

Ausaperungs- bzw. Albedoflächenkartierung mittels terrestrischer Photogrammetrie am Beispiel des Goldberggletschers

WOLFGANG SCHÖNER, Wien

1. Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden zuerst die verschiedenen Methoden zur Kartierung des Ausaperungszustandes oder von Flächen mit konstanter Albedo eines Gletschers beschrieben. Anschließend wird die Methode mittels terrestrischer Photogrammetrie an Hand des Goldberggletschers gezeigt. Die Aufnahmen wurden während der Ablationsperiode 1988 mit einer kalibrierten und mit Rahmenmarken versehenen Mittelformatkamera (Halbmeßkammer) gemacht. Weiters wird der Verlauf der Ausaperung für den Sommer 1988 beschrieben und das Ausaperungsmuster erklärt. In einem abschließenden Kapitel werden zwei Anwendungsmöglichkeiten (Hilfsmittel bei der Berechnung der Massenbilanz und des kurzwelligen Strahlungshaushaltes eines Gletschers) gezeigt.
















2. Ziel und Methoden einer Ausaperungs- bzw. Albedoflächenkartierung

Durch eine Ausaperungskartierung bzw. Albedoflächenkartierung sollen für das Gesamtgebiet eines Gletschers Flächen mit verschiedener Schneeigenschaft (Schneecharakteristik) ermittelt werden. Die Schneeigenschaft bezeichnet hier die Schneeart für eine Ausaperungskartierung oder das kurzwellige Reflexionsverhalten (kurzwellige Albedo) für eine Albedooberflächenkartierung, wobei die kurzwellige Albedo neben anderen Faktoren bereits eine Funktion der Schneeart ist. Gemäß der allgemeinen Schneekunde kann man Flächen mit Neuschnee, Altschnee, Firn und Eis unterscheiden und bei Untersuchung des kurzwelligen Reflexionsverhaltens auch noch den Verschmutzungsgrad der einzelnen Schneearten angeben. Schneeart und Verschmutzungsgrad bestimmen die Albedo bereits recht gut. Es können somit generalisierte Flächen konstanter kurzwelliger Albedo für die gesamte Gletscherfläche bestimmt werden, wobei die verwendete Methode den Generalisierungsgrad festlegt.

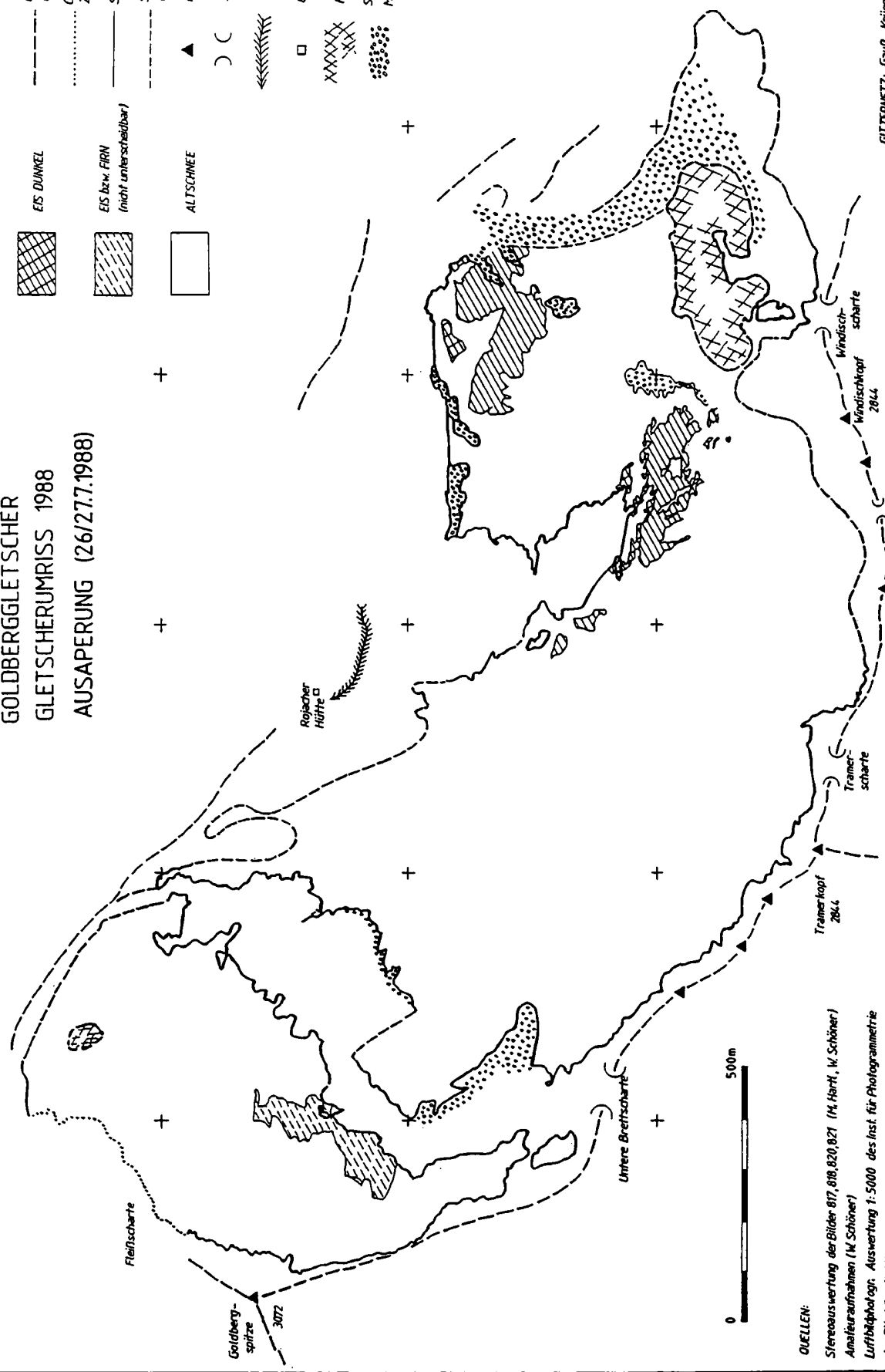
Eine Ausaperungskartierung, die Flächen verschiedener Schneeart unterscheidet, dient als Hilfsmittel bei der Bestimmung der Massenbilanz eines Gletschers mittels direkter glaziologischer Methode, während eine Kartierung von Flächen konstanter kurzwelliger Albedo zur Berechnung des kurzwelligen Strahlungshaushaltes eines Gletschers verwendet werden kann.

