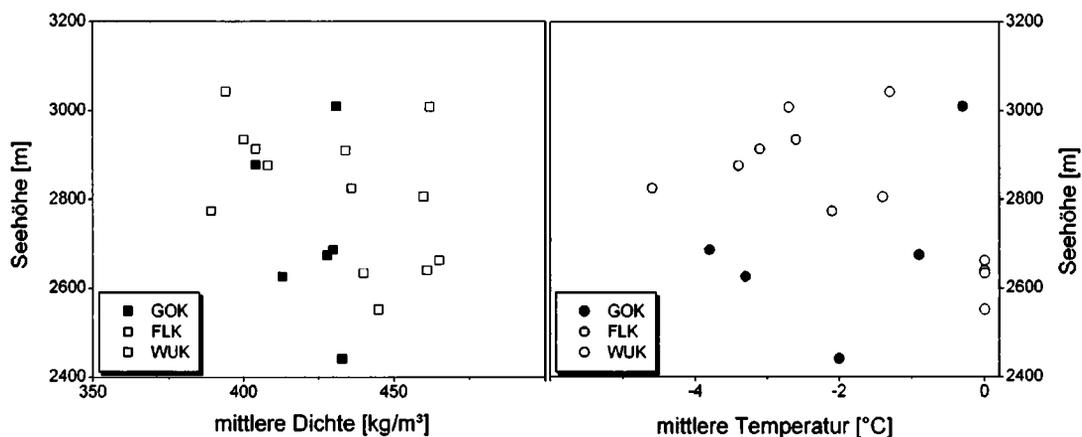


Abbildung 7: Goldbergkees (Gok), Kleinfleißkees (Flk) und Wurtenkees (Wuk), mittlere Schneedichte und Schneetemperatur in Abhängigkeit der Seeshöhe

Als Fortsetzung der ALPTRAC/SNOSP Messreihe (WINIQUARTER et al, 1998) wurden auch dieses Jahr Schneeproben für eine chemische Analyse genommen und am Institut für Analytische Chemie der Technischen Universität Wien hinsichtlich der wichtigsten Ionen analysiert. Die Probenahme erfolgte in den Profilen „Lieslstang“ am Goldbergkees und „Chemie“ am Wurtenkees.

Tabelle 3: Ergebnisse der Schneetiefensondierung im Frühjahr 2004. (Schneetiefe in m)

Goldbergkees						Kleinfließkees						Wurtenkees							
Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe	Pkt.	Tiefe
1	4.90	32	3.70	63	6.20	94	4.55	1	4.65	32	4.05	63	1.75	1	5.00	32	2.70	63	2.65
2	3.80	33	4.65	64	4.70	95	2.30	2	2.45	33	4.10	64	2.50	2	2.85	33	3.15	64	2.85
3	3.65	34	3.40	65	5.10	96	3.55	3	1.55	34	3.80	65	2.70	3	2.95	34	3.60	65	3.70
4	5.30	35	5.10	66	3.80	97	4.20	4	0.95	35	3.80	66	2.35	4	2.10	35	2.85	66	3.10
5	5.20	36	4.55	67	3.80	98	2.60	5	2.20	36	4.00	67	3.40	5	4.35	36	2.85	67	2.90
6	4.75	37	5.30	68	4.70	99	1.60	6	2.35	37	4.50	68	3.30	6	2.00	37	4.10	68	2.40
7	6.20	38	5.10	69	4.90	100	3.10	7	1.60	38	2.60	69	3.40	7	2.70	38	3.10	69	2.10
8	6.50	39	5.80	70	4.60	101	4.00	8	0.95	39	4.20	70	3.85	8	3.45	39	3.30	70	2.70
9	5.60	40	5.85	71	4.15	102	3.90	9	3.40	40	4.30	71	3.35	9	3.00	40	2.50	71	3.90
10	4.20	41	5.25	72	4.05	103	4.50	10	3.40	41	4.35	72	2.60	10	3.00	41	4.50	72	2.75
11	6.30	42	4.65	73	4.30	104	5.20	11	3.50	42	4.60	73	3.20	11	4.30	42	4.75	73	2.90
12	4.80	43	5.10	74	4.10	105	4.55	12	4.65	43	4.60	74	2.30	12	4.50	43	4.75	74	2.20
13	4.40	44	5.00	75	3.00	106	5.00	13	2.65	44	5.00	75	3.10	13	3.45	44	5.35	75	1.90
14	4.15	45	2.70	76	3.20	107	3.80	14	2.90	45	4.75			14	2.95	45	4.50	76	2.95
15	4.50	46	3.35	77	1.70	108	4.20	15	2.85	46	4.20			15	1.85	46	3.90	77	1.30
16	3.50	47	3.75	78	3.65	109	2.10	16	2.65	47	3.95			16	2.00	47	3.45	78	1.60
17	3.65	48	3.80	79	4.40	110	3.50	17	3.15	48	3.75			17	4.30	48	2.90	79	2.00
18	4.70	49	2.50	80	3.25	111	3.10	18	3.55	49	4.00			18	2.80	49	3.35	80	2.55
19	5.00	50	3.50	81	3.05	112	4.30	19	2.70	50	5.50			19	0.65	50	3.05	81	3.45
20	3.35	51	3.15	82	3.35	113	2.50	20	3.00	51	5.25			20	2.85	51	3.10	82	4.25
21	6.30	52	2.90	83	4.15	114	3.95	21	4.00	52	4.95			21	3.45	52	3.45	83	2.15
22	4.25	53	3.70	84	4.30	115	4.50	22	3.40	53	3.15			22	3.00	53	3.75	84	2.85
23	5.45	54	4.65	85	4.50	116	4.25	23	3.15	54	2.85			23	3.30	54	3.60		
24	3.75	55	3.65	86	3.40	117	3.50	24	3.75	55	3.45			24	2.80	55	4.60		
25	5.45	56	4.45	87	3.95	118	4.75	25	3.45	56	4.10			25	2.60	56	3.00		
26	5.20	57	4.20	88	3.50	119	3.50	26	3.10	57	4.35			26	0.50*	57	3.30		
27	4.00	58	4.55	89	1.90	120	3.50	27	3.60	58	4.20			27	1.75	58	3.00		
28	3.25	59	4.35	90	2.00	121	3.75	28	3.40	59	3.75			28	4.60	59	3.15		
29	3.20	60	4.10	91	2.70			29	3.70	60	3.70			29	3.25	60	3.20		
30	3.65	61	5.05	92	2.10			30	4.20	61	3.65			30	2.90	61	2.05		
31	4.00	62	6.60	93	3.35			31	4.30	62	2.50			31	3.15	62	3.35		

