



GIS-ANALYSE DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN WALDLAWINEN UND TOPOGRAPHIE

GIS-BASED ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FOREST AVALANCHES AND TOPOGRAPHY

von K. STREMPER, B. ZENKE, K. BELITZ, U. FRISCH, M. MAUKISCH,
J. STÖTTER, F. WILHELM

Zusammenfassung: Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) hat das Institut für Geographie der Universität München damit beauftragt für vier Testflächen im Landkreis Oberallgäu ein hochauflösendes digitales Geländemodell (DGM) zu erstellen. Dabei kam erstmalig im Bereich der bayerischen Alpen das Laser-Scan-Verfahren zum Einsatz (LINDENBERGER 1993; BELITZ ET AL. 1995). Auf der Basis dieses Laser-Scan-DGMs erfolgte eine GIS (Geoinformationssystem)-gestützte Analyse von 938 Einzellawinen, die über mehrere Winter hinweg dokumentiert wurden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990). Gegenüber den bisherigen Auswertungen, die mit einem qualitativ wenig geeigneten DGM durchgeführt wurden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1994), ergaben sich zum Teil erhebliche Abweichungen bei der Charakterisierung des Zusammenhangs zwischen Waldlawinen und der Topographie.

Abstract: A high resolution digital terrain model (DTM) covering four test areas in the Allgäu Alps (Bavaria) was produced by the Workgroup for Applied Geography (AAG), Institute of Geography, University of Munich for the Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. For this purpose the laser scan technology (LINDENBERGER 1993; BELITZ ET AL. 1995) was used for the first time in the Alps.

Using this laser scan DTM a GIS-based analysis was carried out for 938 avalanches observed during several winters (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990). The revealed relationship between forest avalanches and topography differed remarkably from results gained by using DTMs with a lower resolution (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1994).

1. Einführung

Die Zusammenhänge zwischen Topographie und Lawinenentstehung sind in der Literatur zahlreich dokumentiert (z.B. DE QUERVAIN 1982; SALM ET AL. 1987; SOMMERHALDER & MEYER-GRASS 1992; WILHELM 1975) und wurden auch durch Geländemessungen in den Testgebieten im Oberallgäu belegt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990).

Die bisherigen GIS-Analysen des LfW über den Zusammenhang des Faktors Gelände und Waldlawinen konnten aufgrund der Ungenauigkeiten des DGMS des Bayerischen Landesvermessungsamtes nur mit einem Flächenraster von 100 m x 100 m durchgeführt werden. Dabei zeigte sich, daß dieses DGM für die Analyse von kleinräumigen Prozessen im Umfeld von Lawinenanrissen zu ungenau ist (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1994).

Die Voraussetzungen, um durch die Überlagerung der Flächen bekannter Waldlawinen mit einem Geländemodell Aussagen über die Eigenschaften der Anrißbereiche zu bekommen, sind das Vorhandensein

- eines sowohl hochauflösenden als auch hochpräzisen DGMS,
- eines ursächlichen Zusammenhangs zwischen der kleinräumigen Morphologie eines Hangs und den Anrißbereichen von Waldlawinen sowie
- einer genügend langen Datenreihe korrekt erfaßter, d.h. inhaltlich und geometrisch genauer, für das Waldlawinengeschehen repräsentativer Sachdaten über die Anrißflächen in digitaler Form.

1.1 Hochauflösendes DGM

Dem LfW steht für die erwähnten Beobachtungsflächen im Landkreis Oberallgäu ein hochauflösendes und detailgenaues Laser-Scan-DGM zur Verfügung (BELITZ ET AL. 1995; MAUKISCH ET AL. 1996). Mit diesem DGM liegt eine Datengrundlage vor, die die reale Geländeoberfläche mit wesentlich höherer Genauigkeit beschreibt, als alle anderen, bei vergleichbaren Untersuchungen in der Vergangenheit verwendeten Informationen über das Relief.

1.2 Waldlawinendaten

Die Dokumentation der Lawinen im Bergwaldbereich in den Testgebieten im Oberallgäu basiert auf Videobefliegungen, die vom LfW in den Jahren 1987/1988 durchgeführt wurden. Im Rahmen dieses Entwicklungsvorhabens wurden die vom LfW in digitaler Form zur Verfügung gestellten Kartierungen von sieben Befliegungen sowie einer terrestrischen Aufnahme herangezogen. Für die Überlagerungen im GIS wurden die als Linie kartierten Lawinenanrisse durch einen *buffer* in Flächen von 2,5 m umgewandelt.

