Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 138 (1987)

Heft: 8

Artikel: Staublawinen : Labormessungen und Berechnungen

Autor: Hermann, Felix / Hutter, Kolumban

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766064

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: 09.07.2025

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

Staublawinen
Labormessungen und Berechnungen

Von *Felix Hermann* und *Kolumban Hutter* Oxf.: 116.12:423.5
(Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETHZ, CH-8092 Zürich)

Staublawinen werden als turbulente Strömung von Polyesterpartikeln entlang einer in stehendes Wasser getauchten Schussrinne labormässig modelliert. Ultraschall-Doppler-Methoden gestatten, die Partikelgeschwindigkeiten und -dichten zu messen und die mathematischen Modelle auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Das Forschungsprojekt soll dem Praktiker Entscheidungsgrundlagen bereitstellen, die ihm helfen sollen, zum Beispiel Schutzmassnahmen zu konzipieren.

Einleitung

Die neuesten Sanasilva-Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Zustand der Wälder stetig verschlechtert. Vor allem die Bergkantone sind darüber äusserst beunruhigt. Dies zu Recht, sind doch die Wälder der beste Schutz gegen Naturgewalten, denen die Menschen im Gebirge besonders ausgesetzt sind. Gerade die Lawinenforschung ist von dieser Entwicklung betroffen, da die örtliche Lawinengefahr vom Zustand des Waldes abhängig ist. Wenn der Wald geschwächt ist, erhöht sich zwangsläufig die Möglichkeit von grossen Lawinenniedergängen. Lawinen werden grob in zwei Klassen eingeteilt: Fliess- und Staublawinen. Während die ersteren einigermassen erforscht sind, ist bislang über Staublawinen noch nicht viel geschrieben worden. Das liegt vor allem daran, dass Staublawinen viel seltener auftreten und auch nicht gezielt «hergestellt» werden können. Wenn aber Staublawinen auftreten, sind es meistens Lawinen enormen Ausmasses mit entsprechender Zerstörungskraft. Im Gegensatz zu den Fliesslawinen, die sich meistens an ein Tobel oder an eine Runse halten, folgen Staublawinen der grössten Neigung (*Abbildung 1*). Sie können daher auch Siedlungen und Verkehrswege bedrohen, die weit abseits der bekannten Lawinenrunsen liegen und vor allem von den Bannwäldern geschützt werden.

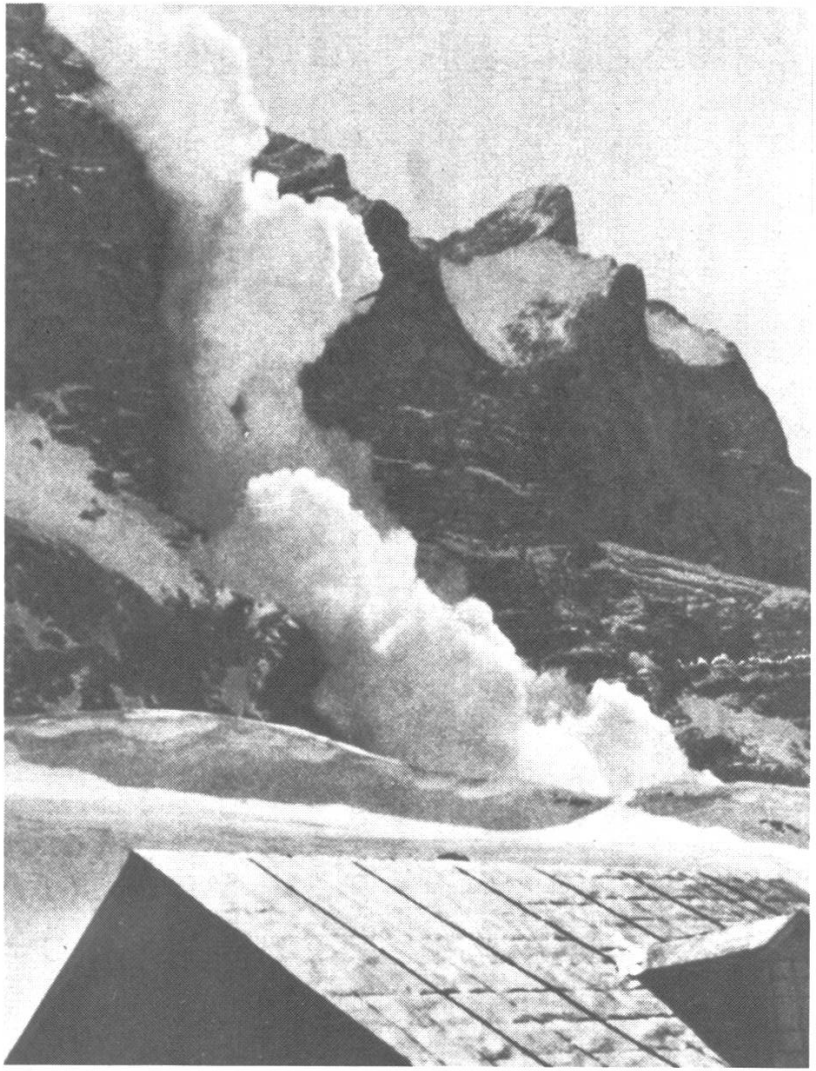

Abbildung 1. Reale Staublawine am Wetterhorn. Man beachte, wie die Lawine direkt in der Fallinie fliesst, ohne von der Topographie des Geländes wesentlich beeinflusst zu werden.

