

**Zeitschrift:** Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 71-F (1973)

**Heft:** 1

**Artikel:** Photogrammetrische Messung von Gletscherbewegungen mit automatischer Kamera

**Autor:** Flotron, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-226178>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Photogrammetrische Messung von Gletscherbewegungen mit automatischer Kamera

DK 528.74:551.324.5

A. Flotron

## Zusammenfassung

Die Registrierung von Eisgeschwindigkeiten in kurzen Zeitabständen mittels photographischer Aufnahmen und deren Auswertung wird beschrieben.

## Résumé

La registration en petits intervalles de la vitesse de la glace à l'aide de photographies et leur analyse sera décrite.

## Einleitung

Seit den Anfängen der Gletscherforschung vor etwa 150 Jahren sind unzählige Beobachtungen über das Fließen des Eises vorgenommen worden. Trotz eingehenden Studien bietet dieser Vorgang auch heute noch etliche ungelöste Probleme. Geschwindigkeitsmessungen von Gletschern wurden bis vor wenigen Jahren fast ausnahmslos in größeren, meist jährlichen Intervallen durchgeführt, bis nun neuere Untersuchungen zeigten, daß die kurzfristigen, oft recht erheblichen Schwankungen im Bewegungsablauf grundlegende Hinweise zur Untersuchung der Gletschermechanik liefern. Weil aber Bewegungsmessungen mittels der üblichen geodätischen Methoden sehr aufwendig sind, können sie nie genügend oft wiederholt werden, um die Extremwerte der Geschwindigkeit und die Zeitpunkte ihres Auftretens systematisch zu erfassen. Aus diesem Grund sind

Abb. 1 Vergrößerte Meßaufnahme mit Zielmarke auf der Mittelmoräne des Unteraargletschers. Die Paßpunkte am gegenüberliegenden Talhang sind durch Kreise bezeichnet.



wir bei den im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG alljährlich durchgeführten Aaregletschervermessungen dazu übergegangen, die Bewegungen von Zielmarken auf dem Eis des Unteraargletschers mit einer automatischen Kamera photographisch in kurzen, festen Zeitabständen aufzunehmen.

## Meßanlage

Als Kamera dient eine Hasselblad 500EL mit einem Zeiss-Sonnar-Objektiv von 250 mm Brennweite. Dieser Apparat ist mit elektromotorischem Verschlußaufzug und Filmtransport ausgerüstet. Sein Bildformat beträgt  $5,5 \times 5,5$  cm. Das Magazin faßt 70 Bilder auf Normalfilm oder 120 Bilder auf dem von uns verwendeten, speziell dünnen und maßhaltigen Kodak-Aerographic-Film. Die Stromimpulse zum Betrieb der Kamera werden durch einen handelsüblichen Zeitschalter ausgelöst. Als Kraftquelle dienen vier Trockenzellen, welche die Kamera direkt mit 6 V Gleichstrom und die Schaltuhr über Zerhacker und Transformator mit 220 V Wechselstrom versorgen. Die Kapazität der Batterie beträgt 40 Ah, dies genügt, um die Apparate während eines Jahres zu speisen.

Die Geräte sind in einem hermetisch verschließbaren Stahlkasten montiert, der auf einen exponierten Felsvorsprung, wo sich kein Schnee ablagert, eingemauert wurde. Eine Wärmeisolation im Kasten schützt den Film vor hohen Temperaturen infolge starker Sonneneinstrahlung. Das Fenster vor dem Objektiv besteht aus einem plangeschliffenen Rotfilterglas.

Stahlstangen von 30 mm Durchmesser, die in Bohrlöcher im Eis versetzt sind, dienen als Meßpunkte. Die Stangenköpfe sind mit Zieltafeln signalisiert. Am gegenüberliegenden Talhang wurden Referenzmarken zur Bestimmung der Kameraorientierung angebracht.

## Auswertung der Aufnahmen

Die Hasselblad 500EL ist keine Meßkammer; immerhin zeigt sich, daß dank dem in unserer Aufnahmedisposition sehr kleinen Bildwinkel von  $13^\circ$  die Fehlereinflüsse infolge Unebenheit des Filmes und instabiler innerer Kameraorientierung klein genug sind, um eine Ausmessung der Bilder mit einem präzisen photogrammetrischen Instrument zu rechtfertigen. Es wurden verschiedene Möglichkeiten der Auswertung erwogen; das nachstehend angegebene Verfahren hat sich bezüglich Aufwand und Genauigkeit als günstig erwiesen: Durch die beiden am Anfang und am Ende einer Bildserie trigonometrisch bestimmten Standorte ein- und derselben Meßstange wird eine Vertikalebene defi-



Abb. 2 Photoapparat und Zeitschalter bei Versuchsaufnahmen. Die Geräte stehen auf dem Rand des Schutzkastens aus Stahl.

niert als Bewegungsebene dieser Stange. In diese Ebene sind die Paßpunkte am Gegenhang als Zentralprojektion bezüglich des Objektivhauptpunktes abgebildet. Die Filmmegative, einzeln in eine Kammer des Wild-A 10-Autographen eingelegt, werden nach dem Entzerrungsprinzip zu den Paßpunktprojektionen orientiert und die Lage der Meßstange in Koordinatenwerten ihrer Bewegungsebene am Autographenzählwerk direkt abgelesen.

