



ELBA – Ein GIS-gekoppeltes Lawinensimulationsmodell Anwendungen und Perspektiven

Gerhard Volk ¹, Karl Kleemayr ²

¹ *Zentrum für Geoinformationswesen, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 82, 1190 Wien*

² *Institut für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 82, 1190 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **87** (2–3), S. 84–92

1999

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Volk_VGI_199910,  
Title = {ELBA -- Ein GIS-gekoppeltes Lawinensimulationsmodell Anwendungen und  
Perspektiven},  
Author = {Volk, Gerhard and Kleemayr, Karl},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {84--92},  
Number = {2--3},  
Year = {1999},  
Volume = {87}  
}
```



Literatur:

- [1] *Kuhmann A.* (1981): Einführung in die Sicherheitswissenschaft, Wiesbaden, Vieweg.
- [2] *Kienholz H.* (1993): Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge. In: Naturgefahren, Eidgen. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf.

Anschrift der Autoren:

Ao.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Fuchs: Zentrum für Geoinformationswesen, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 82, 1190 Wien,
Email: hfuchs@edv1.boku.ac.at,
WWW: <http://bzgserver.boku.ac.at>
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn Alfred Pitterle: Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 70, 1190 Wien.



ELBA – Ein GIS-gekoppeltes Lawinen-simulationsmodell Anwendungen und Perspektiven

Gerhard Volk und Karl Kleemayr, Wien

Zusammenfassung

Nach einer anfänglichen Einführung in die Problembereiche der Lawinenprognose wird das Lawinensimulationsmodell ELBA vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein für 2D Simulationen adaptiertes, erweitertes VOELLMY Modell. Wichtige Erweiterungen sind dynamische Berechnung der turbulenten Reibung und die Einführung der Schneeaufnahme durch die Lawine während des Abgangs. Primärer Einsatzbereich dieses GIS-gekoppelten Modells ist die Risikoanalyse größerer Talbereiche. Das Modell wurde auf die beiden Katastrophenlawinen von Galtür und Valzur im Februar 1999 angewandt. Die Simulationsergebnisse für diese beiden sehr unterschiedlichen Lawinen werden besprochen. Es zeigt sich, daß die Berechnung von Lawinenabgängen nicht nur ein kinematisches, sondern auch in hohem Maße ein Anfangswertproblem ist. Abschließend wird ein Ausblick auf die Forschungsvorhaben in näherer Zukunft gegeben.

Abstract

After an initial introduction into the problem fields of avalanche prediction the avalanche simulation model ELBA is presented. This model is an adapted and extended 2D Version of a VOELLMY-type model. The most important extensions are the dynamic calculation of turbulent drag and the introduction of snow entrainment. The main application of ELBA is the risk analysis of bigger valley sections. The model has been applied on the catastrophic avalanche events of Galtuer and Valzur in February 1999. The simulation results for those significantly diverse cases are discussed. It can be shown, that avalanche run out calculation is not only a cinematic problem, but also heavily influenced by the determination of the initial conditions. Finally perspectives for the future research are outlined.

1. Einleitung

Die Lawinenergebnisse des Katastrophenwinters 1998/99 haben eindringlich die Schwächen der derzeitigen Methoden zur Abschätzung der Lawinengefahr aufgezeigt. In allen 4 Anrainerstaaten der Zentralalpen (Frankreich, Italien, Schweiz und Österreich) waren im Laufe dieses Winters bewohnte Gebiete von außerordentlich großen Lawinen betroffen. Es zeigte sich, daß in den 4 Ländern keiner der unterschiedlichen Ansätze zur Risikoanalyse von Lawinen katastrophale Ereignisse verhindern konnte.

Bei der Lawinenprognose können 2 Problemfelder abgegrenzt werden. Einerseits stellt sich die Frage, wie groß die Wahrscheinlichkeit des Abbrechens von Lawinen in einem Gebiet ist. Dieser Problemkreis wird vor allem von meteorologischen

Bedingungen geprägt (siehe Abbildung 1). Neuschnee und Wind sind die „Baumeister“ von Lawinen.

Besonders relevant ist die Abbruchprognose für temporäre Lawenschutzmaßnahmen, wie das Sperren von Straßenabschnitten oder die Evakuierung von Häusern. In Österreich übernimmt diese Aufgabe eine örtliche Lawinenkommission, die sich aus erfahrenen, lokalen Lawinenexperten mit detaillierter Ortskenntnis zusammensetzt. Zur Beurteilung des Lawinenrisikos werden neben den meteorologischen Bedingungen auch repräsentative Vertikalprofile der Schneedecke herangezogen. Diese Schneeprofile sollen Aufschluß darüber geben, ob in der Schneedecke Schwächezonen, die das Abbrechen eines Schneebretts und damit die Bildung einer Lawine erleichtern, vorhanden sind. Die

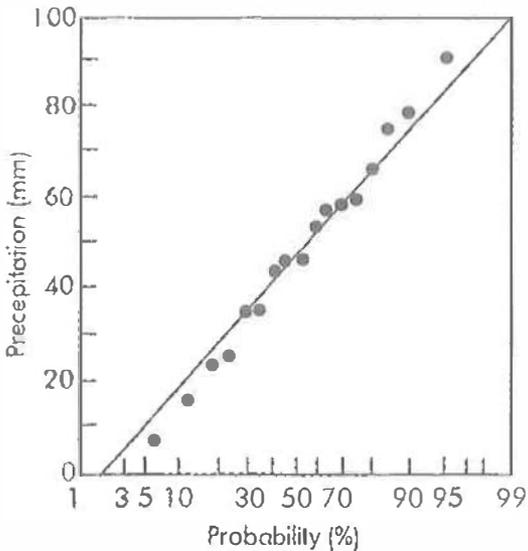


Abb. 1: Zusammenhang zwischen kumulativer 3 Tages Neuschneemenge und der Abbruchwahrscheinlichkeit von Lawinen (aus [5])

Synthese der Entscheidungsgrundlagen zu einer Abbruchprognose erfolgt über die Erfahrung der Kommissionsmitglieder. Diese sehr „weiche“ Grundlage der Abbruchprognose steht im Kontrast zur Tragweite der Entscheidungen. Sicherheitsüberlegungen und wirtschaftliche Interessen stehen im Wettstreit und machen die Entscheidung der Lawinenkommission oft nicht einfach. Neuere Ansätze versuchen dem multidimensionalen Wirkungsgefüge, das die Lawinengefahr bestimmt, mit Expertensystemen, Fuzzy Logic und neuronalen Netzwerken Rechnung zu tragen ([1], [4]) und lassen Verbesserungen in der Abbruchprognose in Zukunft erwarten.

