

Dokumentation des Gletscherrückgangs am Gössnitzkees (Schobergruppe, Hohe Tauern) für den Zeitraum 1988-2009 mittels terrestrischer Photogrammetrie

VIKTOR KAUFMANN¹

Zusammenfassung: Ab der Mitte des 19. Jhs. rücken Gletscher verstärkt in den Blickpunkt wissenschaftlicher Untersuchungen. Schon früh begann man Gletscher zu vermessen und in Karten darzustellen. Von besonderem Interesse war die Erfassung und Untersuchung ihrer raum-zeitlichen Veränderung. Als erste wirklich leistungsfähige Methode in der Gletschervermessung etablierte sich die terrestrische Photogrammetrie. Mit dem Aufkommen der Luftbildphotogrammetrie verlor sie jedoch schnell wieder an Bedeutung. Das derzeitige Methodenspektrum in der Gletschererfassung bzw. -kartierung ist breit gestreut und reicht von terrestrischen über flugzeuggestützte bis hin zu satellitengestützten Verfahren. In den vergangenen 10 Jahren eröffneten jedoch kostengünstige digitale Spiegelreflexkameras und leistungsfähige digital-photogrammetrische Arbeitsstationen neue Möglichkeiten des Einsatzes der terrestrischen Photogrammetrie für Zwecke der Gletschervermessung. Diese werden am praktischen Beispiel des Gössnitzkeeses, einem kleinen, stark schuttbedeckten Kargletscher in den Hohen Tauern der österreichischen Alpen, erörtert.

1 Einleitung

Im Zeitraum der letzten 100 Jahre hat sich die mittlere jährliche Lufttemperatur in den Alpen um durchschnittlich 1-2°C erhöht (KUHN, 2004). Die Auswirkungen dieser Klimaerwärmung sind mannigfaltig. Besonders augenscheinlich sind diese im alpinen Raum – die Gletscher schmelzen, mit zurückbleibenden Stein- und Geröllwüsten im nun gletscherfreien Bereich. Drastische Folgewirkungen des Gletscherrückgangs auf den Wasserhaushalt (Abfluss) und auch auf den Tourismus sind absehbar.

Ab etwa dem neuzeitlichen Gletscherhochstand von 1850, auch *Kleine Eiszeit* (engl. *Little Ice Age*) genannt, werden – insbesondere in den Alpen – Veränderungen in der Gletscherausdehnung gezielt messtechnisch erfasst. Das zu jener Zeit gerade junge Messverfahren der terrestrischen Photogrammetrie wurde ausgehend von der Bauaufnahme u.a. zur topographischen Kartierung von Hochgebirgsräumen weiterentwickelt. Einen Höhepunkt erreichte die terrestrische Photogrammetrie in der ersten Hälfte des 20. Jhs., wo im Rahmen von zahlreichen Expeditionen verschiedene Hochgebirgsräume der Erde und somit auch ihre Gletscherwelten kartographisch erfasst wurden (vgl. BRUNNER & WELSCH, 1999; MAYER, 2010). In den von S. Finsterwalder im Jahre 1913 ins Leben gerufenen Gletscherkursen wurde u.a. die terrestrische Photogrammetrie als Messmethode gelehrt (FINSTERWALDER, 1956). Mit der viel leistungsfähigeren Luftbildaufnahme war bald der Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie für Hochgebirgs-

¹ Viktor Kaufmann, Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz; E-Mail: viktor.kaufmann@tugraz.at

anwendungen – bis auf einige Sonderanwendungen – obsolet geworden (KOSTKA, 2004; vgl. dazu auch KÄÄB, 2005). Zum jetzigen Zeitpunkt lassen kostengünstige Digitalkameras und moderne digital-photogrammetrische Auswertegeräte eine Renaissance der terrestrischen Photogrammetrie für Hochgebirgsanwendungen, insbesondere für räumlich beschränkte Gletscherstudien, vermuten (KAJUUTTI et al., 2010). Der vorliegende Beitrag soll diese Aussage untermauern.

2 Motivation

Im Rahmen des Gletschermessdienstes des Österreichischen Alpenvereins (ÖAV) werden derzeit 96 Gletscher in Österreich alljährlich messtechnisch erfasst, wenn auch nur mit meist einfachen Methoden (FISCHER, 2010). Von zahlreichen Gletschern werden auch alljährlich von denselben Photostandpunkten aus Vergleichsaufnahmen gemacht – in einigen Fällen auch bewusst Stereobildpaare (vgl. dazu PATZELT, 2009). Die Idee des Autors besteht nun darin, das momentan eingesetzte Methodenspektrum des österreichischen Gletschermessdienstes um die terrestrische Photogrammetrie zu erweitern. Glaziologisch relevante Parameter, wie z.B. Gletscherlängenänderung, Fließgeschwindigkeit und Eisdickenänderung, könnten durch Methoden der Bildmessung vergleichsweise leicht erfasst werden. Eine mögliche Akzeptanz dieser Messmethode in der Praxis wäre sicherlich mit einer nahezu vollständigen Automatisierung des Auswerteprozesses zu verknüpfen. Am Beispiel des Gössnitzkeeses soll vorerst gezeigt werden, dass die gesuchten Parameter mit ausreichender Genauigkeit aus terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen handelsüblicher Digitalkameras abgeleitet werden können.