Folgende Methoden zur Ermittlung der Ausaperung eines Gletschers können unterschieden werden:

KARTE 1:
GOLDBERGGLETSCHER
GLETSCHERUMRISS 1988
AUSAPERUNG (26/27.7.1988)

- | | | | |
|---|---|---|---------------------------------------|
|  | EIS HELL |  | GRAT, KAMM |
|  | EIS DUNKEL |  | GLETSCHERUMRISS |
|  | EIS bzw. FIRN
(nicht unterscheidbar) |  | GLETSCHERUMRISS
(vermutet) |
|  | ALTSCHNEE |  | GLETSCHERABGRENZUNG
ZUM FLEISSKEES |
| | |  | SCHNEEARTENLINIE
(vermutet) |
| | |  | markanter GIPFEL |
| | |  | SCHARTE |
| | |  | MORÄNE 1850 |
| | |  | GEBÄUDE |
| | |  | FELSGEBIET |
| | |  | SCHUTT bzw.
MORÄNEMATERIAL |

Hoher Sonnblick
3105

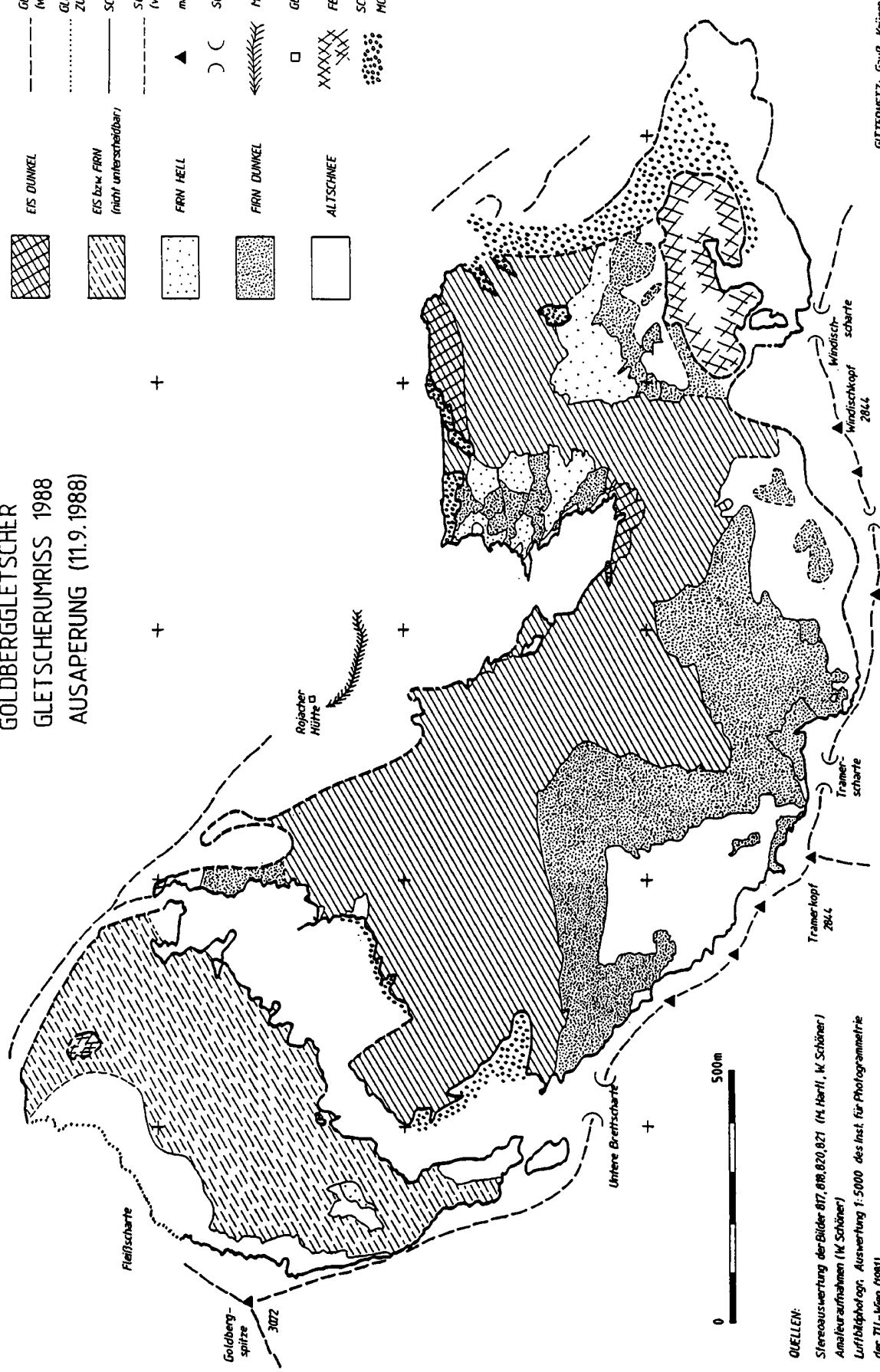


QUELLEN:
 Stereoauswertung der Bilder 817, 818, 820, 821 (H. Herrl, W. Schöner)
 Amfelaufnahmen (W. Schöner)
 Luftbildphotogr. Auswertung 1:5000 des Inst. für Photogrammetrie
 der TU - Wien (1981)

GITTERNETZ: Gauß - Krüger, Bezugsmeridian M31

KARTE 4: GOLDBERGGLETSCHER GLETSCHERUMRISS 1988 AUSAPERUNG (11.9.1988)

	EIS HELL		GRAT, KAMM
	EIS DUNKEL		GLETSCHERUMRISS
