Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 75 (1986)

Heft: 1-2

Artikel: Können Lawinen berechenbar gemacht werden?

Autor: Gubler, H. / Hiller, M. / Klausegger, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308644

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: 09.12.2025

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

Können Lawinen berechenbar gemacht werden?

von H. GUBLER, M. HILLER und G. KLAUSEGGER,
Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 7260 Weißfluhjoch/Davos

Einleitung

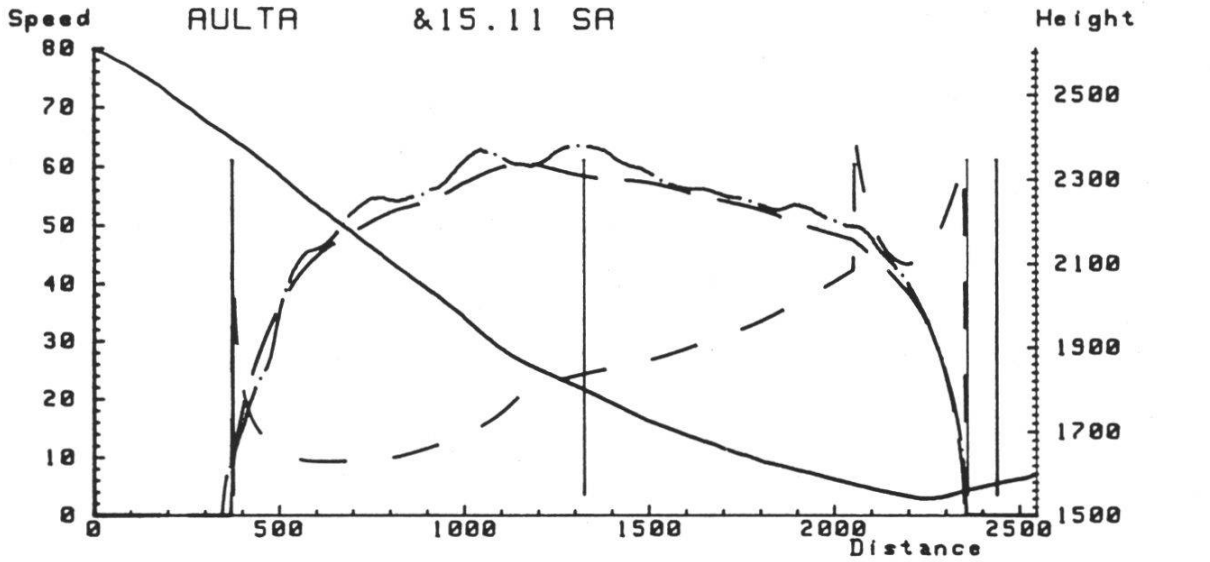
In den letzten Jahren wurden am EISLF für verschiedene Projekte spezielle, feldtaugliche Meßinstrumente entwickelt. Für die folgenden Meßverfahren waren Neuentwicklungen notwendig: Apparatur zur Bestimmung der Zusatzspannungen in der Schneedecke, verursacht durch Schneesprengungen; Meßketten zur Registrierung der akustischen Emission der Schneedecke in Lawinenanrißgebieten sowie des Schneegleitens; Temperaturprofilmessungen; Registrierung der Intensität von Schneeverfrachtungen; Schneehöhenmessung; Indexmessung der Schneeoberflächentemperatur; Anlage zur Verhinderung von Vereisungen und Verreifungen von Anemometern; spezielle feldtaugliche Datenlogger für Langzeitmessungen von Schneekräften in Stützverbauungen sowie von Lawinenkräften; Mikrowellenradarmessungen von Lawinenfließgeschwindigkeiten, Lawinenfließhöhen, Wasserwert und Schichtung der Schneedecke sowie der Durchfreuchtung der Schneedecke. Die Anwendung von Mikrowellenradargeräten in der Schneeforschung soll hier etwas näher beschrieben werden. Technische Details und weitere Informationen können aus den jeweils angegebenen Publikationen entnommen werden.