3 Gössnitzkees

3.1 Geographische Aspekte

Das Gössnitzkees (12°45' östl. L., 46°58' nördl. B.) ist ein kleiner, stark schuttbedeckter Kargletscher im Talschluss des Gössnitztales der Schobergruppe, Hohe Tauern, österreichische Alpen (siehe Abb. 1). Die Gletscherfläche betrug 59 ha im Jahre 2006. Das Gössnitzkees weist nahezu kein Nährgebiet auf (vgl. Abb. 2) und wird größtenteils durch Lawinen aus der steilen Karumrahmung ernährt. Weitere Ausführungen zur Geographie des Studiengebietes finden sich in LIEB (1987).

3.2 Gletschergeschichte

Die Gletschergeschichte des Gössnitzkeeses seit 1850 bis 2006 wurde im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes mit dem Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz aus altem Kartenmaterial (1873, 1929), Luftbildzeitreihen (8 Epochen) und Geländebefunden (Moränenkartierung, Stand 1850) rekonstruiert. Die ermittelten Flächen- und Volumenänderungen werden in KAUFMANN & LIEB (2002) bzw. KAUFMANN & LADSTÄDTER (2008a) mitgeteilt. Die Gletscherausdehnung hat sich seit 1850 um beachtliche 62.2% verringert. Aus den photogrammetrischen Vergleichsmessungen 1997-2006 wurde eine mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (HGL) von 3023 m bestimmt. Der ermittelte Wert weist in eindeutiger Art

und Weise darauf hin, dass bei derzeit gleich bleibenden Klimaverhältnissen das Gössnitzkees noch vor Mitte dieses Jhs. verschwunden sein wird. Der stete Gletscherrückgang seit 1850 wurde u.a. in einer Computeranimation anschaulich visualisiert (KAUFMANN & PLÖSCH, 2001).

3.3 Geodätische Gletscheraufnahmen

Im Jahre 1982 wurde das Gössnitzkees erstmals in das Gletschermessnetz des ÖAV eingebunden (LIEB & KAUFMANN, 1984). Die vergleichsweise einfachen Gletscherlängenmessungen wurden bis heute alljährlich durchgeführt. In den letzten Jahren hat M. Krobath (Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz) die Messungen ausgeführt.

Eine erste tachymetrische Aufnahme der Gletscherstirn, von Punkten zur Ableitung der Fließgeschwindigkeit und eines repräsentativen Längsprofils erfolgte 1996 in Kooperation mit dem jetzigen Institut für Positionierung und Navigation der TU Graz (KIENAST & KAUFMANN, 2004). Dieses Messprogramm wurde bis heute alljährlich wiederholt und in Teilen sogar im Umfang erweitert. Aus den Messergebnissen können nicht nur glaziologisch relevante Informationen abgeleitet werden, sondern sie dienen auch zur Validierung der Ergebnisse anderer Messverfahren, wie z.B. der terrestrischen Photogrammetrie und des terrestrischen Laserscannings.

4 Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen

Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen des Gössnitzkeeses erfolgten 1988, 1997 und ab 2003 im Jahresabstand mit unterschiedlichen analogen und digitalen Kamerasystemen (siehe Tab. 1). Die Erstaufnahme im Jahre 1988 wurde durch Prof. R. Kostka, TU Graz, unter Mitwirkung des Autors mit einem Phototheodoliten TAL von Zeiss durchgeführt. Eine photogrammetrische Standlinie (Basislänge 122 m, Endpunkte L88 und R, vgl. Abb. 1 und Abb. 3) wurde am Gegenhang angelegt, um den zentralen Teil des Gletschers möglichst gut erfassen zu können. Wiederholungsaufnahmen (1997, 2003) erfolgten mit einer semi-metrischen Réseaukamera und dann in weiterer Folge mit vier verschiedenen handelsüblichen, nicht-metrischen Digitalkameras. Die Nikon-Kameras sind kostengünstige Amateurkameras.

