

Bewegungsmessung am Blockgletscher Äußeres Hochebenkar (Ötztaler Alpen, Obergurgl) mittels terrestrischer Photogrammetrie

Richard Ladstädter und Viktor Kaufmann



Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie
Technische Universität Graz

E-mail: richard.ladstaedter@tugraz.at, Fax: +43 316 873-6337



Zusammenfassung: Die Geländeformen im Hochgebirge unterliegen einem kontinuierlichen raum-zeitlichen Veränderungsprozess, der u. a. durch den Einfluss der Schwerkraft und klimatische Bedingungen gesteuert wird. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Monitoring von Blockgletschern, die Kriechphänomene des diskontinuierlichen Permafrosts im Hochgebirge darstellen. Aktive Blockgletscher bewegen sich unter Einfluss der Schwerkraft durch plastische Deformation des Eis-Schutt-Gemisches talwärts. In der vorliegenden Arbeit wurde das Potential der terrestrischen Photogrammetrie in Verbindung mit einer speziellen, digital-photogrammetrischen Prozessierungskette untersucht. In diesem Poster werden erste Resultate einer entsprechenden Projektstudie am Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar präsentiert.

1. Einleitung

Der Blockgletscher im äußeren Hochebenkar (46° 50' N, 11° 01' E) befindet sich in den Ötztaler Alpen (Tirol) in der Nähe von Obergurgl. Der Blockgletscherschieb sich über eine Steilstufe (~2280m), sodaß sich der untere Teil in steilerem Gelände befindet. Dadurch treten ungewöhnlich hohe, periodisch schwankende Fließgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Jahr auf, wie durch eine über 60-jährige Meßreihe dokumentiert ist. Für die vorliegende Studie konnte nun auf ältere terrestrische Aufnahmen (1986) auf Glasplatte und zwei Wiederholungsaufnahmen (1990, 2003) zurückgegriffen werden. Ziel dieser Studie war es (a) die Brauchbarkeit der vorgeschlagenen terrestrischen Aufnahmeanordnung für das Blockgletscher-Monitoring zu testen und (b) die Leistungsfähigkeit moderner, kostengünstiger Digitalkameras im Vergleich zu analogen Meß- bzw. Halbmekameras zu beurteilen.

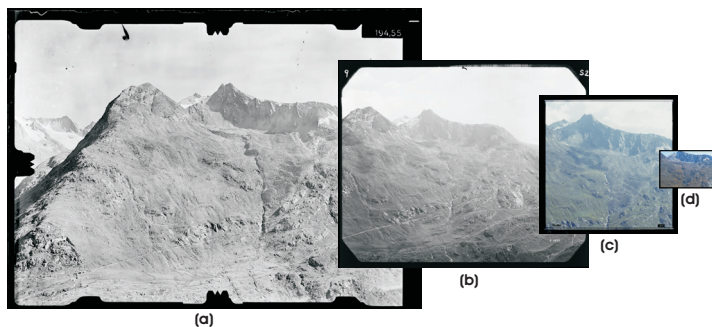


2. Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmesysteme



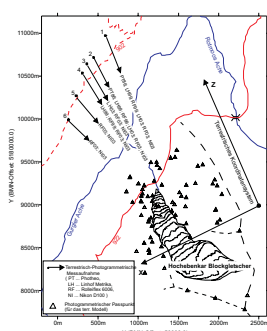
Zu den drei Aufnahmeepochen (23.9.1986, 9.9.1999 und 19.9.2003) kamen insgesamt vier verschiedene Aufnahmesysteme zum Einsatz. Es sind dies der bereits als historisch zu bezeichnende Phototheodolit 19/1318 von Zeiss (Glasplatte als Schichtträger), die Meßkammer Linhof Metrika mit Filmsaugvorrichtung, die Halbmekamera Rolleiflex 6006 mit Réseuplatte und die digitale Spiegelreflexkamera D100 von Nikon.

