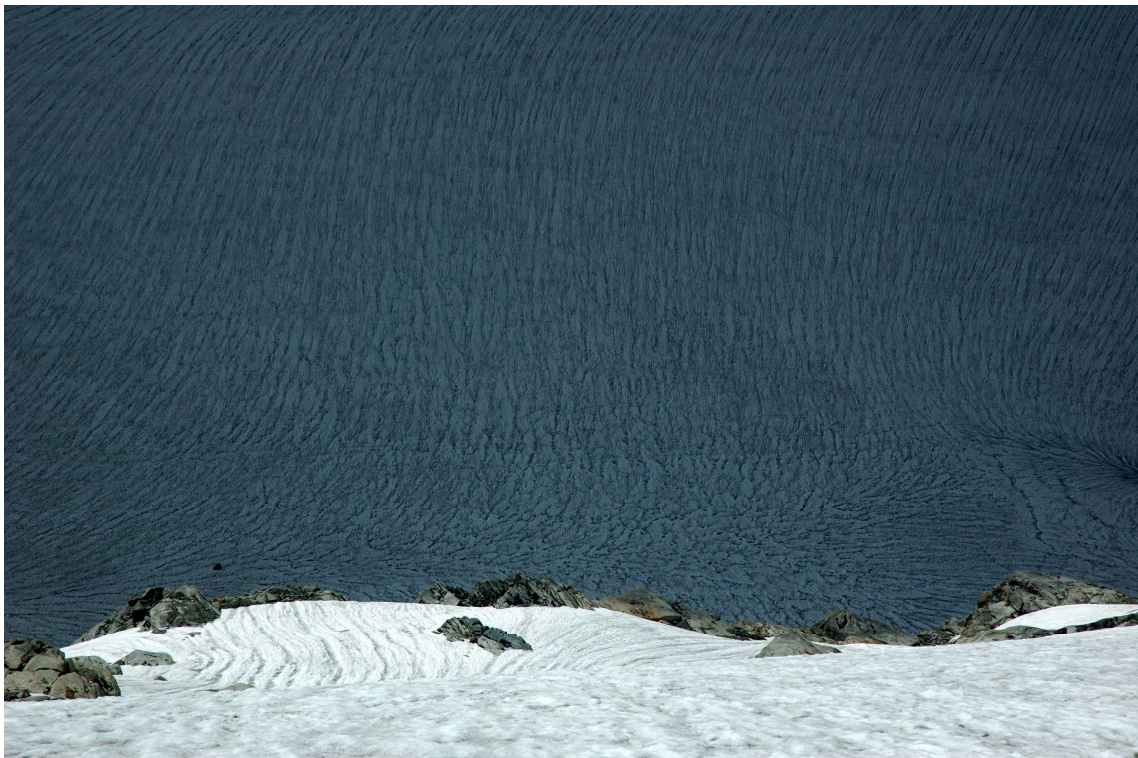


MASSENHAUSHALT 2005/2006 DER GLETSCHER IN DER GOLDBERGGRUPPE

GOLDBERGKEES
KLEINFLEISSKEES
WURTENKEES



Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

In Kooperation mit
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
Universität für Bodenkultur



Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Abteilung Klimatologie
Dr. Wolfgang Schöner
Bernhard Hynek
Hohe Warte 38
A-1190 Wien
w.schoener@zamg.ac.at
b.hynek@zamg.ac.at
c.kroisleitner@zamg.ac.at



in Kooperation mit:

Universität für Bodenkultur
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
DI. Gernot Kobltschnig
Muthgasse 18
A-1190 Wien
gernot.kobltschnig@boku.ac.at

und

Universität für Bodenkultur
Institut für Meteorologie
Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb
Peter Jordan Str. 82
A-1190 Wien
helga.kromp-kolb@mail.boku.ac.at



Titelbild: Oberer Gletscherboden des Goldbergkeeses fotografiert von Liesl Stang am 13.7.06
von Gernot Weyss

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 mit der direkten glaziologischen Methode ermittelt. Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung der Arbeiten und Ergebnisse aus dem hydrologischen Jahr 2005/2006.

Die topographischen Kennzahlen und die Lage der Gletscher zueinander ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Das Kleinfleißkees und das Wurtenkees liegen südlich des Alpenhauptkammes, sind 0,8-0,9 km² groß und nach West bis Südwest exponiert. Das nördlich des Alpenhauptkammes gelegene ca. 1,4 km² 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 drei Gletscher entsprechen wegen ihrer geringen Ausdehnung und der Aufspaltung von sowohl Eisfläche als auch Akkumulationsgebietes in zwei Teile nicht dem idealen Gletscher für Massenbilanzmessungen (Kaser et al, 2003), sind aber durch die unterschiedliche Exposition und Lage zum Alpenhauptkamm und vor allem durch die Nähe zum meteorologischen Observatorium auf dem Hohen Sonnblick umso interessanter für die Untersuchung kleinräumiger Unterschiede und Effekte.

Anhand der folgenden Fotos sind die Ausaperungszustände von Goldbergkees, Kleinfleißkees und Wurtenkees zu erkennen. Die Kartierung der Ausaperung ist aus den Massenbilanzkarten im Anhang zu entnehmen.

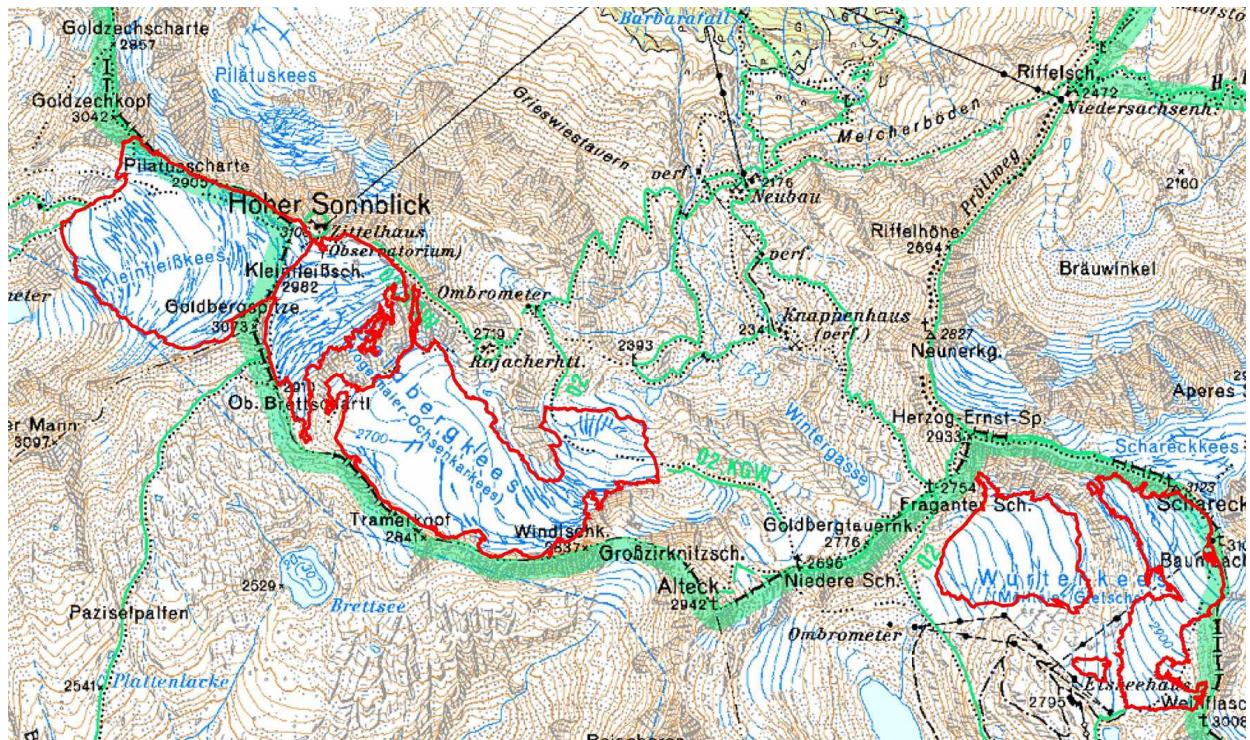


Abbildung 1: Ausschnitt der Austrian Map mit den Umrissen der drei Gletscher von 2003



Abbildung 2: Gletscherzunge des Goldbergkeeses fotografiert am 5.9.06. Man erkennt deutlich den Einbruch im Zungenbereich, wo sich ein neuerliches Gletschertor zu bilden beginnt und die damit verbundenen Radialspalten. Orographisch rechts davon führt die Schuttbedeckung zu geringeren Abschmelzraten, weshalb sich hier ein Hügel gebildet hat. (Foto: G. Weyss)



Abbildung 3: Oberer Gletscherboden des Goldbergkeeses nach Neuschnee am 13. 10 2006 (Foto: G. Weyss)

