

Martin Kern, Frank Tschirky<sup>1</sup> und Jürg Schweizer

## **Feldversuche zur Wirksamkeit einiger neuer Lawinen-Rettungsgeräte**

---

<sup>1</sup> Frank Tschirky verstarb kurz nach Abschluss der Versuche am 25. April 2001 auf einem Trekking in Nepal an einem Herzversagen. Er hat die Arbeiten zum Lawinenairbag am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos von Beginn an mit grossem persönlichem Engagement begleitet, die Unfallstatistik geführt und mit seiner reichen praktischen Erfahrung als Bergführer sehr viel zur Weiterentwicklung der Ideen beigetragen.

## **Field experiments on the effectiveness of some new avalanche rescue devices**

### **Summary**

The effectiveness of different kinds of avalanche rescue devices was tested in the field during the winter of 2000/2001. Thirteen test dummies equipped with and without avalanche airbags were placed in an avalanche slope, which was then artificially released. The burial depth of the dummies was recorded. Additionally, the loads on the cervical vertebrae were measured by a dummy equipped with sensors provided by a car manufacturer. The tests confirmed, that wearing an avalanche airbag generally decreases the burial depth of avalanche victims. The inflated avalanche airbags were always visible on the surface of the avalanche deposits, and therefore can be regarded as good markers which help to decrease burial time and thereby increasing survival chances of avalanche victims. The loads acting on the cervical vertebrae of victims during avalanche flow appear to be considerable, such that fatal injuries seem possible. Additional research is needed to estimate the effect of the different kinds of avalanche airbags on the amount of mechanical load. A decrease of load acting on the cervical vertebrae by wearing a polo-neck shaped airbag could not be proved due to the limited number of results.

*Keywords:* avalanche accident, avalanche rescue, avalanche airbag, avalanche burial

## **Zusammenfassung**

Im Winter 2000/2001 wurden verschiedene Arten von Lawinen-Rettungsgeräten einem vergleichenden Test bezüglich ihrer Wirksamkeit unterzogen: 13 Versuchspuppen mit und ohne Lawinenairbags wurden in einen Lawinenhang eingebbracht, der anschliessend künstlich ausgelöst wurde. Die Verschüttungstiefen der Dummies mit verschiedenen bzw. ohne Lawinenairbags wurden gemessen. Zusätzlich wurden mit Hilfe eines mit Sensoren bestückten Messdummies die Belastungen gemessen, die im Halswirbelsäulenbereich von durch Lawinen erfassten Personen auftreten. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass das Tragen eines Airbags die Verschüttungstiefe in einer Lawine verringert. In den Versuchen waren die aufgeblasenen Airbags in jedem Fall an der Oberfläche der Lawinenablagerungen sichtbar. Sie stellen deshalb ein gutes Markierungsmittel zur raschen Lokalisierung und Bergung von Verschütteten dar und tragen damit zu einer Verringerung der Verschüttungsdauer bzw. zu einer Erhöhung der Überlebenschancen bei Lawinenunfällen bei. Die gemessenen Belastungen im Bereich der Halswirbelsäule sind erheblich. Zusätzliche Untersuchungen sind nötig um abzuklären, inwieweit das Tragen eines Lawinenairbags die auf eine Person in einer fliessenden Lawine wirkenden Belastungen beeinflussen kann. Eine Verringerung der mechanischen Belastungen der Halswirbelsäule durch das Tragen eines kragenförmigen Airbags lässt sich aufgrund der bis anhin geringen Zahl von Belastungsmessungen nicht nachweisen.

*Schlüsselwörter:* Lawinenunfall, Lawinenrettung, Lawinenairbag, Lawinenverschüttung

## **1 Einführung**

Der ABS Lawinenairbag war das erste Lawinen-Rettungsgerät mit dem Anspruch nicht die rasche Rettung zu ermöglichen, sondern die Verschüttung zu verhindern. Es handelt sich um ein Rettungsgerät, das vom Benutzer die aktive Auslösung im Falle eines Lawinenniederganges erfordert. Da es ein sogenannt merkmalfreies Rettungsgerät handelt ist, abgesehen davon, dass der Ballon als Lokalisierungsmittel dienen kann, ist es stets mit einem Lawinenverschütteten-suchgerät (LVS) zu ergänzen. LVS sind merkmalspezifische Rettungsgeräte auf dem Sender-Empfänger Prinzip und nicht Gegenstand der nachfolgend beschriebenen Tests (1).

Nach den Feldversuchen des SLF im Winter 1994/95 zur Wirksamkeit der ABS-Monoairbags (2) wurden Hinweise auf die Wirksamkeit der Lawinenairbags vor allem aus der Auswertung von Unfällen, in die Personen mit Lawinenairbags verwickelt waren sowie aus theoretischen Überlegungen gewonnen. Demnach beruht die Wirksamkeit des Lawinenairbags auf dem Prinzip der inversen Segregation in granularen Strömungen. Bei den uns bekannten Lawinenunfällen bei denen Personen mit dem Lawinenairbag ausgerüstet waren, wurde nur eine von insgesamt 40 erfassten Personen tödlich verschüttet.

Mit dem dualen ABS Airbag-System („Doppelairbag“), dem Prototypen der „avagear“-Rettungsweste und dem K2-„avalanche ball“ hat es in den letzten Jahren einige neue Entwicklungen auf dem Sektor der Rettungsgeräte gegeben, deren Wirkungsweise wie die des Monoairbags auf dem Prinzip der inversen Segregation in granularen Strömungen beruht, wobei es sich beim K2-„avalanche ball“ primär um ein merkmalspezifisches, nicht elektronisches Ortungsgerät handelt. Es stellt sich die Frage, ob und inwieweit die neuen Geräte ihren Zweck, eine Verschüttung in einer Lawine zu verhindern, bzw. die Ortung und Bergung eines Lawinenopfers zu erleichtern, erfüllen können, auch im Vergleich zum bisherigen Monoairbag-System. Darüber hinaus ist die Frage nach den Belastungen des menschlichen Körpers in einer Lawine von grosser Bedeutung: Es ist nicht klar, wie viele der Opfer bei Lawinenunfällen an mechanischen Verletzungen sterben (3).