Abbruchprognosen können nur die Prädisposition eines Untersuchungsgebietes für Lawinenabgänge bestimmen. Das tatsächliche Eintreten eines Lawinenabgangs auf einem bestimmten Lawenstrich läßt sich damit nicht bestimmen, da dies sehr stark von nicht bestimmbareren Zufallsfaktoren, wie superschwache Zonen in der Schneedecke, ein auslösender Windstoß oder eine Lawinenauslösung durch einen Schifahrer, abhängt.

Der zweite Fragenkomplex der Lawinenprognose beschäftigt sich mit der möglichen Reichweite und den daraus resultierenden mechanischen Wirkungen einer Lawine. Hauptanwendungsgebiete der Auslaufprognose sind die Gefahrenzonenplanung und die Beurteilung der Wirkungsweise von technischen Schutzmaßnahmen. Die österreichischen Richtlinien zur Gefah-

renzonenplanung geben folgende mechanische Kriterien für die Ausweisung von Gefahrenzonen an (Tabelle 1).

Gefahrenzone	Frequenz	
	150 Jahre	1-10 Jahre
Rote Zone	25 kN/m ²	3 kN/m ²
Gelbe Zone	1-25 kN/m ²	1-2 kN/m ²

Tabelle 1: dynamische Druckgrenzwerte für die Ausweisung der Gefahrenzonen von Lawineinzugsgebieten ([3])

In der roten Gefahrenzone ist der zu erwartende dynamische Druck durch die Bemessungslawine so groß, daß eine Nutzung als Bauland beziehungsweise für Infrastruktureinrichtungen ausgeschlossen ist. Die gelbe Gefahrenzone umfaßt den Rand des Wirkungsbereichs einer Lawine mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren. Die dort zu erwartenden Kräfte erfordern besondere Sicherheitsvorkehrungen an Bauwerken, wie stahlbewehrte Mauern, verankerte Dächer und keine Maueröffnungen in Richtung des Lawenstriches.

In der praktischen Anwendung ist eine Frequenzanalyse von Lawenstrichen nicht durchführbar, da hierfür Beobachtungsreihen von mehreren hundert Jahren vorliegen müßten. Daher wird für die Gefahrenzonenplanung üblicherweise die größte je beobachtete Lawine als Bemessungsereignis angesehen. Es wird der Versuch unternommen, dieses Ereignis mit eindimensionalen Modellen (z.B. nach [6]) nachzuvollziehen. Aus den so ermittelten Geschwindigkeiten und angenommenen Schneedichten können die zu erwartenden Druckkräfte abgeschätzt werden. Unsicher ist das Verfahren vor allem dort, wo die Beobachtungsreihen kurz sind, sich Veränderungen in der Landnutzung (Entwaldungen, aufgelassene Almen) ergeben haben oder die Sturzbahn der Lawine aufgrund der Geländegegebenheiten unklar ist. Die österreichische Gefahrenzonenplanung kennt auch keinen Maßnahmenkatalog für Gefahrensituationen, die eine das Bemessungsereignis übersteigende Lawine erwarten lassen. Die Katastrophen im Winter 1999 sind alle von Lawinen verursacht worden, die in dieser Größe noch nie beobachtet worden sind. Das „unvorhersehbare“ Moment ist also den Lawinenkatastrophen systemimmanent.

Theoretisch besteht auch die Möglichkeit beim Fehlen von genügend langen Beobachtungsreihen, die Schneemasse und das Abbruchgebiet der Bemessungslawine zu definieren und den Lawinenabgang mit einem eindimensionalen Modell zu berechnen. Die gängigen 1D-Lawinenmodelle sind aber so stark parameterabhängig,

daß sich schon bei relativ geringen Parametervariationen Unterschiede in der berechneten Reichweite von Lawinen von mehreren Dutzend bis über hundert Meter ergeben können. Darüber hinaus unterscheidet sich die Sturzbahn von großen Lawinen mit niedriger Frequenz oft maßgeblich von hochfrequenten, kleinen Lawinen. Bei der Anwendung von 1D Modellen muß der Lawinenpfad im vorhinein festgelegt werden. Vor allem im komplexen Gelände kann es dadurch zu gravierenden Fehleinschätzungen der Lawinenausbreitung kommen.

Neuere Ansätze der Risikoanalyse von Lawinen gehen nicht mehr von einem Bemessungsereignis aus sondern von einem Restrisiko, daß Menschen oder Bauwerke von einer Lawine betroffen sind. Das kann bedeuten, daß zur Erreichung des gewünschten Restrisikos in dicht besiedelten Gebieten Lawinen von einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von weit mehr als 150 Jahren für die Gefahrenabschätzung relevant sind. Dafür reichen Chronikangaben keinesfalls mehr aus, sondern es bedarf der Verwendung von räumlich verteilten kinematischen Lawinenmodellen.

Die Dynamik einer abgehenden Lawine wird maßgeblich vom Gelände, über das sie sich bewegt, beeinflußt. Konkave Geländeformen bedingen eine Konzentration der Lawine, konvexe Bereiche bewirken eine Ausbreitung. Je schneller sich eine Lawine bewegt und je größer ihre Fließhöhe ist, desto geringer ist der Einfluß eines einzelnen Geländeelements auf ihr Verhalten. Für die Simulation von Lawinen stellen daher genaue Geländemodelle den wichtigsten Eingangsdatenbestand dar.