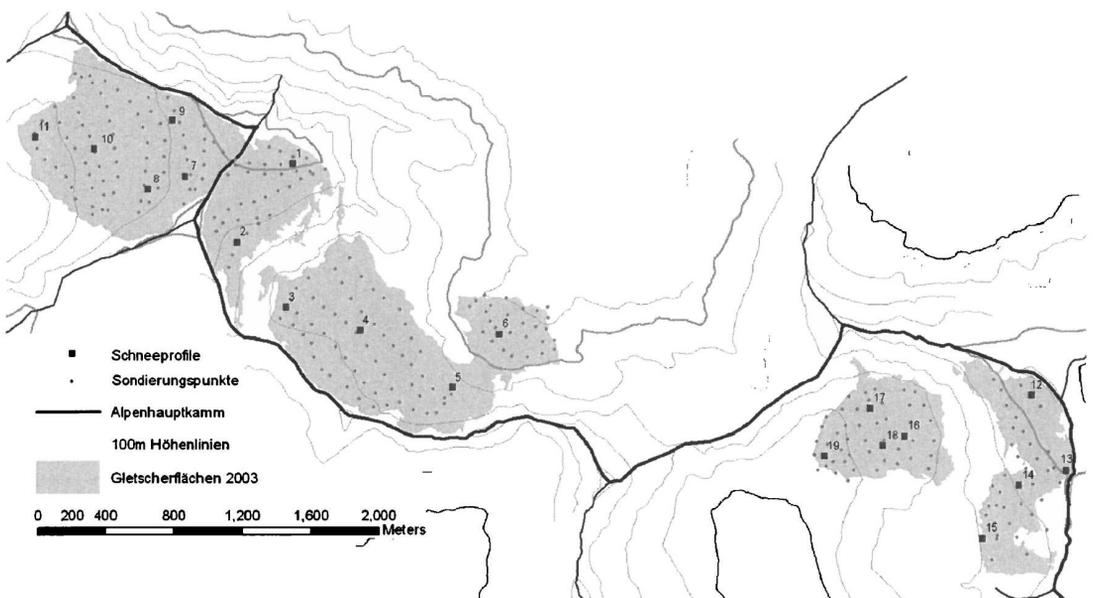


Abbildung 8: Lage der Schneeprofile und Sondierungspunkte im Frühjahr 2004

3.2 Messungen für die Jahresbilanz 2003/2004

Es sind auf allen drei Gletschern graue Ablationspegel aus Kunststoff mit 150 cm-Segmenten in Verwendung. Die Ablationspegel wurden am Goldbergkees Mitte August das erste Mal abgelesen und am Kleinfleißkees und Wurtenkees Anfang September. Anfang Oktober erfolgte wie üblich die Endablesung für die Berechnung der Massenbilanz 03/04. Die genauen Ablesungen und Abschmelzbeträge der Pegel sind aus Tabelle 4 zu entnehmen, die Lage der Pegel aus den Massenbilanzkarten im Anhang. Am Wurtenkees konnten dieses Jahr wieder nur die Hälfte der Pegel abgelesen werden, nämlich die im unteren Bereich des Gletschers, die Unsicherheit der berechneten Massenbilanz ist deshalb größer als bei den anderen beiden Gletschern. Am WUK wurde in diesem Haushaltsjahr kein Pegel erneuert, am GOK und FLK wurden in Summe 8 Ablationspegel erneuert. Für die Messung der Akkumulation wurden Anfang Oktober 04 am GOK ein und am FLK zwei Schneeprofile gegraben und Schneetiefensondierungen vorgenommen (Lage der Profile und Sondierungspunkte siehe Massenbilanzkarten im Anhang).

Tabelle 4: Koordinaten und Ablesungen der Ablationspegel auf allen drei Gletschern im Haushaltsjahr 03/04 (kursive, graue Werte sind keine Messwerte, sondern interpolierte Werte für die Berechnung der Massenbilanz, fettgedruckt heißt neu gebohrt).

Pegel	Koordinaten (östr. BMN)			Pegelablesungen [cm im Eis]						Ablation	Ablation
	x	y	z	28.8. 03	2.-3.10. 03	18.-19.8. 04	3.9. 04	18.9. 04	4.-6.10. 04	03/04 [cm Eis]	03/04 [mm WW]
G04/1	GOK	421761	212629	3001		575					
92/1	GOK	421740	212605	2995		52			68	16	144
G03/3	GOK	421580	212431	2940		461			462	1	9
G03/1	GOK	421380	212365	2927		482	485		447	-35	-315
G03/2	GOK	421385	212174	2878		458	498		408	-50	-450
G04-4	GOK	421879	211788	2668		626	615		545	-81	-229
02-8	GOK	421980	211940	2655		183			93	90	-810
G03/4	GOK	422079	211970	2651		485	458		384	-101	-909
02-7	GOK	422130	211805	2670		131	120		50	-81	-729
02-5	GOK	422274	211823	2656		130	133		68	-62	-558
G04-3	GOK	422165	211675	2685			567				
G03/8	GOK	422097	211418	2698		506					
02-6	GOK	422512	211497	2636	99	91	110		17	-74	-666
G03/11	GOK	422512	211497	2636	600	582	586		492	-90	-810
G04-5	GOK	422969	211578	2455			561				
EBS P1	GOK	422930	211666	2437					125		
EBS P2	GOK	422930	211666	2437		155			125	-30	-270
EBS P3	GOK	422930	211666	2437		150			122	-28	-252
G03/9	GOK	422899	211720	2433	610	585	540		445	-140	-1260
02/4	GOK	422890	211835	2405		130			70	-60	-540
G03/5	GOK	423015	211838	2400		372	375		270	-102	-918
G03/10	GOK	423200	211650	2430	609	593		560	540	-53	-477
02/3	GOK	423200	211650	2430	127	110			75	-35	-315
S11	FLK	421119	212806	2951	279	270		275	244	-26	-234
99/7	FLK	420647	212691	2835	215	200			200	0	0
F04/4	FLK	420583	212712	2829				710	673		
F03/1	FLK	420505	212420	2817	648	611		526	469	-142	-1278
S13	FLK	420525	212585	2816	233	194		103	46	-148	-1332
F04/5	FLK	420525	212585	2816				707	654		
02/11	FLK	420455	212735	2811	224	197		155	102	-95	-855
F04/2	FLK	420455	212735	2811				705	649		
F03/2	FLK	420305	212850	2791	610	581		540	498	-83	-747
F04/3	FLK	420285	212720	2784		836		718	669	-167	-1503
U1	WUK	424838	210960	2548		595		490	390	-205	-1845
U2	WUK	424955	211003	2598		585		435	350	-235	-2115
T3	WUK	425048	210959	2613		70		35			
U3	WUK	425048	210959	2613		600		550	480	-120	-1080
U5	WUK	425218	210976	2638		598			470	-128	-1152
T7	WUK	425118	211237	2652		20			weg		
U7	WUK	425118	211237	2652		624			594	-30	-270
T11	WUK	425352	211007	2668		110			30	-80	-720
U11	WUK	425352	211007	2668		595			535	-60	-540

4. Auswertung und Ergebnisse

Die Werte aus den Punktmessungen der Schneeprofile, Sondierungspunkte und Ablationspegel wurden mit der Software ArcGis auf der Gletscherfläche zu einem Raster interpoliert (spline interpolation) und aufsummiert. Die dabei verwendete Gletscherfläche wurde auf der Grundlage eines Orthofotos vom September 2003 erstellt. Die Ergebnisse der Massenbilanz für das Haushaltsjahr 03/04 sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Das Kleinfleißkees bilanziert erstmals seit Messbeginn leicht positiv, das Goldbergkees ebenfalls leicht positiv und das Wurtenkees leicht negativ. Das Haushaltsjahr 2003/2004 ist somit nach dem extrem negativen Jahr 02/03 vor allem durch die späte Ausaperung der Gletscher als vergleichsweise gletschergünstig einzustufen.