Ziel des Feldversuches im Winter 2000/2001 war es daher, die Neuentwicklungen einem Funktionstest zu unterziehen und mit Hilfe eines speziellen Mess-Dummies aus der Autoindustrie die auf ein Lawinenopfer wirkenden Kräfte zu messen.

## **2 Stand der Kenntnisse**

### **2.1 Das physikalische Wirkungsprinzip des Lawinenairbags**

Im von der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA) geförderten Projekt „Verschüttungsprophylaxe mit Lawinenairbags“ wurde der Effekt der inversen Segregation in granularen Strömungen, der der Wirksamkeit von Lawinenairbags zugrunde liegt, auf theoretisch-numerischer Ebene untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden von *Kern* umfassend beschrieben (4, 5).

Eine Erklärung für die Wirksamkeit des ABS Systems erhält man, indem man die fliessende Lawine als strömendes granulares Medium interpretiert, das aus unterschiedlich grossen Partikeln besteht, in diesem Fall aus Schneeblocken, -brocken und -krümeln. Unter Schwerkrafteinfluss strömende granulare Medien neigen dazu, sich derart zu entmischen, dass grössere Partikel eher an der Oberfläche, kleinere eher in den unteren Schichten der Granulatströmung zu finden sind. Diesen Sortierungseffekt nennt man „*inverse Segregation*“. Der Prozess der inversen Segregation ist vor allem von der relativen Grösse der Granulatpartikel, kaum aber von ihrer relativen Dichte abhängig. Der Lawinenballon macht den Skifahrer, der an sich schon ein

relativ grosses Partikel innerhalb des Lawinengranulats ist, zu einem noch grösseren Brocken, der besser von dem Sortierungseffekt profitieren kann.

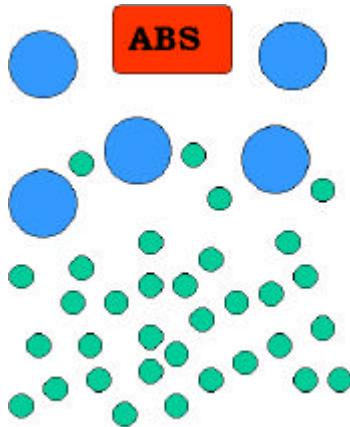


Abb.1: Schematische Darstellung der inversen Segregation

## 2.2 Feldtests im Winter 1994/95

Auf praktischer Ebene wurden im Winter 1994/95 die letzten Untersuchungen mit dem Mono-Airbag-System der Firma ABS Peter Aschauer GmbH, Gräfelfing (D) durchgeführt (2). Die Untersuchungen ergaben, dass der Ballon zwar nicht eine Ganzverschüttung verhindert kann, mit grosser Wahrscheinlichkeit aber an der Oberfläche der Lawinenablagerungen sichtbar ist und so ein sehr effektives Mittel zur raschen Ortung und Bergung von Lawinenopfern darstellt.

## 2.3 Bekannte Lawinenunfälle mit Lawinenairbags

In den Wintern 1990/91 bis 1999/2000 wurden dem SLF insgesamt 26 Lawinenunfälle gemeldet, bei denen Personen, die einen Airbag trugen, erfasst wurden (6). 32 der insgesamt 40 beteiligten Personen konnten den Lawinenballon bei Erfasstwerden durch die Lawine auslösen, wobei in zwei Fällen ein technisches Versagen vorlag. Es zeigt sich deutlich, dass die manuelle Auslösung des Airbags durch den Benutzer einen Schwachpunkt darstellt. Das Auslösen muss geübt werden, damit es auch in der extremen Stresssituation eines Lawinenabgangs sicher bewältigt werden kann. Die 8 Personen, die ohne aufgeblähten Airbag erfasst wurden, überlebten den Lawinenniedergang unverletzt oder nur leicht verletzt.

Von den 32 Personen, die den Airbag rechtzeitig auslösen konnten, wurden 5 ganzverschüttet (d.h. mind. Kopf und Thorax verschüttet, so dass ein lebensbedrohlicher Zustand besteht), 11 teilverschüttet und 16 nicht verschüttet. Im Falle der Ganzverschüttungen waren die Ballons bis auf einen Fall an der Oberfläche der Lawinen sichtbar, was zu einer raschen Ortung und Bergung der Opfer führte. In einem Fall jedoch wurde der Verunfallte mitsamt aufgeblasenem Airbag bei einem grossen Lawinenniedergang von nachfliessenden Schneemassen verschüttet und konnte nur noch tot geborgen werden. Auf das Risiko der Totalverschüttung mitsamt Airbag v.a. in Geländemulden und bei Auslösung am Hangfuss ist immer wieder hingewiesen worden (7).

Die bisherigen Untersuchungen belegen, dass der Lawinenairbag eine sinnvolle Ergänzung der gängigen Sicherheitsausrüstung für Varianten- und Tourenskifahrer ist. Vollständigen Schutz vor den Folgen einer Lawinenauslösung kann er nicht bieten.

Ein Vergleich mit einem grösseren Datensatz von Lawinenunfällen (ohne Airbag) aus der Region Davos (8), der ähnlich wie der ABS-Datensatz relativ komplett sein sollte, zeigt, dass der Anteil der Ganzverschütteten unter den Erfassten sich in den beiden Datensätzen nicht signifikant unterscheidet ( $p=0.07$ ). Die geringe Letalität von lediglich 20% der Ganzverschütteten, die mit einem gefüllten Airbag erfasst wurden, ist verglichen mit dem Referenzdatensatz aus der Region Davos ebenfalls nicht signifikant ( $p=0.35$ ), wobei die geringe Anzahl ( $N=5$ ) streng genommen keine statistisch relevanten Aussagen erlaubt.

### 3 Charakteristik der untersuchten Geräte

#### 3.1 ABS Monoairbag

Der ABS-Monoairbag ist seit 1985 im Handel und somit das erste kommerziell erhältliche Lawinenrettungsgerät, dessen Wirkung auf dem Prinzip der inversen Segregation beruht.