2. Lawinensimulationsmodell ELBA

„Make it as simple as possible, but not simpler“
(A. Einstein)

Überlegungen, daß das Gelände das Verhalten einer Lawine maßgeblich beeinflußt, und das Bewußtsein über die Schwächen der gängigen 1D-Modelle waren der Anlaß für die Entwicklung des Lawinensimulationsmodells ELBA (Energy Line Based Avalanche Model). Es handelt sich dabei um ein 2 dimensionales GIS-gekoppeltes Modell zur Abschätzung von lawinengefährdeten Bereichen bei unterschiedlichen Bedingungen. Durch die Einbindung des Simulationsmodells in eine GIS-Umgebung ist die Berücksichtigung möglichst aller Informationen, die für eine Risikoanalyse notwendig sind, erleichtert (Simulationsergebnisse, Infrastrukturinformationen, Kataster, bestehender Gefahrenzonenplan, Geländeinformationen, u.v.m.).

Ziel der Entwicklung war ein möglichst einfach zu bedienendes, durchschaubares und robustes Tool zur Simulation von Lawinen, ohne den notwendigen Komplexitätsgrad in der Konzeption der Beschreibung eines Lawinenabgangs zu vernachlässigen. Außerdem sollte der Informationsgehalt von digitalen Geländemodellen möglichst vollständig ausgeschöpft werden, um verläßlich die Variabilität der Wirkungsbereiche von Lawinen unterschiedlicher Frequenz abgrenzen zu können. Was die Einfachheit der Bedienung betrifft, scheint dieses Vorhaben geglückt. Bereits in mehreren Diplomarbeiten (ca. 10) von Studenten der Studienrichtung Wildbach- und Lawinerverbauung und bei einigen Projekten wurde dieses Modell eingesetzt. Bei grundsätzlichen Vorkenntnissen von Lawinendynamik und GIS besteht der Einschulungsaufwand in einem Zeitrahmen von 2 Stunden. Mit minimalem nachfolgenden Betreuungsaufwand waren alle Anwender in der Lage, selbsttätig Lawinensimulationen durchzuführen.

Die Beschreibung der Lawine erfolgt nach dem Ansatz von VOELLMY [6], welcher für flächige Simulationen adaptiert und mit einer modifizierten Form der COLEBROOK-WHITE-Gleichung kombiniert wurde. Die Beschreibung der Beschleunigung der Lawine in eindimensionaler Form kann wie folgt angeschrieben werden:

$$a = g \cdot \left(\sin\beta + \sin\omega - \text{sign}(v) \cdot \left(\mu \cdot \cos\beta + \frac{v^2}{\xi \cdot h} \right) \right) \quad (1)$$

$$\xi = 8 \cdot g \cdot \left(-2 \cdot \log_{10} \left(\frac{ks}{12 \cdot h} \right) \right)^2 \quad (2)$$

- a Beschleunigung [m/s²]
- g Erdbeschleunigung [m/s²]
- β Hangneigung [grad]
- μ Gleitreibungsparameter []
- h Fließhöhe [m]
- v Fließgeschwindigkeit [m/s]
- ξ Turbulenzreibungsparameter [s²/m]
- ks Rauigkeitslänge [m]
- ω Neigung der Fließhöhe [grad]

Der Ansatz erlaubt die Einbeziehung von räumlich differenzierten Geländerauhigkeiten in die Simulation einer Lawine. Die Größe der Lawine sowie die Geländerauhigkeit bestimmen den Turbulenzbeiwert ξ, der die maximal erreichbare Fließgeschwindigkeit definiert. Vorteil dieses Verfahrens ist, daß als einziger empirischer Parameter der Gleitreibungsbeiwert μ bleibt. Das Modell ist somit wesentlich leichter zu eichen und robuster als die gängige 2-Parameter Version des VOELLMY-Modells, bei der die Parameter μ und ξ geschätzt werden müssen

und es eine theoretisch unendlich große Zahl von Parameterkombinationen für die Ermittlung einer vorgegebenen Auslauflänge gibt.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, über unterschiedliche empirische Beziehungen die Dichte der Lawine während des Verlaufes des Lawinenabgangs variabel zu gestalten. Dadurch können unterschiedliche Lawinentypen (Staublawine, Fließlawine) phänomenologisch beschrieben werden. Zu diesem Zweck wurde in einer ersten Näherung eine einfache Exponentialbeziehung angewendet.

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{k \cdot v} \quad (3)$$

ρ über die Fließhöhe gemittelte Dichte [kg/m³]

ρ_0 Dichte des abbrechenden Schnees [kg/m³]

k Aufwirbelungskoeffizient [s/m]

v Geschwindigkeit [m/s]

Im Falle einer Aufwirbelung des Schnees werden die Fließquerschnitte der Lawine größer und damit die Reibungsverluste geringer. Dies ist der Grund, warum Staublawinen wesentlich weiter reichen und deutlich höhere Geschwindigkei-

ten (bis 400km/h) erreichen als dichte Fließlawinen.

Wichtiges Thema der derzeitigen wissenschaftlichen Diskussionen in der Lawinendynamikforschung ist die Frage der Aufnahme von Schnee durch eine Lawine während ihres Abgangs (snow entrainment). Oft können sich ursprünglich relativ kleine Lawinen durch die Aufnahme von Schnee während ihres Abgangs zu katastrophalen Ereignissen entwickeln ([2]). Diesem Phänomen versucht das ELBA-Konzept durch die Einführung eines Layers mit erodierbarem Schnee Rechnung zu tragen (Details siehe Kap. 0.).