	EIS bzw. FIRN (nicht unterscheidbar)		GLETSCHERUMRISS (vermutet)
	FIRN HELL		GLETSCHERABGRENZUNG ZUM FLEISSKEES
	FIRN DUNKEL		SCHNEEARTENLINIE
	ALTSCHNEE		SCHNEEARTENLINIE (vermutet)
			markanter GIPFEL
			SCHARTE
			MORÄNE 1850
			GEBÄUDE
			FELSGEBIET
			SCHUTT bzw. MORÄNENMATERIAL



QUELLEN:
 Stereoaufwertung der Bilder 817, 818, 820, 821 (M. Harli, M. Schöner)
 Amfelaufnahmen (M. Schöner)
 Luftbildphotogr. Auswertung 1:5000 des Inst. für Photogrammetrie
 der TU - Wien (1981)

- Kartierung durch Geländebegehung und Theodolith- oder Bussolenvermessung
- terrestrisch photogrammetrische Methoden
- Luftbildauswertung
- Satellitenbildauswertung.

Kartierung durch Geländebegehung (und Theodolith- oder Bussolenvermessung)

Will man bei dieser Methode eine brauchbare Genauigkeit erzielen, so ist sie sehr arbeitsintensiv. Im allgemeinen wird es nicht möglich sein, die Ausaperung oder Verteilung der Flächen mit konstanter Albedo eines Gletschers an einem Tag mit hinreichender Genauigkeit zu kartieren. Nur wenn der Gletscher geringfügig ausapert, ist diese Methode sinnvoll.