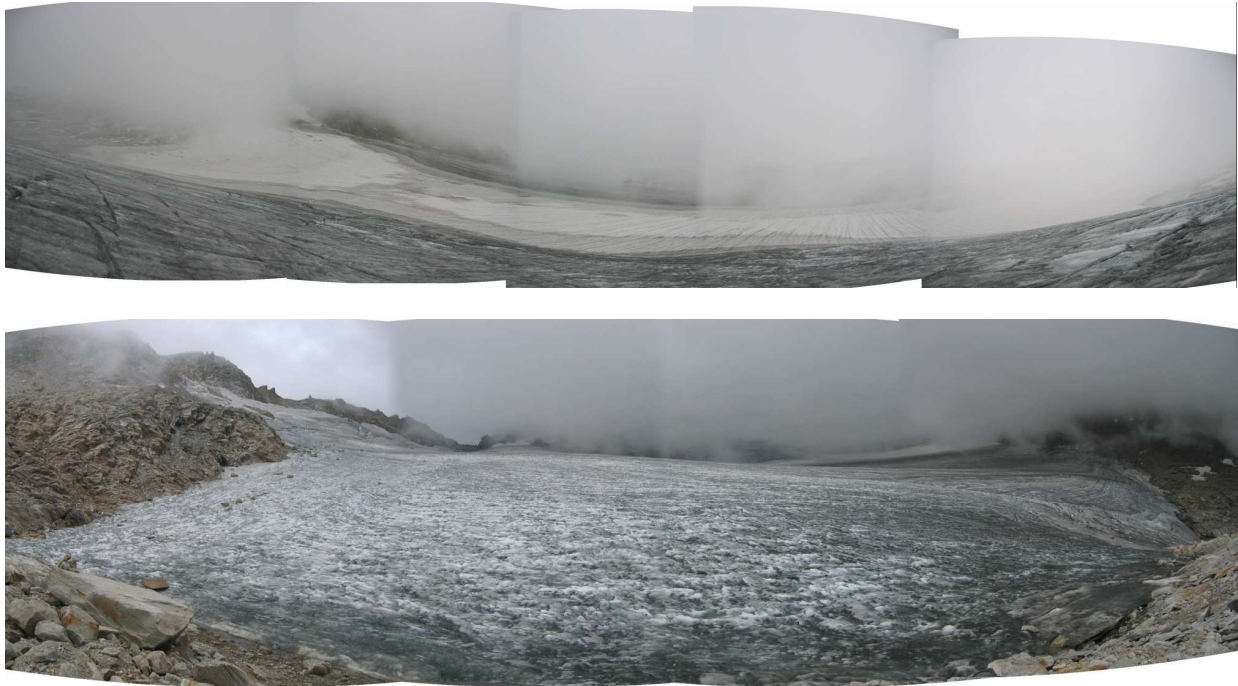


Abbildung 4: Ausaperungszustand des Kleinfleisskeeses am 2. 10. 2006 (Foto G. Kobltschnig)



Abbildung 5: Gipfelbereich des Goldbergkeeses am 13.10. 2006 (Foto G. Weyss)



Abbildung 6: Oberer Bereich der Zunge des Würtenkeeses am 22.9.2006 (Foto R. Böhm)



Abbildung 7: Das Würtenkees am 5.9.2000 fotografiert vom Goldbergkees 6 (Foto)

2 Witterungsverlauf im Haushaltsjahr 2005/2006

Um einen Überblick über die Witterung im Haushaltsjahr 05/06 zu bekommen, sind nachfolgend die Monatsmittel bzw. -summen von Temperatur, Niederschlag und Schneehöhe im Vergleich zum dreißigjährigen Klimamittel 1961-90 dargestellt.

Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, war der Juli über 4°C wärmer als im langjährigen Klimamittel, auch im September lag die Temperatur rund 3°C über dem Mittel. Zwischen diesen überdurchschnittlich warmen Monaten befand sich ein 3°C unter dem Mittel liegender August. Auch im Dezember war die Temperatur unterdurchschnittlich tief. Die Frühjahrsmonate lagen, wie im Vorjahr, um ein bis zwei Grad über dem langjährigen Mittel.

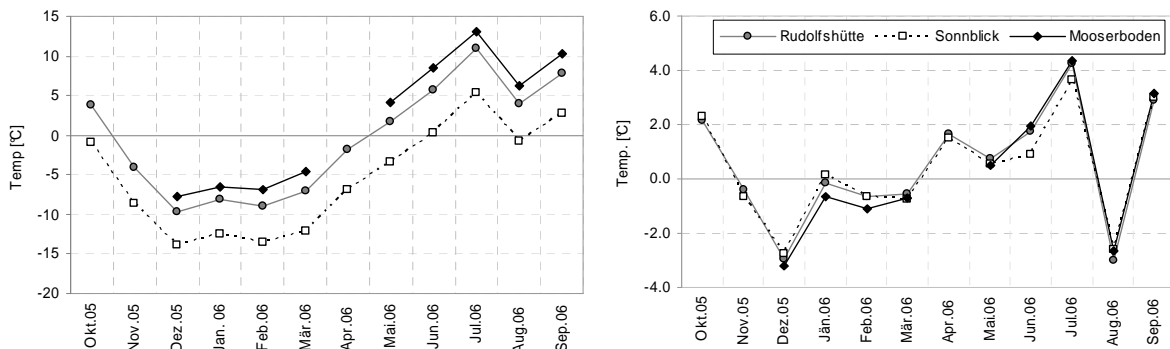


Abbildung 11 : Monatsmittel der Temperatur (links) und Abweichungen vom Mittel 1961-90 (rechts)

Der Jahresmittelwert des Niederschlages im Untersuchungsgebiet lag 11% über dem langjährigen Mittel, wobei der Niederschlag in Gipfel- und Südlagen ausschlaggebend war. Besonders die Monate Dezember und August waren überdurchschnittlich niederschlagsreich (siehe Abb.:12 und 13). Die Totalisatoren Radhaus und Kolm Saigurn, in den tieferen Lagen nördlich des Alpenhauptkammes, wiesen eine unterdurchschnittliche Jahresniederschlagsmenge auf.

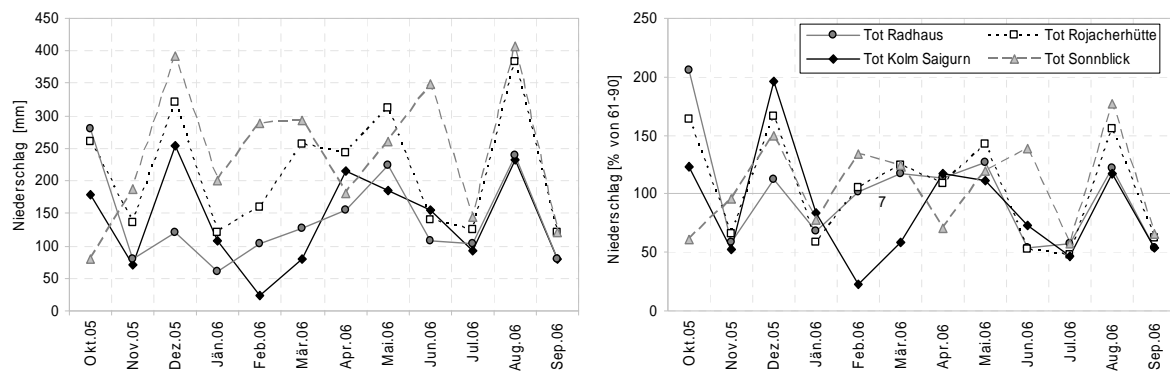


Abbildung 12: Monatswerte der Totalisatoren im Bereich Goldbergkees und Abweichungen vom Mittel (1961-90)

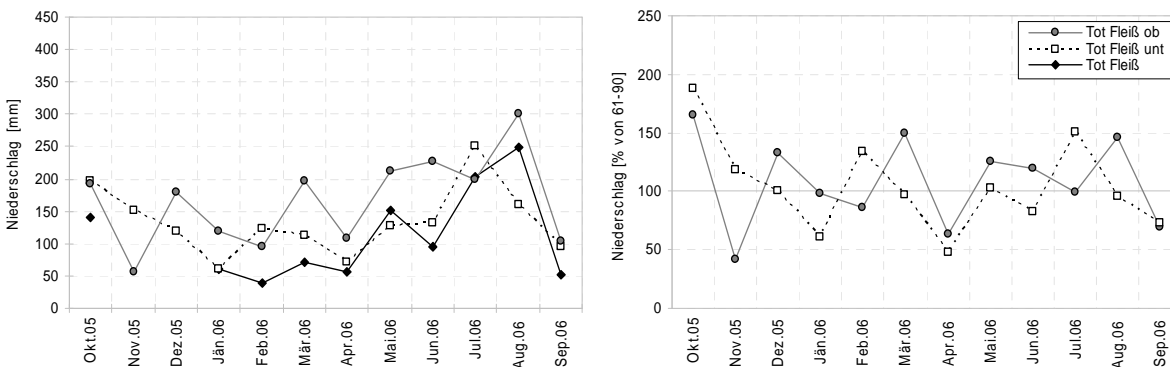


Abbildung 13: Monatswerte der Totalisatoren im Bereich Fleißkees und Abweichungen vom Mittel (1961-90)