Inputdaten des Modells:

- Digitales Geländemodell (typische Auflösung 5 bis 25m)
- Abbruchgebiet und Abbruchmächtigkeit
- erodierbarer Schnee
- Dichte des abgehenden Schnees
- Gleitreibungsparameter μ
- Geländerauhigkeit

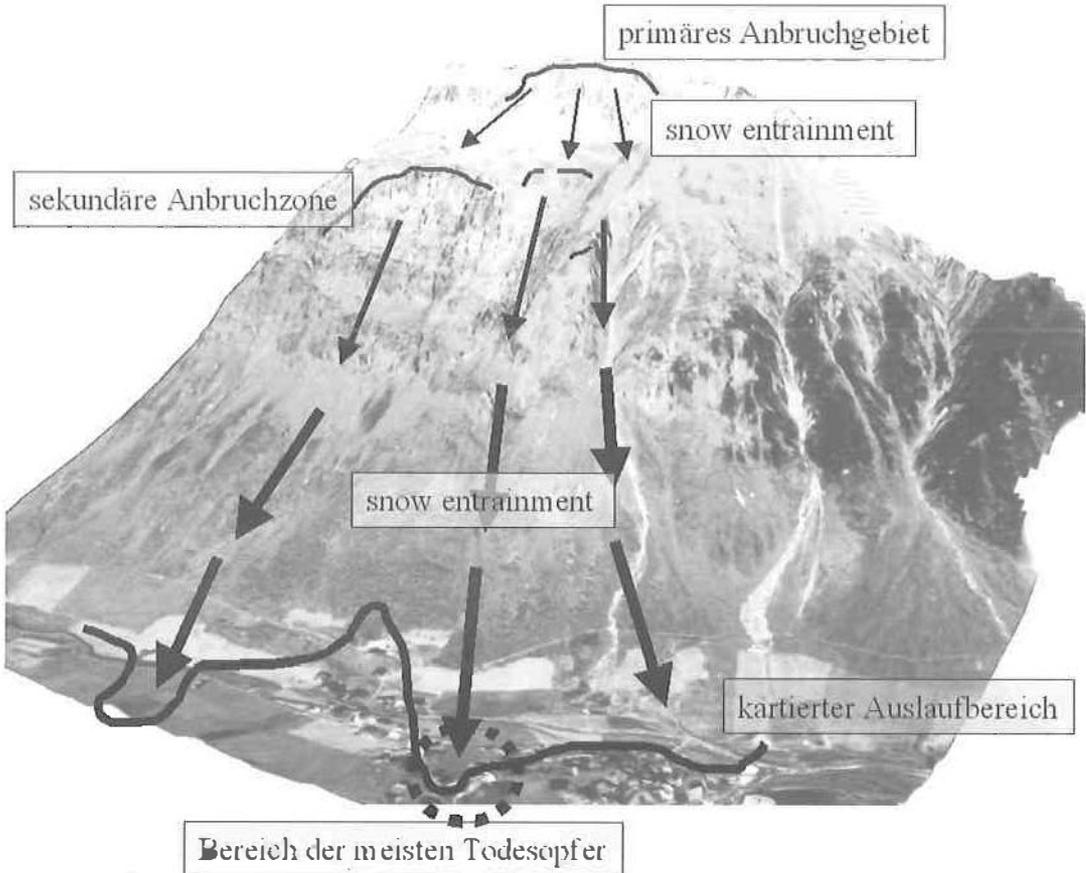


Abb. 2: Szenario der Lawinenkatastrophe von Galtür; (Luftbild BEV)

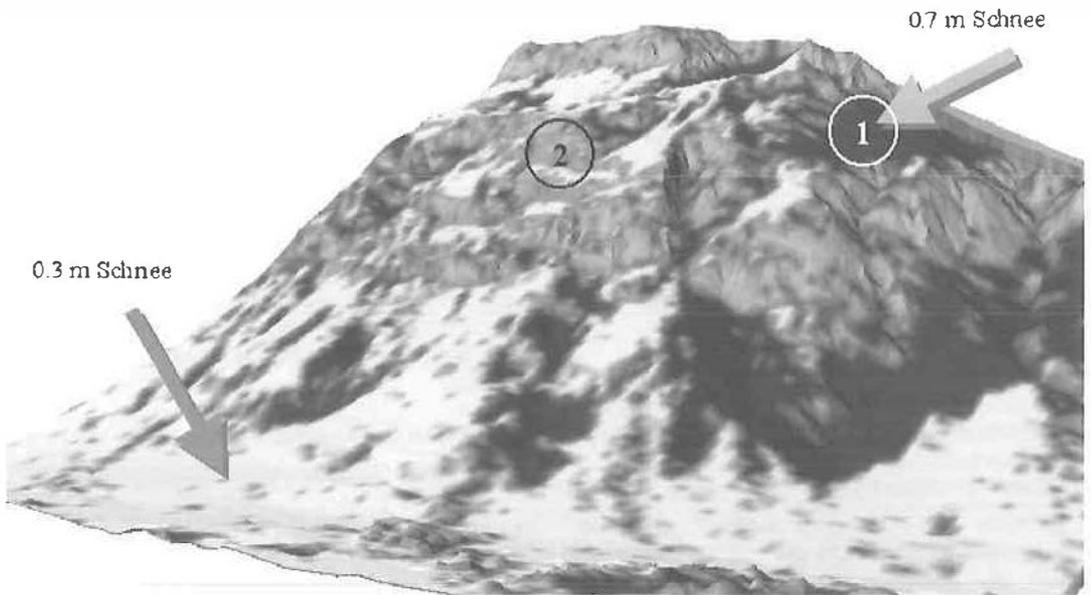


Abb. 3: Räumlich variable Schneedeckung als Grundlage für das snow entrainment

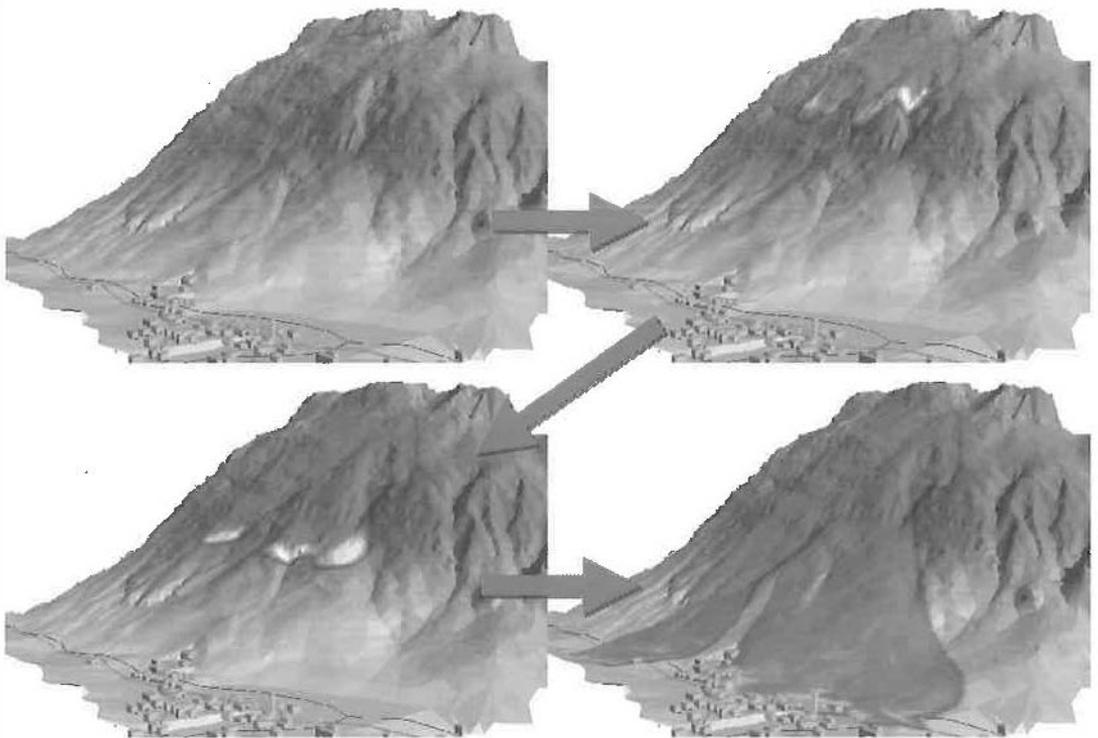


Abb. 4: simulierter Ablauf der Lawinenkatastrophe von Galtür

Outputdaten des Modells:

- Fließhöhe
- Fließgeschwindigkeit
- mittlere Dichte des fließenden Mediums
- Dynamischer Druck
- Erosions- und Depositionsrate

Diese Daten werden sowohl als flächig verteilte Maxima als auch für bestimmte Zeitpunkte während des Lawinenabgangs dargestellt.

Der primäre Einsatzbereich dieses Modells ist die Risikoanalyse. Durch die Koppelung mit einem Geoinformationssystem kann das Datenhandling äußerst effizient gestaltet werden. Simulationsergebnisse können sehr schnell visualisiert und mit anderen Geländeinformationen (Luftbild, Kataster, Geländekartierungen) überlagert, verglichen und verschnitten werden. Der Aussagewert des Modells liegt weniger in der Beschreibung der Kräfte, die von einer Lawine ausgehen, als vielmehr in der Ermittlung der Hüllkurve um alle lawinengefährdeten Bereiche eines Untersuchungsgebietes.