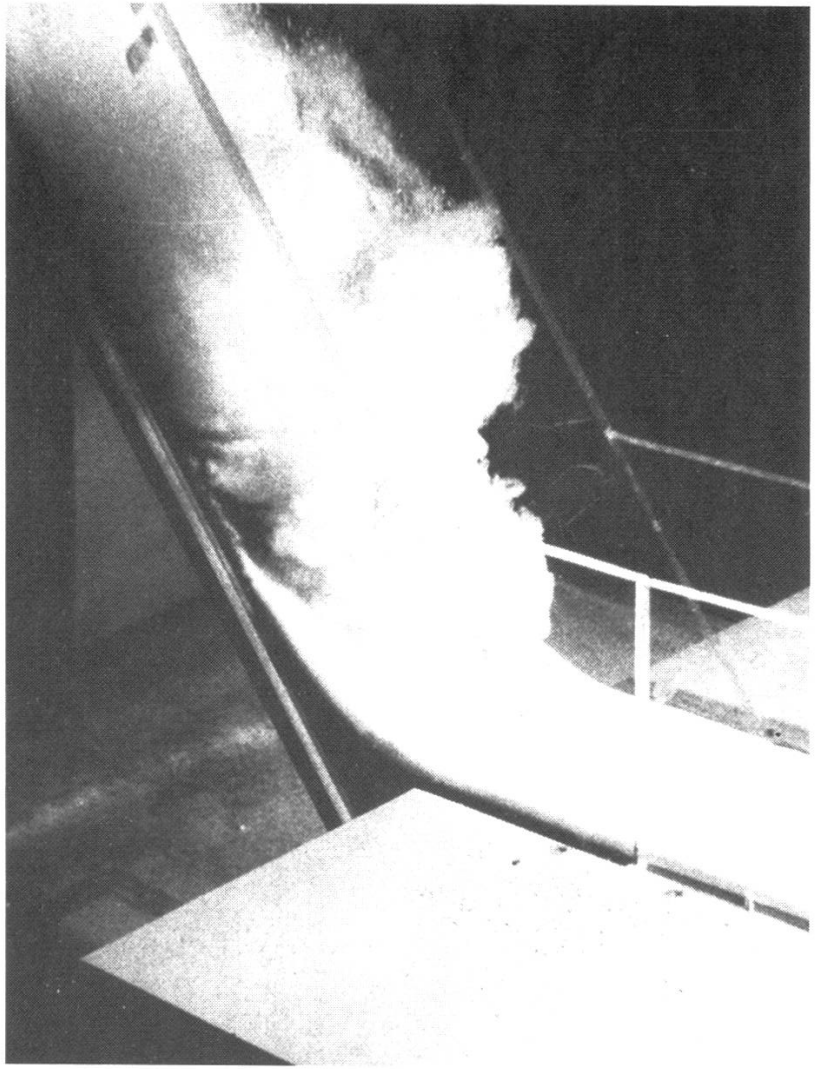

Abbildung 2. Eine Laborstaublawine aus Polyesterpulver in einem Wassertank. Die Ähnlichkeit zur Lawine in *Abbildung 1* ist frappant. Die Verkleinerung ist etwa 1000 : 1.

Werden letztere in ihrer Funktion geschwächt, wird die Erforschung der Staublawinen zu einer vordringlichen Aufgabe.

Zur Herstellung von «Gefahrenkatastern» sowie zur Erfassung der in Staublawinen auftretenden Geschwindigkeits- und Druckverteilungen sind Detailstudien an Staublawinen unerlässlich. Letztere sind jedoch gross, äusserst schnell und heimtückisch (siehe *Tabelle 1* bezüglich eines Vergleichs der typischen Grössen von Fliess- und Staublawinen). Insbesondere ihr Entstehungsmechanismus aus Fliesslawinen ist noch ungeklärt. Aus diesen Gründen verschliessen sich Staublawinen der Feldmessung. Laboruntersuchungen (quasi «Sandkastenmodelle») sowie mathematisch-numerische Modelle müssen an ihre Stelle treten. Diesem Zweck dient ein an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) laufendes Projekt, das vom Schweizerischen Nationalfonds und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (EISLF) unterstützt wird. Im folgenden soll über diese Forschung berichtet werden.

Tabelle 1. Vergleich der typischen Grössen von Fliess- und Staublawinen.

	Fliesslawine	*Staublawine*
Geschwindigkeit	30... 60 m/s	50...100 m/s
Fliesshöhe	5... 10 m	etwa 100 m
Dichte	100...300 kg/m³	etwa 5 kg/m³
topographische Effekte	wesentlich	unwichtig

Mathematische Modelle

Um das Phänomen «Staublawinen» zu ergründen, werden zwei verschiedene Wege beschritten. Einerseits wird von allgemeinen mechanischen Prinzipien ausgehend versucht, ein mathematisch-physikalisches Modell aufzustellen. Dieses gestattet, die Geschwindigkeiten der Luft und des Schnees sowie die lokalen Schneekonzentrationen in der Lawine zu bestimmen. Andererseits werden diese Grössen in Laborstaublawinen gemessen; davon aber später. Seit den fünfziger Jahren sind laufend theoretische Modelle entstanden, die aber alle an der gleichen «Krankheit» leiden. Sie alle betrachten Staublawinen als sogenannte Einphasenströmungen, das heisst, man entwirft einen einzigen Satz von Gleichungen, die das Gemisch aus Schnee und Luft als Ganzes beschreiben. Der Vorteil davon ist, dass die Rechnungen nicht allzu schwierig werden; das bezahlt man aber mit vielen Einschränkungen, die mit den Beobachtungen nicht übereinstimmen. So erfassen die in diesen «hydraulischen» Modellen eingeführten Reibungsbeiwerte die Bodenreibung, die Turbulenz und den aerody-

namischen Widerstand in summarischer Weise. Fliess- und Staublawinen werden also mit dem gleichen mathematischen Modell gerechnet, obwohl sie physikalisch unterschiedlich sind. Parameter müssen demnach von Fall zu Fall angepasst werden; die Modelle verlieren den allgemeingültigen Charakter. Die Folge ist eine ungenaue, grossen Streuungen unterworfene Vorhersage von interessierenden Grössen wie Auslaufdistanzen usw. Desgleichen gestatten diese Modelle nicht, die Schneesetzungsverteilung im Auslaufbereich abzuschätzen oder den bekannten Windschlag zu modellieren.

Es bestand also genügend Grund, ein neues Modell zu entwerfen. Dieses besteht aus zwei Sätzen von Gleichungen, je einen für die Luft und einen für den Schnee. Hinzu kommen Aussagen über deren Wechselwirkung. Eine solche ist beispielsweise die Reibung des Schnees an der Luft. Eine zweite ist die Turbulenz, welche das Mass der Verwirbelung des Schnees in der Lawine beschreibt. Die Dimension und die Strömungsart der Lawine werden von dieser Turbulenz beeinflusst.

Von diesem Modell verspricht man sich eine qualitativ angemessene Berechnung praktisch wichtiger Grössen. Absetzvorgänge können zwangslos eingefügt werden, und der Auslauf von Lawinen ist prinzipiell berechenbar. Zudem: Während bei den älteren Modellen die Gleichungen an die Lawinen anzupassen waren und die typischen Parameter von der Grösse der Lawine abhingen, bleiben die Gleichungen bei diesem Modell unverändert. Die Grösse der Lawine erscheint als Randbedingung. Natürlich erheischen Rechnungen mit einem solchen Modell einen beträchtlichen Computeraufwand, der weit grösser ist, als dies bei den einfacheren Theorien nötig war. Sie dienen aber der Bereitstellung von handlichen und einfachen Formeln, die der Praktiker gebrauchen kann.

Notwendigkeit der Überprüfung des theoretischen Konzeptes

Fast jedes mathematische Modell, das einen physikalischen Aspekt beschreibt, enthält «frei wählbare» Parameter, welche anhand von Messungen bestimmt werden müssen. Neben der Eichung eines Modells an sich schafft eine Überprüfung an Messdaten und Beobachtungen aber auch das unerlässliche Vertrauen, das einer Prognostizierung vorangestellt werden muss.