Beim Monoairbag-System handelt es sich um einen Ballon mit 150 l Volumen, der in einen Rucksack eingebaut ist und mittels einer Reissleine innert 2-3 Sekunden über ein Ventilsystem aus einer mit Luft aus einer Druckluftflasche und Umgebungsluft gefüllt wird.

#### 3.2 ABS Doppelairbag

Beim ABS-Doppelairbag („duales System“) ist das Ballonvolumen auf zwei Ballons mit je 75 l Volumen aufgeteilt, die in den Seitentaschen eines Rucksacks untergebracht sind (Abb. 2). Die Auslösung erfolgt nicht mehr wie beim Monoairbag mittels einer Reissleine sondern pyrotechnisch: Eine im Auslösegriff untergebrachte Sprengladung erzeugt eine Druckwelle, die sich in einer Druckleitung bis zur Druckluftpatrone fortpflanzt und diese mittels eines Metalldorns öffnet. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass es sich platzsparender in einem Rucksack unterbringen lässt und so mehr Raum für Gepäck lässt. Außerdem ist der Rucksack so bequemer zu tragen.



Abb. 2 : Versuchspuppe mit Doppelairbag. Grossversuch Pischa-Wäng, 16. März 2001

### 3.3 „avagear“-Rettungsweste

Die avagear-Rettungsweste wurde in den USA entwickelt und befindet sich derzeit noch im Prototyp-Stadium. Sie besteht aus einem kragenförmigen Ballon mit ca. 90 l Volumen, der ähnlich wie die ABS-Airbags aus einer Druckluftpatrone gefüllt wird, die mittels einer Reissleine manuell ausgelöst wird. Bei den getesteten Prototypen funktionierte der Füllmechanismus noch nicht. Die Airbags wurden daher vor Versuchsbeginn mit einer Druckluftflasche aufgeblasen.

Von der Kragenform des Airbags erhofft man sich, dass der Kopf des Lawinenopfers mit größerer Wahrscheinlichkeit nicht verschüttet wird als bei den ABS-Airbags. Zusätzlich soll die Kragenform die auf die Hals-Nackenregion wirkenden Kräfte mildern sowie im Falle einer Ganzverschüttung eine Atemhöhle erzeugen. Der Test im Rahmen des Feldversuchs sollte Hinweise darauf erbringen, inwieweit die „avagear“-Rettungsweste diesem Anspruch gerecht wird. Im Grossversuch wurde ein im Halsbereich mit Kraft- und Drehmomentsensoren bestückter Messdummy (Abb. 3) mit der „avagear“-Rettungsweste ausgerüstet.



Abb. 3 : Messdummy mit „avagear“-Rettungsweste

### 3.4 K2-„avalanche ball“

Der K2-„avalanche ball“ ist eine Weiterentwicklung der traditionellen Lawinenschnur und unterscheidet sich damit wesentlich von den übrigen untersuchten Rettungsgeräten. In einer Systemtasche ist ein lampionförmiger Ball mit einem Durchmesser von ca. 60 cm zusammengefaltet. Nach Ziehen einer Reissleine öffnet sich die Systemtasche und gibt den Ball frei, der innerhalb von Sekundenbruchteilen durch einen Federmechanismus entfaltet wird. Der Ball hängt an einer insgesamt 6 m langen Schnur, die an einem Bauchgurt befestigt wird. In einer Lawine hat der Ball die Tendenz aufgrund der inversen Segregation an der Lawinenoberfläche zu bleiben und erlaubt durch seine Sichtbarkeit in Kombination mit der Schnur eine einfache visuelle Ortung des Verschütteten. Im Grossversuch wurden zwei Dummies mit dem avalanche ball ausgerüstet, um die praktische Anwendbarkeit bei der Verschüttetensuche zu testen.

## 4 Feldversuche

Die vergleichenden Funktionstests der oben erwähnten Lawinenrettungsgeräte wurden im Rahmen eines grossangelegten Feldversuchs am 16. März 2001 im Pischagebiet bei Davos durchgeführt. Außerdem wurde in zwei ergänzenden Versuchen mit dem instrumentierten Dummy die Belastung auf Personen in einer Lawine gemessen.

### 4.1 Material: Versuchspuppen und Messdummy

Im Grossversuch wurden insgesamt 13 Versuchspuppen („Dummies“) eingesetzt.

Bei 12 der Puppen handelte es sich um in den USA hergestellte Übungs-Dummies für Rettungsmannschaften (CMC Rescue Manikin, vgl. Abb.2). Sie haben bewegliche Gliedmassen und ein Gewicht von 85 kg.

Der 13. Dummy war ein von den Volkswagenwerken in Wolfsburg zur Verfügung gestellter, menschenähnlicher instrumentierter Hybrid-III Dummy, wie er in der Unfallforschung und in der Autoindustrie verwendet wird. Der im Versuch verwendete Hybrid-III-Dummy hat ein Gewicht von 75 kg und nimmt eine sitzende Position ein. Er ist im Brustkorb mit einem Deformationssensor und im Halswirbelsäulen(HWS)-Bereich mit 6 Sensoren für je drei Raumrichtungen der Scherkräfte und Drehmomente instrumentiert. Die Datenaufnahme erfolgte mit einem am SLF konfigurierten und montierten mobilen Campbell CRX-10 Datenlogger mit einer Messfrequenz von 166 Hz, die die Dynamik der in einer Lawine auftretenden Belastungen auf den HWS-Bereich gut auflöst. Der Datenlogger wurde am Rücken des Dummies fixiert. Zum Schutz der Messtechnik vor Feuchtigkeit wurde der Dummy mit einem Gore-Tex Overall bekleidet.