Der Berechnung der Massenbilanz auf den unterschiedlichen Höhenstufen liegt das digitale Geländemodell (Auer et al, 2002) von 1998 zu Grunde. Die spezifischen Bilanzen und Bilanzvolumina pro Höhenstufe sind in Tabelle 6 für alle drei Gletscher aufgelistet und in Tabelle 7 zusätzlich für die oberen und unteren Gletscherteile von Goldbergkees und Wurtenkees (siehe Abbildung 9) getrennt angegeben.

Anhand der Darstellung der spezifischen Massenbilanzen pro Höhenstufe in Abbildung 10 erkennt man wesentliche Unterschiede der drei Gletscher. Wechselnde Exposition und Steilstufen im Höhenverlauf und die damit bedingte Abschattung und Schneeverfrachtung führen zu unterschiedlicher Höhenabhängigkeit der spezifischen Massenbilanz. Multipliziert man die spezifische Massenbilanz pro Höhenstufe mit der tatsächlichen Gletscheroberfläche in dieser Höhenstufe, so erhält man den absoluten Massenverlust pro Höhenstufe, dargestellt in Abbildung 11. Die in Tabelle 5 angegebene Gleichgewichtslinie (ELA) wurde aus den Diagrammen in Abbildung 10 graphisch ermittelt. Am Goldbergkees und Wurtenkees gibt es auf jedem Gletscherteil eine Gleichgewichtslinie, in Tabelle 5 ist jeweils nur die Höhe der höchstgelegenen Gleichgewichtslinie angegeben, da diese die klimatisch relevante ist. Die Gleichgewichtslinien der unteren Gletscherteile sind eher orographisch bedingt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Massenbilanz 03/04, ausgewertet auf den Gletscherflächen von 2003

	[]	GOK	WUK	FLK	GOK Oberer Teil	GOK Unterer Teil	WUK Oberer Teil	WUK Unterer Teil
S (Fläche 2003)	km ²	1.42	0.82	0.87	0.39	1.04	0.44	0.38
Sc (Akkumulationsfläche)	km ²	0.74	0.23	0.65	0.23	0.50	0.13	0.10
Sa (Ablationsfläche)	km ²	0.69	0.59	0.22	0.15	0.54	0.32	0.28
Sc/S (AAR)		0.52	0.28	0.75	0.61	0.48	0.29	0.27
Sc/Sa		1.07	2.55	0.25	1.54	0.94	2.47	2.66
ELA (Gleichgewichtslinie)	m	2925	2980	2820				
b (spez. Massenbilanz)	mm	137	-313	125	241	99	-119	-540
bw (spez. Winterbilanz)	mm	1737	1501	1417	1464	1839	1313	1720
bs (spez. Sommerbilanz)	mm	-1600	-1814	-1291	-1223	-1740	-1431	-2260
bc (spez. Nettoakkumulation)	mm	336	82	344	381	320	86	78
ba (spez. Nettoablation)	mm	-199	-395	-219	-139	-221	-204	-617
bw + bs (spez. Totalmassenumsatz)	mm	3337	3315	2708	2688	3578	2744	3980
bc + ba (spez. Nettomassenumsatz)	mm	535	477	563	520	541	290	695
B (Bilanzvolumen)	10 ⁶ kg	196	-258	109	93	103	-53	-205
Bw (Winterbilanzvolumen)	10 ⁶ kg	2475	1237	1235	566	1910	582	655
Bs (Sommerbilanzvolumen)	10 ⁶ kg	-2280	-1495	-1125	-473	-1807	-635	-860
Bc (Nettoakkumulation)	10 ⁶ kg	479	68	300	147	332	38	30
Ba (Nettoablation)	10 ⁶ kg	-283	-326	-191	-54	-229	-91	-235
Bw + Bs (Totalmassenumsatz)	10 ⁶ kg	4755	2733	2360	1038	3717	1218	1515
Bc + Ba (spez. Nettomassenumsatz)	10 ⁶ kg	763	393	491	201	562	129	265

Tabelle 6: Spezifische Massenbilanz und Massenbilanzvolumen 03/04 nach Höhenstufen für alle 3 Gletscher

	Höhenstufe DEM 98	Fläche 2003	spezifische Massenbilanz 03/04			Massenbilanzvolumen 03/04		
			Jahr b	Winter bw	Sommer bs	Jahr B	Winter Bw	Sommer Bs
			mm	mm	mm	10 ⁶ kg	10 ⁶ kg	10 ⁶ kg
	m	m ²						
GOK	2350 - 2400	12213	-809	1969	-2779	-9.883	24.053	-33.936
	2400 - 2450	111265	-314	1862	-2175	-34.894	207.135	-242.029
	2450 - 2500	65911	313	2284	-1971	20.658	150.539	-129.881
	2500 - 2550	21075	194	2378	-2185	4.079	50.124	-46.045
	2550 - 2600	25336	-252	1939	-2191	-6.395	49.123	-55.518
	2600 - 2650	170685	-101	1732	-1833	-17.277	295.552	-312.829
	2650 - 2700	468975	-13	1693	-1706	-5.991	793.924	-799.915
	2700 - 2750	145788	922	2053	-1131	134.354	299.236	-164.882
	2750 - 2800	26457	589	2076	-1487	15.594	54.929	-39.335
	2800 - 2850	37349	-158	1563	-1722	-5.911	58.390	-64.301
	2850 - 2900	71519	-298	1313	-1611	-21.324	93.881	-115.205
	2900 - 2950	111528	-9	1373	-1382	-0.970	153.146	-154.116
	2950 - 3000	93182	823	1521	-698	76.677	141.734	-65.057
	3000 - 3050	52736	735	1659	-925	38.752	87.513	-48.761
	3050 - 3100	10919	740	1465	-725	8.082	15.999	-7.917
2350 - 3100	1424938	137	1737	-1600	195.552	2475.278	-2279.727	
WUK	2500 - 2550	5530	-1700	1213	-2913	-9.402	6.708	-16.110
	2550 - 2600	56132	-1743	1074	-2817	-97.819	60.310	-158.130
	2600 - 2650	123210	-836	1381	-2217	-103.027	170.106	-273.133
	2650 - 2700	157017	-13	1763	-1776	-2.085	276.828	-278.913
	2700 - 2750	45197	101	1765	-1664	4.578	79.779	-75.200
	2750 - 2800	8304	-273	1895	-2167	-2.264	15.733	-17.996
	2800 - 2850	79437	-386	1507	-1893	-30.641	119.749	-150.390
	2850 - 2900	81055	-321	1437	-1758	-26.008	116.478	-142.486
	2900 - 2950	64548	-218	1366	-1584	-14.070	88.170	-102.240
	2950 - 3000	95856	-40	1429	-1469	-3.823	136.963	-140.786
	3000 - 3050	73273	177	1580	-1403	12.959	115.741	-102.782
	3050 - 3100	32011	373	1463	-1090	11.925	46.823	-34.898
	3100 - 3150	2859	494	1346	-852	1.413	3.849	-2.436
	2500 - 3150	824429	-313	1501	-1814	-258.263	1237.237	-1495.500
	FLK	2700 - 2750	7577	-1473	208	-1681	-11.160	1.579
2750 - 2800		110382	-1236	840	-2076	-136.448	92.710	-229.158
2800 - 2850		240120	68	1402	-1335	16.247	336.737	-320.490
2850 - 2900		243051	593	1739	-1146	144.244	422.778	-278.534
2900 - 2950		129691	248	1485	-1237	32.163	192.540	-160.377
2950 - 3000		102110	312	1427	-1115	31.863	145.676	-113.813
3000 - 3050		37623	832	1102	-270	31.294	41.445	-10.152
3050 - 3100		966	998	1090	-92	0.964	1.053	-0.089
2700 - 3100		871520	125	1417	-1291	109.167	1234.518	-1125.352