ELBA ist in der Programmiersprache FORTRAN90 programmiert und verfügt über eine Standardschnittstelle zu ARC/INFO und ArcView. Geplant sind die Erstellung weiterer Schnittstellen zu anderen Softwareprodukten. Eine durchschnittliche Simulation auf einem PentiumII 400Mhz-Rechner dauert etwa 15 Minuten. Der Datenimport der Simulationsergebnisse in Arc/INFO bzw. ArcView erfolgt vollautomatisiert. Die Simulationsergebnisse können sofort als Animation betrachtet werden, was die Plausibilitätskontrolle erleichtert und das Verständnis für Lawindynamik erhöht. Die Definition der Anbruchgebiete erfolgt interaktiv am Bildschirm. Durch die Möglichkeit, das Programm im batch mode zu starten, können innerhalb kürzester Zeit sehr viele Varianten berechnet werden.

3. Anwendung auf die Katastrophen im Paznauntal

Wie aus den Medien bekannt, ereigneten sich im Februar 1999 im Paznauntal zwei Lawinenkatastrophen, die insgesamt 38 Menschenleben (31 in Galtür, 7 in Valzur) forderten. Es wurde versucht, diese beiden Ereignisse mit dem Programm ELBA nachzuvollziehen.

3.1. Galtür

Durch die Analyse von Luftbildern eines Meßfluges und Videoaufnahmen aus einem Hub-

schauber, die 3 Tage nach der Katastrophe durchgeführt wurden, konnte folgendes Szenario erstellt werden (Abbildung 2): Die Lawine dürfte am Grat des Grieskopfes unterhalb von 2750m auf einer Breite von etwa 350m abgebrochen sein, überwand bei etwa 2400m eine Hangschulter, in deren Bereich sie weiteren Schnee aufnahm. Das vorliegende Bildmaterial läßt in diesen Bereichen sekundäre Anrißkanten erkennen. Dabei dürfte sich die Lawine in 3 Hauptstränge geteilt haben. Auch auf ihrem weiteren Weg Richtung Ortsgebiet von Galtür nahmen die 3 Lawinenteile durch Verwehungen abgelagerten Schnee auf und erreichten schließlich das Ortsgebiet von Galtür.