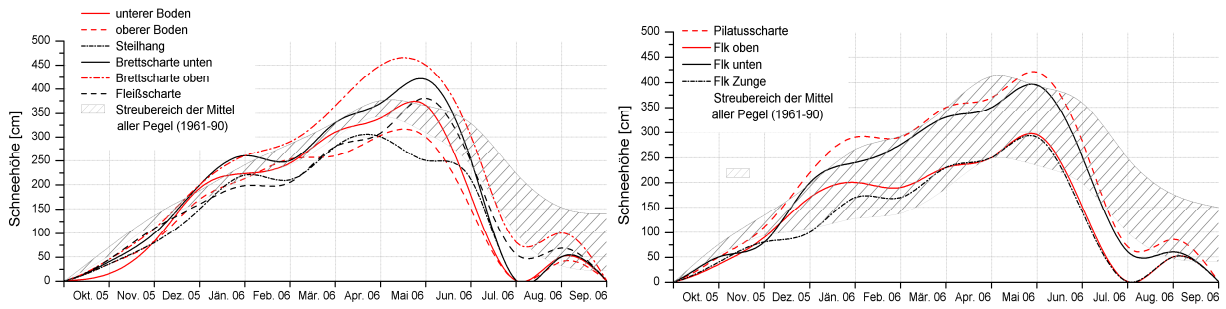


Abbildung 14: Verlauf der Schneehöhen an den Schneepegeln Fleißkees Zunge (2820m), Fleißkees Unten (2860m), Goldbergkees Oberer Boden (2670m) und Goldbergkees Obere Brettscharte (2960m) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-90

Wie Abbildung 14 zeigt, lag die Schneehöhe aller Pegel sowohl am Goldberg- als auch am Fleißkees in den ersten zwei Monaten des Haushaltsjahres unter den langjährigen Mitteln. Weiters weisen alle Pegel, im Vergleich zum Mittel, ein schnelleres Abschmelzen der Schneedecke in Juni und Juli auf. Das Goldbergkees zeigte an den Pegeln Brettscharte oben und unten eine zum Teil beträchtliche Zunahme der Schneehöhe von März bis Juli um bis zu einen Meter. Sowohl beim Goldbergkees als auch beim Fleißkees ist das Ausapern aller Schneepegel im September markant. Nach dem langjährigen Mittel sollte in diesem Monat zwischen einem halben und zwei Meter Schnee liegen.

Abbildung 15 zeigt die Entwicklung der Schneedecke an der Kleinfleißscharte (2780m) im Vergleich zu den Stationen Rudolfshütte (2315m) und Mooserboden (2036m) in einer täglichen Auflösung. Durch ein starkes Schneefallereignis im Juni erreichte die Schneedecke am Sonnblick ihre maximale Höhe. Ab der zweiten Junihälfte kam es zu einem rapiden Abschmelzen, welches während des kühlen Augustes vorübergehend aufgehalten wurde. Allerdings setzte der überdurchschnittlich warme September den Schmelzprozess noch einmal in Gang.

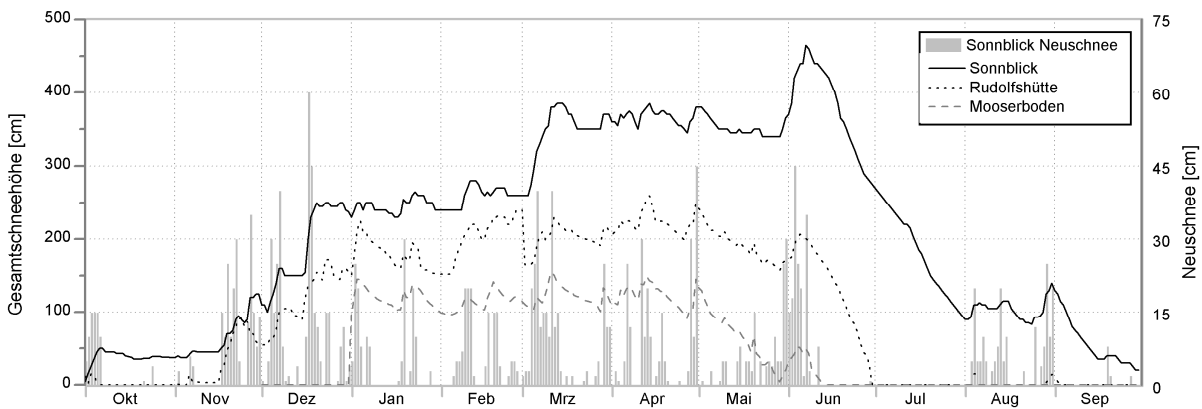


Abbildung 15: Zeitreihe der Gesamtschneehöhe im Haushaltsjahr 05/06 und der täglichen Neuschneemengen am Sonnblick

3 Messungen

3.1 Winterbilanzmessungen vom 24. 4. bis 4. 5. 2006

Die Feldmessungen für die Winterbilanz 05/06 wurden vom 24. bis 27. April am Goldbergkees und von 1. bis 4. Mai am Wurtenkees durchgeführt. Zur Bestimmung der winterlichen Schneeakkumulation wurden in Summe auf allen drei Gletschern 23 Schneeprofile gegraben. Dabei wurden die Schneedichte und Schneetemperatur in den einzelnen Schichten sowie der Schneedeckenaufbau ermittelt. Die Messwerte aus den Schneeprofilen sind in den Tabellen 1 bis 3, die Schneetemperaturen in den Tabellen 4 bis 6 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 den Tabellen 7 bis 9 enthalten. Die räumliche Lage der Sondierungspunkte und Schneeprofile wurde mit GPS bestimmt und kann den Massenbilanzkarten im Anhang entnommen werden. Dort ist auch die Lage der permanenten Schneepiegel aus dem Messnetz der ZAMG und der Kelag ersichtlich.

Tabelle 1: Goldbergkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneeprofile

Profil	Datum	Koordinaten (östr. BMN)		Seehöhe [m]	Schneehöhe [cm]	mittl. Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [kg/m ²]	Vorjahres-horizont
		x	y					
Liesstang	27.04.06	421730	212670	3024	358	396	1416	Firn
Oben Mitte	26.04.06	421400	212500	2960	420	465	1954	Firn
Steilhang	27.04.06	421358	212159	2880	325	438	1424	Eis
Bockpalfen	25.04.06	421766	211783	2672	370	422	1562	Eis
OB SP	25.04.06	422117	211963	2648	314	439	1379	Eis
Mitte	25.04.06	422148	211641	2687	420	425	1786	Eis
Bruch	25.04.06	422625	211419	2621	370	411	1520	Eis
Zunge oben	27.04.06	422905	211636	2439	400	511*	2043*	Eis

Tabelle 2: Kleinfleißkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneeprofile

Profil	Datum	Koordinaten (östr. BMN)		Seehöhe [m]	Schneehöhe [cm]	mittl. Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [kg/m ²]	Vorjahres-horizont
		x	y					
SP oben	26.04.06	421090	212565	2936	263	388	1020	Eis
SP unten	26.04.06	420869	212486	2874	360	410	1476	Firn
Pilatus	26.04.06	421010	212985	2925	425	423	1798	Firn
FIK Mitte	26.04.06	420600	212712	2832	310	438	1357	Eis
FLK Zunge	26.04.06	420255	212864	2781	270	413	1115	Eis

Tabelle 3: Wurtenkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneeprofile

Profil	Datum	Koordinaten (östr. BMN)		Seehöhe [m]	Schneehöhe [cm]	mittl. Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [kg/m ²]	Vorjahres-horizont
		x	y					
Chemie	03.05.06	426165	211285	3073	300	390	1170	Firn
Scharte	03.05.06	426280	210834	2997	350	420	1472	Eis
Piste Mitte	03.05.06	426072	211009	2976	330	396	1308	Eis
Weißflakopf	03.05.06	426094	210301	2851	400	425	1700	Firn
Lawi	02.05.06	425388	211213	2680	440	463	2039	Eis
Pe 11	02.05.06	425363	211051	2666	320	434	1388	Eis
Pe 7	02.05.06	425070	211170	2626	300	442	1326	Eis
Pe 5	02.05.06	425115	210955	2616	329	456	1501	Eis
Pe 1	02.05.06	424846	210962	2551	305	473	1444	Eis
Minimum	02.05.06	424862	211055	2563	260	446	1159	Eis

Als Fortsetzung der ALPTRAC/SNOSP Messreihe (Winniwarter 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 Probennahme erfolgte in den Profilen Lieslstang am Goldbergkees und Chemie am Wurtenkees. Die Ergebnisse werden an anderer Stelle publiziert.