Dopplerradarmessungen von Lawinengeschwindigkeiten

Aus dem Wunsch nach einer Verbesserung der heutigen Berechnungsmethoden von Lawinenkräften und Lawinenauslaufstrecken ergab sich die zwingende Forderung, bestimmte Messungen an Fließlawinen durchzuführen. Es sind dies in erster Linie Messungen von Fließgeschwindigkeiten (nicht nur Frontgeschwindigkeiten) und Fließhöhen in Abhängigkeit der Sturzbahn- und Auslaufgeometrie sowie der Lawinengröße und der Schneeart. Aus verschiedenen Gründen wurde X-Band Mikrowellendopplerradar als erfolgversprechendste Meßmethode ausgewählt. Damit kann der uns interessierende Fließvorgang auch durch eine Schneestaubwolke hindurch verfolgt werden (GUBLER, 1980, 1981; SALM and GUBLER, 1985). Zudem sind für die Geschwindigkeitsmessungen keine festen Installationen erforderlich. Die Meßapparatur wird auf zwei Überschneefahrzeugen an den Lawinenzug herangebracht und kann in weniger als einer Stunde betriebsbereit aufgebaut werden (Fig. 1). Dies ist eine notwendige Bedingung, damit gleichentags bei ähnlichen Schneeverhältnissen in verschiedenen Lawinenzügen gemessen werden kann. Die verwendeten kontinuierlich arbeitenden Dopplerradars mischen einen Teil des Sendersignals mit dem durch den bewegten Schnee zurückreflektierten, dopplerverschobenen Signal. Die Differenz der Frequenzen des Sendersignals und des reflektierten Signals ist proportional der Geschwindigkeitskomponente des in Richtung auf den Radar fließenden Lawinenschnees. Die Meßapparatur umfaßt heute 5 Radarsysteme mit Winkelauflösungen

Fig. 1: Auf Überschneefahrzeugen montierte Dopplerradarsysteme zur Messung von Fließlawinengeschwindigkeiten.

zwischen 1,6 und 7,5 Grad. Damit können Geschwindigkeiten in einem bestimmten Punkt, aber auch Geschwindigkeitsverteilungen über ganze Lawinensegmente bestimmt werden. Die Zeitauflösung beträgt 0,2 s. Die Messungen können heute inklusive der Rohauswertung der Dopplerspektren (Berechnung von Geschwindigkeitsprofilen) routinemäßig durchgeführt werden. Die Messungen werden heute auf der Nordseite des Lukmanierpasses zwischen Acla und dem Stausee durchgeführt. Die Lukmanierstraße ist während des Winters wegen Lawinengefahr gesperrt. Die für unsere Messungen geigneten Lawinen durchfließen Höhendifferenzen zwischen 600 m und 1000 m. Die Anrißvolumina variieren zwischen 1000 und 50 000 Kubikmetern Schnee. In großen Lawinen wurden Fließgeschwindigkeiten von über 60 m/s gemessen. In den ersten beiden Versuchswintern konnten Messungen an 15 größeren Lawinen durchgeführt werden. Die ersten Messungen zeigen einen sehr hohen Informa-



FRACTURE	V MAX	RUNOUT	OBSERVER	
375	1326	2358	2439	Distance
431	1560	2634	2717	Tracklngth
2400	1801	1560	1576	Height
-30.6	-22.3	12.9	10.7	Slopeang
7.2	58.3	0	0	Vmodel
10.1	63.5	0	0	Vmeas