Tab. 1: Photographische Aufnahmesysteme

Jahr	Aufnahmesystem	Art	Bildaufzeichnung
1988	TAL (HUBENY, 1948)	metrisch	photographische Glasplatte (6.5 cm x 9 cm)
1997	Rolleimetric 6006	semi-metrisch	Farbpositivfilm (6 cm x 6 cm)
2003 & 2004	Rolleimetric 6006		
	Nikon D100	nicht-metrisch	CCD-Sensor (6 Megapixel)
2005	Nikon D100		
2006	Hasselblad H2D-39	nicht-metrisch	CCD-Sensor (39 Megapixel)
	Nikon D100		
2007	Nikon D80	nicht-metrisch	CCD-Sensor (12 Megapixel)
2008	Nikon D300	nicht-metrisch	CCD-Sensor (12 Megapixel)
2009	Nikon D300		

5 Photogrammetrischer Auswerteprozess

Die photogrammetrische Auswertung des vorliegenden Bildmaterials beruht auf einer Einzelmodellorientierung radiometrisch und geometrisch vorverarbeiteter Bilder auf einer digital-photogrammetrischen Arbeitsstation (ImageStation von Intergraph). Ziel der geometrischen Vorverarbeitung ist es, aus den Originalaufnahmen, welche mit Bildfehlern behaftet sind, ideale zentralperspektivische Bilder abzuleiten. Diese Vorgangsweise erleichtert den photogrammetrischen Orientierungsprozess wesentlich, da die Wiederherstellung der *inneren Orientierung* auf einige Parametereingaben bzw. Messungen (Rahmenmarken der TAL) reduziert werden kann. Die Vorverarbeitungsschritte für die einzelnen Aufnahmesysteme (analog, digital, metrisch, semi-metrisch, nicht-metrisch) sind unterschiedlich und wurden bereits detailliert in mehreren Publikationen (KAUFMANN & LADSTÄDTER, 2004; KAUFMANN & LADSTÄDTER, 2008b; vgl. auch LADSTÄDTER & KAUFMANN, 2004 und 2005) erörtert. Im Rahmen dieser Publikation wird speziell nochmals auf die Kalibrierung der digitalen Aufnahmesysteme hingewiesen.

5.1 Geometrische Vorverarbeitung

Die Hasselblad H2D-39 und die Nikon-Kameras wurden mehrmals einer Testfeldkalibrierung unterzogen. Für den praktischen Einsatz werden Objektive mit festen Brennweiten verwendet. Die Fokussierung erfolgt i. Allg. auf „Anschlag“ (Einstellung auf Unendlich). Kamera-kalibrierungen wurden mit dem 3D-Passpunktfeld von Microsoft Photogrammetry Graz und einem ebenen Passpunktfeld von PhotoModeler (EOS Systems Inc.) durchgeführt (vgl. dazu auch FAUNER et al., 2008). Für die praktische Arbeit hat sich die Kalibrierung mit dem ebenen Passpunktfeld unter Verwendung der Software PhotoModeler 6.0 bewährt. Für die optimale geometrische Korrektur von stark verzeichneten Bildern wird die von PhotoModeler berechnete Verzeichnungsfunktion nachträglich balanciert.

Ein weiterer geometrischer Vorverarbeitungsschritt beinhaltet die Korrektur der chromatischen Aberration. Diese Korrektur kann i. Allg. bereits durch Anwendersoftware (Hasselblad FlexColor, Nikon Capture NX) der Kamerahersteller z.B. bei der Konvertierung von Rohdaten in allgemeine Bildformate berücksichtigt werden. Für die Kamera Nikon D100 wurde die Bildpunktversetzung zufolge chromatischer Aberration für ausgewählte Objektive ermittelt und auch ein entsprechendes geometrisches Korrekturmodell entwickelt (KAUFMANN & LADSTÄDTER, 2005).

Für die geometrische Umbildung der Ausgangsbilder in die gewünschte Sollgeometrie (strenge Zentralprojektion, registrierte Farbkanäle, Bildhauptpunkt in der Bildmitte, quadratische Bildelemente) wurde das institutseigene Programm DISTCORR entwickelt.

5.2 Photogrammetrische Orientierung

Der photogrammetrische Orientierungsvorgang beschränkt sich der Einfachheit halber – wie bereits oben erwähnt – auf einzelne Stereomodelle. Als Referenzmodell dient das Rolleimetric 6006-Stereomodell des Jahres 2003, welches mit den zum selben Zeitpunkt geodätisch gemessenen Passpunkten im Landeskoordinatensystem orientiert wurde. In diesem Modell wurden 55 photogrammetrische Einpasspunkte, das sind stabile Punkte im Gletschervorfeld bzw.

in den Felswänden oberhalb des Gletschers, für die absolute Orientierung der übrigen Stereomodelle gemessen. Da die Modellorientierung über eine Bündelblockausgleichung gerechnet wird, können etwaige Restfehler in der inneren Orientierung gut kompensiert werden. Aufgrund der ungünstigen Modellgeometrie liefert eine Selbstkalibrierung jedoch keine signifikanten Ergebnisse. Abb. 4 zeigt ein orientiertes Stereomodell des Jahres 2007.