Terrestrisch photogrammetrische Methoden

Terrestrisch photogrammetrische Methoden beruhen auf Aufnahmen des Untersuchungsgebietes aus dem umliegenden Gelände. Man kann hier nochmals zwei verschiedene Methoden unterscheiden:

- stereophotogrammetrische Auswertung
- Einbildauswertung.

Für eine stereophotogrammetrische Auswertung wird von zwei Standpunkten eine Aufnahme des Auswertungsgebietes (Gletscher) gemacht, die dann im Auswertegerät eine räumliches Bild vermitteln. In diesem Stereomodell können dann Linien im Gelände kartiert werden.

Bei einer Einbildauswertung ist, wie der Name bereits sagt, nur eine Aufnahme pro Modell notwendig. Die Lage eines Punktes im Gelände wird durch Verschnitt des Sehstrahles (der durch den Bildpunkt und das Projektionszentrum gegeben ist) mit dem digitalen Geländemodell ermittelt. Abbildung 1 soll die geometrische Situation dieser Methode veranschaulichen.

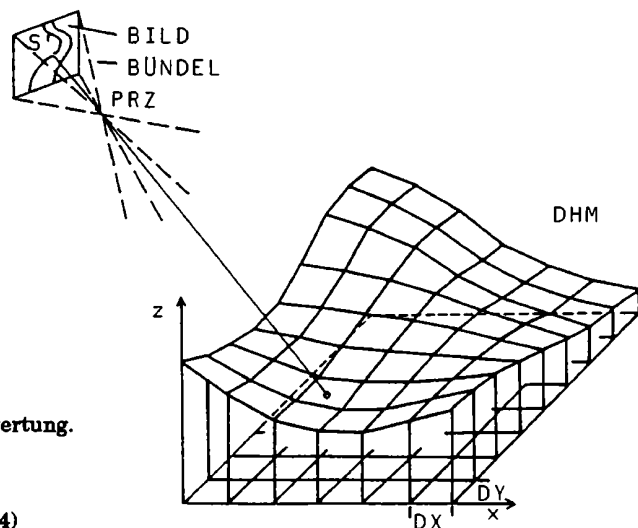


ABBILDUNG 1:
Geometrische Veranschaulichung der Einbildauswertung.
PRZ = Projektionszentrum, S' = Bildpunkt,
S = Schnittpunkt zwischen Strahl und
digitalem Höhenmodell (DHM), ENTHOFER, (1984)

Die Aufnahmen für die terrestrisch photogrammetrischen Methoden werden mit einer Halbmeßkammer oder einer Meßkammer gemacht. Für beide Methoden ist ein möglichst wolkenloses Wetter und die richtige Wahl des Aufnahmestandortes wichtig. Theoretisch wäre es auch möglich die Aufnahmen unter einer geschlossenen Wolkendecke zu machen, doch ist diese Möglichkeit im alpinen Gelände fast nie gegeben, oder die Wettersituation dann zu gefährlich, um sich in exponiertem Gelände aufzuhalten. Auch sollte die Abschattung durch umliegende Kämmen zur Zeit der Aufnahme gering sein. Die Einbildauswertung hat gegenüber der Stereoauswertung den Vorteil, daß man:

- nur ein Bild pro Auswertemodell braucht (Zeitersparnis)
- einen größeren Bildbereich hat, der pro Modell ausgewertet werden kann, da die sichtbaren Räume geringer sind.

Die Nachteile der Einbildauswertung gegenüber der Stereoauswertung sind:

- geringere Genauigkeit durch das Fehlen der dreidimensionalen Betrachtungsweise bzw. durch ein ungenaues Geländemodell
- die erschwerte Interpretation.

Luftbildauswertung

Die Luftbildauswertung beruht auch auf der stereophotogrammetrischen Methode, nur werden hier die Aufnahmen von einem Flugzeug aus gemacht. Daher ist auch für diese Methode wolkenloses Wetter im Bereich der Aufnahme notwendig. Die Nachteile gegenüber der terrestrischen Methode sind:

- das geringere Auflösungsvermögen (kleinerer Bildmaßstab)
- die höheren Kosten (wenn eine eigene Befliegung durchgeführt werden muß).

Als Vorteil ist die Zeitersparnis zu erwähnen, da der Gletscher (im ostalpinen Raum) oft mit einer Aufnahme abgedeckt werden kann.