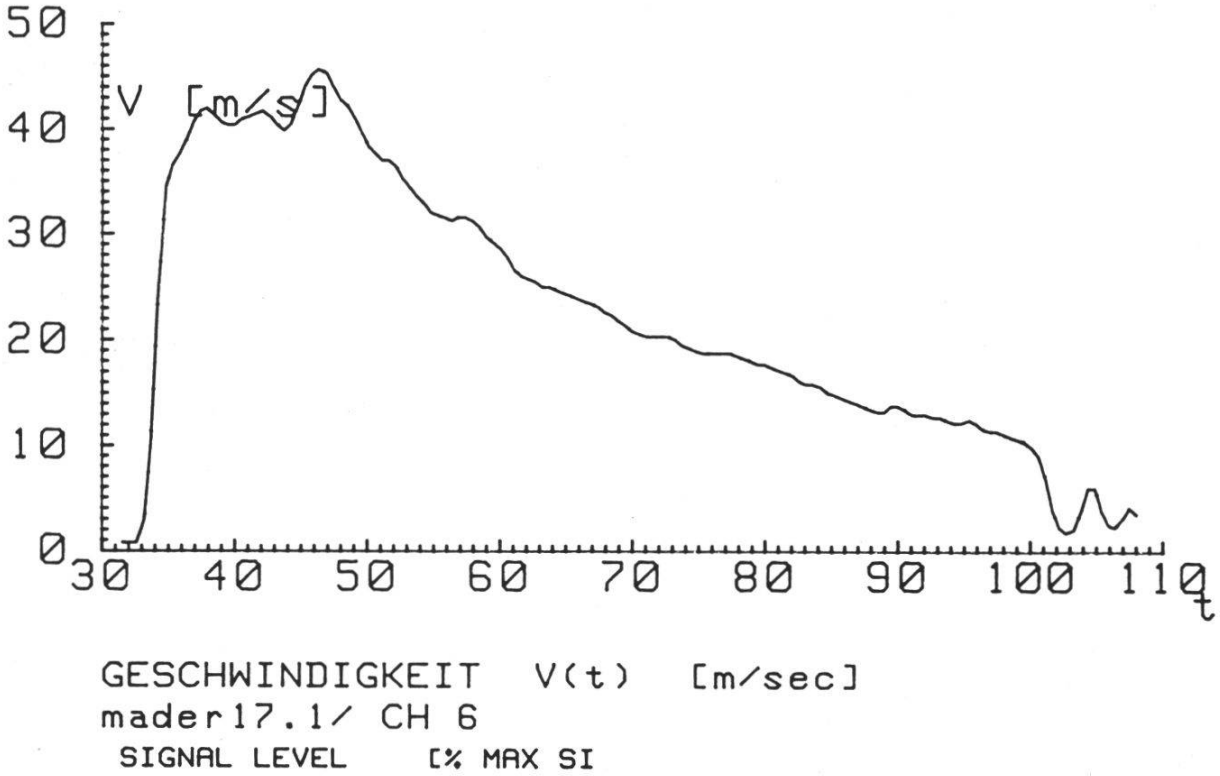


Fig. 2: Fließgeschwindigkeit einer mittelgroßen Lawine als Funktion des Ortes in der Lawinenbahn (oben) und als Funktion der Zeit an einer vorgegebenen Stelle im Lawinenzug (unten).

tionsgehalt der Dopplerspektren (Geschwindigkeitsverteilungen), deren vollständige Interpretation noch einige Arbeit erfordern wird. Erste Vergleiche zwischen gemessenen Fließgeschwindigkeiten und Modellrechnungen konnten bereits durchgeführt werden. Beispiele von Fließgeschwindigkeitsmessungen sind in Fig. 2 dargestellt.

Lawinenfließhöhenmessungen mit FMCW-Radar

Fließhöhenmessungen können mit der gewählten Meßmethode nur an vorgegebenen Stellen in der Lawinensturzbahn durchgeführt werden. Der als Meßmethode gewählte FMCW-Radar (frequenzmodulierter, kontinuierlich sendender X-Band-Mikrowellenradar) wurde von uns weiter entwickelt und unseren Bedingungen angepaßt (SALM and GUBLER, 1985). Die kontinuierliche Änderung der Radarsendefrequenz zwischen 8 und 12,4 GHz bewirkt, daß das von einem Objekt in die Empfangsantenne zurückreflektierte Signal eine von der aktuellen Sendefrequenz verschiedene Frequenz aufweist. Die Frequenzdifferenz ist proportional zur Laufzeit des Signales von der Sendeantenne zum reflektierenden Objekt (z. B. Dichtesprung in der Schneedecke) und zurück zu der Empfangsantenne und somit zum optischen Abstand des Objekts vom Radar. Die optische Distanz erhält man durch Multiplikation des dichteabhängigen Brechungsindexes mit der geometrischen Distanz. Ein FMCW-Radar mißt somit direkt die optische Distanz zwischen Antenne und Objekt. Verschiedene Probleme im Zusammenhang mit der Ausbreitung von Radarwellen in Schnee sind heute noch nicht vollständig verstanden, so daß teilweise Eichgrößen verwendet wer-