Die räumliche Verteilung der Massenbilanz ist den Massenbilanzkarten im Maßstab 1:12500 im Anhang zu entnehmen. Dabei ist zu beachten, dass die Gleichgewichtslinie der Massenbilanz (ELA = Rot-Blau-Grenze in den Karten) nicht mit der Linie der maximalen Ausaperung übereinstimmt, da der Massenzuwachs durch den Neuschnee ab Mitte September noch dem Haushaltsjahr 03/04 zugerechnet wird (fixed date system). Diese Neuschneemenge war stark höhenabhängig und wurde in Form einer höhenabhängigen Abschätzung zur Massenbilanz addiert, sie beträgt im Mittel zwischen 100mm (GOK) und 135mm (FLK) Wasseräquivalent.

Tabelle 7: Spezifische Massenbilanz und Massenbilanzvolumen 03/04 nach Höhenstufen von Goldbergkees und Wurtenkees getrennt für den oberen und unteren Gletscherteil

Höhenstufe DEM 98 m	Fläche 2003 m ²	Oberer Gletscherteil				Unterer Gletscherteil				
		bw	b	Bw	B	Fläche 2003 m ²	bw	b	Bw	B
		mm	mm	10 ⁶ kg	10 ⁶ kg	mm	mm	10 ⁶ kg	10 ⁶ kg	
GOK 2350 - 2400						12213	1969	-809	24.05	-9.88
2400 - 2450						111265	1862	-314	207.14	-34.89
2450 - 2500						65911	2284	313	150.54	20.66
2500 - 2550						21075	2378	194	50.12	4.08
2550 - 2600						25336	1939	-252	49.12	-6.40
2600 - 2650						170685	1732	-101	295.55	-17.28
2650 - 2700						468975	1693	-13	793.92	-5.99
2700 - 2750						145788	2053	922	299.24	134.35
2750 - 2800	11730	1740	-13	20.41	-0.15	14727	2344	1069	34.52	15.74
2800 - 2850	35559	1540	-197	54.76	-7.02	1790	2031	619	3.64	1.11
2850 - 2900	70577	1304	-316	92.04	-22.33	942	1955	1066	1.84	1.00
2900 - 2950	111528	1373	-9	153.15	-0.97					
2950 - 3000	93182	1521	823	141.73	76.68					
3000 - 3050	52736	1659	735	87.51	38.75					
3050 - 3100	10919	1465	740	16.00	8.08					
2350 - 3100	386231	1464	241	565.59	93.04	1038707	1839	99	1909.69	102.51
WUK 2500 - 2550						5530	1213	-1700	6.71	-9.40
2550 - 2600						56132	1074	-1743	60.31	-97.82
2600 - 2650						123210	1381	-836	170.11	-103.03
2650 - 2700						157017	1763	-13	276.83	-2.09
2700 - 2750	7190	1822	-310	13.10	-2.23	38007	1754	179	66.68	6.81
2750 - 2800	7545	1843	-305	13.91	-2.30	759	2406	52	1.83	0.04
2800 - 2850	79437	1507	-386	119.75	-30.64					
2850 - 2900	81055	1437	-321	116.48	-26.01					
2900 - 2950	64548	1366	-218	88.17	-14.07					
2950 - 3000	95856	1429	-40	136.96	-3.82					
3000 - 3050	73273	1580	177	115.74	12.96					
3050 - 3100	32011	1463	373	46.82	11.92					
3100 - 3150	2859	1346	494	3.85	1.41					
2500 - 3150	443774	1475	-119	654.78	-52.77	380655	1530	-540	582.45	-205.49

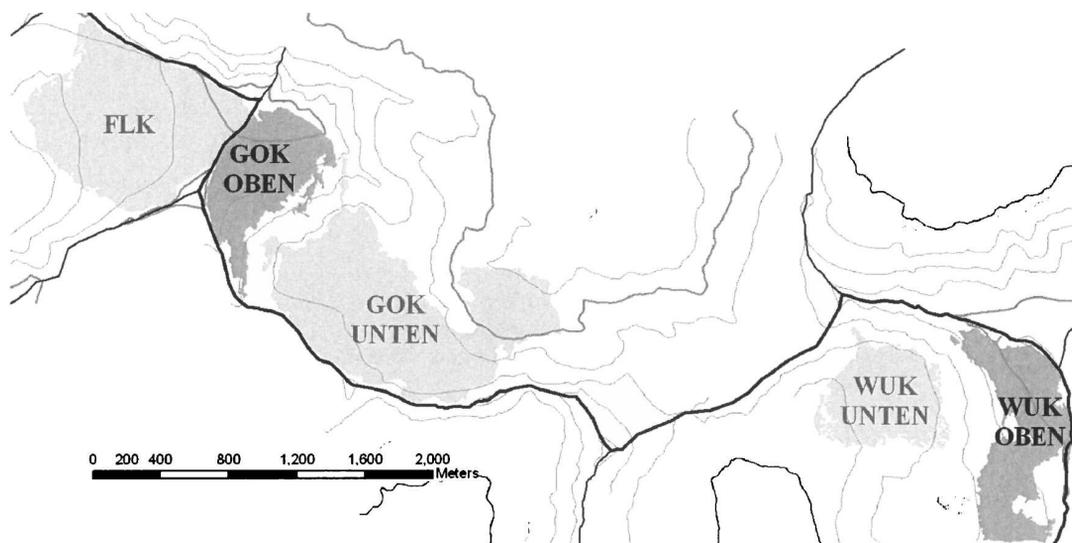


Abbildung 9: Aufteilung in oberen und unteren Gletscherteil am Goldbergkees und Wurtenkees