Tabelle 7: Goldbergkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneetiefensondierung

Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]
1	4.20	14	3.85	27	3.60	40	5.05	53	4.00	66	3.60	79	2.30	92	3.60
2	3.80	15	4.05	28	3.40	41	4.80	54	3.15	67	3.40	80	2.45	93	3.30
3	4.15	16	4.05	29	3.50	42	3.75	55	3.05	68	3.36	81	2.85	94	4.00
4	3.65	17	3.60	30	3.40	43	3.80	56	4.25	69	3.25	82	4.55	95	3.20
5	3.90	18	3.50	31	3.75	44	3.55	57	4.20	70	3.50	83	2.80	96	3.10
6	4.05	19	3.40	32	3.65	45	4.75	58	4.20	71	2.90	84	1.70	97	3.40
7	4.50	20	3.20	33	3.75	46	3.50	59	4.35	72	3.10	85	2.95	98	4.50
8	5.10	21	3.00	34	3.85	47	3.20	60	5.20	73	3.20	86	3.35	99	4.00
9	4.00	22	3.15	35	4.10	48	2.90	61	4.50	74	3.15	87	3.70	100	3.85
10	4.20	23	3.05	36	4.55	49	3.15	62	3.85	75	3.50	88	3.45	101	2.80
11	4.20	24	2.90	37	5.15	50	3.50	63	4.20	76	4.40	89	4.15	102	3.45
12	4.00	25	3.50	38	4.95	51	3.80	64	4.50	77	3.25	90	3.85	103	3.10
13	3.70	26	3.45	39	4.75	52	3.85	65	3.55	78	4.05	91	3.65		

Tabelle 8: Kleinfleißkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneetiefensondierung

Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]
1	3.20	8	2.95	15	2.10	22	2.95	29	4.20	36	3.90	43	2.10	50	2.95
2	2.20	9	2.55	16	2.70	23	3.20	30	4.60	37	4.05	44	2.00	51	3.40
3	2.20	10	2.65	17	3.65	24	4.25	31	4.10	38	4.00	45	2.00	52	3.30
4	2.85	11	2.40	18	3.00	25	3.10	32	3.55	39	4.70	46	2.55	53	3.55
5	2.35	12	2.25	19	2.85	26	2.95	33	3.25	40	3.15	47	3.90	54	2.50
6	1.55	13	2.45	20	3.10	27	3.45	34	4.30	41	4.70	48	3.60	55	2.90
7	2.00	14	2.80	21	3.10	28	4.05	35	5.10	42	2.90	49	2.55		

Tabelle 9: Wurtenkees, Winterbilanzmessungen 2006, Schneetiefensondierung

Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]	Punkt	Tiefe [m]
1	3.60	12	3.50	23	3.80	34	3.00	45	2.95	56	3.35	67	2.60	78	4.30
2	3.40	13	3.50	24	3.80	35	2.70	46	2.65	57	4.10	68	3.05	79	3.40
3	3.25	14	3.65	25	3.00	36	2.90	47	3.45	58	3.40	69	4.75	80	5.55
4	3.30	15	3.60	26	3.05	37	3.30	48	3.25	59	3.10	70	5.05	81	3.25
5	3.50	16	3.25	27	2.90	38	3.25	49	3.10	60	3.20	71	5.10	82	4.40
6	4.50	17	2.95	28	2.75	39	2.65	50	3.45	61	3.00	72	5.15		
7	4.00	18	2.75	29	3.20	40	2.30	51	3.60	62	3.05	73	6.00		
8	4.05	19	3.30	30	3.20	41	2.45	52	3.40	63	3.05	74	4.45		
9	3.85	20	3.30	31	3.15	42	2.30	53	3.00	64	3.10	75	4.80		
10	5.00	21	3.20	32	4.45	43	2.65	54	3.00	65	3.45	76	2.80		
11	4.00	22	3.15	33	3.20	44	2.25	55	2.95	66	3.55	77	5.25		

3.2 Messungen für die Jahresbilanz 2005/2006

Der Massenhaushalt wird nach der glaziologischen Methode (siehe z. B. Kaser u.a. 2003) bestimmt, die auf direkten Messungen an mehreren Punkten eines Gletschers beruht (siehe Karten im Anhang). An diesen Messpunkten wird für die Dauer eines hydrologischen Jahres – also vom 1. Oktober bis zum 30. September des Folgejahres – Massengewinn beziehungsweise Massenverlust gemessen. Aus der Interpolation dieser Punktmessungen und der Integration über die gesamte Gletscherfläche erhält man die Massenänderung gegenüber dem Vorjahr. Im Ablationsgebiet (Zehrgebiet) eines Gletschers errechnet man den Massenverlust mit Hilfe von ins Eis eing Bohrten Stangen (Ablationspegel), an denen man die Abschmelzbeträge direkt ablesen kann. Im Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) misst man den Massenzuwachs – also die Schneehöhe und Schneedichte – mittels Schneetiefensondierungen und Schneeprofilen.

Es sind auf allen drei Gletschern graue Ablationspegel aus Kunststoff mit 150 cm-Segmenten in Verwendung. Diese Pegel wurden am Goldbergkees Ende Juli das erste Mal abgelesen. Anfang September wurden am Goldbergkees und Kleinfleisskees in Summe 14 Pegel neueingeböhrt und Anfang Oktober erfolgte wie üblich die Endablesung für die Berechnung der Massenbilanz 05/06. Pegel sind aus den Tabellen 10 bis 12 zu entnehmen, die Lage der Pegel aus den Karten im Anhang. Am Wurtenkees konnten dieses Jahr wieder nur die Hälfte der Pegel abgelesen werden, nämlich die im unteren Bereich des Gletschers, der mögliche Fehler in der berechneten Massenbilanz ist deshalb größer als bei den anderen beiden Gletschern. Die Ablesungen erfolgten am 16.7. und am 22.9.06.

Zusätzlich zu den Messungen für die Massenbilanz wurden von 4.-6. September die Ablationspegel am Goldbergkees und am Kleinfleißkees mit einem RTK-GPS (Leica 1230) eingemessen, und Echtzeitdaten einer Referenzstation über das APOS-Netz des BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) abgerufen. Die ersten Einmessungen der Ablationspegel erfolgten schon im Vorjahr am 26./27.7.05 im Zungenbereich des Goldbergkeeses und am 7./8.9.05 im oberen Bereich des Goldbergkeeses und am Kleinfleißkees. Aus der Differenz der Koordinaten zwischen den Messungen 2005 und 2006 bei einem Pegel und der Eisabschmelzung im selben Zeitraum kann man die Hebung bzw. das Absinken (Emergenz bzw. Submergenz) und die Fliessgeschwindigkeit des Eises berechnen.

Tabelle 10: Goldbergkees, Ablationspegel 05/06

Pegel	Koordinaten			Pegelablesungen [cm im Eis]						Ablation 2005 [cm Eis]	Ablation 2006 [cm Eis]	Ablation 2006 [mm WW]
	x	y	z	7.9. 05	11.10. 05	21.7. 06	27.7. 06	5.9. 06	3.10. 06			
G03/1	421385	212353	2920		480			421	389		-91	-819
G03/2	421389	212166	2870	394	349			258	208	-85	-141	-1269
G03/7	421700	211886	2660	350	322			215	110		-212	-1908
69-06	421700	211886	2660					388	275			
G05/6	421724	211899	2655	467	447	400		274	175	-149	-272	-2448
G04-4	421881	211792	2656	486	456			360	288	-89	-168	-1512
G04-3	422164	211673	2677	558	520			482	417	-47	-103	-927
Stra-03	422135	211645	2680		117			98	37		-98	-882
G03/8	422097	211418	2698						564			
70-06	422305	211460	2663					606	510			
G03/11	422517	211496	2625	343	303		246	165	45	-189	-258	-2322
71-06	422519	211498	2625					607	487			
72-06	422709	211380	2599					626	520			
G03/4	422082	211970	2637	226	197	150		48		-187	-223	-2007
68-06	422082	211971	2637					574	500			
G04-2	422273	211828	2645	445	410	408	365	285	185	-156	-225	-2025
67-06	422273	211828	2645					698	613			
75-06	422879	211524	2470					610	515			
G04-5	422978	211581	2441	450	409			307	200	-152	-209	-1881
G05/4	423043	211678	2418	573	542	531		376	267	-221	-275	-2475
G03/9	422902	211728	2414	278	235	187		45		-210	-311	-2799
G06/9	422903	211727	2415					618	497			
G05/3	422924	211814	2388	486	446	408		255	150	-245	-300	-2700
74-06	422924	211814	2388					604	495			
G03/10	423129	211579	2437	341	305	300		147		-235	-253	-2277
G06/10	423129	211579	2437					530	435			
73-06	423012	211796	2389					689	565			
G05/1	423017	211823	2380	580	532	474		297	185	-266	-347	-3123
G05/2	423017	211823	2380	538	494	438		261	150	-265	-344	-3096
G05/5	423475	211456	2475	242	227			181	145	-93	-82	-738

(Werte in grau sind keine Messwerte, sondern geschätzte Werte für die Berechnung der MB, fettgedruckt heißt neu gebohrt).