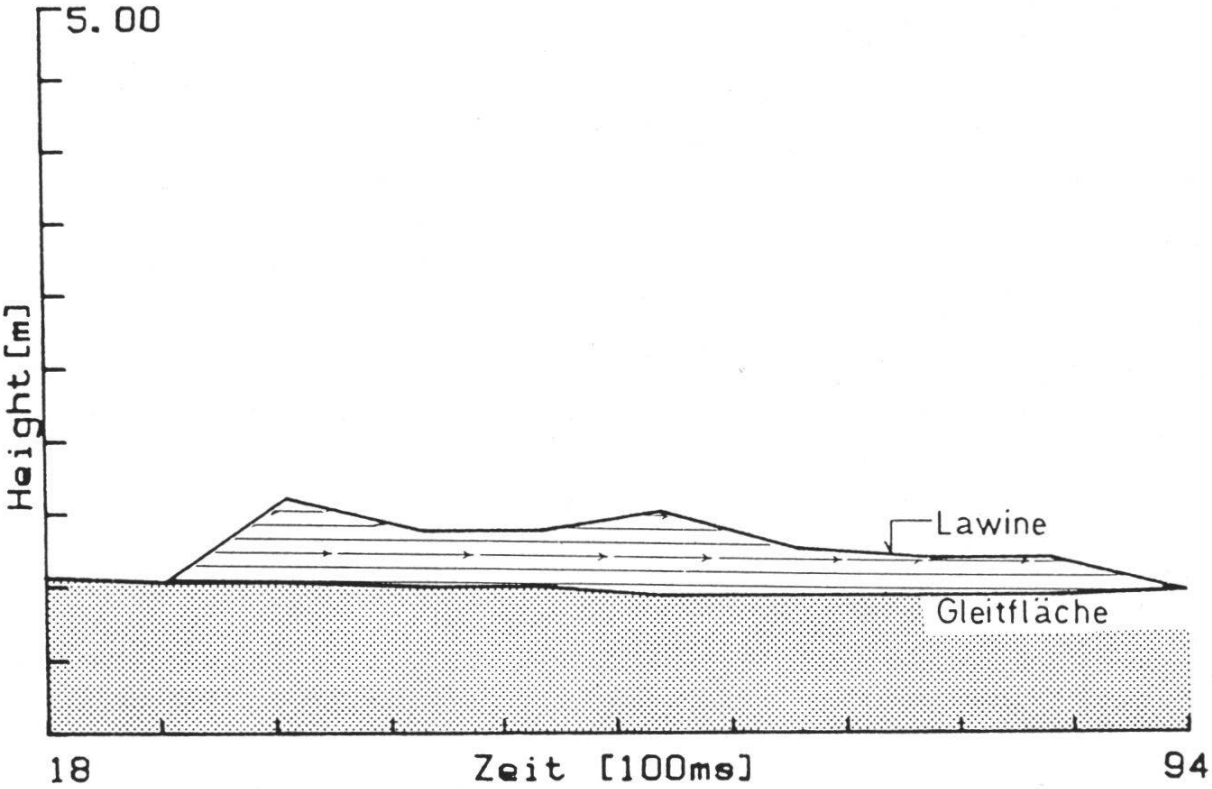


Fig. 3: Mit einem FMCW-Radar gemessene Lawinenfließhöhe als Funktion der Zeit.