5.3 Photogrammetrische Kartierung

Die 3D-Datenerfassung beschränkt sich auf einen für den Gletscher repräsentativen Teil, und zwar vom vorgelagerten Gletschersee über den zentralen Mittelteil des Gletschers bis oberhalb des Bergschrunds (vgl. Abb. 6). Erfasst werden durch interaktive Messung am Stereobildschirm folgende Elemente: sichtbarer Gletscherrand, Bergschrund, markante Höhen- und Tiefenlinien, Oberflächenpunkte im exakten 5m-Raster sowie weitere Einzelpunkte, und eventuell vorhandene Schneeflächen. Diese Daten dienen in weiterer Folge zur Berechnung eines digitalen Geländemodells mit einer Rasterweite von 2.5 m. Für die Berechnung der Fließgeschwindigkeit des Gletschers werden ausgewählte Punkte (Ecken von größeren Felsblöcken) koordinativ erfasst. Während eine 3D-Situationsauswertung im unmittelbaren Gletscherbereich und in den steilen Karwänden ohne Probleme möglich ist, ist im Nahbereich zufolge des flachen Geländes und der großen Tiefenunterschiede eine diesbezügliche Auswertung nahezu unmöglich.

6 Genauigkeitspotential

Das hohe Genauigkeitspotential des vorgestellten terrestrisch-photogrammetrischen Verfahrens wurde mit einer zeitgleichen Luftbildauswertung (1997) und mehreren geodätischen Vergleichsmessungen überprüft. Numerische Zahlenangaben sind der Abb. 5 zu entnehmen. Auffallend ist, dass die photogrammetrisch ermittelten Profillinien (sichtbare Schuttoberfläche) im Vergleich zu den vorgegebenen geodätischen Sollprofilen (Eisoberkante) stets um 10-20 cm zu hoch liegen, was nicht verwunderlich ist. Der RMSE-Wert (Standardabweichung) liegt z.B. bei den Nikon-Kameras bei durchschnittlich $\pm 10-15$ cm.

7 Ergebnisse

Tab. 2: Änderung der Eisdicke und der Gletscherlänge für das Gössnitzkees (Schobergruppe)

Zeitintervall	mittlere Eisdickenänderung ⁺	Gletscherlängenänderung ⁺⁺
1988-1997 ^a	-1.51 m/Jahr	-87.6 m (= -9.7 m/Jahr)
1997-2003 ^b	-2.03 m/Jahr	-60.2 m (= -10.0 m/Jahr)
2003-2007 ^c	-1.52 m/Jahr	-15.9 m (= -4.0 m/Jahr)
2007-2008 ^d	-1.35 m/Jahr	-2.4 m/Jahr
2008-2009 ^e	-1.58 m/Jahr	-2.8 m/Jahr
1988-2009 ^f	-1.60 m/Jahr	-167.7 m (= -8.0 m/Jahr)

^aStereomodelle TAL & Rolleimetric 6006

^bStereomodelle Rolleimetric 6006

^cStereomodelle Nikon D100 & Nikon D80

^dStereomodelle Nikon D80 & Nikon D300

^eStereomodelle Nikon D300

^fStereomodelle TAL & Nikon D300

⁺Höhenzone 2530-2560 m

⁺⁺Messung in Richtung des Längsprofils

Aus den multitemporalen Datensätzen wurden mittlere jährliche Gletscherlängen- und Eisdickenänderungen (vgl. Tab. 2) abgeleitet. Abb. 5 zeigt eine Visualisierung der aus den terrestrisch-photogrammetrisch ermittelten digitalen Geländemodellen interpolierten Profillinien. Eine thematische Karte (Abb. 6) zeigt die Eisdickenänderung flächendeckend für den Zeitraum 1988-2009. Zusätzlich wurden weitere glaziologische Kenngrößen ermittelt (Abb. 7).

8 Resümee und Ausblick

Aus den Genauigkeitsuntersuchungen geht hervor, dass die mittlere jährliche Eisdickenänderung des Gössnitzkeeses z.B. unter Verwendung kostengünstiger Spiegelreflexkameras mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 15\text{-}20$ cm möglich ist, was einem Relativfehler (bei anhaltend gleichem Gletscherschwund) von ca. 10% entspricht. Das Anwendungsgebiet der vorgestellten Methode liegt im Monitoring kleinräumiger Gletscher bzw. von ausgewählten Gletscherbereichen wie z.B. von Zungenenden, wobei im Modellbereich genügend viele identische Punkte in stabilen Geländeabschnitten vorhanden sein müssen.