Tabelle 11: Kleinfleißkees, Ablationspegel 05/06

Pegel	Koordinaten			Pegelablesungen [cm im Eis]				Ablation 2005 [cm Eis]	Ablation 2006 [cm Eis]	Ablation 2006 [mm WW]
	x	y	z	7.9. 05	12.10. 05	4.9. 06	3.10. 06			
S11	421118	212807	2951	213	193	132	85	-51	-108	-972
66-06	421118	212806	2951			613	558			
99/8	420860	212475	2875							
F03/4	420750	213013	2865							
02/10	420567	212983	2842		250	244	171		-79	-711
F03/3	420461	212937	2822	508	471	416	342	-113	-129	-1161
99/7	420638	212687	2833	200	200	171	92		-108	-972
F04/4	420569	212711	2825	654	618	574	504	-55	-114	-1026
F03/2	420298	212854	2787	383	304	250	180	-194	-124	-1116
64-06	420298	212854	2787			610	535			
F04/2	420439	212730	2805	566	531	450	366	-118	-165	-1485
F04/1	420506	212580	2810	564	532	402	331	-122	-201	-1809
F03/1	420493	212422	2809	315	275	148	72	-194	-203	-1827
65-06	420493	212419	2808			611	536			
F04/3	420276	212712	2779	520	465	360	276	-204	-189	-1701

Tabelle 12: Wurtenkees, Ablationspegel 05/06

Pegel	Koordinaten (BMN)			Pegelablesungen [cm im Eis]				Ablation 2005 [cm Eis]	Ablation 2006 [cm Eis]	Ablation 2006 [mm WW]
	X	Y	Z	2.9. 05	24.9. 05	16.7. 06	22.9. 06			
U11	5211007	425352	2668	475	455					
V11	5210916	425324	2648			600	395	-80	-215	-1935
V9	5211057	425371	2673			240	240			
U7	5211261	425122	2649	540	500	340	180	-94	-180	-1620
V7						600	415			
U5	5210957	425113	2606	330	290		70	-180	-220	-1980
V5						600	400			
U3	5210957	425042	2599	330	280	240		-200	-295	-2655
V3						600	370			
U2	5210992	424951	2570	180	120	0		-230	-420	-3780
V2						600	330			
U1	5210921	424885	2550	240	170			-220	-410	-3690
V1						600	330			



Abbildung 17: Christine Kroisleitner und Bernhard Hynek beim Ablesen und Einmessen eines Ablationspegels mittels RTK-GPS und am Kleinfleißkees am 4.9.05

4 Auswertung und Ergebnisse

Die Werte aus den Punktmessungen der Schneeprofile, Sondierungspunkte und Ablationspegel wurden mit der Software ArcGIS auf der Gletscherfläche interpoliert (spline interpolation) und aufsummiert. Die dabei verwendete Gletscherfläche wurde auf der Grundlage eines Orthofotos vom September 2003 erstellt. Der Berechnung der Massenbilanz auf den unterschiedlichen Höhenstufen liegt das digitale Geländemodell von 1998 zugrunde.

Die dabei erhaltenen spezifischen Bilanzen und Bilanzvolumina sind in den Tabellen 14 bis 16 nach Höhenstufen und in den Tabellen 17 bis 20 zusätzlich nach Gletscherteilen getrennt aufgelistet. Anhand der Darstellung der spezifischen Massenbilanzen in Abhängigkeit der Seehöhe in den Abbildungen 19 bis 22 erkennt man wesentliche Unterschiede der drei Gletscher. Wechselnde Exposition und Steilstufen im Gletscherverlauf 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 den Abbildungen 23 bis 25.

Die wichtigsten glaziologischen Maßzahlen für das Haushaltsjahr 05/06 sind in der Tabelle 13 zusammengefasst. Die räumliche Verteilung der Massenbilanz ist den Massenbilanzkarten im Anhang zu entnehmen. Dabei ist 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 Mitte September noch dem Haushaltsjahr 05/06 zugerechnet wird (fixed date system).

Die Gletscherbewegung für das vergangene Haushaltsjahr ist in Tabelle 21 dargestellt. Die horizontale Gletscherbewegung wurde aus der Differenz der Koordinaten der RTK-GPS Messungen 2005 und 2006 berechnet. Die Vertikalbewegung ergibt sich aus der Höhendifferenz 2005 und 2006 minus der Ablation in diesem Zeitraum. Der Anteil der Vertikalbewegung und der Ablation an der gesamten Höhenänderung der Gletscheroberfläche ist in Abbildung 26 dargestellt. Um den Fehlerbereich ab zu schätzen wurde für die horizontale Bewegung der Fehler des RTK-GPS verwendet. Für die vertikale Bewegung wurden eine Fehlerspanne von zwei Grad bei der Berechnung der Hangneigung, fünf Zentimeter bei der Ablationsmessung, die Messungsgenauigkeit des RTK-GPS und ein Fehler von zwei Zentimetern durch die Bewegung des Messgerätes während der Messung angenommen.

Tabelle 13: Glaziologische Maßzahlen für das Haushaltsjahr 05/06, Vergleich der 3 Gletscher

Glaziologische Maßzahl	[]	FLK	GOK	WUK	GOK Oben	GOK Unten	WUK Oben	WUK Unten
S (Fläche)	m ²	871520	1426209	824429	386903	1039306	443774	380655
Sc (Akkumulationsfläche)	m ²	782474	93255	136683	64315	28940	93704	42979
Sa (Ablationsfläche)	m ²	89046	1332954	688051	322588	1010366	350304	337747
Sc/S		0.90	0.07	0.17	0.17	0.03	0.21	0.11
Sc/Sa		0.10	0.07	5.03	0.20	0.03	3.74	7.86
B (Bilanzvolumen)	10 ⁶ kg	-571	-1537	-641	-191	-1345	-117	-524
Bw (Winterbilanzvolumen)	10 ⁶ kg	1076	2249	1188	538	1711	573	615
Bs (Sommerbilanzvolumen)	10 ⁶ kg	-1647	-3786	-1829	-729	-3057	-690	-1139
Bc (Nettoakkumulation)	10 ⁶ kg	11	16	26	14	2	15	11
Ba (Nettoablation)	10 ⁶ kg	-583	-1553	-668	-205	-1348	-132	-536
Bw + Bs (Totalmassenumsatz)	10 ⁶ kg	2722	6035	3016	1267	4768	1262	1754
b (spez. Massenbilanz)	kg/m ²	-655	-1077	-778	-494	-1294	-264	-1377
bw (spez. Winterbilanz)	kg/m ²	1234	1577	1441	1390	1647	1290	1616
bs (spez. Sommerbilanz)	kg/m ²	-1889	-2655	-2218	-1885	-2941	-1554	-2992
bc (spez. Nettoakkumulation)	kg/m ²	13	12	32	36	2	33	30
ba (spez. Nettoablation)	kg/m ²	-668	-1089	-810	-531	-1297	-298	-1407
bw + bs (spez. Totalmassenumsatz)	kg/m ²	3124	4232	3659	3275	4588	2845	4608
bc + ba (spez. Nettomassenumsatz)	kg/m ²	682	1100	842	567	1299	331	1437
ELA (Gleichgewichtslinie)	m	3070	3020	3120	-	-	-	-

Tabelle 14: Goldbergkees, Ergebnisse für das Haushaltsjahr 05/06

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]	Winterbilanz- volumen [10 ³ kg]	spezifische Winterbilanz [kg/m ²]	Sommerbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Sommerbilanz [kg/m ²]	Jahresbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Jahresbilanz [kg/m ²]
2350 - 2400	12213	20322	1664	-57088	-4674	-36767	-3010
2400 - 2450	111265	174214	1566	-416091	-3740	-241877	-2174
2450 - 2500	65911	117761	1787	-178731	-2712	-60970	-925
2500 - 2550	21075	35297	1675	-51838	-2460	-16541	-785
2550 - 2600	25336	41200	1626	-81524	-3218	-40324	-1592
2600 - 2650	170685	285281	1671	-554068	-3246	-268787	-1575
2650 - 2700	468975	733867	1565	-1366886	-2915	-633019	-1350
2700 - 2750	145788	271184	1860	-314033	-2154	-42849	-294
2750 - 2800	26457	41877	1583	-51756	-1956	-9879	-373
2800 - 2850	37349	48027	1286	-81649	-2186	-33621	-900
2850 - 2900	71519	89091	1246	-159122	-2225	-70031	-979
2900 - 2950	111528	165035	1480	-232642	-2086	-67607	-606
2950 - 3000	93182	145778	1564	-167964	-1803	-22186	-238
3000 - 3050	52736	67265	1276	-64042	-1214	3223	61
3050 - 3100	10919	13168	1206	-8058	-738	5110	468
gesamt	1424938	2249366	1579	-3785490	-2657	-1536124	-1078

Tabelle 15: Kleinfleißkees, Ergebnisse für das Haushaltsjahr 05/06

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]	Winterbilanz- volumen [10 ³ kg]	spezifische Winterbilanz [kg/m ²]	Sommerbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Sommerbilanz [kg/m ²]	Jahresbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Jahresbilanz [kg/m ²]
2700 - 2750	7577	-133	-18	-15081	-1990	-15215	-2008
2750 - 2800	110382	86015	779	-267921	-2427	-181906	-1648
2800 - 2850	240120	274768	1144	-519017	-2161	-244249	-1017
2580 - 2900	243051	356499	1467	-381547	-1570	-25048	-103
2900 - 2950	129691	183547	1415	-223367	-1722	-39820	-307
2950 - 3000	102110	133859	1311	-183081	-1793	-49222	-482
3000 - 3050	37623	40118	1066	-55780	-1483	-15662	-416
3050 - 3100	966	867	897	-866	-896	1	1
gesamt	871520	1075540	1234	-1646661	-1889	-571121	-655