den müssen. Im Versuchsgebiet am Lukmanier sind in 2 Lawinenzügen je zwei Fließhöhenradargeräte eingebaut. Im einen Fall sind die Radargeräte so angeordnet, daß sie die Messung der Fließhöhe in Abhängigkeit der Lawinenbreite und der Fließgeschwindigkeit erlauben, im zweiten Fall sind die Geräte im Abstand von 15 m in Fließrichtung der Lawinen angeordnet. Durch Kreuzkorrelation der aus einer bestimmten Höhe innerhalb der Lawine zurückreflektierten Signale der beiden Radars läßt sich die entsprechende hangparallele Partikelgeschwindigkeit berechnen. Mit dieser Methode lassen sich die für die Entwicklung neuer Modelle kritischen hangsenkrechten Geschwindigkeitsprofile wenigstens näherungsweise messen. Die Radaraufnahmen zeigen zudem, daß sich Fließhöhen mit der gewünschten Genauigkeit bestimmen lassen. In Fig. 3 ist die gemessene Fließhöhe als Funktion der Zeit aufgezeichnet. Durch den Einbau von Radarsystemen in Anrißgebieten ließen sich gleichzeitig die Entwicklung des Wasserwertes, der Schneehöhe, des Schneedeckenaufbaues sowie die Mächtigkeit abgehender Lawinen bestimmen, allerdings müssen für diese Messungen Schätzwerte für die Schneedichten vorliegen.

Schneeprofil- und Wasserwertmessungen mit FMCW-Radar

Um die Schneedeckenentwicklung bezüglich Schichtung, Wasserwert und Durchfeuchtung im Frühling auch im Flachfeld untersuchen zu können, wurden weitere FMCW-Systeme im Boden des Versuchsfeldes des EISLF installiert. Die täglichen Feldbeobachtungen, die halbmonatlichen Schneeprofilaufnahmen, der installierte Ultraschallschneehöhenmesser sowie ein Temperaturprofil ergeben die Möglichkeit, die Radardaten zu interpretieren und zu überprüfen. Aufgrund der gleichzeitigen Messung der geometrischen Totalschneehöhe können der Wasserwert und die mittlere Dichte der Schneedecke mit der gleichen Genauigkeit bestimmt werden wie mit den üblichen mechanischen Wägemethoden. Der Hauptfehler ist auf die Ungenauigkeit der Schneehöhenmessung (Genauigkeit des Schneehöhenmessers sowie Standortabweichung) zurückzuführen. Die Setzung charakteristischer Schichten kann während des ganzen Winters verfolgt werden. Während der Winter 1982 bis 1985 wurden beinahe täglich Messungen durchgeführt (Fig. 4, 5). Da die Mikrowellensignale im Frequenzbereich 8–12, 4 GHz in feuchtem Schnee stark abgeschwächt werden, laufen zurzeit Versuche mit einem bei tieferen Frequenzen arbeitenden Gerät. Die sprungartige Durchnässung der Schneedecke von oben nach unten im Frühling kann mit den Geräten ebenfalls sehr schön verfolgt werden. Mit einem weiteren auf Kufen montierten FMCW-System können Schichtung und Wasserwert längs einer Profillinie bestimmt werden. In der Ebene wird das Instrument von einem Überschneefahrzeug mit einer Geschwindigkeit von höchstens 1 m/s gezogen. Für Messungen in Steilhängen und Lawinenanrißzonen steht eine spezielle Winde mit integrierter Distanzmessung zur Verfügung. Mit diesem Instrument sollen vor allem der Schneedeckenaufbau in Lawinenanrißgebieten sowie Schneeverteilungen nach Windverfrachtungen und im Wald untersucht werden. Zur Zeit stehen uns Geräte im Frequenzbereich 2–18 GHz zur Verfügung. Die Kombination dieser Frequenzen wird eine detailliertere Untersuchung der Schneedecke, insbesondere auch der feuchten Schneedecke (tiefe Frequenzen), sowie des oberflächennahen Schichtaufbaues ermöglichen.