Die Erkenntnis, daß das snow entrainment maßgeblich an der Größe und damit der Schadwirkung der Lawine von Galtür beteiligt war, führte dazu, daß dieser Prozeß in das Lawinsimulationsmodell ELBA integriert wurde. So war es möglich, die Stoßrichtung der Lawine in das Ortszentrum von Galtür den Beobachtungen entsprechend darzustellen. Für den Einfluß des snow entrainments auf das Verhalten einer Lawine sind 2 Faktoren von entscheidender Bedeutung. Zum Einen stellt sich die Frage, wo von einer Lawine mobilisierbarer Schnee lagert, zum Anderen muß geklärt werden, unter welchen Bedingungen eine Lawine überhaupt Schnee aufnehmen kann. Zur Beantwortung der ersten Frage wurde ein einfaches Regelwerk für Schneedeckung entwickelt. Es wurde angenommen, daß die Mächtigkeit einer durch Schneedrift beeinflussten Schneedecke von Luv- bzw. Leelage und Hangneigung abhängt. Zur Bestimmung der von Luv- und Leelage wurde angenommen, daß sich Windschatten analog zu Schlagschatten verhalten. Es wurde daher mit einer GIS-Standardfunktion die Schlagschatten aus Westen bei einem Sonnenstand von 15° über Horizont ermittelt. Die Flächen, die unter diesen Bedingungen im Schatten liegen wurden als besonders schneedeckungsbegünstigt ausgeschieden. Außerdem wurde angenommen, daß es auf Flächen mit einer Geländeneigung über 45° zu keiner namhaften Schneeablagerung kommt.

Aus der Verknüpfung dieser beiden Regeln wurde eine Schneedeckungskarte angefertigt (Abbildung 3). Eine Plausibilitätsüberprüfung dieses Regelwerkes konnte über die vorliegenden Luftaufnahmen durchgeführt werden. Diese zeigen die Stützwirke im Bereich von (1) komplett schneefrei. Darüber hinaus lassen sich die schneefreien Felsrippen unterhalb der Trögschulter ebenfalls klar erkennen (2).

Die Frage, unter welchen Bedingungen eine Lawine Schnee aufnehmen kann, wurde in Ermangelung von Meßdaten über folgendes Prinzip gelöst. Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß eine Lawine eine Mindestgröße überschreiten muß, um Schnee aufnehmen zu können. Diese Größe wurde über einen Massenschwellenwert festgelegt. Übersteigt die Masse einer Lawine auf einem Geländepunkt diesen Wert, kann sie den dort abgelagerten Schnee aufnehmen. Erste Tests zeigen, daß dieser Schwellenwert ein äußerst kritischer Einflußfaktor für das Verhalten einer Lawine ist. Ein sehr schmaler Bereich entscheidet darüber, ob eine Lawine am Hang „verhungert“ oder, ob sie Schnee aufnimmt und so an Fähigkeit gewinnt, Schnee aufzunehmen. Diese positiven Rückkoppelungsprozesse erscheinen nicht unbedingt unplausibel, zeigen aber, wie sehr die Lawinensimulation ein Anfangswertproblem ist. Mindestens genauso relevant wie die korrekte Beschreibung des Abganges einer Lawine unter bekannten Bedingungen ist die Beantwortung der Frage, welche Be-