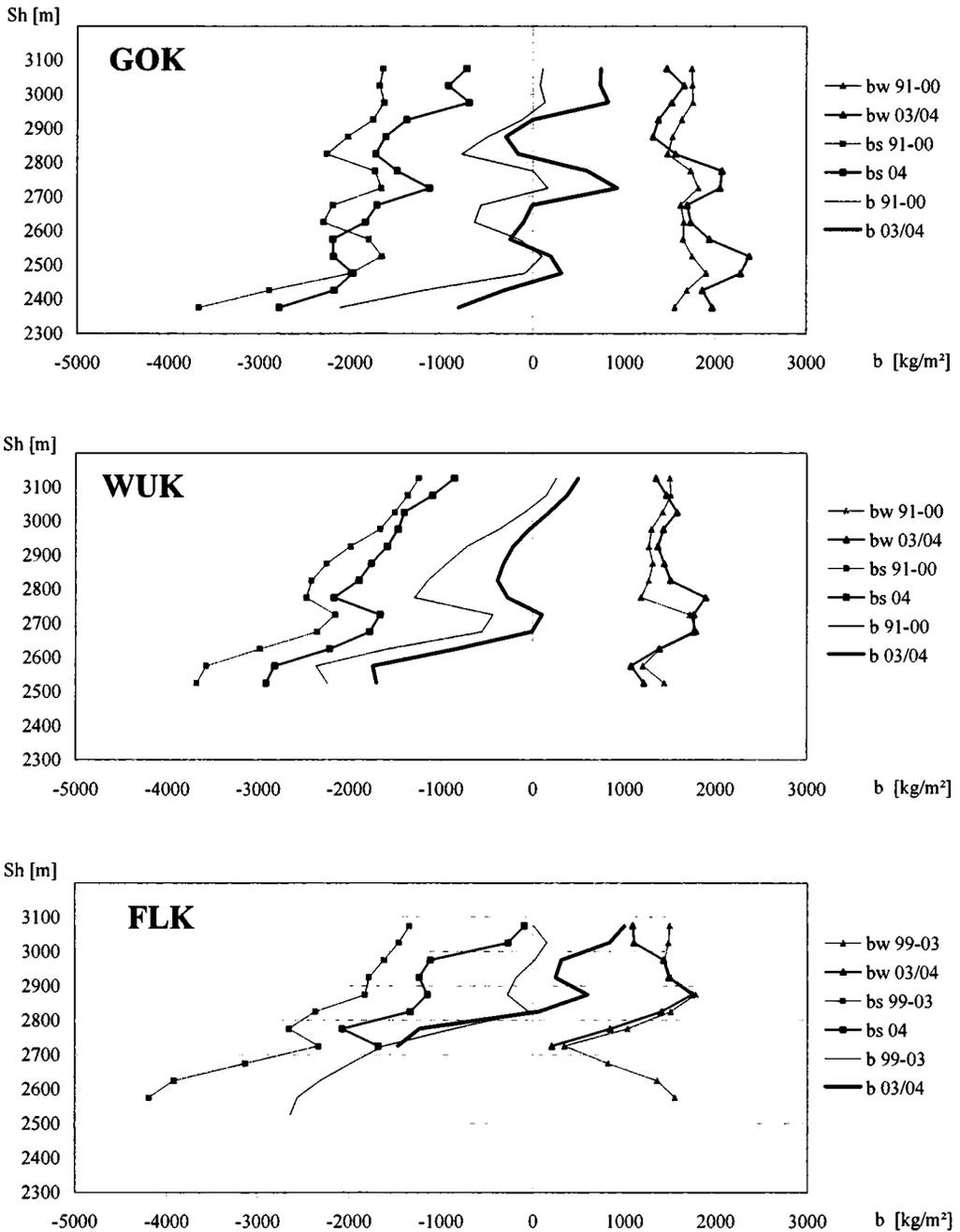


Abbildung 10: Höhenabhängigkeit der spezifischen Massenbilanzen 03/04 (dargestellt in schwarz ist b, bw und bs aus Tabelle 6) und im mehrjährigen Mittel 91-00 bzw. 99-03 (grau). Die höchstgelegene Nullstelle der spezifischen Nettomassenbilanz b entspricht der Gleichgewichtslinie (ELA) in Tabelle 5.

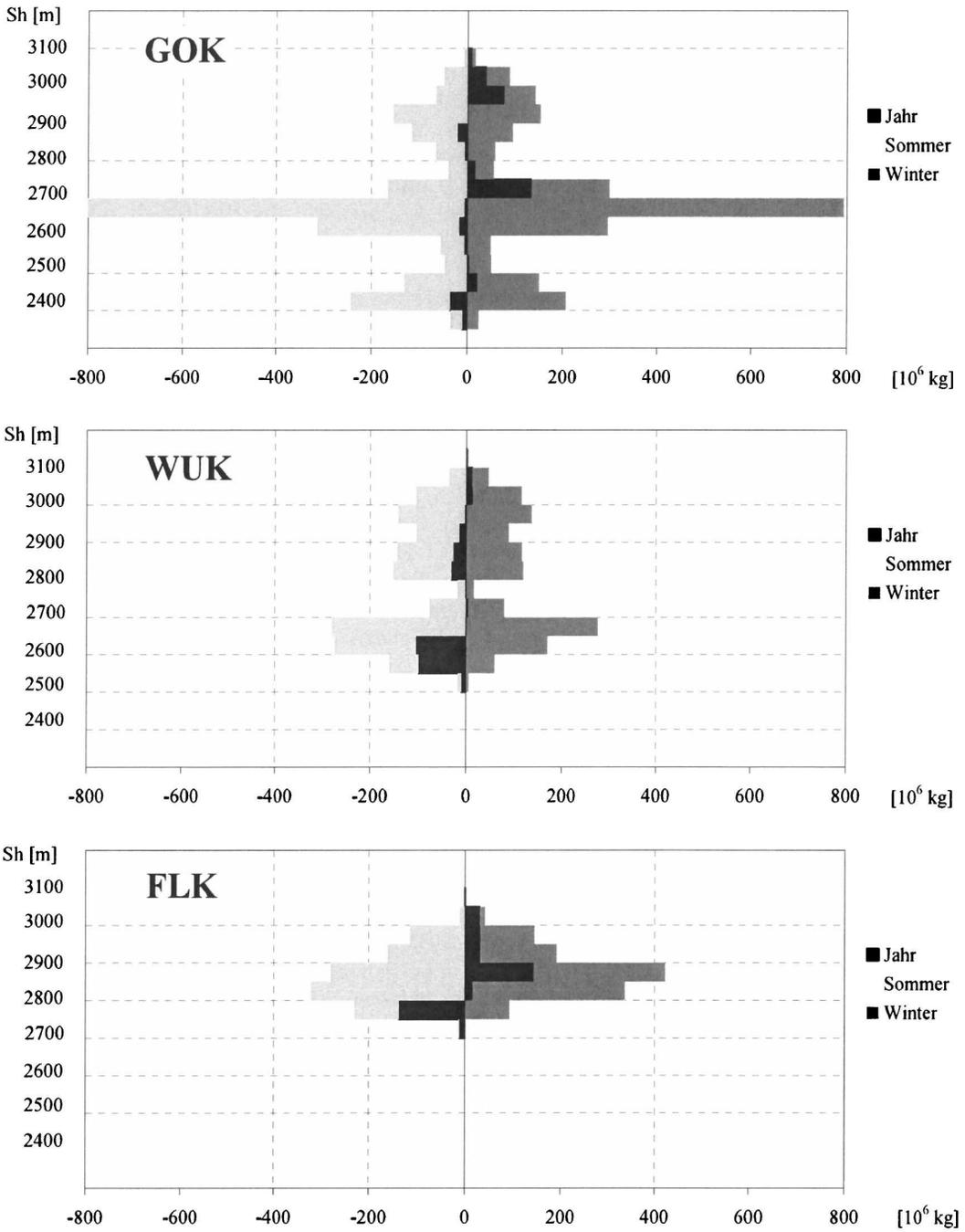


Abbildung 11: Bilanzvolumina 03/04 auf den unterschiedlichen Höhenstufen. Dargestellt ist B (Jahr), B_w (Winter) und B_s (Sommer) aus Tabelle 6.