Messungen *in situ* sind, wie bereits erwähnt, problematisch. Man möchte nämlich nicht nur die Frontgeschwindigkeit messen, sondern auch Geschwindigkeits- und Dichteprofile des Schnees sowie der Luft. Aus diesen lässt sich dann das Druckprofil ermitteln. Für Fliesslawinen werden vom EISLF hierfür Radar-Doppler-Methoden eingesetzt. Eine Anwendung auf Staublawinen ist jedoch nicht ohne weiteres gegeben. Einen anderen Weg haben die norwegischen Lawinenforscher eingeschlagen. Sie haben in einem Lawinenzug in ver-

schiedenen Höhen über Boden Druck- und Zugsensoren eingebaut. Damit erhalten sie Information über den Fliess- und den Staubanteil, sofern letzterer auch vorhanden ist. Der Nachteil dieser Anlage ist, dass pro Winter nur mit 4 bis 6 Lawinen zu rechnen ist, und mit Glück befindet sich unter diesen vielleicht auch eine Staublawine. Gerade wenn man darauf angewiesen ist, mit vielen Messungen ein theoretisches Modell auf seine Tauglichkeit hin zu prüfen, macht sich die Seltenheit von Staublawinen einschränkend bemerkbar.

Labor-Staublawinen

Die Simulation von Staublawinen im Labor ist also ein zwangsläufiges Bedürfnis. Sie ermöglicht es, eine beliebige Anzahl von kontrollierten, reproduzierbaren Modellawinen im Kleinmassstab (etwa 1:1000) gefahrenlos zu erzeugen. Dies ist gelungen. Die Idee war, die Luft durch Wasser und den Schnee durch Plastikpartikel zu ersetzen (*Abbildungen 2* und *3*). Viele Versuche mit einer grossen Anzahl von verschiedensten Pulvern waren nötig, bis das Poly-

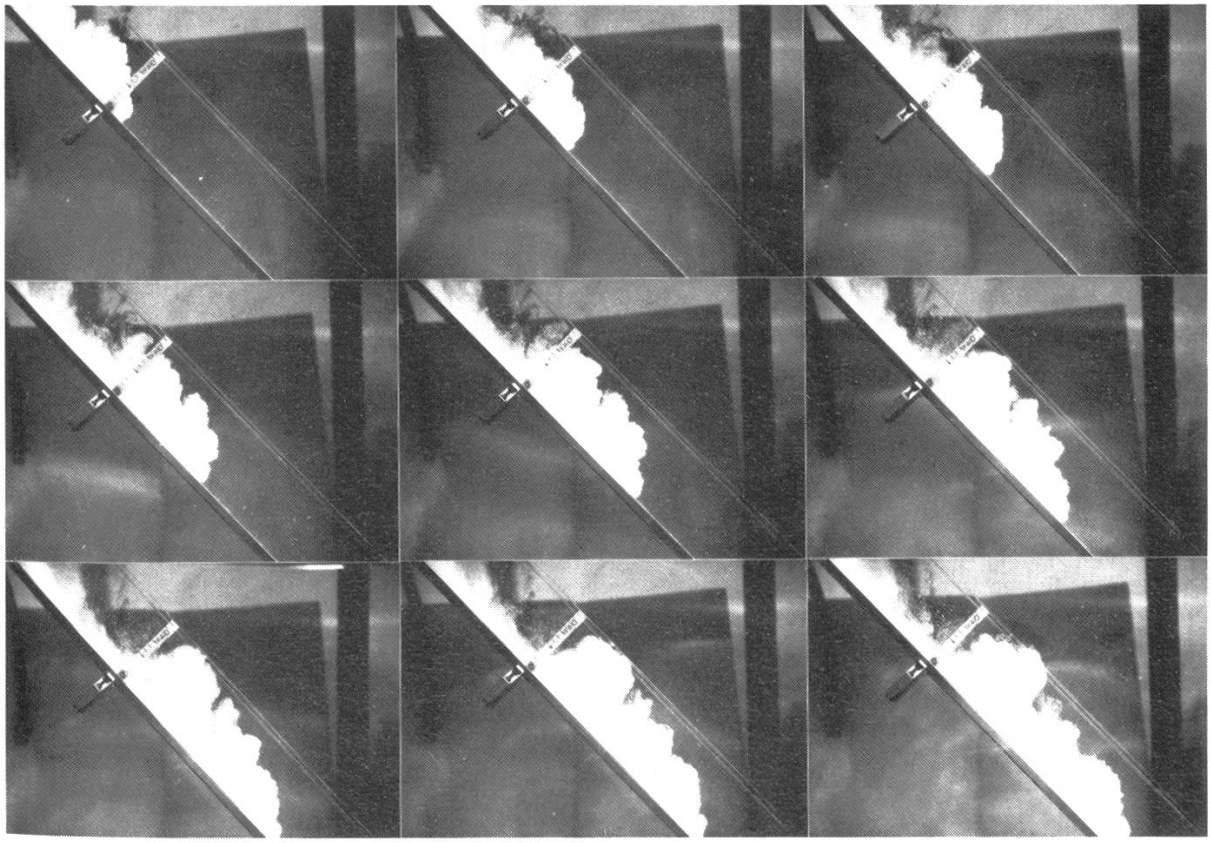

Abbildung 3. Neun Phasen einer niedergehenden Laborstaublawine. Der dunkle Stoff ist ein Färbemittel, das eingegeben wurde, um die Bewegung des Wassers sichtbar zu machen. Die Lawine wird in Kopf und Lawinenkörper unterteilt. Die Grenze zwischen Kopf und Körper verläuft in der Aufnahme links unten an der Stelle des Messbandes. Die *Abbildungen 5* und *6* beziehen sich auf den Körper, die *Abbildungen 7* bis *9* auf den Kopf.

esterpulver mit Dichte 1,25 g/cm³ und Korngrösse zwischen 0,2 und 0,4 mm gefunden war, das den Modellschnee für unsere Laborstaublawinen bildete. Ein entscheidendes Problem hierbei ist natürlich die Übertragbarkeit der Resultate vom handlichen Kleinmodell auf die Natur. Dies ist die Frage der Modellähnlichkeit. Rein theoretisch ist sie gegeben, falls bestimmte Grössen (zum Beispiel das Verhältnis von Fliessgeschwindigkeit und Absetzgeschwindigkeit) bei der Abbildung von der Natur auf das Modell invariant bleiben. Nun ist es aber so, dass sich in der Praxis nur ein Teil dieser von der Theorie verlangten Invarianten unverändert auf die Versuche in Modelldimensionen übertragen lassen. Man hat sich notgedrungen zu beschränken und bildet nur jene Invarianten unverändert ins Modell ab, welche den zu beschreibenden physikalischen Prozess dominant beeinflussen. Erfahrung, durch Tradition an der VAW seit mehr als 50 Jahren vorhanden, ist hierbei von grosser Hilfe.