3. Bildformate im Vergleich



Durch die Verwendung unterschiedlicher Brennweiten und die unterschiedliche Größe der Sensorfläche (Glasplatte, Film, CCD) ergeben sich die oben gezeigten unterschiedlichen Bildausschnitte und Bildmaßstäbe. Für die Berechnung der geometrischen Auflösung (für eine mittlere Aufnahme-entfernung von 1800m) muss neben dem Bildmaßstab noch die unterschiedliche Größe des Scanpixels (10µm) bzw. des CCD-Sensorelements (7,8µm) berücksichtigt werden. Für die Nikon D100 ergibt sich daher im Vergleich zur Linhof Metrika ein um den Faktor drei kleinerer Bildmaßstab, aber eine nur um den Faktor 2,34 geringere geometrische Auflösung.

4. Terrestrische Aufnahmeanordnung



Die linke Skizze zeigt die Lage der insgesamt sechs Standpunkte der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahme des Äußeren Hochebenkar-Blockgletschers, die sich am gegen-überliegenden Hang in etwa gleicher Höhe am Weg 902 zum Gurgler Ferner (Ramolhaus) befinden.

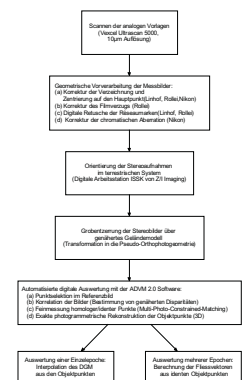
Bedingt durch die Topographie ergibt sich bezogen auf die Aufnahmeentfernung von bis zu 2km eine relativ kurze Basislänge zwischen 200m und 400m, wodurch aufgrund des schlechten Höhen-/Basisverhältnisses mit einer verringerten Tiefenmeßgenauigkeit gerechnet werden muss.

Für die photogrammetrische Auswertung wurde ein spezielles terrestrisches Koordinatensystem (TKS) verwendet (siehe Skizze). Für die Orientierung der terrestrischen Aufnahmen sind die (natürlichen) Passpunkte in einem Luftbildmodell gemessen und in das terrestrische System transformiert worden.

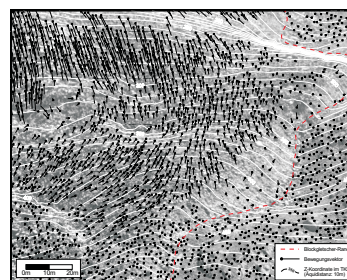
5. Digital-Photogrammetrische Auswertung

Durch die Digitalisierung der analogen Meßbilder können sämtliche Aufnahmen miteinander verknüpft und nach einer kameraspezifischen, geometrischen Vorverarbeitung in einer gemeinsamen, digitalen Prozesskette verarbeitet werden (siehe Flußdiagramm). Im ersten Schritt erfolgt die Orientierung der Bilder im terrestrischen System (TKS) auf einer digital-photogrammetrischen Arbeitsstation. Anschließend wird jedes Bild über ein grobes Geländemodell vorentzerrt, sodaß die großen, perspektiven Verzerrungen in den Stereopaaren größtenteils eliminiert sind (Pseudo-Orthophotos). Diese transformierten Bilddaten können dann mit Hilfe der am Institut entwickelten Monitoring-Software ADVM v2.0 automatisiert ausgewertet werden, wobei ein speziell für diese Bildgeometrie entwickelter Matching-Algorithmus zum Einsatz kommt.

Das Ergebnis dieser Auswertung sind rekonstruierte 3D-Punkte in jeder Epoche, aus denen exakte digitale Geländemodelle durch Interpolation berechnet werden können. Durch die Messung identer Punkte in zwei unterschiedlichen Epochen kann weiters ein dichtes Feld von Fließvektoren abgeleitet werden. Daraus kann in weiterer Folge die mittlere Fließgeschwindigkeit des Blockgletschers zwischen den Beobachtungszeitpunkten abgeleitet werden.