## 4.2 Vorversuche am 1. März 2001

Nach den umfangreichen Arbeiten zur Anpassung des Datenloggers an die Sensorik des Messdummies und nach vorbereitenden Eichmessungen im Labor wurde der Dummy am 1. März per Helikopter ins hintere Vereinatal transportiert und in der Nähe des Piz Fless in einem nordwestlich exponierten Hang abgelegt. Die dort durch Sprengung ausgelöste Lawine war zu klein, um den Dummy mitreißen zu können. In einem zweiten Versuch wurde der Dummy in einem ebenfalls nordwestlich exponierten Couloir in der Nähe der Plattenhörner positioniert. Es konnte dort mit zwei Sprengladungen eine kleine Fliesslawine ausgelöst werden, die den Dummy ca. 100 m mitriss. Der Dummy überschlug sich innerhalb der Lawine mehrmals und blieb schliesslich teilverschüttet auf den Ablagerungen liegen. Die Belastungsmessungen ergaben Kräfte und Drehmomente, die eine ähnliche Form wie die in den Abbildungen 8 und 9 zeigen, wobei die maximalen Scherkräfte 500 N und die maximalen Drehmomente 45 Nm betragen.

## 4.3 Grossversuch am 16. März 2001

Im Grossversuch am 16. März wurden insgesamt 13 Dummies an den in den Abbildungen 4 und 5 bezeichneten Positionen im Versuchshang „Wäng“ im Pischa-Skigebiet positioniert. Von den 13 Dummies waren 4 mit aufgeblasenen ABS-Airbags, 3 mit avagear-Rettungswesten und 2 mit dem avalanche ball ausgerüstet. 4 Dummies verfügten über keine spezielle Rettungsausrüstung. Alle Dummies waren mit einem Lawinenverschüttetensuchgerät (LVS) ausgerüstet, um sie auch im Fall einer Ganzverschüttung wieder finden zu können. Die Dummies waren gemäss Tabelle 1 nummeriert, um sie nach dem Lawinenabgang identifizieren zu können. Die Abb. 4 zeigt die Anfangspositionen sowie die Fundorte der Dummies in den Ablagerungen nach der Auslösung und dem Abgang der Lawine.

Mit Hilfe dreier Sprengladungen, die an Pfosten über der Schneedecke ca. 50 m hangaufwärts der Dummies fixiert und mittels einer Knallzündschur verbunden waren, wurde eine mittelgrosse Lawine ausgelöst. Sie hatte eine Anrissmächtigkeit von 20-40 cm, eine Breite von ca. 75 m und eine Länge von ca. 400 m (Abb. 6). Alle Dummies wurden mitgerissen und an den in Abb. 5 bezeichneten Orten abgelagert. Die Grösse der ausgelösten Lawine ist typisch für eine von Skifahrern ausgelöste Schneebrettlawine (9). Allerdings war die Anrissmächtigkeit, die Länge und die Topographie im Auslauf derart, dass grundsätzlich zu erwarten ist, dass nicht alle Er-

Tabelle 1: Numerierung und Ausrüstung der verwendete Dummies (vgl. Abb. 5) und Versuchsergebnisse (gv: ganzverschüttet, gv (s): ganzverschüttet mit sichtbaren Teilen (z.B. Ballon), tv: teilverschüttet, nv: nicht verschüttet).

Nr.	Dummy-Art	Rettungsgerät	Verschüttungsart	Verschüttungstiefe in cm
1	CMC	ABS duales System	gv (s)	50
2	CMC	K2 avalanche ball	gv	80
3	CMC	ABS Monoairbag	gv (s)	50
4	CMC	K2 avalanche ball	gv	25
5	CMC	avagear Rettungsweste	tv	0
6	CMC	ABS Doppelairbag	gv (s)	60
7	CMC	avagear Rettungsweste	tv	0
8	CMC	keines	gv	50
9	CMC	keines	gv	30
10	CMC	keines	tv	20
11	CMC	keines	gv (s)	150
12	CMC	ABS Doppelairbag	nv	0
13	Hybrid-III	avagear Rettungsweste	tv	0

fassten, insbesondere bei der in unserem Falle grossen Anzahl von Erfassten, ganzverschüttet werden. Entsprechend sind im folgenden die Ergebnisse zu werten. Es werden daher nur relative Aussagen in Bezug auf die Verschüttungstiefe gemacht. Die Ablagerungshöhen betragen im Bereich der leichten Verflachung (Ablageorte 1) 0.5m, im Bereich der Hauptablagerung (Ablageort 2) rund 2.5 m.

Nach dem Abgang der Lawine wurden die Positionen der Dummies festgestellt sowie ihre Verschüttungstiefe gemessen. Die Verschüttungstiefe wurde ab dem Gesicht der Dummies gemessen. Einer der Doppelairbags wurde beim Lawinenabgang beschädigt: einer der beiden 75-l Ballons wurde vom Rucksack gerissen.

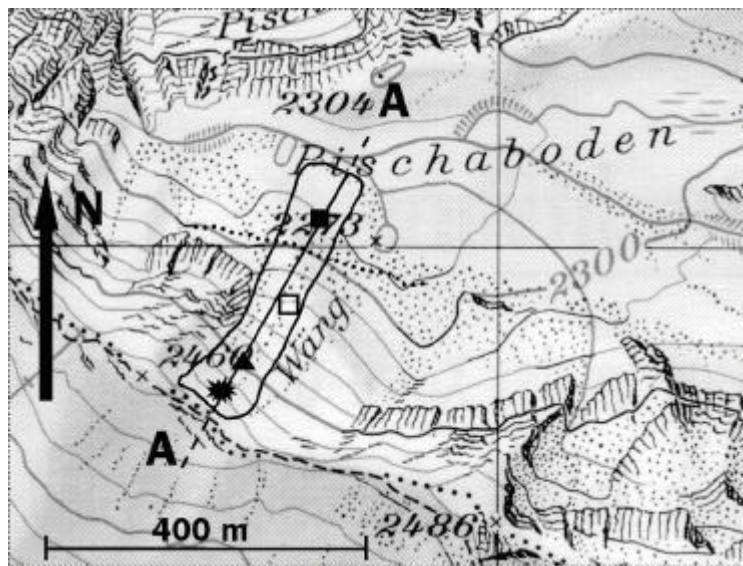


Abb. 4: Versuchshang „Wäng“ im Skigebiet Pischa mit Positionen der Sprengladungen (\*), Anfangs-(Dreieck) und Endpositionen (Quadrate) der Dummies. Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie.