dingungen im Anbruchgebiet und in der Sturzbahn herrschen, und welche Prozesse tatsächlich zum Tragen kommen.

Die hier gezeigten Simulationsergebnisse der Katastrophenlawine von Galtür sind daher als „best fit“ für dieses Anfangswertproblem zu sehen. Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen den simulierten Ablauf des Katastrophenereignisses von Galtür beziehungsweise die simulierten Maximalfließhöhen und den kartierten Wirkungsbereich der Katastrophenlawine.

3.2. Valzur

Das Ereignis von Valzur hatte eine grundsätzlich andere Dynamik. Während es sich bei der Lawine von Galtür um eine Flächenlawine handelte war die Lawine von Valzur stark kanalisiert (Abbildung 7). Das Längsprofil der Lawine ist deutlich flacher (Abbildung 6). Die Sturzbahn schlängelt sich wie eine Bobbahn um sich schließlich am Schwemmkegelhals aufzuweiten.

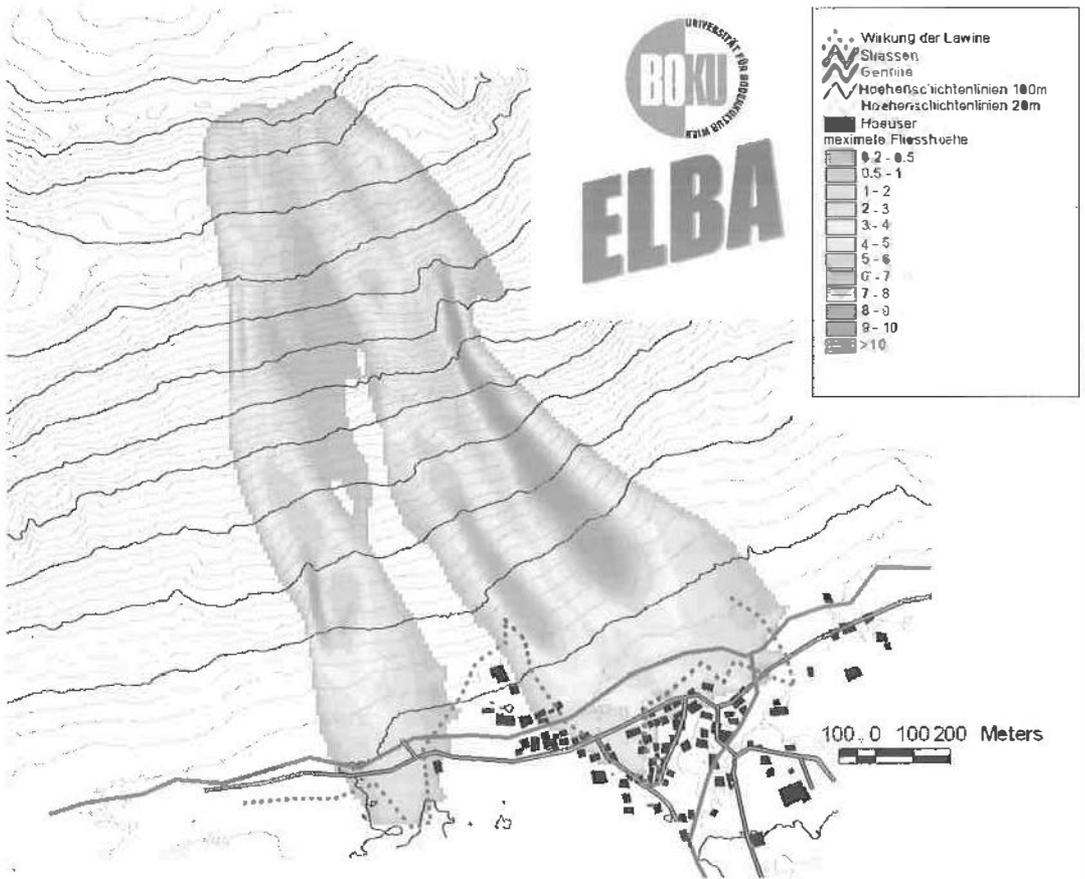


Abb. 5: simulierte Maximalfließhöhen des Ereignisses von Galtür

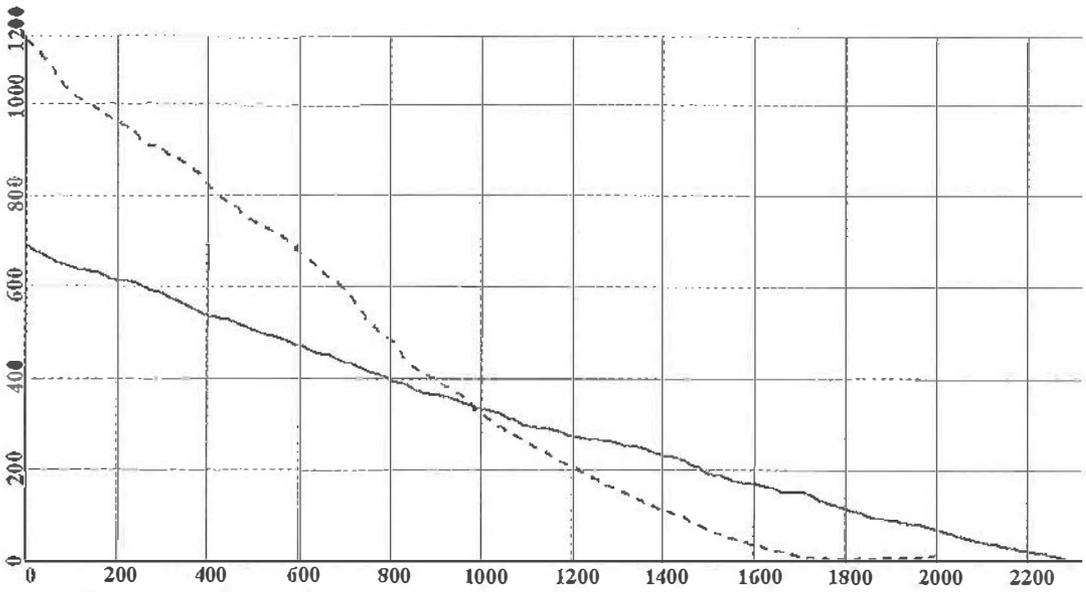


Abb. 6: Vergleich der Längsprofile der Lawinen von Galtür (strichlierte Linie) und Valzur (durchgezogene Linie)

An dieser Stelle lenkt ein kleiner natürlicher Damm Lawinen geringerer Größe auf die orographisch linke Seite ab. Im Falle des Katastropheneignisses vom Februar 1999 hat dieser Damm aufgrund der großen Geschwindigkeit und Fließhöhe der Lawine nicht gewirkt. Erschwerend dürfte hinzugekommen sein, daß die Hauptachse der Lawine aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit knapp vor dem Schwemmkegelhals etwas auf die orographisch linke Seite

verschoben war und so der Damm von einem Großteil der Lawine umströmt wurde. Die einzelnen Varianten der Simulationsrechnungen (Abbildung 7) spiegeln diese Phänomenologie wieder. Kleine, langsame Lawinen werden durch den Damm nach Osten abgedrängt, während große Ereignisse durch diesen nicht sehr stark beeinflusst werden.

Die Anwendung des Lawinenmodells ELBA auf die Datensätze von Galtür und Valzur zeigte, daß

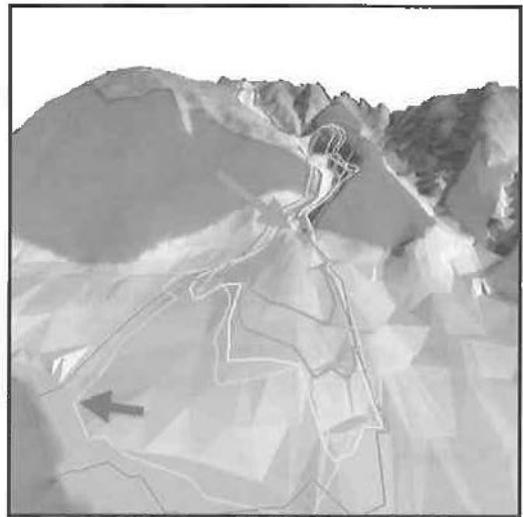
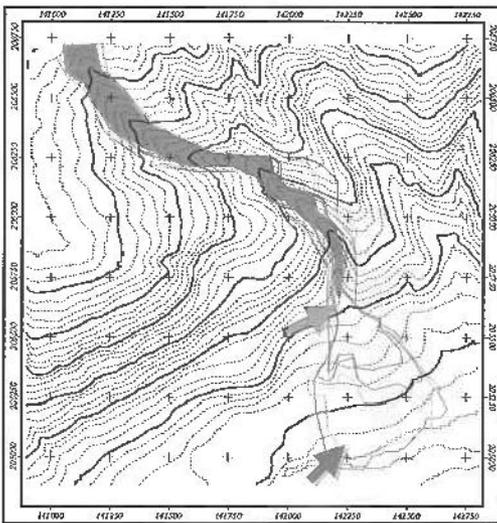


Abb. 7: Ausbreitung unterschiedlicher Varianten von Lawinensimulationen für den Lawenstrich von Valzur; die blauen Pfeile zeigen den Standort der zerstörten Häuser an. Kleinere Ereignisse werden durch einen natürlichen Damm am Schwemmkegelhals (rote Pfeile) auf die orographisch linke Seite abgedrängt. (DTM aus Schichtenlinien des BEV)

dieses Modell Lawinen von äußerst unterschiedlichem Typ unter Verwendung plausibler Eingangsdaten darstellen kann. Der simulierte Ablauf beider Lawinen entsprach in weiten Bereichen den Beobachtungen.