Für die so entstandenen Anrißflächen wurden auf der Basis des Laser-Scan-DGMs in einem Flächenraster von 5 m x 5 m die Geländeparameter Exposition, Hangneigung und Wölbung ermittelt und statistisch ausgewertet.

In den als Grundlage für die Lawinenkartierung aus den Videobildern dienenden Orthophotos im Maßstab 1:2500 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990) entspricht dieser *buffer* einer Kartiergenauigkeit von ± 1 mm. Aus kartographischer Sicht ist diese Toleranz sehr weit gefaßt, bei genauer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß die erreichbare Übertragungsgenauigkeit der Lawinenanrisse aus Videobildern stark limitiert ist und durchaus viel größere Differenzen auftreten.

Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine großmaßstäbige GIS-Analyse der Waldlawinendynamik stark beeinträchtigt.

2. Zusammenhang zwischen Relief und Waldlawinenanrißzonen

Bei der Analyse des Einflusses des Faktors Gelände auf das Lawinengeschehen wurden in bisherigen Untersuchungen Geländeparameter entweder durch analoge Messungen bzw. daraus resultierende Ableitungen Geländeparameter ermittelt oder Geländemodelle der zuständigen staatlichen Vermessungsbehörden für Berechnungen zugrundegelegt. Aufgrund deren unterschiedlichen Genauigkeit bzw. der auftretenden Ungenauigkeiten der Geländedaten sind die darauf basierenden Interpretationen über Art und Weise des Geländeeinflusses auf Lawinen mit großen Unsicherheiten behaftet.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist es gut vorstellbar, daß sich beim Vergleich von Ergebnissen, die durch GIS-Analysen auf Basis des hochpräzisen Laser-Scan-DGMs erzielt werden, mit Ergebnissen anderer, thematisch ähnlicher Untersuchungen schon allein aufgrund der unterschiedlichen Detailgenauigkeit der Geländeinformation Differenzen ergeben können.

Derartige Probleme der Vergleichbarkeit sind für Technologiesprünge in der Methodik wissenschaftlicher Untersuchungen typisch. Dementsprechend müssen die Ergebnisse der hier durchgeführten Überlagerungen prinzipiell unter dem Aspekt des erstmaligen Einsatzes der neuartigen Technologie des Laser-Scan-Verfahrens gesehen werden (BELITZ ET AL. 1995; MAUKISCH ET AL. 1996).

2.1 Exposition und Waldlawinen

Der Zusammenhang zwischen Exposition und Lawinenanrissen muß unter der Einschränkung gesehen werden, daß die Expositionsrichtungen in den Untersuchungsgebieten sehr ungleichmäßig verteilt sind. Während südliche Expositionsrichtungen klar vorherrschen, sind fast keine Hangbereiche in nördliche Richtungen exponiert. Das Ergebnis der Verteilung der Lawinenanrisse ist folglich in Abhängigkeit der überdurchschnittlich vertretenen S- und O-Expositionen in den Anrißgebieten zu sehen (vgl. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990).