Das Ergebnis der terrestrisch-photogrammetrischen Zeitreihenanalyse zeigt klar auf, dass das Gössnitzkees in den vergangenen 21 Jahren kontinuierlich an Masse verloren hat. Die glaziologisch relevante Gleichgewichtslinie liegt derzeit höhenmäßig oberhalb der gesamten Gletscherfläche. Sollte der aktuelle Trend in der Eisdickenänderung (Mittel bei -1.5 m/Jahr) anhalten, so ist mit dem Verschwinden des Gössnitzkeeses bis zum Jahre 2030 zu rechnen, was auch mit einer nahezu vollständigen Entgletscherung der Schobergruppe einhergehen sollte.

9 Literaturverzeichnis

- BRUNNER, K. & WELSCH, W.M. (Hrsg.), 1999: Hochgebirgs- und Gletscherforschung: Zum 100. Geburtstag von Richard Finsterwalder. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Heft 62, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 114 S.
- FAUNER, A., LADSTÄDTER, R. & KAUFMANN, V., 2008: Geometric Calibration of the Hasselblad H3D Medium Format Camera. IAPRS, Vol. XXXVII, Part B1, Proceedings of the 21st Congress of ISPRS, Beijing, China, p. 1077-1082.
- FINSTERWALDER, R., 1956: Geschichte der alpinen Gletscherkurse. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band III, Heft 2, Innsbruck, S. 257-261.
- FISCHER, A., 2010: Gletscherbericht 2008/2009. Bergauf, 2, 2010, Jahrgang 65 (135), S. 24-31.
- HUBENY, K., 1948: Die leichte Feldausrüstung TAL und der Kleinautograph. Alpenfotogrammetrie-Mitteilungen, Heft 3, 37 S.
- KAJUUTTI, K., PITKÄNEN, T., HAGGRÉN, H. & PELLIKKA, P., 2010: Terrestrial photogrammetry in glacier studies. In: PELLIKKA, P. & REES, W.G. (Eds.), 2010: Remote Sensing of Glaciers: Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers. CRC Press/Balkema, S. 99-113.
- KÄÄB, A., 2005: Remote Sensing of Mountain Glaciers and Permafrost Creep. Schriftenreihe Physische Geographie Glaziologie und Geomorphodynamik, 48, Universität Zürich, 264 S.
- KAUFMANN, V. & PLÖSCH, R., 2001: Reconstruction and visualization of the retreat of two cirque glaciers in the Austrian Alps since 1850 – From static maps towards dynamic computer animation. Kartographische Bausteine, 18, Technische Universität Dresden, S. 239-253.

- KAUFMANN, V. & LIEB, G.K., 2002: Investigations on the retreat of two small cirque glaciers (Goessnitzkees and Hornkees) in the Austrian Alps, Europe. High-Mountain Remote Sensing Cartography 1998 – Proceedings of the 5th Intl. Symposium of the Use of Remote Sensing Data in Mountain Cartography, Karlstad University Studies 2002:27, p. 75-82.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2004: Documentation of the retreat of a small debris-covered cirque glacier (Goessnitzkees, Austrian Alps) by means of terrestrial photogrammetry. Proceedings of the 4th ICA Mountain Cartography Workshop, Vall de Núria, Monografies tècniques 8, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, p. 65-76.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2005: Elimination of color fringes in digital photographs caused by lateral chromatic aberration. Proceedings of the XX Int. Symposium CIPA 2005, Turin, Italy, Vol. 1, p. 403-408.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2008a: Documentation of the Retreat of Gössnitzkees and Hornkees Glaciers (Hohe Tauern Range, Austria) for the Time Period 1997-2006 by Means of Aerial Photogrammetry. Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop "Mountain Mapping and Visualisation", Lenk, Switzerland, p. 115-123.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2008b: Application of Terrestrial Photogrammetry for Glacier Monitoring in Alpine Environments. IAPRS, Vol. XXXVII, Part B8, Proceedings of the 21st Congress of ISPRS, Beijing, China, p. 813-818.
- KIENAST, G. & KAUFMANN, V., 2004: Geodetic measurement on glaciers and rock glaciers in the Hohe Tauern National Park (Austria). Proceedings of the 4th ICA Mountain Cartography Workshop, Vall de Núria, Monografies tècniques 8, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, p. 101-108.
- KOSTKA, R., 2004: Zur Methodik der photogrammetrischen Arbeiten Erwin Schneiders. In: Arbeiten aus Nepal: Erwin Schneider zum Gedächtnis. Hochgebirgsforschung, Band 9, Arbeitsgemeinschaft für Vergleichende Hochgebirgsforschung, München, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, S. 41-65.
- KUHN, M., 2004: Die Reaktion der österreichischen Gletscher und ihres Abflusses auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, O/19, 56 Jg., Heft 1-2, 7 S.
- LADSTÄDTER, R. & KAUFMANN, V., 2004: Change detection of a mountain slope by means of ground-based photogrammetry: A case study in the Austrian Alps. Proceedings of the 4th ICA Mountain Cartography Workshop, Vall de Núria, Monografies tècniques 8, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, p. 77-88.
- LADSTÄDTER, R. & KAUFMANN, V., 2005: Terrestrisch-photogrammetrische Dokumentation des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar. In: CHESI, G. & WEINOLD, TH. (Hrsg.), 2005: Internationale geodätische Woche Obergurgl 2005, Herbert Wichmann Verlag, S. 92-101.
- LIEB, G.K. & KAUFMANN, V., 1985: Vier Jahre Gletschermessung in der Schobergruppe. Kärntner Naturschutzblätter, 24, S. 123-135.
- LIEB, G.K., 1987: Die Gletscher und Blockgletscher im Kärntner Teil der Schobergruppe und ihre Entwicklung seit dem Spätglazial. Unpubl. Doktorarbeit, Universität Graz, 286 S.
- MAYER, CH., 2010: The early history of remote sensing of glaciers. In: PELLIKKA, P. & REES, W.G. (Eds.), 2010: Remote Sensing of Glaciers: Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers. CRC Press/Balkema, S. 67-80.
- PATZELT, G., 2009: Gletscherbericht 2007/2008. Bergauf, 2, 2009, Jahrgang 64 (134), S. 18-25.