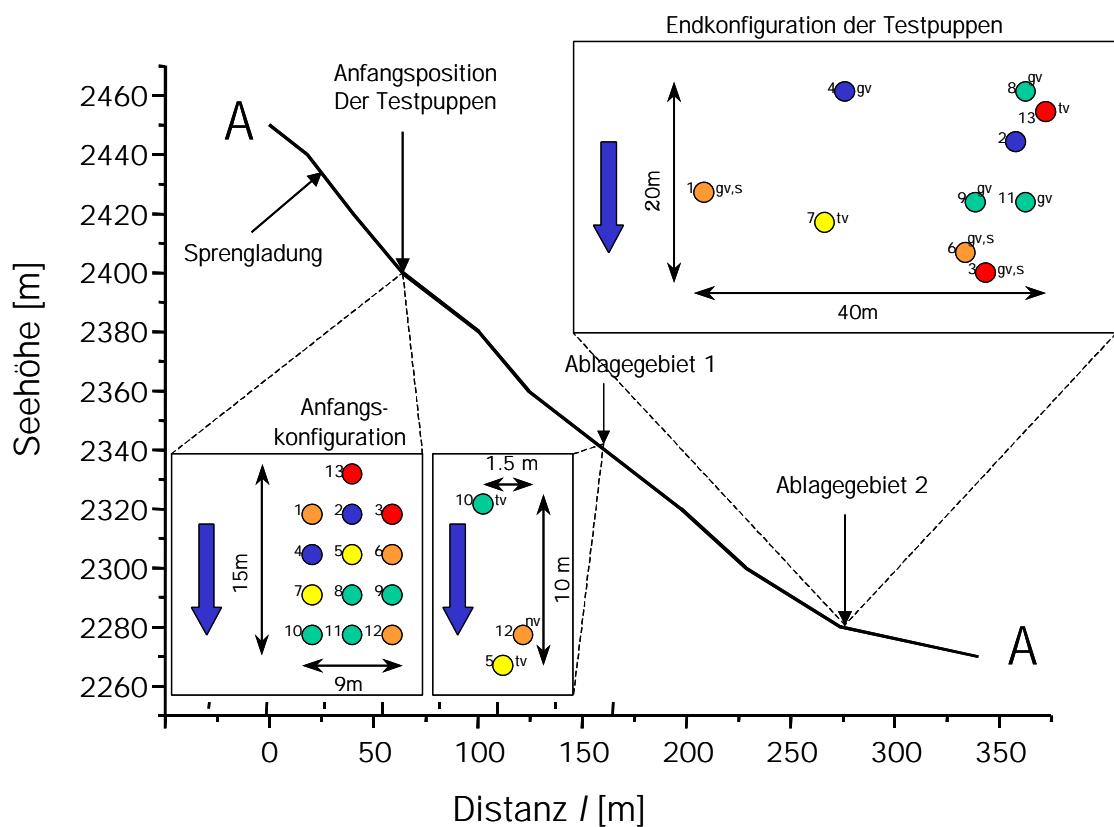


Abb. 5: Profil längs der Linie A-A (Abb. 4) mit Anfangs- und Endpositionen Versuchsdummies. Bezeichnung der Dummies gemäss Tabelle 1.



Abb. 6: Versuchshang nach Abgang der Lawine mit eingezeichneten Ablagegebieten (Abb. 5).

Bei 8 der 12 CMC-Dummies hatten mechanische Belastungen während des Lawinenabgangs die Unterschenkel am Kniegelenk abgerissen, was angesichts der werksseitig angegebenen axialen Reissfestigkeit der inneren Strukturen des Dummies von 20 kN auf eine erhebliche Belastung schliessen lässt.

Anschliessend an den Grossversuch, in dem der Messdummy mit einer avagear-Rettungsweste ausgestattet war, wurde der Messdummy ohne Airbag für einen Referenzversuch in einem nahegelegenen, westexponierten Hang einer weiteren Lawine ausgesetzt. Diese Lawine hatte eine Anrissmächtigkeit von ca. 40 cm, eine Breite von 50 m und eine Länge von ca. 250 m und verschüttete den Dummy vollständig in aufrecht sitzender Position, so dass lediglich ein wenig Stoff der Kapuze des Schutanzugs des Dummies aus dem Schnee ragte.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Verschüttungstiefen und Lage der Versuchspuppen mit und ohne Lawinenairbags

Die Verschüttungstiefe beeinflusst wesentlich die Letalität eines Lawinenverschütteten (3). Die Ergebnisse zu Verschüttungstiefe und -art finden sich in Tabelle 1. Vergleicht man die in Abbildung 7 aufgetragenen, vom Gesicht bis zur Oberfläche der Lawinenablagerungen gemessenen Verschüttungstiefen der Dummies, so fällt auf, dass die Verschüttungstiefen der Dummies ohne Airbags wesentlich grösser als die der Dummies mit Airbags sind, wobei der Unterschied allerdings statistisch nicht signifikant ist. Die Verschüttungstiefen der Dummies mit ABS-Mono- und Doppelairbags liegen in der selben Größenordnung.

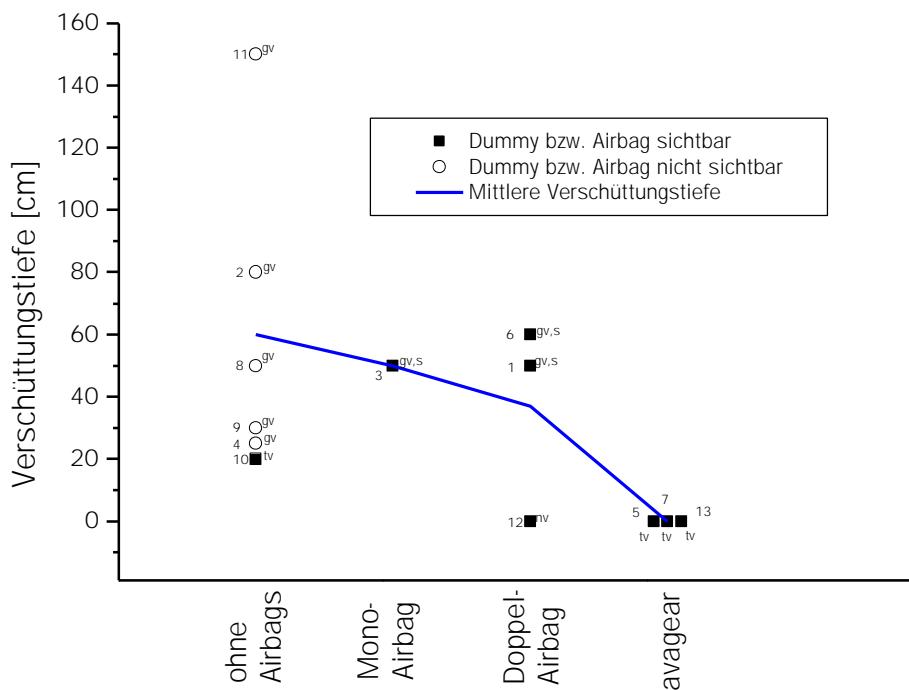


Abb. 7: Verschüttungstiefen der Dummies ohne resp. mit Lawinenairbags.