#### Fehlerbetrachtung

Zu einer korrekten Fehleruntersuchung müßten geodätisch bestimmte Zielmarkenstandorte mit den photogrammetrisch gemessenen verglichen werden. Dies war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, doch wurde versucht, aus den Restfehlern an den Einpaßpunkten eine Fehlerabschätzung zu gewinnen. Dazu wurden 18 willkürlich ausgewählte Auswertungen aus zwei verschiedenen Filmen herausgegriffen und diese durch Helmert-Transformationen zu fünf Paßpunkten eingepaßt. Alle 18 Transformationen beziehen sich auf die gleiche Bewegungsebene, die in einem Abstand von 348,56 m vom Objektiv entfernt lag. Bei der aus der Einpassung errechneten Kamerabrennweite von 249 mm ergab sich ein mittlerer Bildmaßstab von 1 : 1400.

Die arithmetischen Mittel der mittleren Fehler, gerechnet aus den Restfehlern an den in die Bewegungsebene projizierten Paßpunkten betragen in horizontaler Richtung  $m_X = \pm 22$  mm und in vertikaler Richtung  $m_H = \pm 42$  mm. In diesen Werten sind die Einflüsse der Objektivverzeichnung und der mangelhaften inneren Kameraorientierung enthalten. Die Größe dieser systematisch wirkenden Fehler sind für die fünf Paßpunkte als Differenz zwischen den transformierten und den Soll-Koordinaten aus folgender Tabelle ersichtlich:

PP Nr.	X-Richtung			H-Richtung		
	kleinster Wert mm	größter Wert mm	Mittelwert mm	kleinster Wert mm	größter Wert mm	Mittelwert mm
1	+ 1	+ 21	+ 10	+ 14	+ 41	+ 27
A	- 27	- 5	- 15	- 81	- 37	- 61
3	- 51	- 11	- 27	+ 31	+ 76	+ 59
B	- 14	+ 11	- 2	- 42	- 18	- 29
4	+ 29	+ 45	+ 36	- 6	+ 20	+ 6

Die Abweichungen sind erstaunlich klein für Aufnahmen mit einem handelsüblichen Photoapparat, ihre Extremwerte betragen in der Filmebene  $\pm 0,06$  mm. Weil die vorliegenden Beobachtungen nur fünf Kontrollpunkte erfassen, die zudem alle in der oberen Bildhälfte liegen, kann nicht näher auf die Frage der Verzeichnungsfehler eingetreten werden. Dies ist aber für das vorliegende Meßproblem auch nicht unbedingt erforderlich, da diese die Genauigkeit der gesuchten Ergebnisse nur wenig beeinflussen: Es interessieren ja die Fehler an den Lagebestimmungen nahe benachbarter Standorte einer Zielmarke; ihr Abstand beträgt in der Bildebene höchstens 1 mm. Innerhalb dieser Strecke ändern die Verzeichnungsfehler nur unmerklich, zudem wurde die Aufnahmedisposition so getroffen, daß die Wanderung der Zielmarken bezüglich des Bildhauptpunktes möglichst wenig radial, sondern fast ausschließlich tangential verläuft. Aus den oben tabellierten Werten ist eindeutig ersichtlich, daß die Verzeichnungen einen ganz erheblichen Anteil zu den aus den Restfehlern an den Paßpunkten gerechneten mittleren Fehlern liefern. Diese sind somit sicher wesentlich größer als die mittleren Fehler an benachbarten Standorten einer Zielmarke.

Ein Fehlermaß, das keine Verzeichnungsfehler enthält, kann aus der Streuung der transformierten Paßpunktkoordinaten bezüglich ihres Mittelwertes abgeschätzt werden. Die so aus den 18 Bildern berechneten mittleren Fehler liegen in X-Richtung zwischen  $\pm 5$  mm und  $\pm 10$  mm, in H-Richtung zwischen  $\pm 7$  mm und  $\pm 12$  mm; ihre arithmetischen Mittel betragen  $m_X = \pm 7$  mm und  $m_H = \pm 9$  mm. Diese Werte sind als Maß für die Genauigkeit der Zielmarkenkoordinaten sicher zu klein: Einmal weil sie den nicht näher bestimmabaren systematischen Fehleranteil gar nicht berücksichtigen, im weiteren weil die Einpassung bei der serienmässigen Auswertung der Bilder nicht so optimal geschieht wie bei der Helmert-Transformation und ferner wegen der Korrelation der Beobachtungen infolge der Transformation. Einigermaßen repräsentative Werte der mittleren Fehler an den Lagebestimmungen der Zielmarken dürften etwa im Mittel der beiden extremalen Abschätzungen liegen, das heißt, sie werden in X-Richtung  $m_X = \pm 14$  mm und in H-Richtung  $m_H = \pm 25$  mm betragen, was in der Bildebene  $\pm 0,01$  mm beziehungsweise  $\pm 0,018$  mm entspricht.