Zur Nachbildung der Absetzvorgänge ist es nötig, das Verhältnis der Geschwindigkeiten der Schneepartikel entlang bzw. senkrecht zum Hang konstant zu halten. Die wesentlichen Kräfte sind Gravitation und Trägheit sowie die Reibung der Luft an den Schneepartikeln. Von untergeordneter Bedeutung ist bei stark turbulenten Vorgängen die molekulare Zähigkeit der Luft. Schliesslich ist es aus rein anschaulichen Gründen von Vorteil, die Natur geometrisch ähnlich abzubilden. Diese Überlegungen führten auf ein Froudesches Modell, so genannt, weil die sogenannte Froudesche Zahl die dominante Invariante darstellt. *Tabelle 2* gibt Auskunft über verschiedene Grössen in Natur und Modell.

Abbildung 4 zeigt eine Darstellung der Versuchsanlage. In einem Wassertank (5 x 4 x 2 m) mit Glasfront ist eine 3 m lange Schussrinne montiert, die zwischen 0 und 90 Grad beliebig neigbar ist. Eine spezielle Apparatur mischt Labor-

Tabelle 2. Verschiedene Grössen in Natur und Modell.

	Natur	*Labor*
Geschwindigkeit U	100 m/s	0,1 m/s
Fliesshöhe H	100 m	0,1 m
Sinkgeschwindigkeit der Partikel W	1 m/s	0,001 m/s
Dichte der flüssigen Phase	1 kg/m³	1000 kg/m³
Dichte der festen Phase	917 kg/m³	1250 kg/m³
Volumenanteil der festen Phase	0,005	0,005
Viskosität der flüssigen Phase	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$ m²/s	10^{-6} m²/s
relativer Dichteunterschied	etwa 4	etwa 0.002
Reynoldzahl	10^8	10^4
Geschwindigkeitsquotient U/W	100	100
Froudezahl	etwa 5	etwa 5
Neigung	25...50°	0...90°

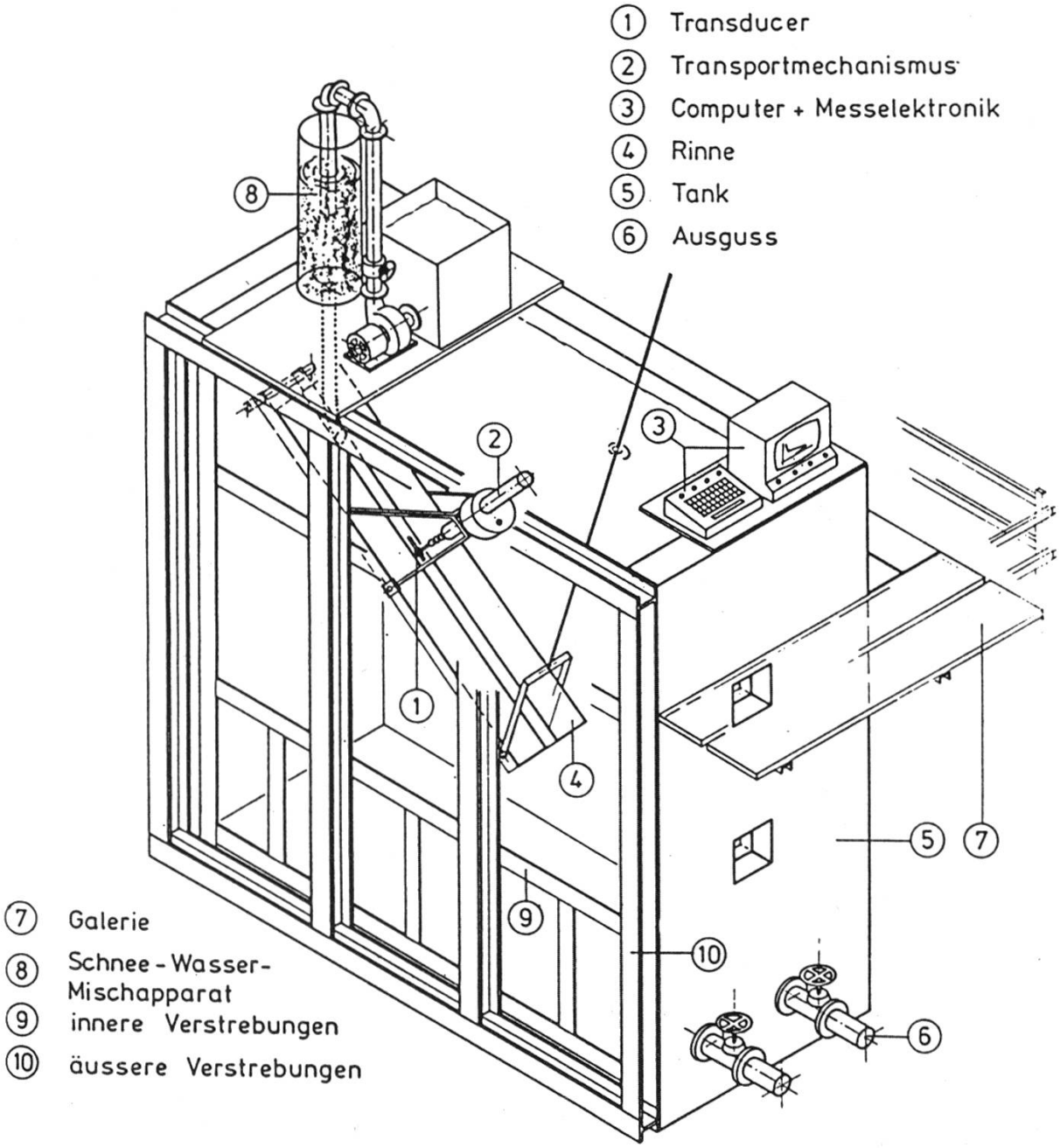

Abbildung 4. Schematische Darstellung der Versuchsanlage zum Ausmessen von Laborstaublawinen.

schnee und Wasser in einer bestimmten Konzentration und sorgt für einen konstanten Ausfluss dieses Gemisches in die Rinne. Dieses bildet eine im Wasser suspendierte Partikelwolke mit einem ausgeprägten Kopf und einem Lawinenkörper. Mit an der Rinne befestigten Geräten werden Geschwindigkeits- und Dichteprofile des Partikelstromes festgehalten.