Tabelle 16: Wurtenkees, Ergebnisse für das Haushaltsjahr 05/06

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]	Winterbilanz- volumen [10 ³ kg]	spezifische Winterbilanz [kg/m ²]	Sommerbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Sommerbilanz [kg/m ²]	Jahresbilanz- volumen [10 ³ kg]	spez. Jahresbilanz [kg/m ²]
bis 2550	5530	8133	1471	-29045	-5252	-20912	-3782
2550 - 2600	56132	66999	1194	-252463	-4498	-185464	-3304
2600 - 2650	123210	169053	1372	-410244	-3330	-241191	-1958
2650 - 2700	157017	258068	1644	-325520	-2073	-67452	-430
2700 - 2750	45197	79052	1749	-90326	-1998	-11274	-249
2750 - 2800	8304	10568	1273	-13277	-1599	-2709	-326
2800 - 2850	79437	100909	1270	-122017	-1536	-21108	-266
2850 - 2900	81055	112289	1385	-129830	-1602	-17541	-216
2900 - 2950	64548	91849	1423	-116908	-1811	-25060	-388
2950 - 3000	95856	132685	1384	-162277	-1693	-29592	-309
3000 - 3050	73273	104083	1420	-119920	-1637	-15837	-216
3050 - 3100	32011	49851	1557	-52946	-1654	-3096	-97
3100 - 3150	2859	4119	1441	-4065	-1422	54	19
gesamt	824429	1187658	1441	-1828839	-2218	-641181	-778

Tabelle 17: Goldbergkees, Winterbilanz 05/06 mit Aufteilung in oberen und unteren Gletscherteil

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]			Bilanzvolumen [10 ³ kg]			spezifische Bilanz [kg/m ²]		
	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten
2350 - 2400	12213		12213	20322		20322	1664		1664
2400 - 2450	111265		111265	174214		174214	1566		1566
2450 - 2500	65911		65911	117761		117761	1787		1787
2500 - 2550	21075		21075	35297		35297	1675		1675
2550 - 2600	25336		25336	41200		41200	1626		1626
2600 - 2650	170685		170685	285281		285281	1671		1671
2650 - 2700	468975		468975	733867		733867	1565		1565
2700 - 2750	145788		145788	271184		271184	1860		1860
2750 - 2800	26457	11730	14727	41877	13990	27887	1583	1193	1894
2800 - 2850	37349	35559	1790	48027	45114	2913	1286	1269	1628
2850 - 2900	71519	70577	942	89091	87623	1468	1246	1242	1558
2900 - 2950	111528	111528		165035	165035		1480	1480	
2950 - 3000	93182	93182		145778	145778		1564	1564	
3000 - 3050	52736	52736		67265	67265		1276	1276	
3050 - 3100	10919	10919		13168	13168		1206	1206	
gesamt	1424938	386231	1038707	2249366	537974	1711393	1579	1393	1648

Tabelle 18: Wurtenkees, Winterbilanz 05/06 mit Aufteilung in oberen und unteren Gletscherteil

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]			Bilanzvolumen [10 ³ kg]			spezifische Bilanz [kg/m ²]		
	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten
bis 2550	5530		5530	8133		8133	1471		1471
2550 - 2600	56132		56132	66999		66999	1194		1194
2600 - 2650	123210		123210	169053		169053	1372		1372
2650 - 2700	157017		157017	258068		258068	1644		1644
2700 - 2750	45197	7190	38007	79052	9933	69119	1749	1382	1819
2750 - 2800	8304	7545	759	10568	9350	1219	1273	1239	1605
2800 - 2850	79437	79437		100909	100909		1270	1270	
2850 - 2900	81055	81055		112289	112289		1385	1385	
2900 - 2950	64548	64548		91849	91849		1423	1423	
2950 - 3000	95856	95856		132685	132685		1384	1384	
3000 - 3050	73273	73273		104083	104083		1420	1420	
3050 - 3100	32011	32011		49851	49851		1557	1557	
3100 - 3150	2859	2859		4119	4119		1441	1441	
gesamt	824429	443774	380655	1187658	615067	572591	1441	1386	1504

Tabelle 19: Goldbergkees, Jahresbilanz 05/06 mit Aufteilung in oberen und unteren Gletscherteil

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]			Bilanzvolumen [10 ³ kg]			spezifische Bilanz [kg/m ²]		
	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten
2350 - 2400	12213		12213	-36767		-36767	-3010		-3010
2400 - 2450	111265		111265	-241877		-241877	-2174		-2174
2450 - 2500	65911		65911	-60970		-60970	-925		-925
2500 - 2550	21075		21075	-16541		-16541	-785		-785
2550 - 2600	25336		25336	-40324		-40324	-1592		-1592
2600 - 2650	170685		170685	-268787		-268787	-1575		-1575
2650 - 2700	468975		468975	-633019		-633019	-1350		-1350
2700 - 2750	145788		145788	-42849		-42849	-294		-294
2750 - 2800	26457	11730	14727	-9879	-7499	-2380	-373	-639	-162
2800 - 2850	37349	35559	1790	-33621	-32481	-1141	-900	-913	-637
2850 - 2900	71519	70577	942	-70031	-69649	-382	-979	-987	-405
2900 - 2950	111528	111528		-67607	-67607		-606	-606	
2950 - 3000	93182	93182		-22186	-22186		-238	-238	
3000 - 3050	52736	52736		3223	3223		61	61	
3050 - 3100	10919	10919		5110	5110		468	468	
gesamt	1424938	386231	1038707	-1536124	-191087	-1345037	-1078	-495	-1295

Tabelle 20: Wurtenkees, Jahresbilanz 05/06 mit Aufteilung in oberen und unteren Gletscherteil

Höhenstufe [m]	Fläche [m ²]			Bilanzvolumen [10 ³ kg]			spezifische Bilanz [kg/m ²]		
	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten	gesamt	oben	unten
bis 2550	5530		5530	-20912		-20912	-3782		-3782
2550 - 2600	56132		56132	-185464		-185464	-3304		-3304
2600 - 2650	123210		123210	-241191		-241191	-1958		-1958
2650 - 2700	157017		157017	-67452		-67452	-430		-430
2700 - 2750	45197	7190	38007	-11274	-2327	-8947	-249	-324	-235
2750 - 2800	8304	7545	759	-2709	-2640	-69	-326	-350	-91
2800 - 2850	79437	79437		-21108	-21108		-266	-266	
2850 - 2900	81055	81055		-17541	-17541		-216	-216	
2900 - 2950	64548	64548		-25060	-25060		-388	-388	
2950 - 3000	95856	95856		-29592	-29592		-309	-309	
3000 - 3050	73273	73273		-15837	-15837		-216	-216	
3050 - 3100	32011	32011		-3096	-3096		-97	-97	
3100 - 3150	2859	2859		54	54		19	19	
gesamt	824429	443774	380655	-641181	-117147	-524034	-778	-264	-1377

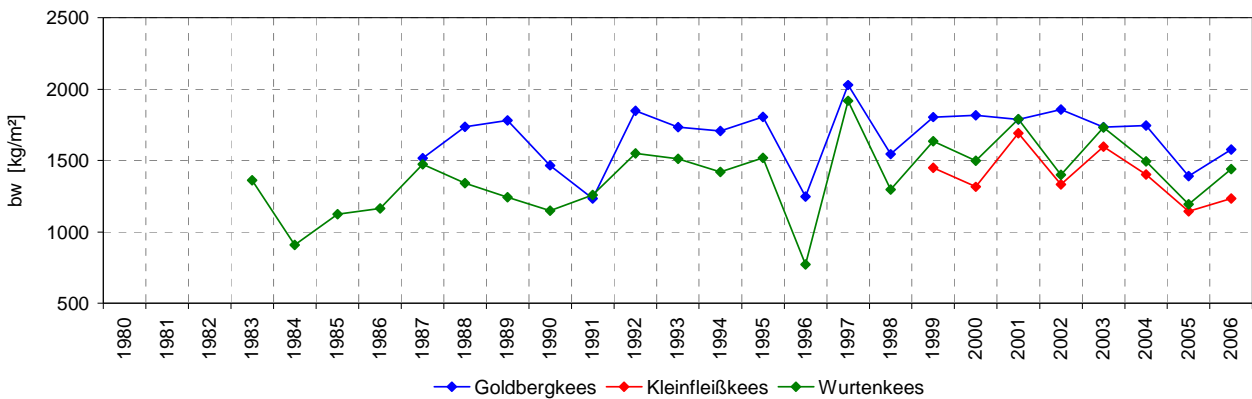


Abbildung 26: Zeitreihe der spezifischen Winterbilanzen von Goldbergkees, Kleinfleißkees und Wurtenkees