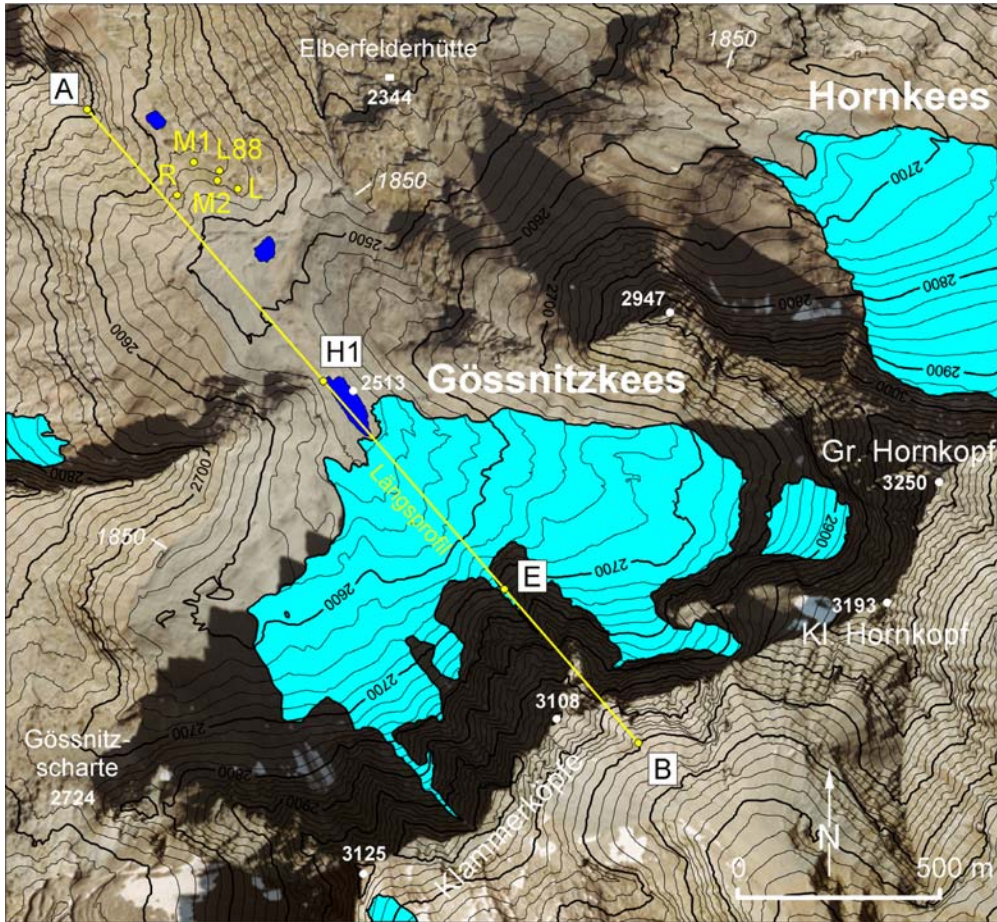


Abb. 1: Orthophoto (21.9.2006, Bildquelle: BEV, Wien) des Talschlusses des Gössnitztales. Gletscherflächen sind in Cyan und Wasserflächen in Blau dargestellt. Der neuzeitliche Gletscherhochstand von 1850 ist angedeutet. Die photogrammetrischen Standpunkte und das Gletscherlängsprofil sind in Gelb gehalten. H1 markiert den Standpunkt für die alljährliche tachymetrische Gletscheraufnahme. Vgl. dazu Abb. 3.