Auf die Luftbildauswertung wird man zurückgreifen, wenn bereits Luftbilder (etwa von der amtlichen Kartographie) vorliegen, eine große Anzahl von Gletschern untersucht werden soll oder genügend Geld zur Verfügung steht.

Satellitenbildauswertung

Satellitenbildauswertung bzw. Satellitenmessung findet in letzter Zeit immer mehr Anwendung in der Glaziologie. Zwei Problembereiche sind für die Anwendung entscheidend:

- Auflösungsvermögen (sowohl räumlich als auch zeitlich)
- Wetterabhängigkeit.

Das räumliche Auflösungsvermögen ist bei modernen Satellitenaufnahmen zum Zweck der Ausaperungskartierung weitaus ausreichend. Dagegen stellt das zeitliche Auflösungsvermögen ein Problem dar, da der zeitliche Verlauf der Ausaperung auf Grund der vorgegebenen Aufnahmezeitpunkte nur schwer erfassbar ist. Weil der Zeitpunkt der Aufnahme nicht frei bestimmbar ist, ist auch die maximale Ausaperung im allgemeinen

nicht erfaßbar. Das Problem der Wetterabhängigkeit (Wolkenbedeckung) ist für eine Ausaperungskartierung bzw. Albedoflächenkartierung noch nicht gelöst. Ein weiterer Nachteil der Satellitenbildauswertung sind die hohen Kosten.

3. Zeitlicher Verlauf der Ausaperung des Goldberggletschers am Beispiel der Ablationsperiode 1988

Die Aufnahmen zur Ermittlung des Ausaperungszustandes mittels terrestrisch photogrammetrischer Methode wurden mit einer Mittelformatkamera 6x7 cm der Marke Mamiya RB67 durchgeführt. Im Rahmen der Diplomarbeit von K.MEISSL, (1986) wurde die Kamera kalibriert und mit Rahmenmarken versehen, das heißt in eine Halbmeßkammer übergeführt. Außerdem wurden durch diese Arbeit die Stereomodelle erstellt und eine Erstausswertung durchgeführt. Die Auswertung der Bilder erfolgt auf einem analytischen Auswertegerät (Wild AC1).

Im Rahmen der Diplomarbeit von W.SCHÖNER, (1989) wurden während der Ablationsperiode 1988 Aufnahmen vom Ausaperungszustand des Goldberggletschers gemacht und anschließend am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien ausgewertet. Der zeitliche Abstand zwischen den Aufnahmezeitpunkten betrug mit einer Ausnahme (zwischen 18.8. und 11.9.1988, wetterbedingt) 10 bis 14 Tage. Der Ausfall der einen Aufnahmeserie stellt aber kein Problem dar, da die Änderungen des Ausaperungszustandes gegen Ende der Ablationsperiode sehr klein werden. Die Aufnahmen konnten am 26./27.7. (Karte 1), 7.8. (Karte 2), 18.8. (Karte 3) und 11.9. (Karte 4) vollständig durchgeführt werden.

Am 20.7.1988 begann der Goldberggletscher auszuapern. Auffällig ist, daß die Ausaperung fast gleichzeitig an drei Stellen des Gletschers beginnt und zwar an der Gletscherzunge, im Bereich des unteren Steilhanges (Oberes Gruppupes Kees) und im Bereich des oberen Steilhanges (Bockpalfen). Karte 1 zeigt diese typische Situation, die auch auf zahlreichen älteren Aufnahmen beobachtet werden kann. Zwei Gründe sind für dieses Ausaperungsmuster entscheidend. Sowohl im oberen als auch im unteren Steilhang kann auf Grund der Hangneigung relativ wenig Schnee liegen bleiben und außerdem weist der obere Steilhang in Folge seiner Hangneigung und Exposition eine sehr hohe Gunst an Globalstrahlung auf. (Das Angebot an Globalstrahlung ist im Bereich des oberen Steilhananges fast doppelt so hoch wie im Bereich des unteren Steilhanges bzw. um ungefähr 75% höher als im Bereich der Zunge).