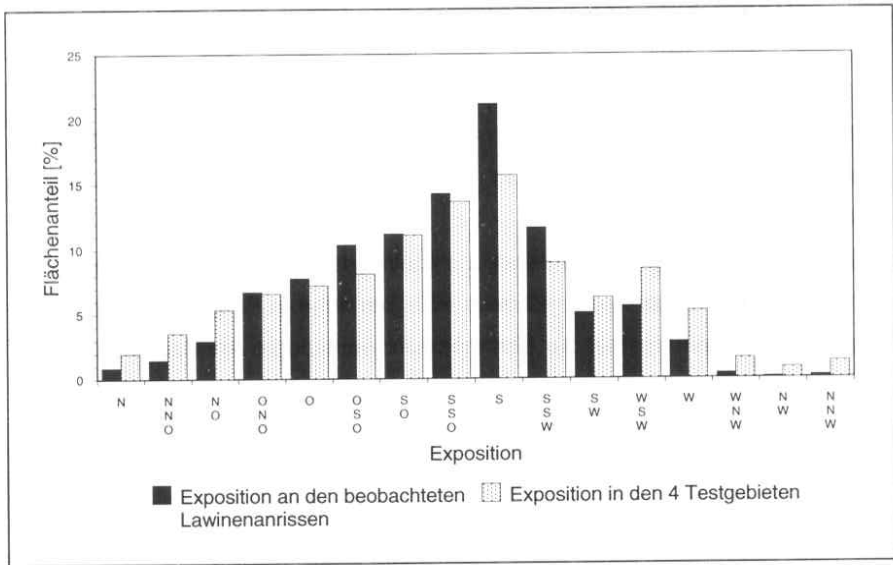


Abb. 1: Flächensummen der Exposition der Anrißflächen von Waldlawinen im Vergleich zur mittleren Exposition aller vier Testgebiete.

Fig. 1: Comparison of the aspect of the release areas of avalanches and the mean aspect of the overall test areas.

Bei der Überlagerung der Anrißgebiete der Waldlawinen mit der Exposition zeigt sich in allen Untersuchungsgebieten, daß S- und O-Expositionen in den Anrißgebieten überdurchschnittlich häufig auftreten. Unter dem Vorbehalt, daß die Anrisse wirklich an der erfaßten Stelle im Gelände stattgefunden haben, sind hierfür zwei Erklärungen denkbar.

Aufgrund der Lage der Untersuchungsgebiete nahe dem Alpenrand sind bei vorwiegenden N- bis NW-Wetterlagen (Stauwetterlagen), die starke Niederschläge bringen, verstärkte Akkumulationen in Lee-Lagen (S- bis O-Exposition) zu erwarten, so daß die erhöhte Anrißhäufigkeit durch erhöhte Schneemengen erklärbar ist. Der am häufigsten erfaßte Lawinentyp der Grundlawine läßt jedoch auch auf einen Zusammenhang mit dem erhöhten Strahlungsgewinn in S-Exposition und einer damit verbundenen erhöhten Lawinentätigkeit schließen (vgl. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990).

2.2 Hangwölbung und Waldlawinen

Die definierte Berechnung des Faktors Wölbung im GIS ermöglicht im Gegensatz zu bisher rein visuell durchführbaren Einschätzungen (vgl. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990) eine einheitliche und nachvollziehbare Beschreibung des Reliefs.

Aufgrund der bisherigen Kenntnisse zur Lawinendynamik ist zu erwarten, daß stark gewölbte, konkave oder konvexe Hangbereiche in Folge der veränderten Situation im Spannungsfeld der Schneedecke bevorzugte Anrißzonen für Lawinen sind.

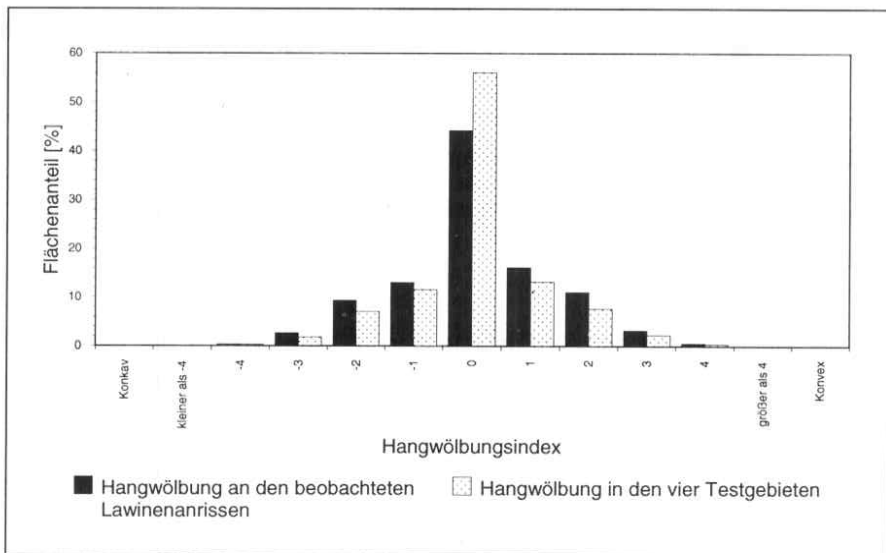


Abb. 2: Hangwölbung und Lawinendisposition
Fig. 2: Curvature and avalanche frequency