5. Danksagung

Die Messung und Auswertung der Massenbilanz von Goldbergkees, Kleinfleißkees und Wurtenkees erfolgte im Rahmen der Projekte MOMBASA (PL Dr. Schöner) und WURTEN (PL Dr. Böhm). Folgenden Institutionen danken wir für die Finanzierung der Projekte: Dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, der Kärntner Elektrizitätswirtschafts-AG (Kelag) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Dem Land Kärnten danken wir für die Bereitstellung des Orthofotos 2003.

Die Feldmessungen wurden in Zusammenarbeit zwischen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), dem Institut für Meteorologie und dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur Wien und der Kärntner Elektrizitätswirtschafts-AG durchgeführt.

Folgende Mitarbeiter und Studenten waren daran beteiligt:

Ingeborg Auer, Hannes Badura, Benedikt Bica, Daniel Binder, Reinhard Böhm, Sibylle Egger, Thomas Feix, Berthold Fliedl, Benedikt Gamillscheg, Maria Guell Pons, Karin Heigl, Verena Hell, Florian Hindinger, Gernhard Hohenwarter, Bernhard Hynek, Anita Jurkovic, Roman Just, Gernot Koboltschnig, Manfred Köstlbauer, Christine Kroisleitner, Claudia Leichtfried, Anna Micheuz, Johanna Nemeč, Christian Ortner, Wolfgang Schöner, Gerold Stein, Christina Tavalato, Tina Trapper, Elisabeth Veit, Nina Weber, Gernot Weyss, Maria-Lucia Wielke

6. Literatur

- AUER, I., R. BÖHM, N. HAMMER, W. SCHÖNER, T. WIESINGER und W. WINIWARTER (1995): Glaziologische Untersuchungen im Sonnblickgebiet: Forschungsprogramm Wurtenkees. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 12, Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Wien, 143pp.
- AUER, I., R. BÖHM, M. LEYMÜLLER und W. SCHÖNER (2002): Das Klima des Sonnblicks – Klimaatlas und Klimatographie der GAW Station Sonnblick einschließlich der umgebenden Gebirgsregion. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 29, Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- BÖHM, R., W. SCHÖNER, I. AUER, B. HYNEK, C. KROISLEITNER, G. WEYSS (2007): Gletscher im Klimawandel – Vom Eis der Polargebiete zum Goldbergkees in den Hohen Tauern. Eigenverlag der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wien, 2007. ISBN 978-3-200-01013-0
- KASER, G., A. FOUNTAIN und P. JANSSON (2003): A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers. International Hydrological Programme, IHP-VI, Technical Documents in Hydrology No. 59, UNESCO, Paris
- WINIWARTER, W., R. BÖHM, A. KASPER, H. PUXBAUM, W. SCHÖNER, W. VITOVEC und R. WERNER (1998). ALPTRAC: High Alpine Aerosol and snow chemistry. Concentration of ionic compounds in the wintertime deposition: results and trends from the Austrian Alps over 11 years (1983-1993). Atmospheric Environment Volume 32, No.23

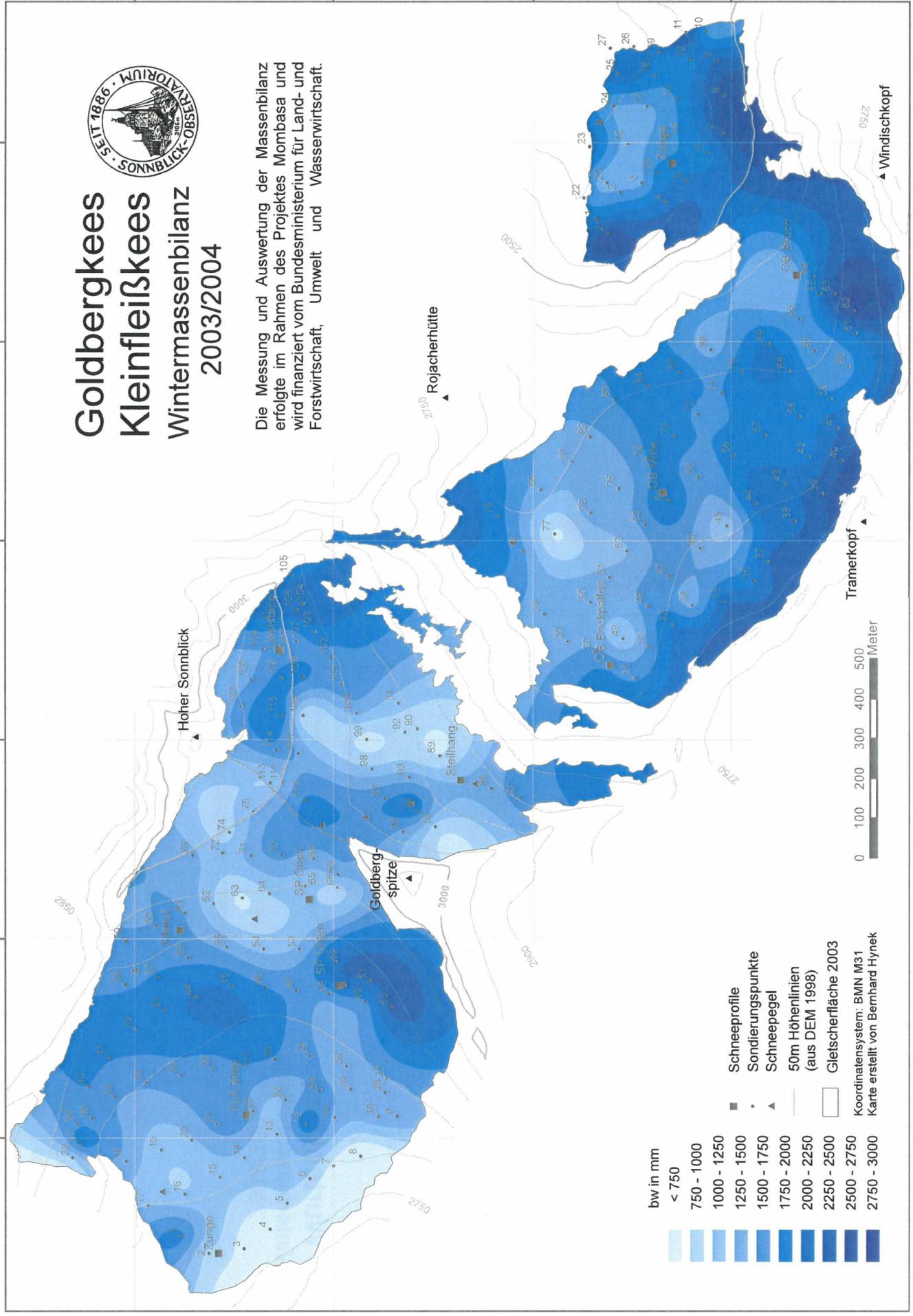
420500 421000 421500 422000 422500 423000

213000 212500 212000 211500

Goldbergkees Kleinfleißkees Wintermassenbilanz 2003/2004



Die Messung und Auswertung der Massenbilanz erfolgte im Rahmen des Projektes Mombasa und wird finanziert vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.