In Abbildung 2 ist der Verlauf der Ausaperung während der Ablationsperiode 1988 dargestellt. Mehrere Faktoren sind für diesen charakteristischen Verlauf entscheidend. Die rasche Ausaperung zwischen 26.7. und 18.8. war eine Folge der strahlungsreichen Witterung in dieser Periode, die nur zweimal durch geringfügige Neuschneefälle unterbrochen wurde. Diese gletscherungünstige Witterung hielt bis in die zweite Hälfte des August an und wurde erst durch den Kaltlufteinbruch (mit Schneefall bis 1800 m) vom 21.8. bis 27.8. unterbrochen. Dies zeigt sich auch deutlich im Verlauf der Kurve. Der entscheidende Grund für die plötzliche Verflachung der Ausaperungskurve nach dem 18.8.

ist aber darin zu finden, daß ab dem 18.8. die nun noch vorhandenen Altschneereste in strahlungsungünstigen Bereichen liegen. Zusätzlich ist auch das Angebot an Globalstrahlung wesentlich geringer.

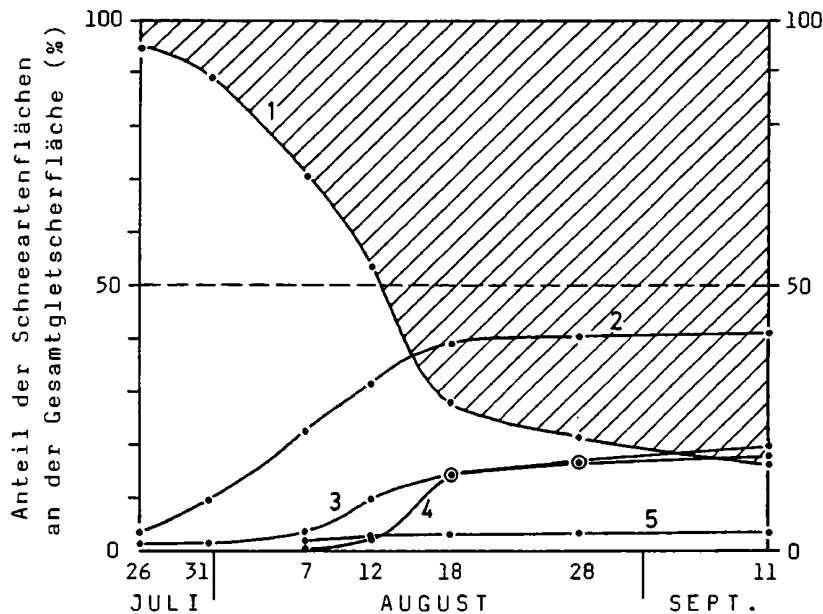


ABBILDUNG 2: Verlauf der Ausaperung des Goldberggletschers (in % der Gesamtgletscherfläche) für den Untersuchungszeitraum 26.7. bis 11.9.1988. 1 = Altschnee, 2 = helles Eis, 3 = Eis bzw. Firn (nicht unterscheidbar), 4 = dunkler Firn, 5 = heller Firn (aus SCHÖNER, 1989)

Die ausgeaperte Fläche beträgt am 11.9.1988 (siehe Karte 4) 84% der Gesamtgletscherfläche, was auch der maximalen Ausaperung entspricht, da am 13.9.1988 eine Schlechtwetterperiode mit Schneefall einsetzte und auch im Oktober der Gletscher nicht mehr so weit ausaperte. Die geringfügige Veränderung zwischen 18.8. und 11.9. ist für den Strahlungshaushalt des Gletschers von Bedeutung, da dunkle Firnflächen (mit geringer Albedo) unter der Altschneedecke ausgeapert sind.

4. Praktische Anwendungsmöglichkeiten der Ausaperungs- bzw. Albedoflächenkartierung

Zwei praktische Anwendungsmöglichkeiten der Ausaperungs- bzw. Albedoflächenkartierung sollen anschließend noch gezeigt werden:

- Berechnung des kurzwelligen Strahlungshaushaltes eines Gletschers
- Hilfsmittel bei der Berechnung des Massenhaushaltes eines Gletschers.

Berechnung des kurzwelligen Strahlungshaushaltes

Die Berechnung des kurzwelligen Strahlungshaushaltes ist im Zusammenhang mit einem DGM (Digitalen Geländemodell) möglich. Ein DGM erlaubt die Berechnung der potentiellen Globalstrahlung (ohne Berücksichtigung der Bewölkungsverhältnisse, Wasserdampf- und Aerosolgehalt der Atmosphäre, d.h. unter Annahme einer