Um den Verlauf der Lawine entlang der Rinne zu erfassen, sind zwei Messpositionen definiert worden. Position 1 befindet sich 1,5 m vom Einlass entfernt, Position 2 liegt 50 cm weiter stromabwärts. Gemessen wird mit einem scharf gebündelten Ultraschallstrahl (US-Strahl). Ein Transducer sendet kurze

US-Impulse aus, die von den Partikeln reflektiert werden. Die Auswertung des Echos nach Frequenz und Amplitude führt direkt auf Geschwindigkeit und Dichte. Ein Schrittmotor führt den Transducer senkrecht auf die Strömungsrichtung durch die Lawine hoch, so dass pro Lawine 16 verschiedene Messwerte auf verschiedenen Höhen gewonnen werden. Die gemessenen Werte werden in einem Computer in Geschwindigkeiten und Dichten umgerechnet und abgespeichert.

Die soeben beschriebene Ultraschalltechnik ist nicht neu. Sie wird am Institut für Biomedizinische Technik der ETH unter der Leitung von Prof. M. Anliker zur Messung von Blutströmen verwendet. Unsere eigene Messeinrichtung entstand denn auch in verdankenswerter Weise durch Beizug von Know-how und Geräten dieses Institutes. Fliesslawinen *in situ* und sogar Autolawinen werden ebenfalls nach diesem Prinzip erfasst, dabei werden anstelle von US-Wellen Radarwellen benutzt.

Mit der vorhandenen Messeinrichtung lassen sich Vorgänge im Lawinenkörper erfassen, die mindestens über eine gewisse Zeit (nämlich so lange, wie die Messung dauert) konstant sind. Zurzeit wird eine neue Anlage erarbeitet, mit welcher auch zeitlich variable Vorgänge zugänglich sind.

Einige Ergebnisse

Die *Abbildungen 5* und *6* halten einige gemessene Geschwindigkeits- und Dichteprofile von Laborstaublawinen fest und vergleichen sie mit den entsprechenden Rechnungen. *Abbildung 5* zeigt eine Gerinneneigung von 30 Grad, *Abbildung 6* eine solche von 45 Grad. Auf jeder Abbildung sind die beiden oben erwähnten Positionen vermerkt. Der Leser möge anhand der Bilder die folgenden Schlüsse nachvollziehen.

Es fällt auf, dass bei 30 Grad Neigung die Geschwindigkeit rinnenabwärts abnimmt und sich gleichzeitig das Dichtemaximum zum Boden hin bewegt. Bei 45 Grad verhält es sich umgekehrt: Die Geschwindigkeit wächst hangabwärts an, und das Dichtemaximum verbreitert sich. Offenbar ist bei dreissig Grad der Absetzungsprozess stärker als der Aufwirbelungsprozess, bei grösseren Neigungen überwiegt dann letzterer. Daraus lässt sich schliessen, dass Staublawinen nur bei gewissen Hangneigungen existieren können. Sollte aus irgendwelchen Gründen (wobei diese noch zu erforschen sind) bei zu flachen Hängen durch Wirbelbildung eine Tendenz zur Formation von Staublawinen bestehen, so wird diese Wirbelbildung durch das Absetzen des Schnees unterdrückt. Umgekehrt wird in zu steilen Hängen die Lawine regelrecht verwirbelt und so verdünnt, dass sie ihre Energie verliert. Das entspricht durchaus den Beobachtungen von Förstern und Bergführern. Natürlich hängt dieser optimale Winkel von der Sinkgeschwindigkeit des Schnees ab. Je grösser diese ist, desto grösser

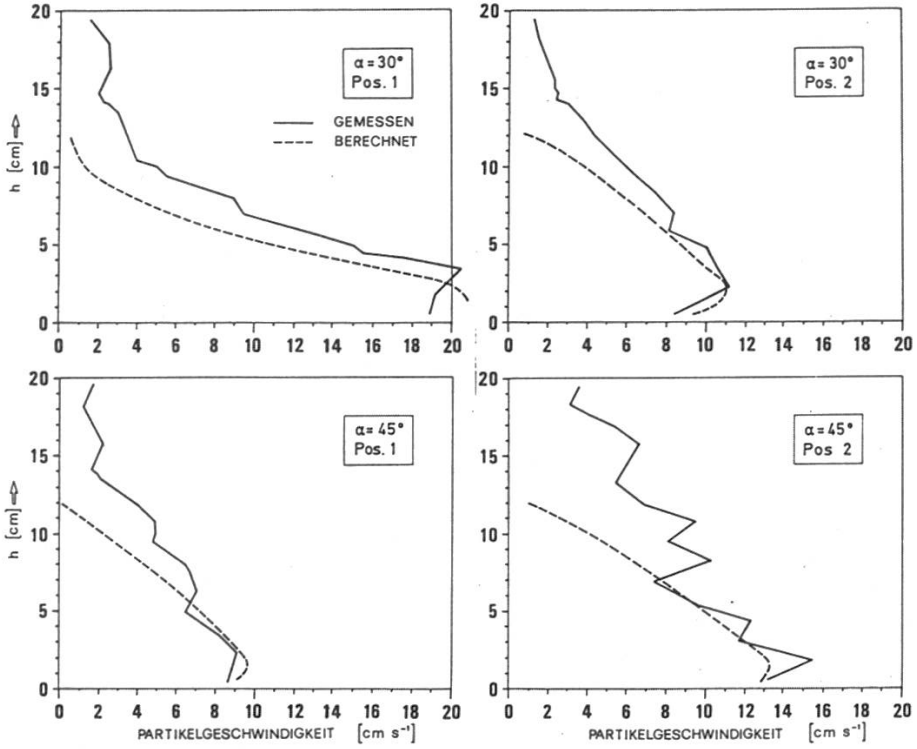

Abbildung 5. Geschwindigkeitsprofile durch einen Lawinenkörper bei zwei verschiedenen Neigungen und an den im Text erwähnten Messpositionen. In den Diagrammen ist unten (h = 0) der Rinnenboden und oben (h = 20) der freie Rand der Lawine.