Die Tatsache, dass die Gesichter der Dummies mit avagear-Rettungsweste immer an der Oberfläche der Lawinenablagerungen zu finden waren, scheint die Hypothese zu stützen, dass der Airbag der avagear-Rettungsweste, der in Kopfnähe angebracht ist, den Auftrieb des Kopfes und Oberkörpers begünstigt. Tatsächlich wurden zwei der mit avagear-Rettungswesten ausgerüsteten Dummies in sitzender bzw. stehender Stellung in den Lawinenablagerungen aufgefunden, während die Dummies mit den Mono- und Doppelairbags in liegender Stellung auf dem Rücken oder auf dem Bauch aufgefunden wurden. Dieser Umstand mag als Erklärung für die im Vergleich zur „avagear“-Rettungsweste grösseren Verschüttungstiefen der Dummies mit konventionellen Airbags dienen.

Sollte sich der Trend bestätigen, dass die Kragenform der „avagear“-Rettungsweste das Obenbleiben der Köpfe der Lawinenopfer begünstigt, wäre der kragenförmige Airbag als eine sinnvolle Weiterentwicklung des Airbagprinzips zu werten. Angesichts der geringen Zahl der Dummies mit „avagear“-Rettungsweste in dem Versuch ist eine definitive diesbezügliche Aussage nicht möglich. In jedem Fall waren jedoch auch die ABS-Airbags an der Oberfläche der Lawinenablagerungen sichtbar, sieht man einmal von dem defekten Doppelairbag ab.

Ausserdem ist zu bedenken, dass der kragenförmige Airbag in aufgeblasenem Zustand die Sicht und Beweglichkeit massiv einschränkt und so eine kurz nach Lawinenauslösung eventuell noch mögliche Flucht durch Ausfahren aus der Lawine erschweren oder gar vereiteln kann.

## 5.2 Funktion des K2-„avalanche balls“

Zwei der Dummies wurden mit den K2-„avalanche ball“ ausgerüstet. Diese Dummies wurden bei der Auswertung der Verschüttungstiefen wie Dummies ohne Airbags behandelt. Sie waren, auf dem Rücken liegend, 25 bzw. 80 cm tief verschüttet. Die avalanche balls waren auf der Oberfläche der Lawinenablagerungen gut sichtbar. Die Ortung mit Hilfe der Bälle und der Schnur war problemlos, so dass die beiden Dummies innerhalb von 10 bzw. 12 Minuten lokalisiert und ausgegraben werden konnten. Hierbei wurde die Zeit ab der Abfahrt eines Helfers vom Lawinenanriss bis zu dem Zeitpunkt, ab dem die Gesichter der Dummies wieder frei zugänglich waren, als Ausgrabungszeit gerechnet. Die Distanz der Bälle zu den Versuchspuppen betrug je 6 m, entsprechend der Gesamtlänge der Schnur.

Der K2 avalanche ball kann prinzipiell nicht zur Verringerung der Verschüttungstiefe beitragen, ermöglicht aber eine einfache visuelle Grobortung verschütteter Personen. Andererseits ist zu bedenken, dass der K2-„avalanche ball“ aktiv vom Erfassten ausgelöst werden muss und dass, ebenso wie beim Airbag eine komplette Verschüttung des avalanche balls nicht ausgeschlossen werden kann, wodurch eine rasche Ortung resp. Rettung praktisch verunmöglich wird.

## 5.3 Belastungen des Halswirbelsäulen-Bereichs

Die im Grossversuch vom Messdummy mit „avagear“-Rettungsweste gewonnenen Zeitserien der im HWS-Bereich wirkenden Komponenten der Scherkräfte bzw. Drehmomente sind in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt. Dabei ist die x-Achse in Blickrichtung des Dummies, die y-Achse horizontal nach rechts von der x-Achse und die z-Achse in Richtung der Halsachse orientiert.

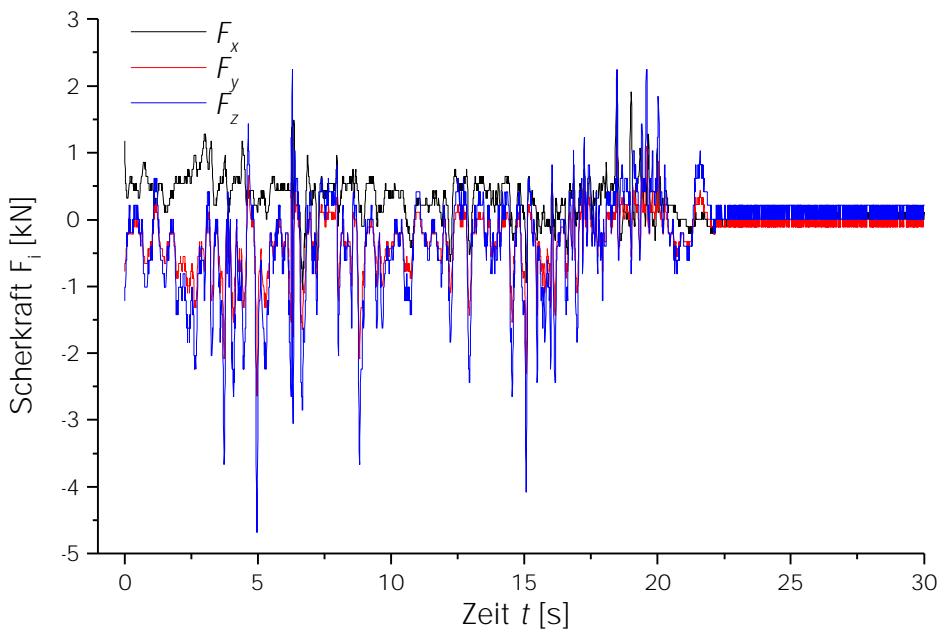


Abb. 8: Zeitserien der Scherkräfte im Halswirbelsäulenbereich des Messdummies mit „avagear“-Airbag.