- bw in mm
 - < 750
 - 750 - 1000
 - 1000 - 1250
 - 1250 - 1500
 - 1500 - 1750
 - 1750 - 2000
 - 2000 - 2250
 - 2250 - 2500
 - 2500 - 2750
 - 2750 - 3000
- Schneeprofile
 - Sondierungspunkte
 - Schneepegel
 - 50m Höhenlinien (aus DEM 1998)
 - Gletscherfläche 2003
- Koordinatensystem: BMN M31
Karte erstellt von Bernhard Hynek

0 100 200 300 400 500 Meter

▲ Windischkopf

▲ Tramerkopf

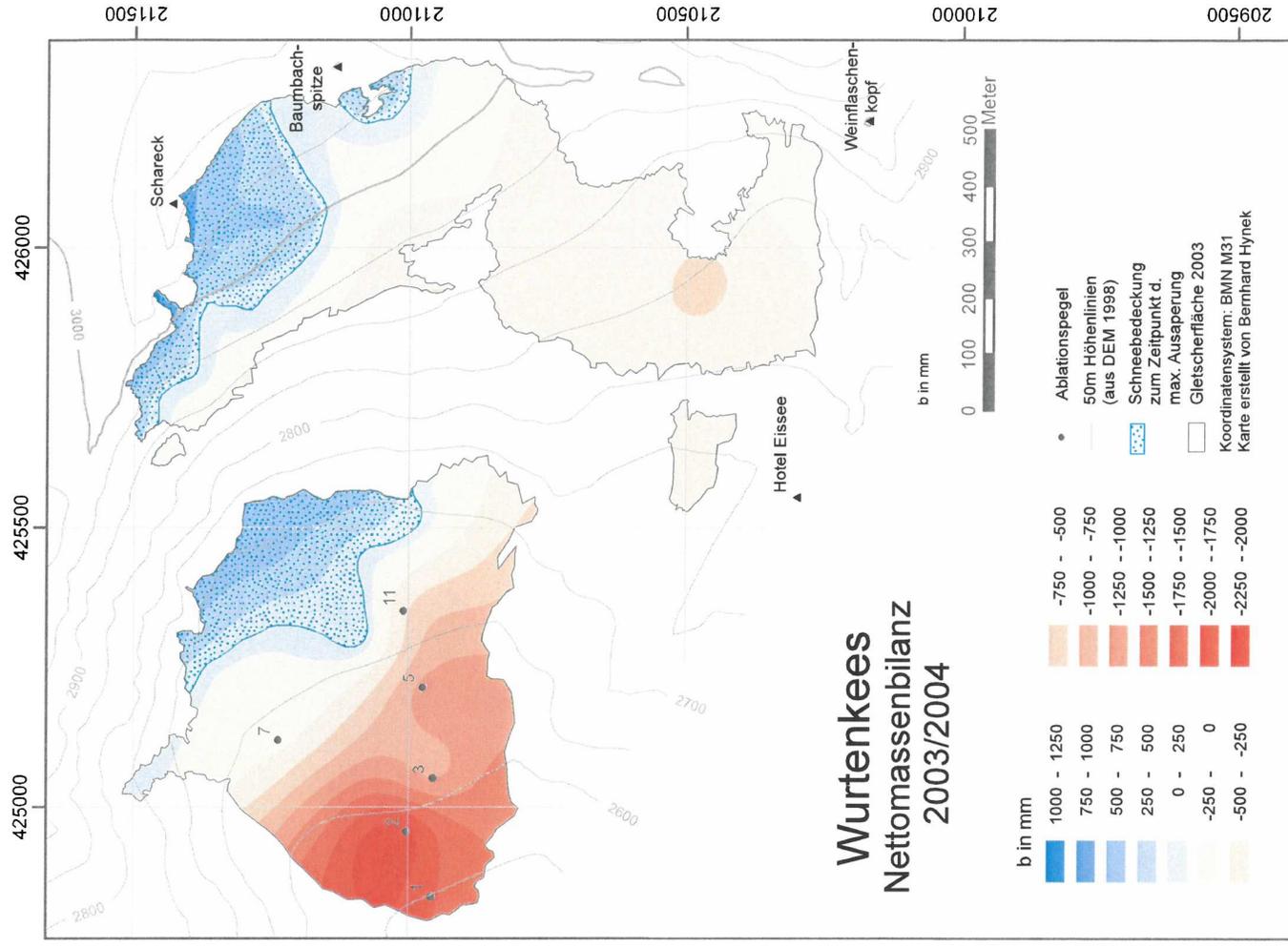
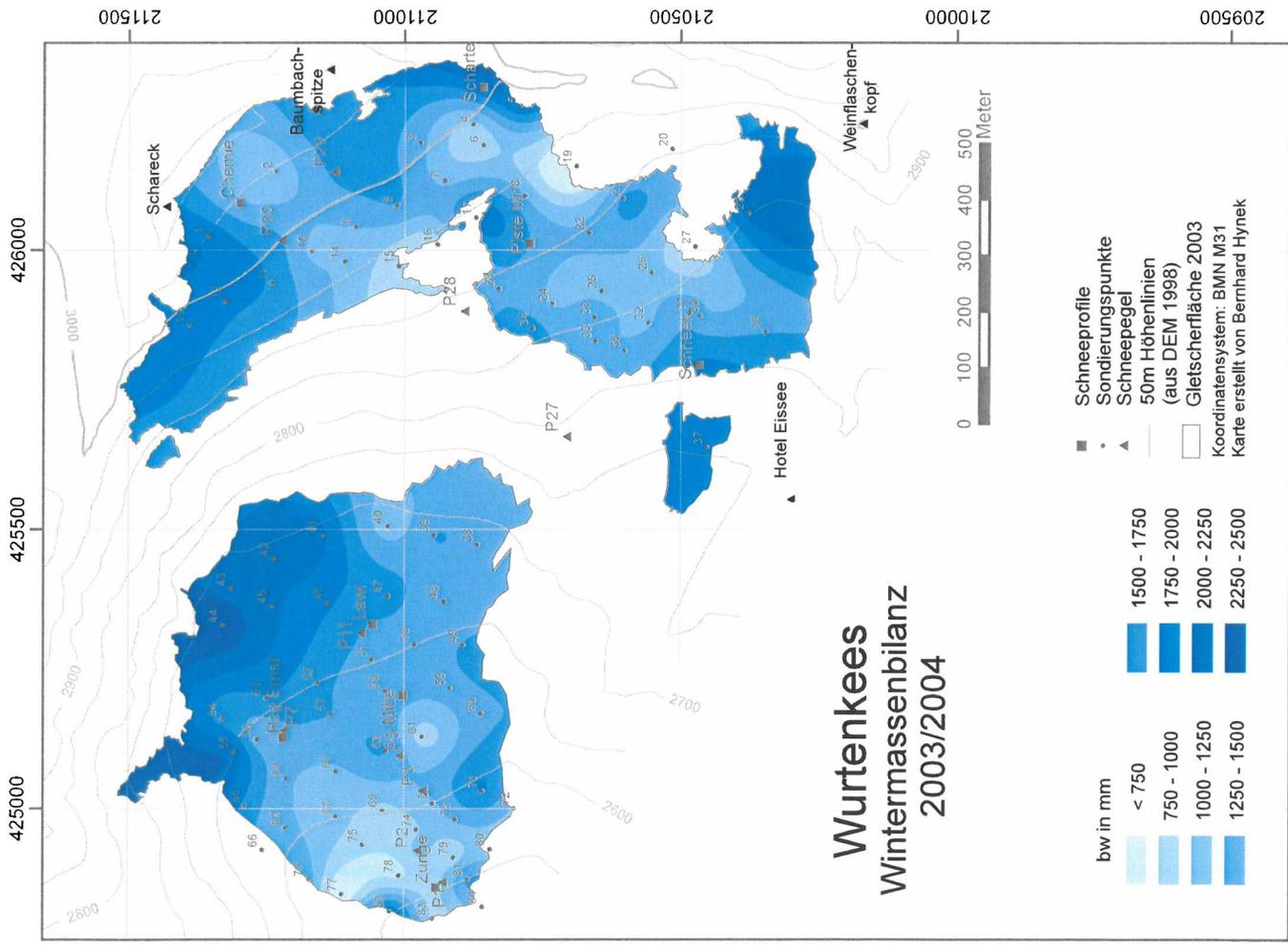
▲ Rojacherhütte