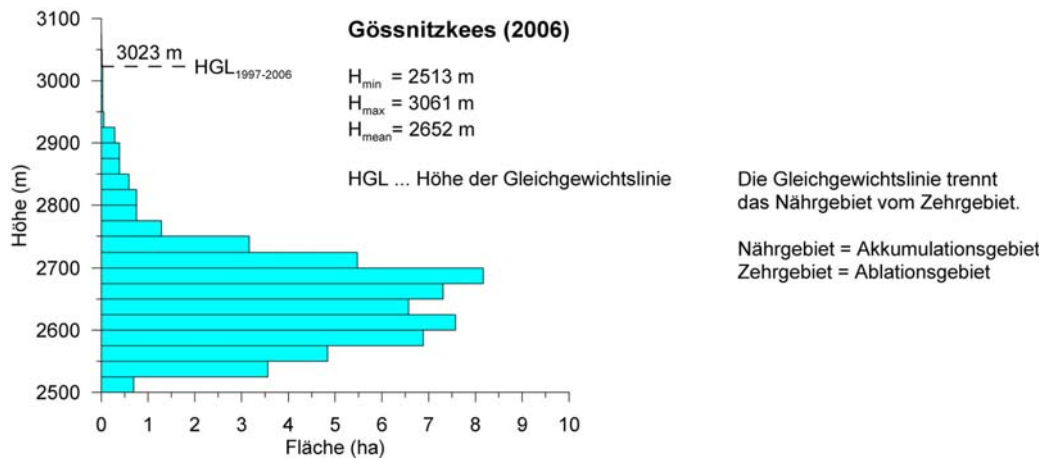


Abb. 2: Flächen-Höhenverteilung des Gössnitzkeeses in 25m-Stufen

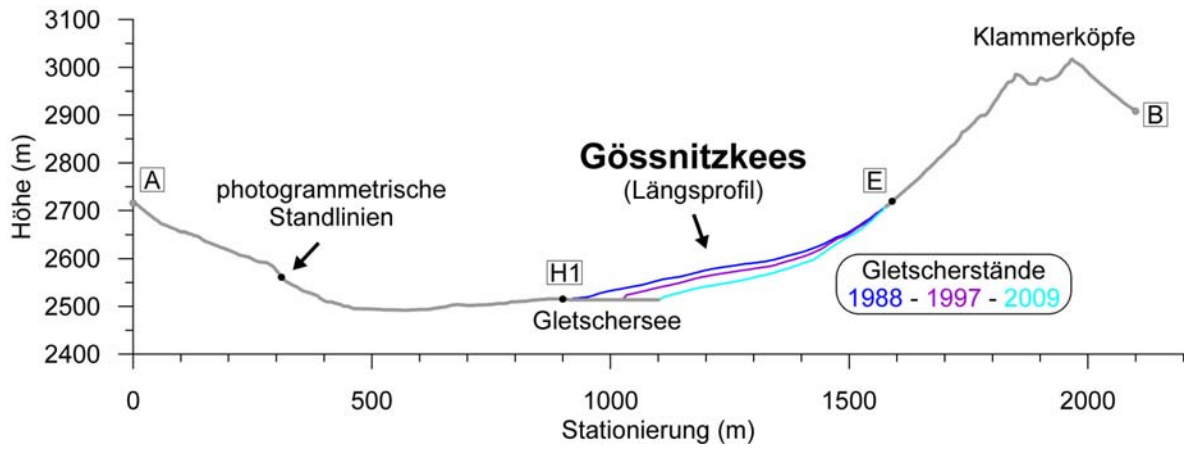


Abb. 3: Darstellung des Längsprofils (Schnitt A-H1-E-B). Die Gletscherstände wurden terrestrisch-photogrammetrisch abgeleitet. Die Geländeinformation stammt aus einer Luftbildauswertung.



Abb. 4: Stereogramm (25.8.2007, Standlinie M1-R, Kamera Nikon D80 mit 50mm-Objektiv)