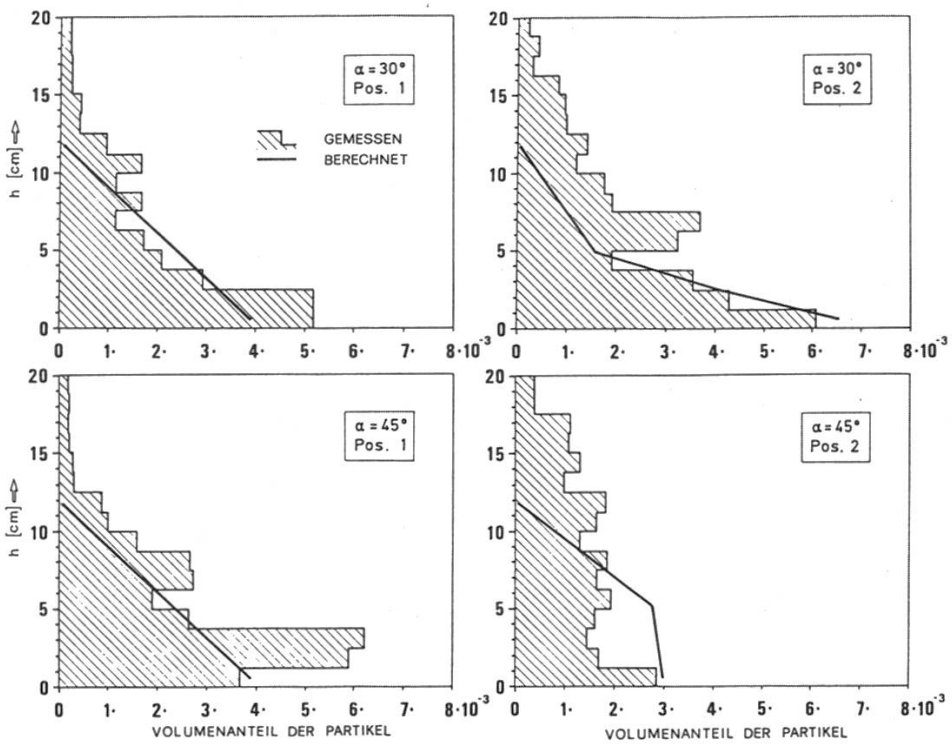

Abbildung 6. Dichteprofile aus den gleichen Messungen wie *Abbildung 5.*

ist auch der optimale Winkel. Eislawinen entwickeln sich deshalb vor allem bei grosser Steilheit zu Staublawinen, wie viele spektakuläre Bilder dokumentieren.

In jüngster Zeit sind Versuche unternommen worden, auch die sehr turbulente Lawinenfront messtechnisch zu erfassen. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass sich zwar die einzelnen Lawinenfronten zeitlich verändern, sich untereinander aber gleichen, wenn die Anfangsbedingungen der Lawine konstant gehalten werden. Durch eine einfache Umstellung der Messanlage liessen sich «Längsschnitte» durch die Lawinenfront machen, die je nach Wunsch die Information über Dichte oder Geschwindigkeit enthalten. Natürlich erfordert dieses Verfahren seinen Preis, bestehend in einer drastischen Erhöhung der pro ausgemessenem Lawinenkopf benötigten, identisch durchgeführten Versuche. So waren für einen Längsschnitt nicht weniger als 56 Wiederholungen nötig. *Abbildungen 7* und *8* zeigen nun einen solchen Längsschnitt: *Abbildung 7* ist der Dichte, *Abbildung 8* der Geschwindigkeit zugeordnet. Die verschieden geschwärzten Felder entsprechen den verschiedenen Dichten bzw. Geschwindigkeiten, wie sie in der Legende angegeben sind. Auf dem Dichteschnitt lässt sich die Lawinenfront sehr schön erkennen, markiert durch den abrupten Dichtesprung. Diese Front ist auf dem Geschwindigkeitsschnitt in einer Linie markiert. Es fällt nun sofort auf, dass schon vor der Dichtefront Geschwindigkeiten registriert werden. Es scheint also, dass auf diese Weise eine Druckwelle, die vor der Lawine herläuft, sichtbar geworden ist. *Abbildung 9* zeigt die gleiche Lawine, wobei die Dichte (oben) und die Geschwindigkeit (unten) dreidimensional dargestellt werden. Hinten wäre der Boden der Rinne, vorne der freie Rand der Lawine, während die Fliessrichtung durch den Pfeil angegeben ist. Das «Gebirge» entspricht der Dichte bzw. der Geschwindigkeit. Das Dichtebild zeigt schön den oben erwähnten Dichtesprung, aber auch, dass in den bodennahen Regionen der Lawine viel höhere Dichten auftreten als in höheren Schichten. Wieder ist die Dichtefront im Geschwindigkeitsbild als schwarze Linie markiert, um die Druckwelle zu zeigen. Sie lässt sich vor allem in den bodennahen Schichten der Lawine gut erkennen.

Ausblick

Während sich die Anstrengungen bis anhin auf den Nachweis der Machbarkeit von Staublawinen im Modell konzentrierten, sollen zukünftige Anstrengungen auf praxisorientierte Fragestellungen ausgerichtet sein. So ist es zum Beispiel wichtig, die Laufdistanz sowie den instationären Absetzmechanismus des Schnees in den Griff zu bekommen *(Abbildung 10)*. Dann sind Strömungsvorgänge um Hindernisse und die seitliche Ausbreitung des Schnees in der Auslaufzone zu studieren. Zu diesem Zwecke wird in die bestehende Versuchsanlage eine Auslaufstrecke eingebaut, und die Messanlage wird erweitert. Gerade

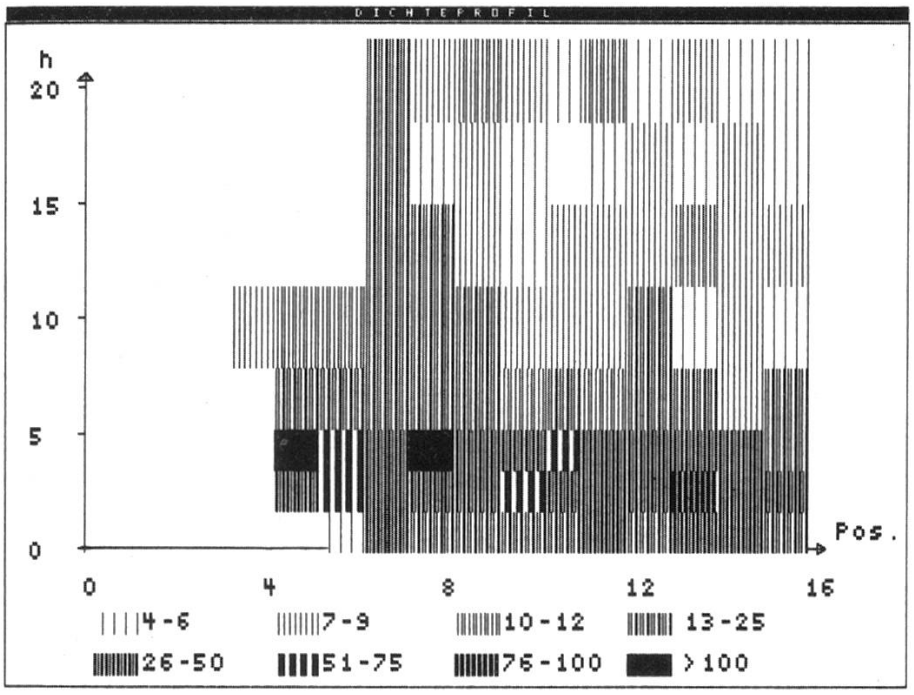

Abbildung 7. Dichte-«Längsschnitt» durch den Kopf einer Laborstaublawine. Anhand des abrupten Dichtesprunges kann man die Lawinenfront gut erkennen. Weiter ist zu sehen, dass die grössten Dichten in den bodennahen Schichten auftreten. Die Höhe ist in cm, die Dichte in Zehntelsgramm Pulver pro Liter Wasser angegeben.