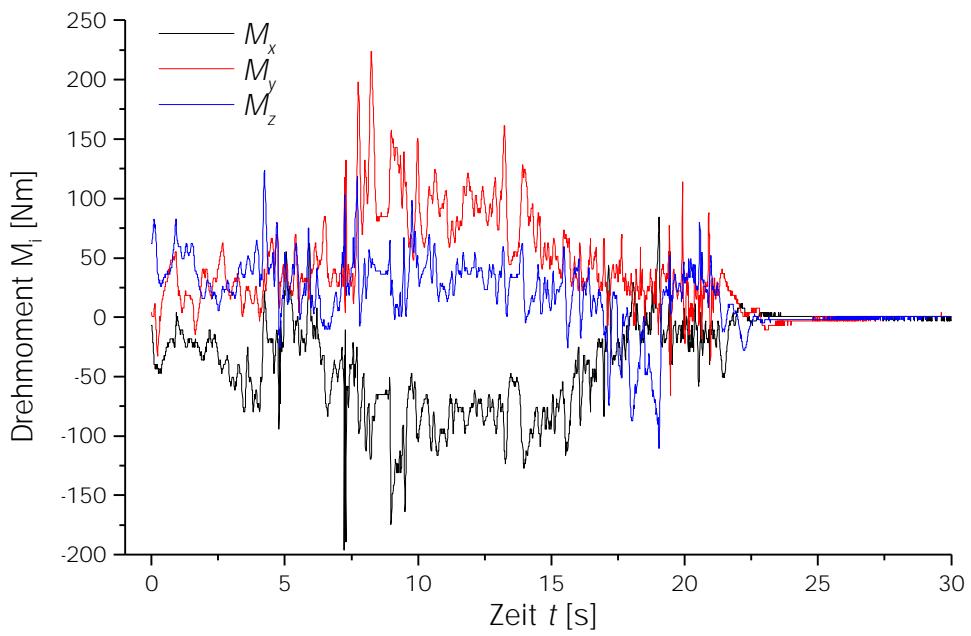


Abb. 9: Zeitserien der Drehmomente im Halswirbelsäulenbereich des Messdummies mit „avagear“-Airbag.

Die Maximalwerte für Kräfte und Momente für den Dummy mit „avagear“-Rettungsweste betrugen 4.5 kN bzw. 200 Nm. In dem anschliessenden Referenzversuch, in dem der Dummy ohne Airbag einer kleineren Lawine ausgesetzt wurde, betragen die maximalen Kräfte und Drehmomente 14 kN bzw. 300 Nm. Dies ist in Anbetracht der Tatsache, dass die Lawine für den Referenzversuch kleiner als die des Grossversuchs war, eventuell als Hinweis darauf zu

werten, dass die „avagear“-Rettungsweste durch seine Kragenform die Belastung im HWS-Bereich etwas dämpfen kann. Auch für diese Aussage gilt, dass es sich nur um einen Hinweis, keinesfalls um eine statistisch relevante Erkenntnis handelt.

Prinzipiell ist es sehr schwierig, aus mit einem Dummy gemessenen Kraft- bzw. Drehmomentzeitserien auf das Verletzungspotential an einem Menschen zu schliessen. Schon die mit „avagear-Rettungsweste“ gemessenen Belastungen könnten aber unter ungünstigen Bedingungen zu ernsthaften oder gar tödlichen Verletzungen der Halswirbelsäule führen.

Die vorliegenden Messungen zur Belastung von Lawinenopfern geben einen Anstoss, neu über die Rolle der mechanischen Verletzungen bei Lawinenunfällen nachzudenken: Es ist zu klären, ob und inwieweit Lawinenairbags die in einer Lawine auf mitgerissene Personen wirkenden Belastungen reduzieren (oder allenfalls vergrössern) können. Gegebenenfalls könnte durch geeignete Schutzmassnahmen wie beispielsweise dem kragenförmigen Airbag die Zahl der Todesfälle bei Lawinenunfällen reduziert werden. Die Unfallstatistik zeigt nämlich, dass ein wesentlicher Anteil der aufgrund mechanischer Verletzungen gestorbenen Lawinenopfer nicht oder nur teilverschüttet waren (3).

Zur Klärung dieses Fragekomplexes sind weitere Belastungsmessungen mit einem Messdummy in Lawinen und eine intensive Zusammenarbeit von Biomechanikern, Lawinendynamikern und Unfallmedizinern nötig. Dies könnte im Rahmen eines Projekts „Physiologische Aspekte von Lawinenunfällen“ geschehen.

## 7 Schlussfolgerungen

Im Februar und März 2001 wurden vom SLF in der Region Davos Tests mit Versuchspuppen („Dummies“) mit und ohne Lawinenairbags durchgeführt. In zwei Versuchen wurde lediglich ein instrumentierter Messdummy ohne Rettungsgerät einer Lawine ausgesetzt, in einem Grossversuch am 16. März 2001 wurden insgesamt 13 Versuchspuppen (6 ohne, 7 mit Airbags) in einem Lawinenhang abgesetzt, eine Lawine ausgelöst, und der Einfluss der Airbags auf das Fliess- und Verschüttungsverhalten in einer Fliesslawine untersucht.