standardisierten Atmosphäre) für jeden Gitterpunkt (STROBL, 1989) und bei Annahme gleicher atmosphärischer Verhältnisse für den ganzen Gletscher die Bestimmung der tatsächlichen Globalstrahlung aus dem Verhältnis tatsächlicher zu potentieller Globalstrahlung auf dem Sonnblickobservatorium. Liegt nun die Verteilung der generalisierten Albedoflächen in Form digitalisierter Linien vor, so ist es möglich die zwei Aussagen (Albedo + Globalstrahlung) computertechnisch zu verbinden und die kurzwellige Strahlungsbilanz zu berechnen (siehe SCHÖNER, 1989). Das kann aus Rechenzeitgründen nur für ausgewählte Tage der Ablationsperiode erfolgen. Im Falle des Goldberggletschers wurde die kurzwellige Strahlungsbilanz für die Periode vom 26.7. bis 11.9. für den 26.7., 31.7., 7.8., 12.8., 18.8., 28.8. und 11.9. berechnet. Für die Tage dazwischen wurde die potentielle Globalstrahlung sowie die Albedo des Gesamtgletschers durch Interpolation bestimmt und sodann zur Berechnung der kurzwelligen Strahlungsbilanz das Verhältnis tatsächlicher zu potentieller Globalstrahlung auf dem Sonnblickobservatorium, sowie die sommerlichen Neuschneefälle berücksichtigt.

In Abbildung 3 ist nun der Verlauf der Globalstrahlung auf dem Sonnblickobservatorium, der berechnete Verlauf der potentiellen Globalstrahlung sowie der kurzwelligen Strahlungsbilanz des Goldberggletschers (ohne Berücksichtigung der sommerlichen Neuschneefälle und tatsächlichen atmosphärischen Verhältnisse) dargestellt. Während das Angebot an Globalstrahlung zu Beginn der Ausaperung am größten ist, wird das Maximum der absorbierbaren Globalstrahlung um den 18.8. erreicht, wenn bereits genügend große Flächen mit Eis und Firn (mit niedriger Albedo) ausgeapert sind. Gegen Ende der Ablationsperiode wird durch das immer geringer werdende Angebot an Globalstrahlung auch der Anteil der absorbierbaren Globalstrahlung geringer, obwohl die Albedo des Gesamtgletschers durch die weitere Ausaperung noch abnimmt. Dieses Ergebnis wird auch durch Messungen im Gelände bestätigt (WAGNER, 1981).

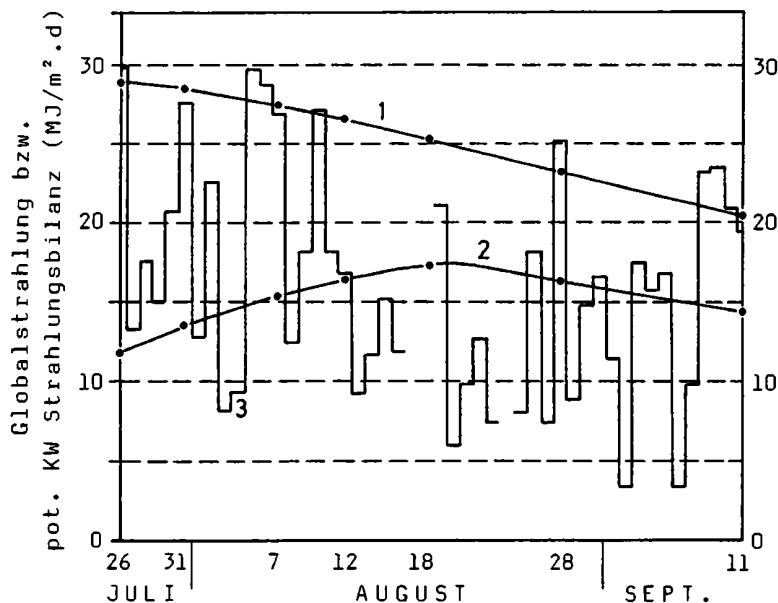


ABBILDUNG 3: Verlauf der potentiellen Globalstrahlung (1), der potentiellen kurzwelligen Strahlungsbilanz (2) des Goldberggletschers, sowie der Verlauf der Globalstrahlung auf dem Sonnblickobservatorium (3) für den Untersuchungszeitraum 26.7. bis 11.9.1988 (aus SCHÖNER, 1989)

In Abbildung 4 ist die berechnete kurzwellige Strahlungsbilanz des Goldberggletschers für die Periode vom 26.7. bis 11.9.1988 zu ersehen. Auch in dieser Darstellung ist noch eindeutig der Verlauf der Kurve 2 aus Abbildung 3 erkennbar, d.h. das Maximum der kurzwelligen Strahlungsbilanz wird am 18.8.1988 erreicht.