4. Digitale Geländemodelle

Wie bereits oben erwähnt, ist eine ausreichend genaue Repräsentation der tatsächlichen Geländeoberfläche für eine realistische Simulation des Ausbreitungsverhaltens einer Lawine essentiell. Es stellt sich daher die Frage nach adäquaten Methoden der Höhenmodellerstellung. Die Anwendung von ELBA auf die Daten von Galtür und Valzur zeigen, daß diese Frage differenziert zu betrachten ist. In Galtür wurde für erste Simulationsrechnungen ein DTM aus vektorisierten Schichtenlinien des BEV erstellt. Die Simulationen unter Verwendung dieses Geländemodells ergaben ein durchaus realistisches Ausbreitungsverhalten der Lawine in den steilen Hangbereichen. In der flachen Auslaufzone im Talbereich war die Geländeinformation aus den Schichtenlinien aber nicht ausreichend und führten zu unrealistischen Ausbreitungsmustern. In einem zweiten Simulationslauf wurde ein unter Verwendung der Software Match-T (Fa. INPHO GmbH, Stuttgart) erstelltes Höhenmodell angewandt. Der mittlere Punktabstand der Höheninformationen betrug etwa 5m. Besonders im Talbereich waren die Simulationsergebnisse von deutlich höherer Qualität und die Ausbreitung der Lawine entsprach auch dort den beobachteten Verhältnissen.

Für die Lawine von Valzur lag nur ein aus Schichtenlinien generiertes Geländemodell vor. Da aber das Relief in diesem Bereich deutlich ausgeprägter ist, konnte auch mit diesen Geländeinformationen der Lawinenabgang weitgehend realistisch nachvollzogen werden.

Höhenmodelle aus Schichtenlinien sind überall dort einsetzbar, wo ihr Informationsgehalt über das wahre Gelände durch Steilheit oder durch ausgeprägtes Relief groß ist. In flachen Bereichen führt eine Interpolation zwischen den Höhenschichtlinien oft zu Fehlern im Geländemodell.

5. Ausblick

Derzeit wird das Modell ELBA in einem Großversuch auf den 140 wichtigsten Lawenstrichen in Österreich angewendet, kalibriert und evaluiert. Erste Ergebnisse zeigen, daß in einem sehr hohen Prozentsatz die Ausbreitung der si-

mulierten Lawinen mit den beobachteten Lawinen übereinstimmt.

Größtes Problem bei der Lawinensimulation ist die Abschätzung der Anfangsbedingungen, wie Größe und Mächtigkeit des abbrechenden Schneebretts oder Menge des erodierbaren Schnees. Glücklicherweise konnte 3 Tage nach den Katastrophenergebnissen von Galtür und Valzur ein Bildflug vom Paznaun-, Kauner- und Stanzertal sowie von weiten Bereichen Vorarlbergs durchgeführt werden und somit einige hundert Lawinenabgänge dokumentiert werden. Für die zeitlich sehr genau eingrenzenden Lawinenabgänge können somit die Schneebedingungen aus den Luftbildern und aus der Analyse der meteorologischen Daten sehr genau nachvollzogen werden. Es besteht somit die einmalige Möglichkeit, die Anfangsbedingungen der Lawinen detailliert einzugrenzen und Lawinenmodelle zu evaluieren. Aus der Synopsis des gesammelten Datenmaterials und nachvollziehenden Modellrechnungen lassen sich substantiell neue Aufschlüsse für die Abschätzung des Verhaltens von Lawinen erwarten. Langfristiges Ziel der Lawinenforschung an der BOKU ist eine Integration von Abbruch- und Auslaufprognose, um eine explizite Gefahrenflächenausweisung für bestimmte Wettersituationen zu ermöglichen.

Literatur

- [1] *Föhn, P.M.B.* (1998): An overview of avalanche forecasting models and methods, in Hestnes E. (ed.): 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12 - 16 May - 1998, Norwegian Geotechnical Institute Publication Nr. 203, 19-27
- [2] *Harbitz, C.B., Issler, D. and Keylock, C.J.* (1998): Conclusions from a recent survey of avalanche computational models, in Hestnes E. (ed.): 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12 - 16 May - 1998, Norwegian Geotechnical Institute Publication Nr. 203, 128-135
- [3] *Hopt, J.* (1998): An overview of hazard zoning with special reference to avalanches, 25 years of experience and results in Austria, in Hestnes E. (ed.): 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12 - 16 May - 1998, Norwegian Geotechnical Institute Publication Nr. 203, 28-35
- [4] *Kleemayr, K. und Moser, A.* (1998): NAFT - New Avalanche Forecasting Technologies (Neue Lawinenprognosemodelle), Forschung im Verbund, Schriftenreihe Band 40
- [5] *Lied, K.* (1998): Snow avalanche experience through 25 years at NGI, in Hestnes E. (ed.): 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss 12 - 16 May - 1998, Norwegian Geotechnical Institute Publication Nr. 203, 7-14
- [6] *Voellmy A.* (1955): Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauzeitung, 73, 159-165, 212-217, 248-249, 280-285

Anschrift der Autoren:

Dipl.Ing. Gerhard Volk, Boku-Zentrum für Geoinformationssysteme, Universität für Bodenkultur, Borkowkgasse 3, 1190 Wien, email: volk@edv1.boku.ac.at
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr. Karl Kleemayr, Institut für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 82, 1190 Wien, email: klee@edv1.boku.ac.at