Die wichtigsten Beobachtungen lauten in Kürze:

- Alle Airbags waren nach Abgang der Lawine an der Oberfläche der Ablagerungen sichtbar und ermöglichen so eine umgehende Ortung der Versuchspuppen. Drei der 7 Versuchspuppen mit Airbags waren allerdings ganzverschüttet.
- Bis auf eine waren alle 6 Versuchspuppen ohne Airbags ganzverschüttet und mussten ausser in einem Fall mit Hilfsmitteln (Lawinenverschüttetensuchgerät und avalanche ball) geortet werden.
- Das Tragen von Airbags verringerte im Rahmen des Versuchs die Verschüttungstiefen des Kopfes bzw. der Gesichter der Versuchspuppen.
- Der K2-„avalanche ball“ führte nicht zu einer Verringerung der Verschüttungstiefe.
- Die Puppen mit Mono- und dualen Airbags, kamen tendenziell auf dem Bauch oder Rücken zum Liegen. Dabei waren die Atmungsorgane oft vom Schnee bedeckt.

- Die kragenförmigen Airbags der avagear-Rettungswesten führten in allen drei Fällen zu einer Teilverschüttung der Versuchspuppen, d.h. der Kopf und damit die Atmungsorgane kamen dabei bei z.T. sitzender oder stehender Haltung der Dummies über der Schneeoberfläche zum Liegen.
- Die im Halswirbelsäulen-Bereich des Messdummies gemessenen Belastungen liegen in einem Bereich, der auch tödliche Verletzungen zur Folge haben kann. Es gibt Hinweise, dass die Belastungen durch das Tragen der kragenförmigen „avagear“-Rettungsweste allenfalls gemildert werden können, dass sie aber ebenfalls noch im kritischen Bereich liegen dürften.

Aus diesen Beobachtungen ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen:

- Der Lawinenairbag kann die Verschüttungsfolgen durch die verringerte Verschüttungstiefe und die rasche Lokalisierung der Verschütteten lindern. Er kann die Lawinenverschüttung nicht grundsätzlich verhindern, stellt aber eine sinnvolle Ergänzung der üblichen Sicherheitsausrüstung (LVS, Schaufel, Sonde) dar.
- Die Wirksamkeit des dualen Airbag-System ist mit dem des Monoairbags vergleichbar.
- Die Lage bei der Verschüttung (auf dem Bauch oder sitzend/aufrecht) schien im Rahmen des Versuchs von der Art der verwendeten Airbags abzuhängen. Eine allgemeingültige, abschliessende Aussage ist aufgrund der geringen Zahl von Versuchsresultaten zur Zeit aber nicht möglich.
- Der K2-„avalanche ball“ stellt aufgrund der bisherigen Versuchsergebnisse keine wesentliche Verbesserung auf dem Gebiet der Lawinen-Rettungsgeräte dar.
- Die mit Hilfe eines Messdummies gemessenen Belastungen des Hals-Nackenbereichs einer von einer Lawine mitgerissenen Person sind erheblich und sollten dringend eingehender untersucht werden, insbesondere auch um eine mögliche Beeinflussung der auftretenden Kräfte und Drehmomente durch die Art des Airbags abzuklären.

## 8 Dank

Die Untersuchungen wurden von den Angehörigen der Familie Eigenmann, zur Erinnerung an Dr. Gino Eigenmann (gest. 29.1.2001), durch grosszügige private Spenden unterstützt: Familie G. Eigenmann, Mercallo dei Sassi, Familie Gianni Veronelli, Milano, Familie Ganni Bestetti, Cusano Milanino. Einen namhaften Beitrag steuerte wiederum die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt SUVA, Luzern bei. Finanzielle Unterstützung gewährte zudem der Sicherheitskreis des Deutschen Alpenvereins, München, und das Amt für Sport der Tiroler Landesregierung, Innsbruck. Der für die Belastungsmessungen verwendete Hybrid-III Dummy wurde von den Volkswagenwerken in Wolfsburg zur Verfügung gestellt. Alle diese Unterstützungen werden herzlich dankt.

Ein besonderer Dank geht an Dieter Stopper und Karl Schrag vom Deutschen Alpenverein, Harald Riedl vom Amt für Sport der Tiroler Landesregierung, Heinz Leyer von der Volkswagenwerke AG, Romano Pajarola und Nikolaus Frey vom Parsennrettungsdienst, Davos und an die vielen beteiligten SLF-Mitarbeiter, ohne die ein derartiger Grossversuch gar nicht möglich wäre.

## **Literatur**

- (1) Schweizer, J., E. Wassermann und M. Wicky. Die neuen LVS im Test. Berg&Steigen - Zeitschrift für Risikomanagement im Bergsport. Österreichischer Alpenverein, Innsbruck, Jhg.10, Nr. 1, 26-27 (2001).
- (2) Tschirky, F., R. Meister, W.J. Ammann and O. Buser. Untersuchungen über die Wirksamkeit von Lawinenballons. Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Davos. Interner Bericht Nr. 686 (1995).
- (3) Tschirky, F., B. Brabec und M. Kern. Lawinenunfälle in den Schweizer Alpen - Eine statistische Zusammenstellung mit den Schwerpunkten Verschüttung, Rettungsmethoden und Rettungsgeräte. - In: Durch Lawinen verursachte Unfälle im Gebiet der Schweizer Alpen, Vorabdruck aus dem Winterbericht Nr. 63 (1998/99). Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, 125-136 (2000).
- (4) Kern, M.A. Inverse grading in granular flow, Ph.D. Thesis, EPFL Lausanne (2000).
- (5) Kern, M.A., L. Vulliet and W. Ammann. Inverse grading in granular flows. Proceedings of NUMOG VII, Graz, Austria, (1999).
- (6) Tschirky, F. Bekannte und dokumentierte Lawinenunfälle mit Lawinenballon, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, unveröffentlichte Statistik (2000).
- (7) Tschirky, F. and J. Schweizer. Avalanche balloons – preliminary test results. Proceedings International Snow Science Workshop (ISSW), Banff, Alberta, Canada, 6-10 October 1996, 309-312 (1997).
- (8) Schweizer, J. and M. Lütschg. Characteristics of human-triggered avalanches. Cold Regions Science and Technology, in press (2001).

## **Autoren**

- Kern, Martin, Dr., Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos Dorf
- Tschirky, Frank, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos Dorf
- Schweizer, Jürg, Dr., Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos Dorf