#### Meßresultate

Die Apparatur wurde im Herbst 1969 erstmals in Betrieb gesetzt; sie funktioniert bis heute einwandfrei. Im Sommer ist die Anlage zum Filmwechsel leicht zugänglich, in dieser Zeit erfolgen die Aufnahmen täglich. Während der Wintermonate, vom Oktober bis Mai, werden die Photos jeden vierten Tag ausgelöst. Der witterungsbedingte Ausfall an auswertbaren Bildern beträgt im Mittel 22 %.

Die Abbildung 3 zeigt die Zusammenstellung der Meßresultate von zwei in der gleichen Bewegungsebene liegenden Zielmarken im hydrologischen Jahr 1970/71.

Nebst den beträchtlichen Geschwindigkeitsschwankungen sind vor allem auch die erstmals mittels dieser Messungen festgestellten wesentlichen Veränderungen der Eishöhe von Interesse. Zusätzlich lassen sich aus den sichtbaren Meßstangenhöhen die für die Glaziologie wichtigen Informationen über Schneehöhe und die Netto-Ablation erfassen.

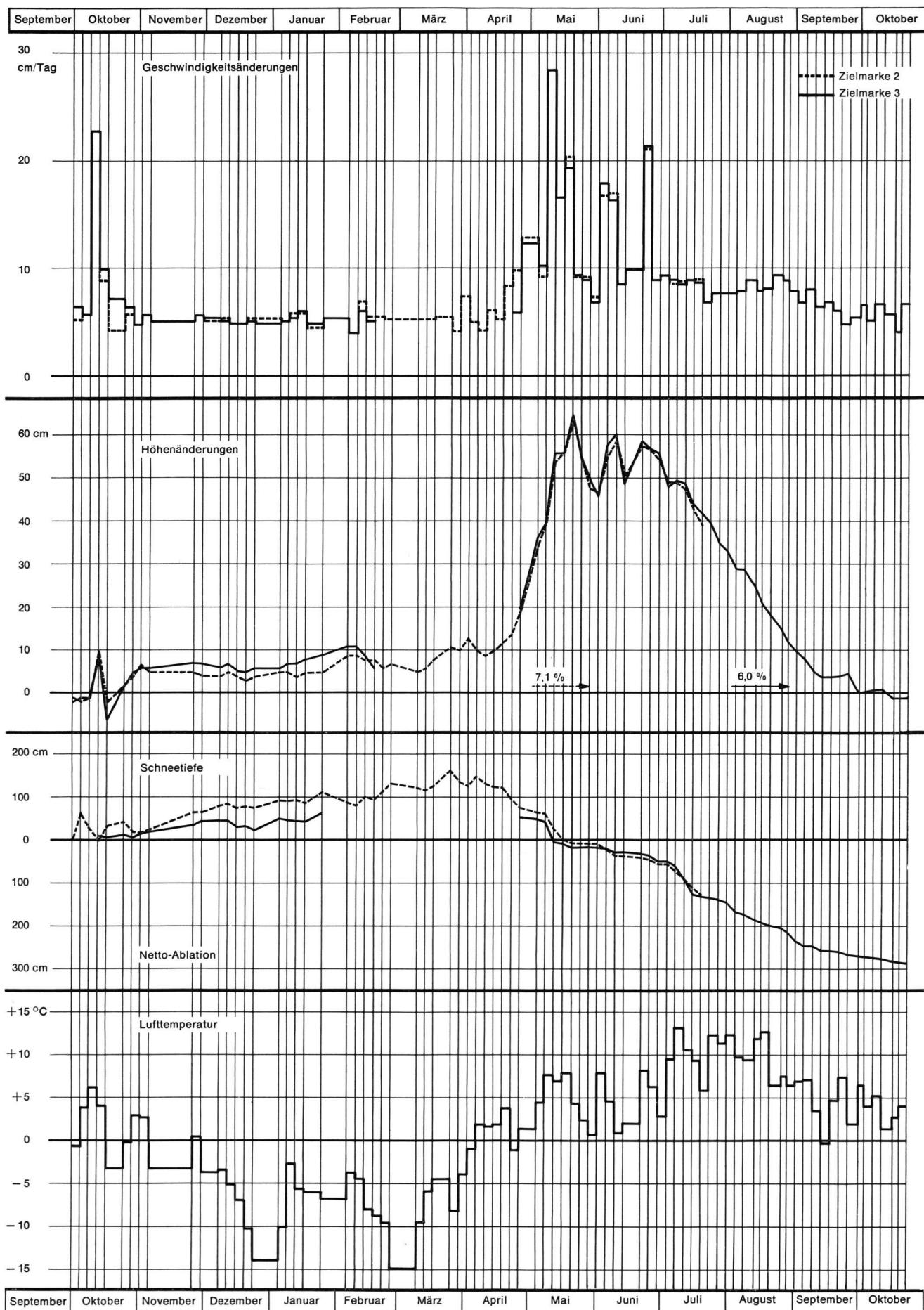


Abb. 3