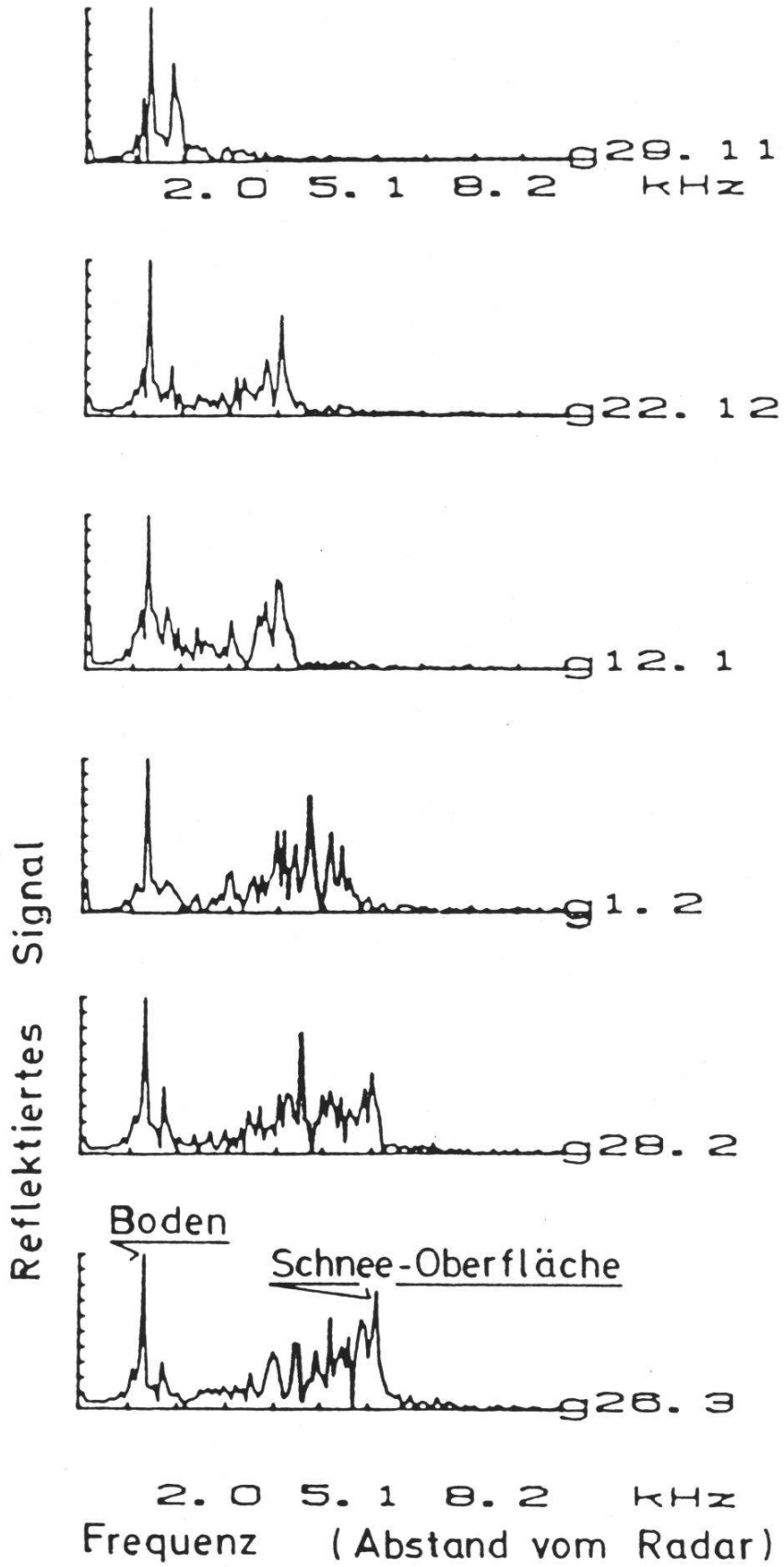


Fig. 4: Typische Radarschichtprofile im Versuchsfeld SLF. Die Spitzen im Spektrum werden durch erhöhte Reflexion an Schichtgrenzen verursacht.