Bei der Überlagerung der Hangwölbung mit den Anrißbereichen von Waldlawinen zeigt sich in den Testgebieten zwar eine relative Häufung der Anrisse in konkaven oder konvexen Hangbereichen, doch absolut weist fast die Hälfte der Anrißflächen keine ausgesprochene Wölbung auf (siehe Abb. 2). Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Neigungswechsel und Lawinenanriß, wie er

von KALTENBRUNNER (1993) anhand von 86 Lawinenanrissen nachgewiesen wurde, ist damit in den Testflächen nicht zu erkennen.

Es stellt sich daher die Frage, ob in den Untersuchungsgebieten wirklich kein Zusammenhang zwischen Wölbung und Lawinenanrissen existiert, oder ob es andere Gründe für dieses Ergebnis gibt.

Da sich die Hangwölbung häufig sehr kleinräumig ändert (Dimension Meter), können schon geringe Lagefehler bei der Erfassung der Waldlawinen dazu führen, daß entweder die topographischen Verhältnisse am Lawinenanrißort nicht korrekt oder fälschlich Verhältnisse benachbarter Flächen wiedergegeben werden.

Denkbar ist daher, daß sich rein aufgrund der Lagefehler in den Lawinendaten bei den GIS-Überlagerungen kein kausaler Zusammenhang zwischen Hangwölbung und Waldlawinenanrissen nachweisen läßt.

2.3 Hangneigung und Waldlawinen

Bei den Überlagerungen der Hangneigung mit den Anrißflächen im GIS zeigt sich, daß die Neigung der für die beobachteten Lawinenanrisse ausschlaggebende Geländeparameter ist. Flächen, die zwischen 35° und 55° geneigt sind, sind besonders häufig Ausgangspunkte für Lawinen im Bergwaldbereich. Zwei Drittel (66%) der Anrißflächen liegen in diesem Neigungsbereich (siehe Tab. 1 und Abb. 3). Die mittlere Hangneigung im Bereich der Lawinenanrisse beträgt 47,3°. Dieser Wert ist zwar extrem hoch, doch er wird durch die geringe Spannweite der Neigungen in den Testgebieten bestätigt (siehe Tab. 1).

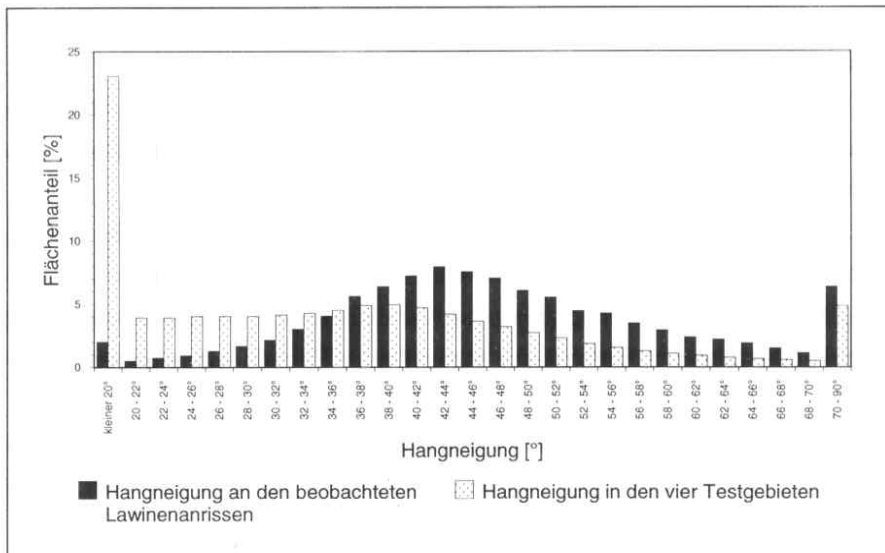


Abb. 3: Hangneigung und Lawinendisposition
 Fig. 3: Slope and avalanche frequency

| | Mittlere Neigung der Anrißfläche | Standardabweichung |
|----------------|----------------------------------|--------------------|
| Dietersberg | 48,0° | ±13,2° |
| Himmelschrofen | 46,8° | ±11,1° |
| Schwarzenberg | 49,4° | ±12,7° |
| Toniskopf | 47,2° | ±15,0° |
| Gesamtgebiet | 47,3° | ±13,8° |