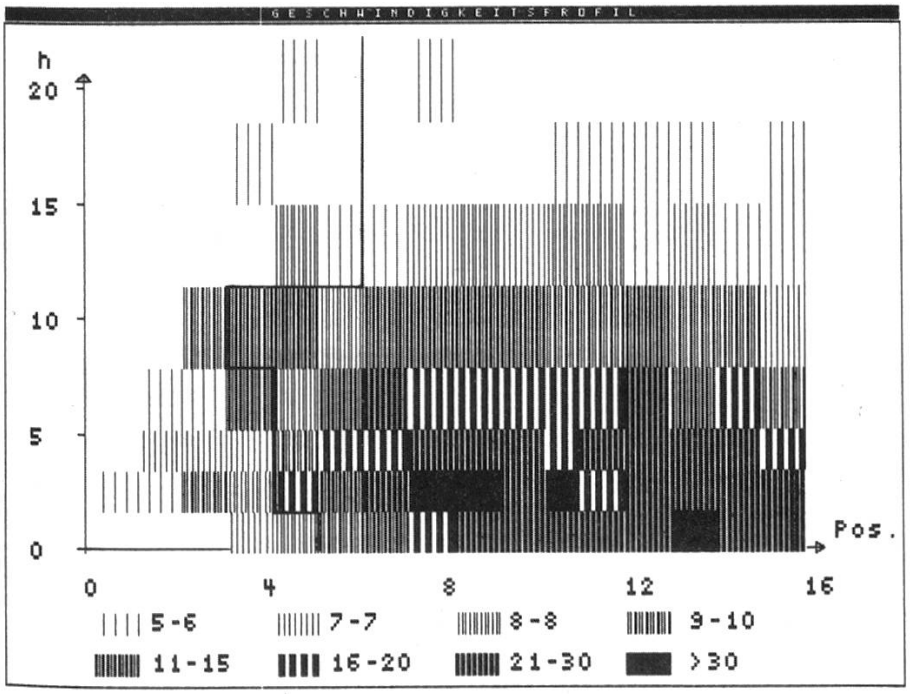

Abbildung 8. Geschwindigkeits-«Längsschnitt» durch den Kopf einer Laborstaublawine. Die schwarze Linie markiert den Dichtesprung von *Abbildung 7.* Vorausgehende Geschwindigkeiten deuten auf eine Druckwelle vor der Lawine, siehe auch *Abbildung 9* unten.

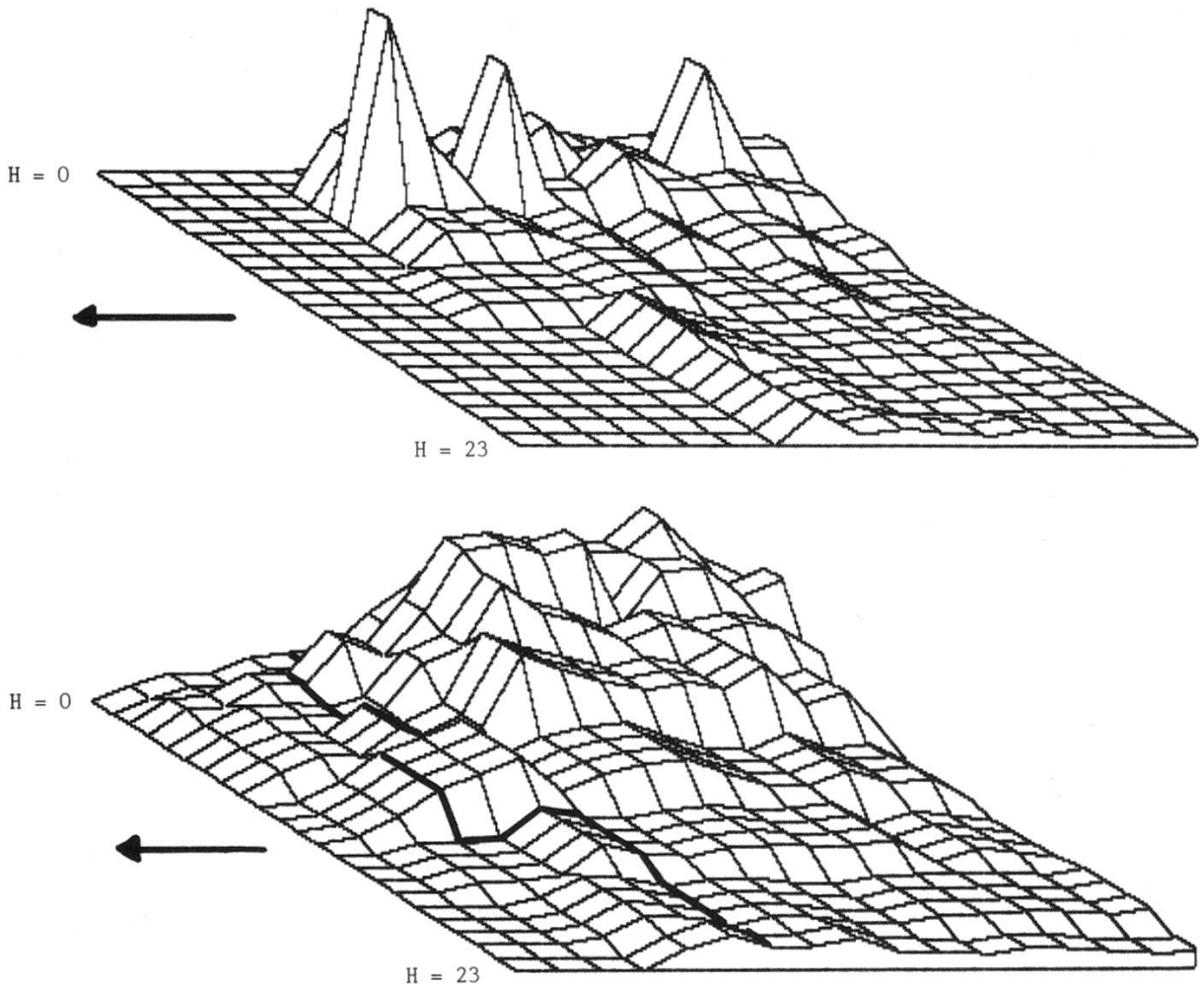

Abbildung 9. Dreidimensionale Darstellung des Lawinenkopfes aus *Abbildung 7* und *8*. Der Rinnenboden ist hinten (H = 0), der freie Rand der Lawine (H = 23) ist vorne. Die Bewegung der Lawine ist durch den Pfeil angedeutet. Die Höhe des «Gebirges» ist stellvertretend für die Dichte (oben) bzw. für die Geschwindigkeit (unten). Auf der Dichtedarstellung kann die Front der Lawine gut erkannt werden. Sie ist auf der Geschwindigkeitsdarstellung als schwarze Linie markiert. Alles, was vor dieser Linie zu sehen ist, wird von uns als Druckwelle interpretiert, die vor der Lawine herläuft. Sie ist bei H = 8 und H = 20 gut zu erkennen.