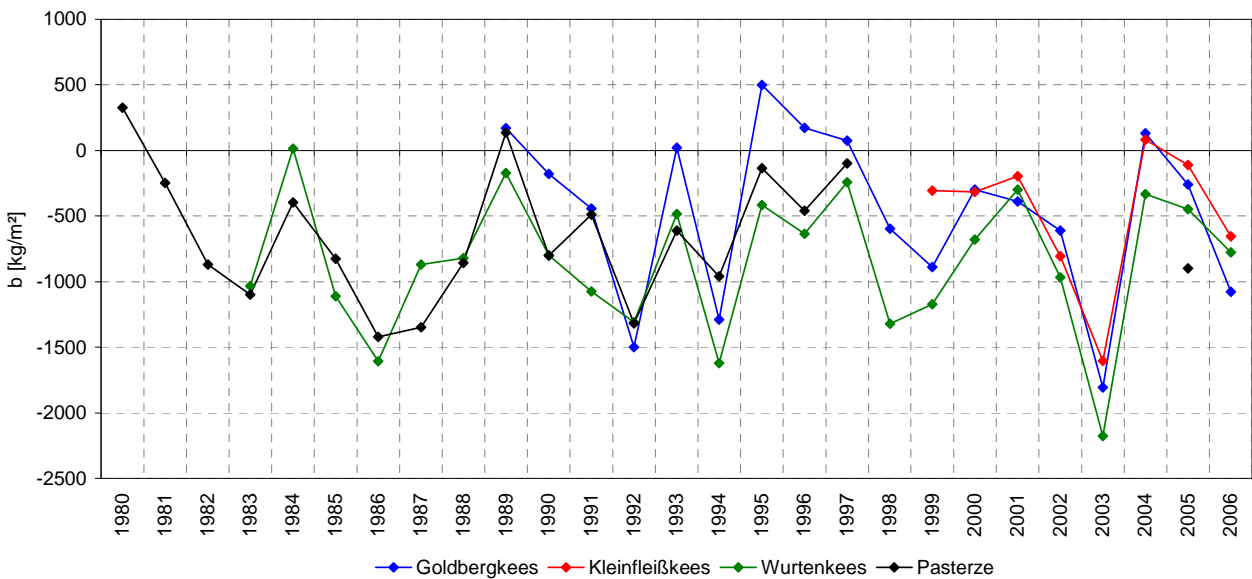


Abbildung 27: Zeitreihe der spezifischen Jahresbilanzen von Goldbergkees, Kleinfleißkees, Wurtenkees u. Pasterze

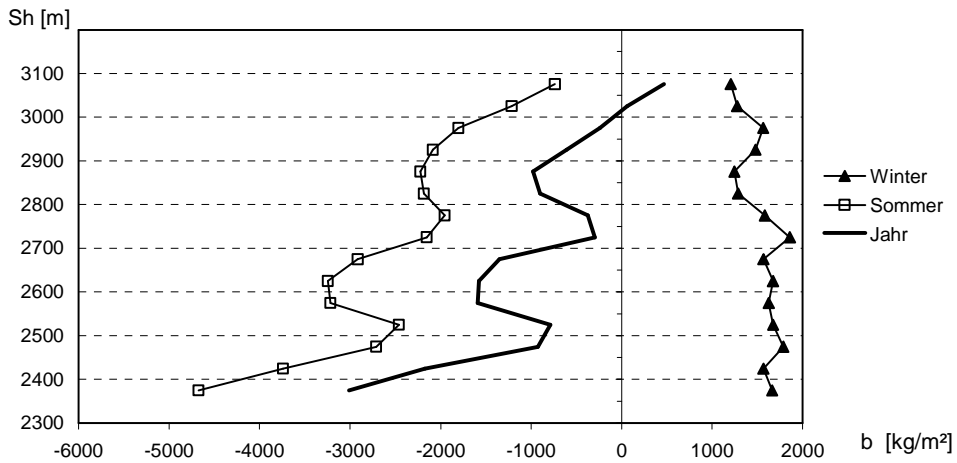


Abbildung 20: Goldbergkees, spezifische Massenbilanzen 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

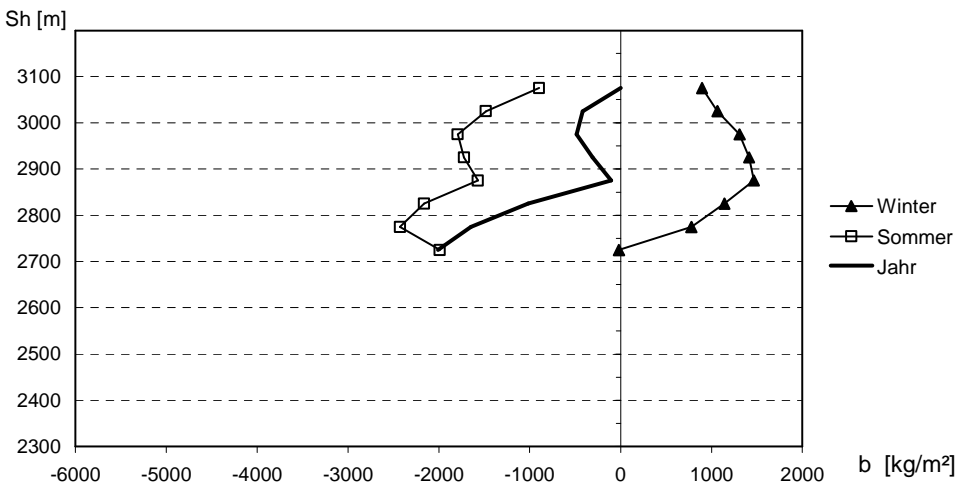


Abbildung 21: Kleinfleißkees, spezifische Massenbilanzen 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

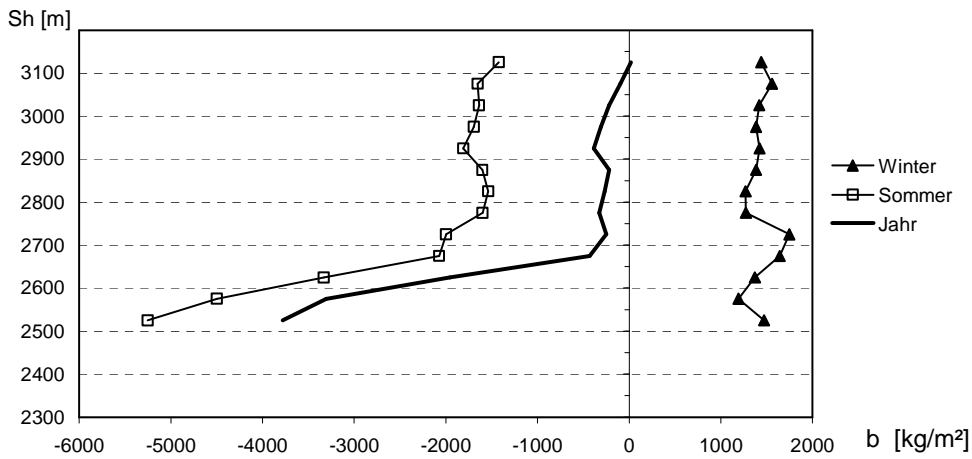


Abbildung 22: Wurtenkees, spezifische Massenbilanzen 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

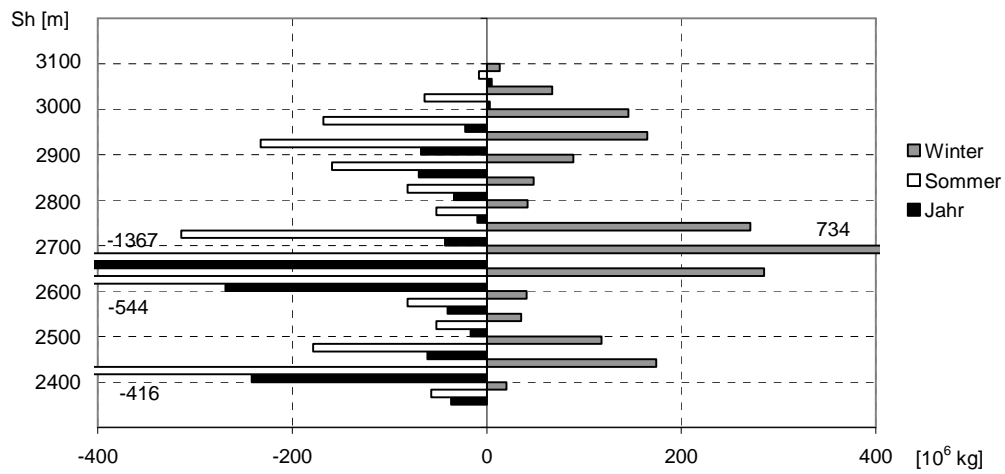


Abbildung 23: Goldbergkees, Bilanzvolumina 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