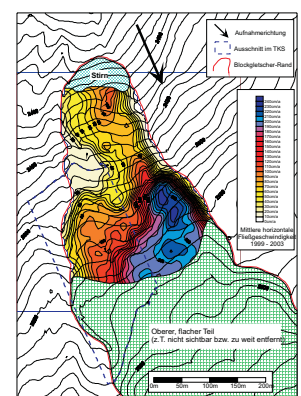
6. Ergebnisse



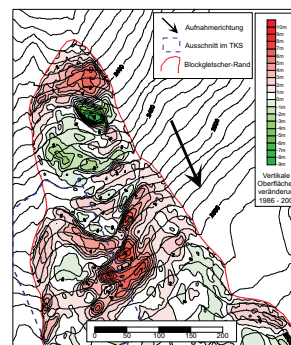
Gemessene Fließvektoren (1986 - 1999)
im terrestrischen System (Aufriß)

Die rechte Abbildung zeigt die mittlere horizontale Fließgeschwindigkeit zwischen den Epochen 1999 und 2003 (Linhof Metrika). Für diese Grundrißdarstellung wurden die im TKS gemessenen Fließvektoren in das Landeskoordinatensystem transformiert. Der blau umrandete Bereich entspricht dem oben gezeigten Ausschnitt im TKS. Die größte Fließgeschwindigkeit tritt im orographisch rechten Teil unterhalb der Steilstufe auf und beträgt 240cm pro Jahr. Im vordersten Stirnbereich treten zu große Veränderungen auf, sodaß keine erfolgreiche Bewegungsmessung möglich ist.

Die linke Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der (unbereinigten) Bewegungsmessung zwischen den Epochen 1986 (Photheo) und 1999 (Linhof Metrika). Insgesamt wurden 25.000 Vektoren gemessen, wovon 16.000 im als "fest" klassifizierten Gebiet liegen und zur Kontrolle der absoluten Orientierung herangezogen werden können. Als Hintergrund dient eines der für das Matching verwendeten Pseudo-Orthophotos (10cm Auflösung). Die Schichtenlinien (weiß) entsprechen den Schnittlinien vertikaler Ebenen (konstante Z-Werte im terrestrischen System) mit dem Geländemodell und dienen zur besseren Interpretation der Geländeformen. Die Dichte der Fließvektoren ist bis auf bestimmte Problembereiche (schleifende Visur in ebenen Bereichen bzw. Schatten und große Veränderungen im Steilbereich) generell recht hoch.



Mittlere jährliche Fließbewegung 1986 - 1999
im Landeskoordinatensystem (Grundriß)



Absolute Höhenänderung 1986 - 2003
im Landeskoordinatensystem (Grundriß)

Durch den Vergleich der digital gemessenen Geländemodelle von 1986 und 2003 können die Höhenänderungen in diesem Zeitraum angegeben werden (linke Abbildung). Aus der Verteilung der positiven und negativen vertikalen Veränderungen kann auf die erfolgten Massenverlagerungen zurückgeschlossen werden. So treten positive Veränderungen vor allem durch das Vorrücken der Fließwülste auf (+7m unterhalb der Steilstufe). Große negative Veränderungen (-6m) können im orographisch rechten, untersten Teil beobachtet werden, was auf ein Abrutschen der Massen in diesen Bereich hindeutet.

7. Resümee

Die vorliegende Studie hat gezeigt, daß der Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie eine interessante und kostengünstige Ergänzung zur Luftbild-Photogrammetrie darstellt. Für einen begrenzten (Steil-)Bereich kann die Fließbewegung und Oberflächendeformation mit hoher räumlicher Auflösung bestimmt werden. Bedingt durch die Topographie kann jedoch nicht immer die optimale Aufnahmeanordnung gewählt werden. Durch die großen Tiefenunterschiede und durch flache Sichtwinkel wird die Genauigkeit der dreidimensionalen Punktbestimmung limitiert. Der Einsatz einer durchgehend digitalen Prozessierungskette ermöglicht die Verknüpfung der Meßbilder auch nicht mehr gebräuchlicher Aufnahmesysteme mit jenen einer modernen Digitalkamera. Diese erreicht jedoch (noch) nicht die Auflösung und Bildqualität einer analogen Meßkammer und ist daher für größere Aufnahmeentfernungen (> 1km) nur bedingt einsetzbar.