▲ Goldbergspitze

▲ Hoher Sonnblick

▲ Steilhang

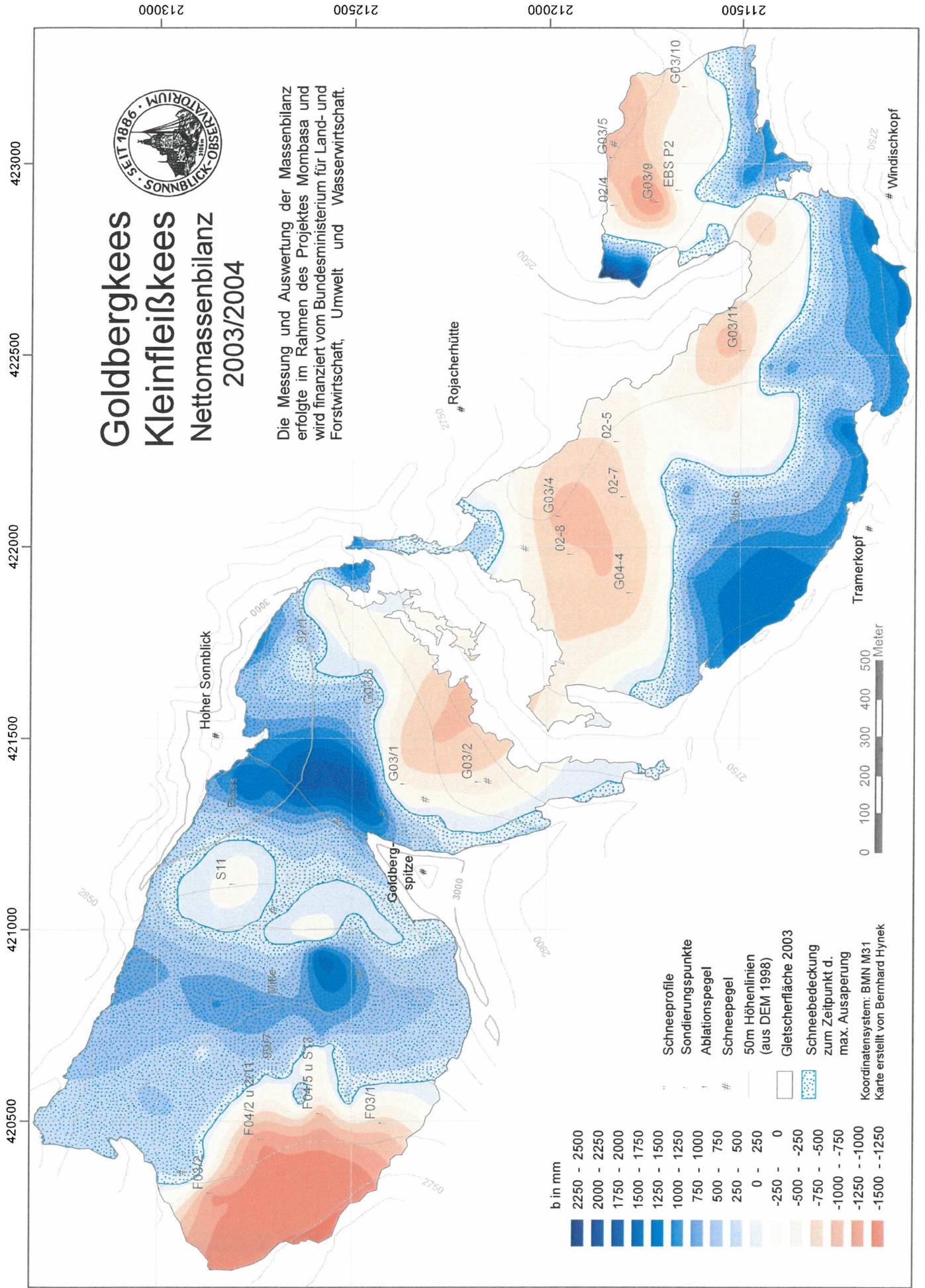
0922



Goldbergkees Kleinfleißkees Nettomassenbilanz 2003/2004



Die Messung und Auswertung der Massenbilanz erfolgte im Rahmen des Projektes Mombasa und wird finanziert vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.



420500 421000 421500 422000 422500 423000

213000 215000 217500 220000 222500



Tramerkopf #
 # Windischkopf

Rojacherhütte #

Hoher Sonnblick #

Goldbergspitze #

S11 #

Wike #

F04/2 u F2/11 #

F04/5 u S13 #

F03/1 #

G03/1 #

G03/2 #

G03/4 #

G04-4 #

G03/11 #

G03/15 #

G03/10 #

EBS P2 #

02-4 #

02-5 #

02-7 #

02-8 #

02-14 #

02-15 #

02-16 #

02-17 #

02-18 #

02-19 #

02-20 #

02-21 #

02-22 #

02-23 #

02-24 #

02-25 #

02-26 #

02-27 #

02-28 #

02-29 #

02-30 #

02-31 #

02-32 #

02-33 #

02-34 #

02-35 #

02-36 #

02-37 #

02-38 #

02-39 #

02-40 #

02-41 #

02-42 #

02-43 #

02-44 #

02-45 #

02-46 #

02-47 #

02-48 #

02-49 #

02-50 #

02-51 #

02-52 #

02-53 #

02-54 #

02-55 #

02-56 #

02-57 #

02-58 #

02-59 #

02-60 #

02-61 #

02-62 #

02-63 #

02-64 #

02-65 #

02-66 #

02-67 #

02-68 #

02-69 #

02-70 #

02-71 #

02-72 #

02-73 #

02-74 #

02-75 #

02-76 #

02-77 #

02-78 #

02-79 #

02-80 #

02-81 #

02-82 #

02-83 #

02-84 #

02-85 #

02-86 #

02-87 #

02-88 #

02-89 #

02-90 #

02-91 #

02-92 #

02-93 #

02-94 #

02-95 #

02-96 #

02-97 #

02-98 #

02-99 #

02-100 #