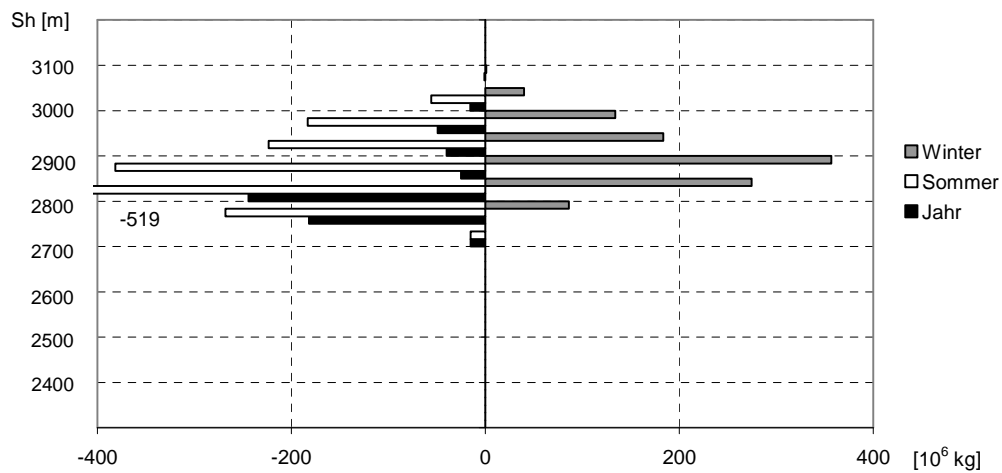


Abbildung 24: Kleinfleißkees, Bilanzvolumina 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

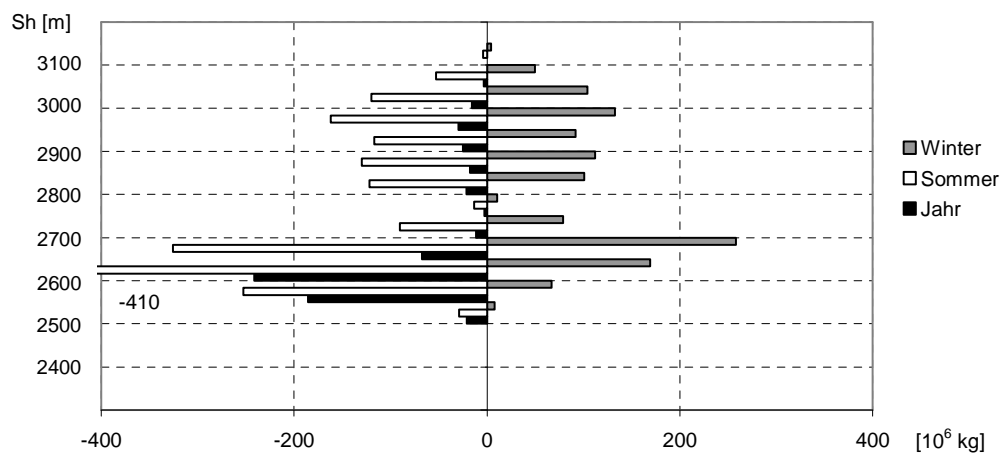


Abbildung 25: Wurtenkees, Bilanzvolumina 05/06 in Abhängigkeit der Seehöhe

Tabelle 21: Horizontal- und Vertikalbewegung des Fleiß- und des Goldbergkees 05/06

Pegel	Hangneigung [°]	x-Richtung [m]	y-Richtung [m]	Änderung Horizontal [m]	Änderung Vertikal [m]	Ablation [m]	Vertikalbewegung [cm]
S 11	24	0.5	0.2	0.5 ±0.01	-0.7 ±0.10	-0.8	12
F03/3	10	2.3	0.4	2.3 ±0.01	-0.6 ±0.16	-0.9	27
F03/2	12	2.1	0.4	2.1 ±0.01	-0.8 ±0.15	-1.3	57
F04/3	8	3.7	0.5	3.7 ±0.04	-0.9 ±0.24	-1.6	74
F04/2	13	5.2	1.2	5.2 ±0.01	-0.3 ±0.26	-1.2	81
F04/4	8	4.8	0.6	4.8 ±0.01	-0.7 ±0.24	-0.8	11
99/7	5	4.0	0.4	4.0 ±0.01	-1.1 ±0.22	-0.3	-77
F04/1	11	5.9	1.2	5.9 ±0.01	-0.7 ±0.29	-1.6	97
F03/1	12	3.3	0.7	3.3 ±0.01	-0.9 ±0.20	-1.7	74
G03/2	18	2.4	0.8	2.4 ±0.01	-1.2 ±0.16	-1.4	14
G05/6	8	0.1	0.0	0.1 ±0.01	-1.8 ±0.08	-1.9	14
G03/7	11	0.2	0.0	0.2 ±0.01	-1.3 ±0.09	-1.4	10
G04/4	9	1.4	0.2	1.4 ±0.01	-1.1 ±0.13	-1.3	11
G04/3	5	1.3	0.1	1.3 ±0.01	-1.0 ±0.12	-0.8	-20
G03/4	3	0.3	0.0	0.3 ±0.02	-1.6 ±0.10	-1.8	20
G04/2	13	1.1	0.3	1.1 ±0.02	-1.2 ±0.12	-1.6	38
G03/11	14	1.8	0.4	1.8 ±0.01	-1.0 ±0.14	-1.8	77
G04/5	15	1.7	0.4	1.7 ±0.03	-1.9 ±0.16	-1.4	-46

Wie aus Tabelle 21 zu entnehmen ist, bewegten sich beide Gletscher horizontal zwischen ein und zwei Metern, wobei die Stärke der Hangneigung an den Messpunkten nicht mit der zurückgelegten Strecke korreliert. Am Fleißkees liegt die stärkste Bewegung bei den orographisch links gelegenen Pegeln vor. Der Pegel, an dem die Stärkste Lageveränderung am Goldbergkees gemessen wurde (G04/5) liegt auf der Gletscherzunge. Starke Bewegungen zwischen 1,5m und 2m gab es hier noch am obersten und hinteren oberen Boden.

Die vertikalen Änderungen waren sowohl am Fleißkees, als auch am Goldbergkees für alle Messpunkte negativ. Am Fleißkees lagen die höchsten Vertikalbewegungen an den orographisch linken Pegeln vor. Allerdings gab es hier auch die höchsten Ablationsbeträge, was die gesamte vertikale Änderung verringerte. Das Goldbergkees verlor im Haushaltsjahr 05/06 zwischen ein und zwei Metern an Höhe. Die Vertikalbewegung war hier im Durchschnitt geringer als am Fleißkees. Negative Vertikalbewegungen sind bei beiden Gletschern auf das Abschmelzen von Eis oder das Einsinken von Hohlräumen im und unter dem Gletscher zurückzuführen.

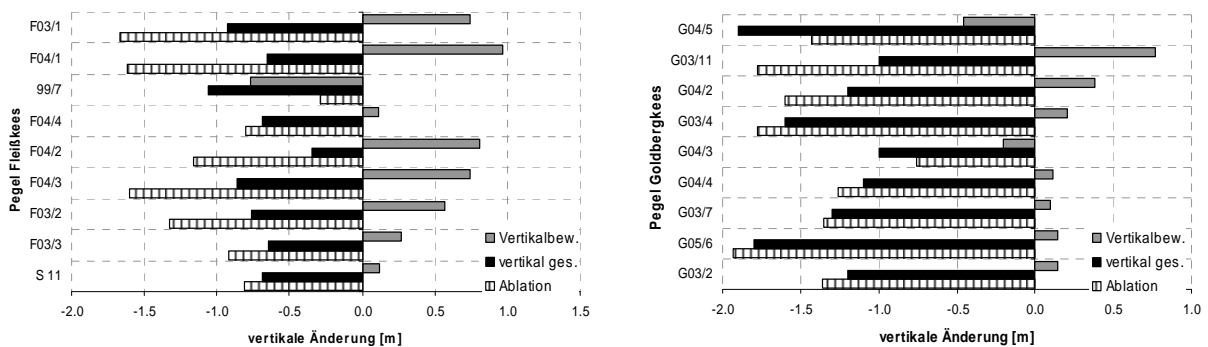


Abbildung 26: Vertikalbewegung, Ablation und gesamte Änderung am Fleißkees (links) und Goldbergkees (rechts).

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, (im Druck).
- 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 Volume32, No.23

Danksagung

Die Feldmessungen wurden wieder in Zusammenarbeit zwischen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, dem Institut für Meteorologie und dem Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur Wien und der Kärntner Elektrizitätswirtschafts-AG, denen an dieser Stelle herzlich für die Unterstützung der Projekte gedankt sei. Dem Land Kärnten danken wir für die Bereitstellung des Orthofotos 2003.

Folgende Mitarbeiter und Studenten führten die Feldmessungen am Gletscher durch:

Ingeborg Auer, Daniel Binder, Reinhard Böhm, Klaus Dolschak, Birgit Eibl, Andreas Feiersinger, Thomas Feix, Berthold Fliedl, Martin Glas, Bernhard Hynek, Roman Just, Wolfgang Kainrath, Gernot Kobltschnig, Bernhard Köck, Christine Kroisleitner, Helga Kromp-Kolb, Andreas Lampert, Barbara Mayer, Gernot Michlmayr, Anna Micheuz, Rebecca Mott, Christian Mühlegger, Josef Neubauer, Johanna Nikitsch, Martin Oberhammer, Sonja Schmied, Wolfgang Schöner, Mark Strenger, Barbora Stuhl, Friedl Unterfrauner, Sabine Radanovics, Friedrich Reisenberger, Stefan Reisenhofer, Ursula Weiser, Clemens Weissensteiner, Gernot Weyss