Tab. 1: Mittlere Hangneigung an den Lawinenanrissen
 Tab. 1: Mean slope of release areas of avalanche

Die Mittelwerte der Hangneigung der Anrißflächen liegen deutlich über der mittleren Neigung der Testgebiete. Auch die mittleren Neigungen der Anrißflächen sind aufgrund der Auflösung des Laser-Scan-DGMs im Vergleich zu früheren Untersuchungen höher (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1994). Der Mittelwert liegt auch deutlich über dem von MEYER-GRASS & SCHNEEBELI (1992) für 118 Lawinen im Bergwaldbereich ermittelten Durchschnittswert von 42,6°. Auch die Untersuchung von

KALTENBRUNNER (1993), derzufolge 85% der betrachteten Lawinenanrisse im Neigungsbereich von 35° - 50° liegen, weist auf einen niedrigeren Wert hin.

Die stärkste Zunahme der Lawinendisposition findet im Neigungsbereich von etwa 35° statt. Ab einer Neigung von 45° nimmt der Flächenanteil an den Anrißbereichen mit zunehmender Hangneigung asymptotisch gegen Null ab. Die relativ großen Flächenanteile in den randlichen Sammelklassen der Neigungsverteilung sind durch die hohe Auflösung des Geländemodells zu erklären. Sie bringen keinesfalls zum Ausdruck, daß bei diesen Neigungen Lawinenanrisse auftreten, sondern nur, daß innerhalb der Lawinenanrißflächen einzelne kleinere Bereiche (Dimension $x \cdot 10^0 \text{ m}^2$) eine entsprechende Neigung aufweisen.

2.4 Geländeparameter und Lawinenbahnen / Ablagerungsgebiet

Für die Lawinengefährdung ist auch der Weg der Lawine ins Tal von Bedeutung, der ebenfalls von verschiedenen Geländefaktoren abhängig ist. Den Untersuchungen des BAYERISCHEN LANDESAMTS FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1990) zufolge erreichten 46% der untersuchten Waldlawinen die Talbereiche. Ein ebenso hoher Anteil lagerte sich in Hangbereichen ab, wogegen nur etwa 7% der Lawinen im Bereich von Verebnungen liegen blieben.

Während nach der analogen Auswertung des LfW nur 9% der Lawinenbahnen im Bereich von Abfluß- oder Erosionsrinnen lagen, ergab die GIS-basierte Analyse des Faktors Hangwölbung auf Basis des Laser-Scan-DGMs eine weit aus größere Übereinstimmung der Lawinenbahnen mit Rinnenstrukturen. Immerhin 23% der Gesamtfläche der Lawinenbahnen liegen in konkaven Hangbereichen. Ebenfalls 23% der Fläche liegen jedoch in Bereichen mit einer konvexen Hangwölbung. Abb. 4 verdeutlicht die Verhältnisse im Bereich der Lawinenbahnen im Vergleich zu den nicht von Lawinen betroffenen Flächen.