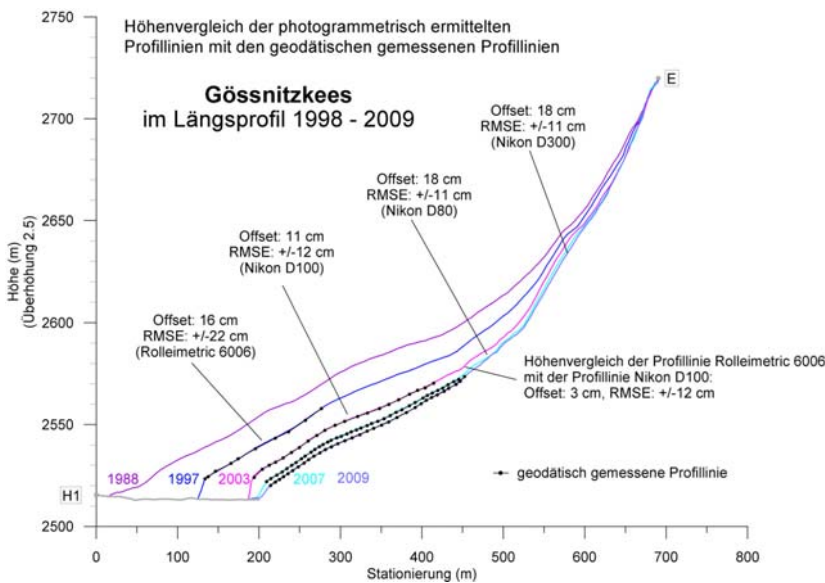


Abb. 5: Darstellung der Eisdickenänderung am Gössnitzkees entlang des Längsprofils (H1-E)

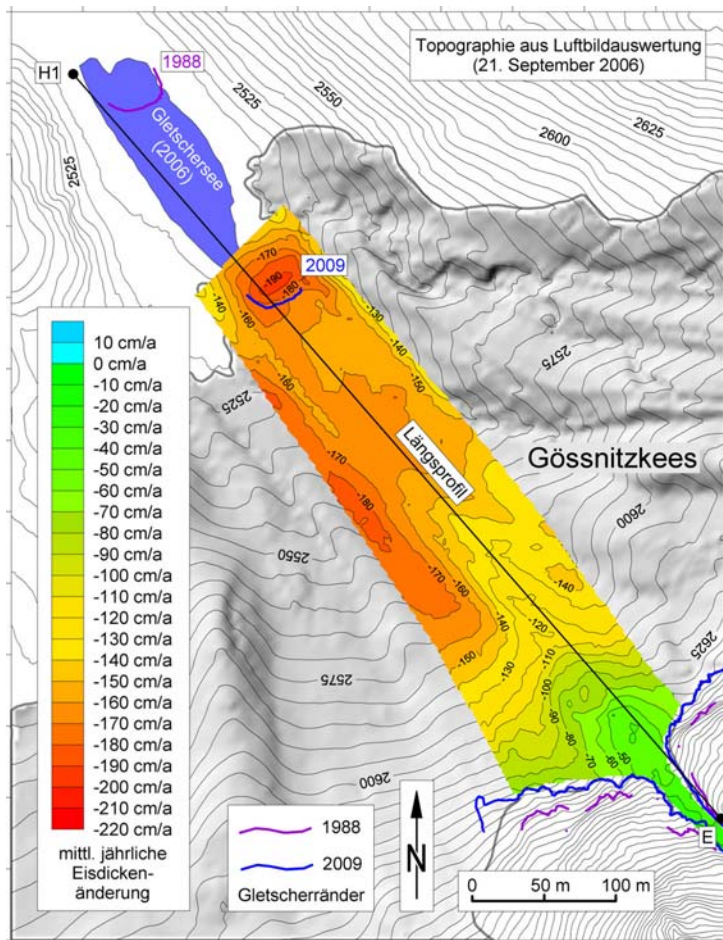


Abb. 6: Thematische Karte der terrestrisch-photogrammetrisch ermittelten Eisdickenänderung am Gössnitzkees für den Zeitraum 1988-2009.

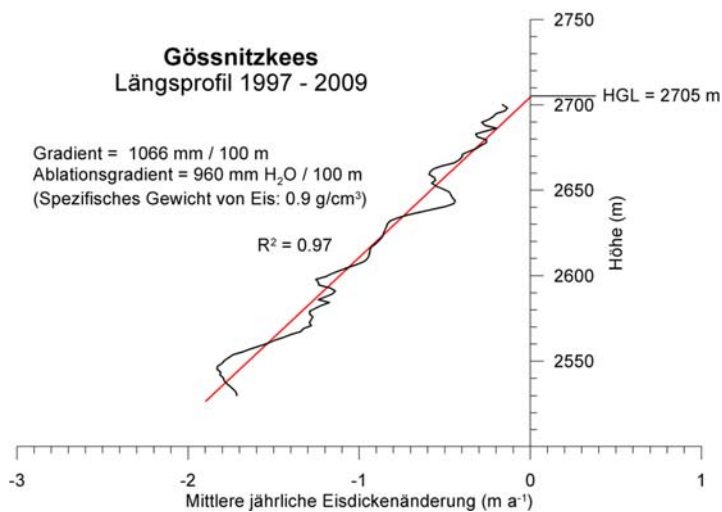


Abb. 7: Berechnung der Höhe der Gleichgewichtslinie (HGL) durch lineare Regression