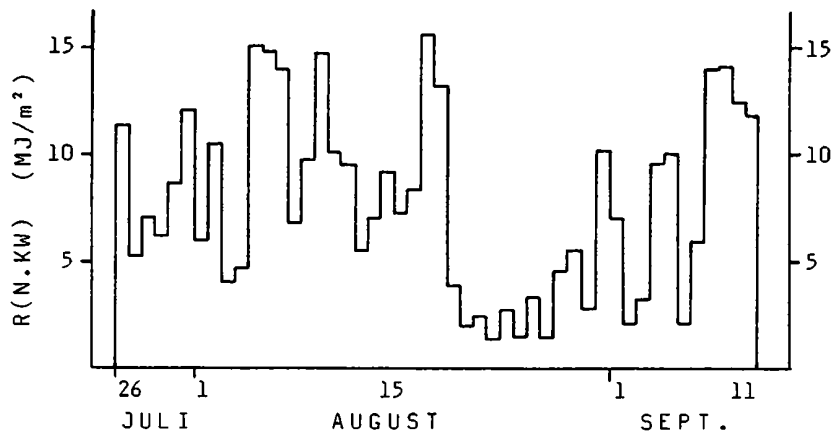


ABBILDUNG 4: Tagessummen der berechneten kurzwelligen Strahlungsbilanz in $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ des Goldberggletschers für die Periode vom 26.7. bis 11.9.1988 (aus SCHÖNER, 1989)

Diese Berechnung der kurzwelligen Strahlungsbilanz eines Gletschers kann in weiterer Folge zur Berechnung der Energiebilanz dieses Gletschers und damit auch der Schmelzwasserproduktion verwendet werden.

Hilfsmittel bei der Berechnung des Massenhaushaltes mittels direkter glaziologischer Methode

Zur Berechnung der Massenbilanz eines Gletschers mittels direkter glaziologischer Methode muß man die Verteilung der Altschnee-, Firn- und Eisflächen kennen. Dies kann durch eine Vielzahl von Pegel- und Profilmessungen und anschließender Interpolation erreicht werden, wird aber durch eine Karte maximaler Ausaperung sehr erleichtert. Die Pegel- und Profilmessungen können dann im Sinne von Stichproben an charakteristischen Stellen wesentlich reduziert werden.

Für langjährig untersuchte Gletscher läßt sich eine eindeutige Korrelation zwischen der spezifischen Massenbilanz und dem Flächenverhältnis Akkumulationsgebiet zu Gesamtfläche des Gletschers bzw. Akkumulationsgebiet zu Ablationsgebiet ermitteln. Umgekehrt läßt sich aus dem kartierten Flächenverhältnis die spezifische Massenbilanz ableiten.

Auch wenn es nicht gelingt, die maximale Ausaperung eines Jahres zu erfassen, so ist es doch möglich, bei bekanntem zeitlichen Ausaperungsverlauf eines Gletschers sowie Pegel- und Profilmessungen an charakteristischen Stellen die maximale Ausaperung recht gut zu rekonstruieren. Die Erfahrung zeigt, daß die Ausaperung jedes Jahr fast idente Struktur besitzt. Der Unterschied zwischen den einzelnen Jahren liegt nur darin, wie weit der Gletscher jeweils ausapert.

L i t e r a t u r

ENTHOFER, C.: Schnitt eines photogrammetrischen Strahlenbündels mit einem digitalen Höhenmodell; ein neues Verfahren zur Einbildauswertung. Diplomarbeit für Vermessungswesen, Technische Universität Wien, 1984

MEISSL, K.: Geodätische Einrichtung und Erstnutzung photogrammetrischer Standlinien für periodische glaziologische Untersuchungen. Diplomarbeit für Vermessungswesen, Technische Universität Wien, 1985

SCHÖNER, W.: Ermittlung der kurzwelligen Strahlungsbilanz des Goldberggletschers (Hoher Sonnblick) mittels digitalem Geländemodell und Stereoauswertung terrestrischer Amateuraufnahmen. Diplomarbeit für Geographie, Universität Wien, 1989

STROBL, J.: Karten der potentiellen Sonnenscheindauer und Globalstrahlung im Land Salzburg. Beiträge zur Geographie von Salzburg, Salzburger Geographische Arbeiten Bd.17, 1989

WAGNER, H.P.: Strahlungshausaltsuntersuchungen an einem Ostalpengletscher während der Hauptablationsperiode. Teil 2: Kurzwellige Strahlung. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Serie B, Bd.27, 1979

Anschrift des Verfassers:

Mag. Wolfgang Schöner

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien

Hohe Warte 38

1190 Wien