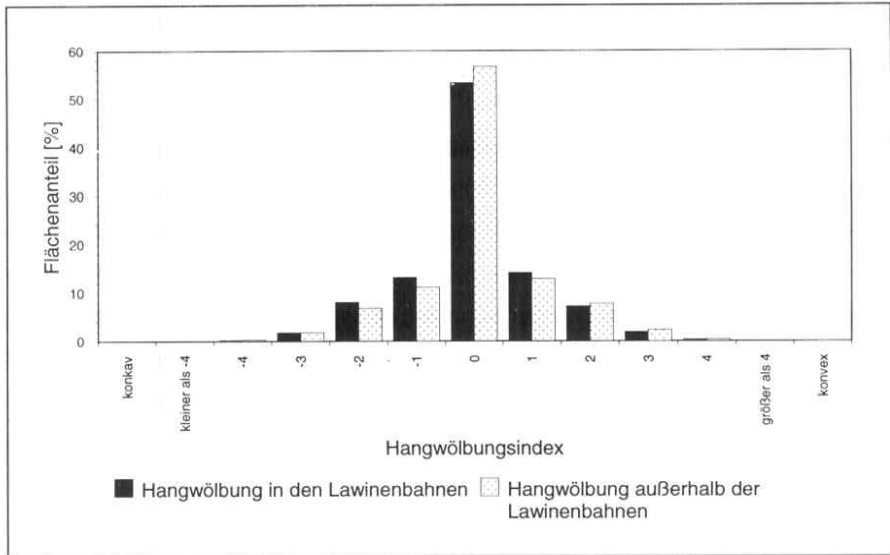


Abb. 4: Hangwölbung und Lawinenbahnen
 Fig. 4: Curvature and avalanche paths

3. **Schlußfolgerungen**

Diese Untersuchung zeigt, daß mit Hilfe der Laser-Scan-Technologie auf wirtschaftliche Art und Weise auch im alpinen Bereich ein hochgenaues DGM erstellt werden kann. Durch die Einbeziehung dieses DGMs in die GIS-Analyse steigen auch die Anforderungen an die Lagegenauigkeit der übrigen Eingangsparameter.

Im Rahmen dieser Untersuchung führte dies dazu, daß trotz der sehr detaillierten Wiedergabe der Geländeoberfläche im Modell keine neuen bzw. derzeit gültigen Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Waldlawinen und Topographie mit Sicherheit nachgewiesen werden konnten. Ursächlich dafür ist die Methodik der Erfassung und Dokumentation der Waldlawinen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1990). Hierbei entstanden Lagefehler, die eine großmaßstäbige Untersuchung problematisch erscheinen lassen. Aufgrund dieser Erfahrungen ist es notwendig, in einem nächsten Schritt die Erfassungsmethodik von Waldlawinen zu optimieren, um die Zusammenhänge, die

bei der Waldlawinendynamik eine Rolle spielen, abschließend beurteilen zu können.

4. Literatur

- BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1990): Schneebewegungen und Lawinentätigkeit in zerfallenden Bergwäldern. Fallstudie für den Landkreis Oberallgäu. - Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 3/90. München.
- BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1994): Ansatz und Methoden einer Analyse des Lawinengeschehens mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems. - Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 2/94. München.
- BELITZ, K., FRISCH, U. MAUKISCH, M. (1995): Erstellung, Vergleich und Bewertung von digitalen Geländemodellen. -Unveröffentlichter Schlußbericht der Arbeitsgruppe für Angewandte Geographie am Institut für Geographie der LMU München.
- KALTENBRUNNER, A. (1993): Methodenbeitrag zur Ermittlung der Lawinenschutzfunktion subalpiner Wälder. - Unveröffentliche Diplomarbeit am Institut für Waldbau an der ETH Zürich.
- LINDENBERGER, J. (1993): Laser-Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme. Dissertation Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Stuttgart. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayer. Akademie der Wissenschaften, C/400. München.
- MAYER-GRASS, M. & SCHNEEBELI, M. (1992): Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. - Internationales Symposium Interpraevent 2/92: 443-455. Bern.
- SALM, B., BURKARD, A. & GUBLER, H.U. (1990): Berechnung von Fließlawienen - eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitt. EISLF 47. Davos.
- SALM, B., ZARN, B. & BIGGER, V. (1987): Schnee, Lawinen und Lawinenschutz. - Manuskript zur Vorlesung an der ETH Zürich, Abt. II, VI, VII, X. September 1987. Zürich.
- SOMMERHALDER, R. & MEYER-GRASS, M. (1992): Waldlawinen im Lusiwald bei Davos in der Zeitspanne von 1982 bis 1990. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 143/2:119-130. Zürich.
- STREMPER, K. (1992): Eignung eines digitalen Geländemodells bei der Analyse von Waldlawinen. Unveröffentliche Diplomarbeit am Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- WILHELM, F. (1975): Schnee- und Gletscherkunde. Berlin.

Anschriften der Autoren:

Dipl. Geogr. K. Stempel, ORR Dr. B. Zenke
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67
80636 München

Dipl. Geogr. K. Belitz, Dipl. Geogr. U. Frisch, Dipl. Geogr. M. Maukisch,
PD Dr J. Stötter, Prof. Dr. Dr. F. Wilhelm
Institut für Geographie der Universität München
Luisenstraße 37
80333 München