das Erfassen von nichtstationären Vorgängen erfordert Schnelligkeit und somit zusätzlichen Aufwand. Die neue Messanlage soll aus vier parallelen Ultraschallsystemen bestehen, die von einem zentralen Prozessor gesteuert werden. Damit lässt sich die Messgeschwindigkeit erhöhen, ohne dass die Genauigkeit darunter leidet. Ebenso wird das Computerprogramm, das aufgrund der theoretischen Überlegungen die Lawinen erfasst, einiger Modifikationen bedürfen, um die Absetzvorgänge zu berechnen. Ziel all dieser Anstrengungen ist es, mit Hilfe der Versuche sowie der recht umfangreichen Rechnungen einfachere, auf den Praktiker ausgerichtete Entscheidungsgrundlagen zu geben. Diese sollen die in einer Staublawine vorkommenden Kräfte, Auslaufdistanzen und Schneeverteilungen im Absetzbereich erfassen. Damit wird eine Staublawine zwar noch nicht prognostizierbar, aber immerhin erfassbarer als bis anhin.

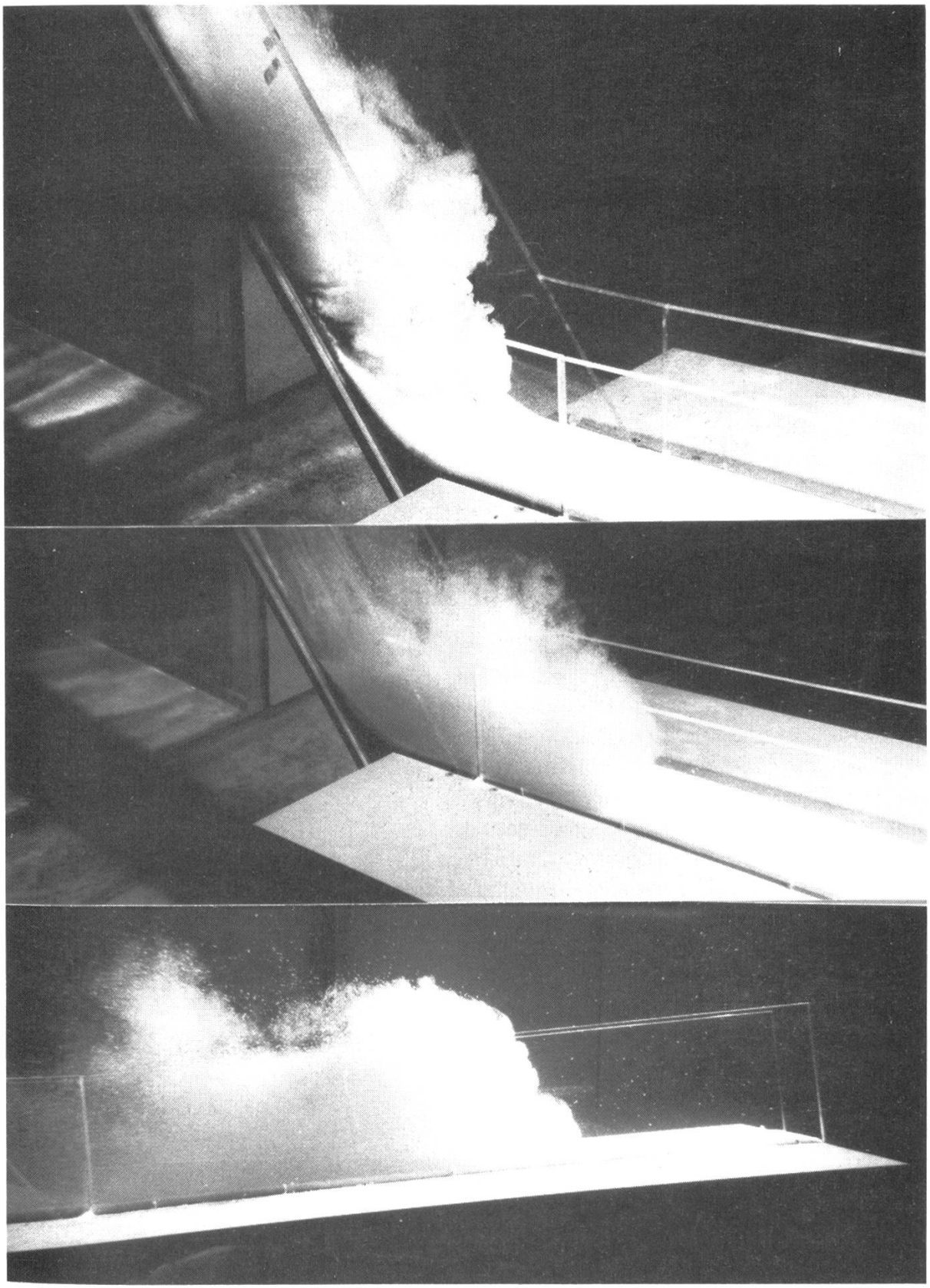

Abbildung 10. Eine Laborstaublawine, die in eine «Ebene» hinausschiesst. Beim Vergleich der oberen zwei Bilder fällt auf, dass der Lawinenkopf nach dem Knick dünner geworden ist. Der verlorengegangene Schnee wurde im Knick abgelagert (siehe mittleres Bild). Die verdünnte Staublawine behält einen grossen Teil ihrer Bewegungsenergie und schiesst weit in die Ebene hinaus (unteres Bild).

Résumé

Avalanches de poudreuses

Vu les difficultés de mesurer une avalanche de poudreuse en place, nous les simulons avec une poudre de polystyrène pour la neige et de l'eau pour l'air. Une mixture de poudre et d'eau tombe dans une chute immergée dans un grand bassin. L'examination de cette suspension par une technique ultrasonique nous donne des profiles de vitesse et de densité à travers l'avalanche. Avec ces résultats nous voulons enfin donner les possibilités d'estimer plus précisément qu'autrefois les dévastations et les forces qu'une telle avalanche peut produire.