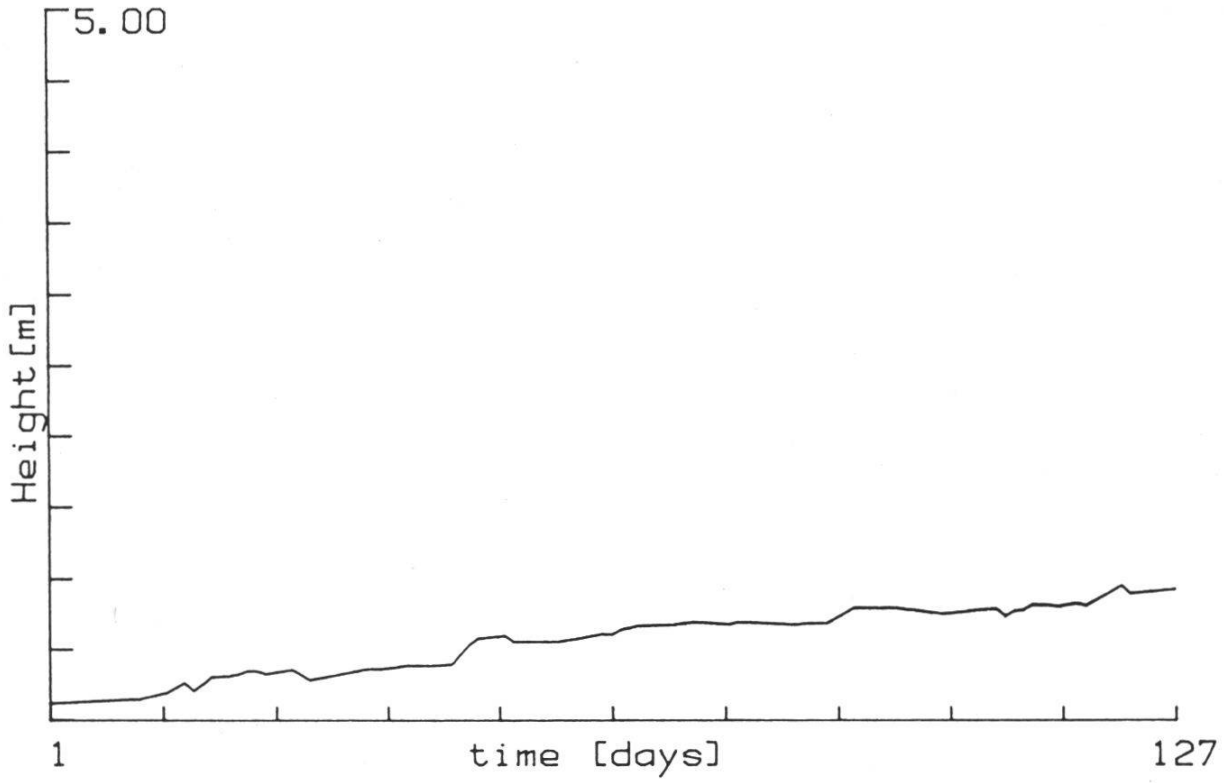


Fig. 5: Entwicklung des Wasserwertes im Versuchsfeld SLF, gemessen mit einem fest im Boden installierten FMCW-Radar.

Literatur

GUBLER, H.: Proposal to use CW doppler radar to measure velocities of flowing snow avalanches. Interner Bericht EISLF N° *586* (1980).

– – : Messungen an Fließlawinen. Interner Bericht EISLF N° *600* (1981).

– – , and HILLER, M.: The use of microwave FMCW radar in snow and avalanche research. Cold Regions Science and Technology *9,* 109–119 (1984).

SALM, B., and GUBLER, H.: Measurements and analysis of the motion of dense flow avalanches. Ann. Glaciol. *6,* 26–34 (1985).