

Über die Zerstörungskraft von Lawinen

Autor(en): **Voellmy, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **73 (1955)**

Heft 12

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-61878>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über die Zerstörungskraft von Lawinen

Von Dr. A. Voellmy, Sektionschef der EMPA, Zürich

DK 624.182

Die Lawinenkatastrophen der letzten Jahre haben vielfach verheerende Wirkungen an Stellen verursacht, wo seit Menschengedenken keine Schadenlawinen niedergegangen waren [1] [2]¹⁾. Immer wieder wird die Frage laut, bei welchen Verhältnissen und in welchem Mass die Heimstätten, Kunstbauten und Kulturen der Berggegenden gefährdet sind und welche konstruktiven Massnahmen Schutz gegen die zerstörende Wirkung der Lawinen bieten könnten.

Ueber Verbauungen zur Vorbeugung der Entstehung von Lawinen ist in der Schweiz grundlegende Pionierarbeit geleistet worden [3] bis [8]; es ist aber praktisch unmöglich, alle in Frage kommenden Einzugsgebiete von Schadenlawinen in absehbarer Zeit zu verbauen, und es bleibt notwendig, gewisse Bauten durch Konstruktionen unmittelbar zu schützen oder Neubauten (z. B. von Kraftwerken) derart auszuführen, dass sie der Lawineneinwirkung standhalten. Voraussetzung für eine Lösung dieses Problems ist die Kenntnis der durch Lawinen bei besonderen Verhältnissen hervorgerufenen Kräfte. Hierüber einigen Einblick zu gewinnen, ist der Zweck der folgenden Ausführungen. Diese stützen sich auf in- und ausländische Beobachtungen; es wird hier aber nur auf die im Vorarlberg 1954 gemachten Feststellungen näher eingetreten, da dort die nötigsten Unterlagen kurz nach der Katastrophe erhoben werden konnten. Andererseits sind diese Beobachtungen besonders interessant, da bisher wohl selten so grosse und ausgedehnte Schadenwirkungen in einem Gebiet mit so geringen Hangneigungen festgestellt wurden und die Untersuchung dieser Fälle auf die unteren Wirkungsgrenzen der Lawinen einiges Licht werfen wird. Auf schweizerische Erfahrungen wird in Abschnitt IV nur hingewiesen, soweit hierbei wesentlich grössere Kräfte festgestellt wurden als im Vorarlberg, was nur in wenigen Fällen beobachtet werden konnte. Im übrigen wird auf die eingehenden Berichte des SLF verwiesen [1].

Im Einklang mit den wegleitenden in- und ausländischen Erfahrungen schliesst dieser Bericht mit dem Versuch, eine möglichst vereinfachte Lawinen-Dynamik aufzustellen, die eine mehr qualitative Untersuchung der Auswirkung der wichtigsten Einflussfaktoren anstrebt und als Anregung und Arbeitshypothese für weitere Beobachtungen und Untersuchungen dienen mag.

I. Abschätzen der Lawinenkräfte aus ihren Wirkungen

Unmittelbar nach der Lawinenkatastrophe, die im Januar 1954 das Vorarlberg heimgesucht hatte, beauftragte die Firma Vobag AG., Adliswil, die EMPA, bestimmte Schadenfälle aufzunehmen, mit dem Ziel, Rückschlüsse auf die Grösse und Richtung der bei den vorliegenden Verhältnissen und beim Aufprall der Lawinen auf die Hindernisse wirkenden Kräfte zu ziehen. Die Untersuchungen bezogen sich vorwiegend auf Gebäudeschäden, bei deren Auswertung die bautechnischen Erfahrungen der EMPA herangezogen werden konnten. Auf Wunsch von R. Tschudi, Direktor der Vobag AG., wird nachstehend über die gewonnenen Erfahrungen und die vom Berichterstatter daraus gezogenen Schlussfolgerungen berichtet. An den Besichtigungen und Aufnahmen, die am 19. und 20. Februar und 2. März 1954 stattfanden und an ihrer Auswertung war seitens der EMPA im besonderen W. Rimathé, techn. Experte, beteiligt.

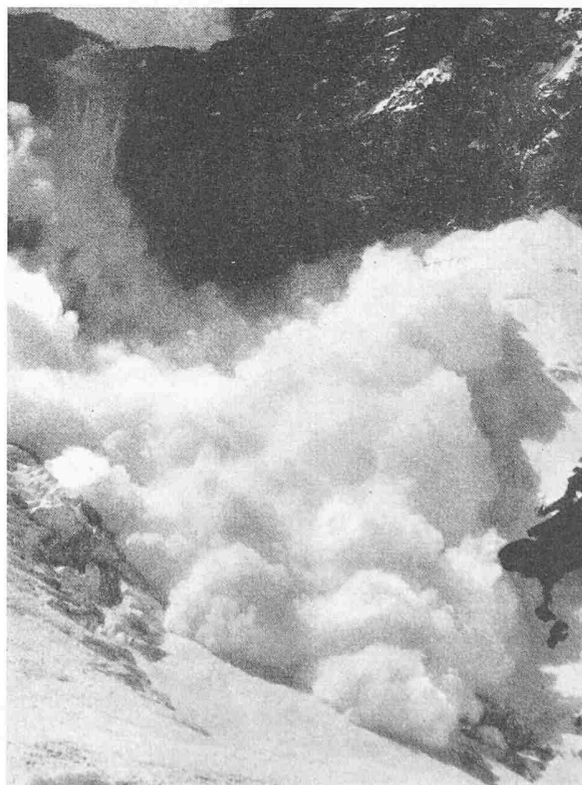
1. Allgemeines

Ueber die Schneesituation, welche zur Katastrophe führte, äussert sich Forsting. Brantner, Lawinenreferent der Gebietsbauleitung Bluden, für Wildbach- und Lawinenverbauung, wie folgt: «Seit Neujahr hatten tiefe Temperaturen eine durchgreifende Festigung der seit 19. Dezember gebildeten Schneedecke verzögert. Ihr Aufbau war noch am 8. Januar

durch ein sehr schwaches Fundament und gebietsweise lockere oder windgepresste Oberflächenschichten gekennzeichnet. Auf diese fielen vom 9. bis 12. Januar unter stürmischen, schneeverfrachteten Nordwestwinden bis 160 cm Neuschnee. Diese gewaltigen Massen gingen bei zunehmender Temperatur mangels einer Bindung an die vorhandene Unterlage hauptsächlich als Lockerschneelawinen nieder. — Ueber die Schneegewichte vermag ich leider nur Grenzzahlen anzugeben. Die Gewichte lagen etwa zwischen 50 bis 150 kg/m³. Auch über die Geschwindigkeiten konnte ich nur wenig Auskünfte erfahren, und ich kann Ihnen auch da nur Weiserzahlen angeben. Sie dürften sich zwischen 20 bis 60 m/s bewegen.»

Die Angaben von Augenzeugen über Beobachtungen anlässlich der Katastrophe sind unzuverlässig, da infolge Dunkelheit oder durch den Schneefall stark behinderter Sicht keine genauen Feststellungen möglich waren. Laut Angaben von Hofrat Wagner in Bregenz sind die Anrissgebiete der Lawinen nicht eindeutig feststellbar; immerhin sollen Anrisse, offenbar durch Tropfschnee ausgelöst, auch innerhalb des Waldes zum Abgleiten von Lawinen geführt haben. Jedenfalls ist bei der Besichtigung festgestellt worden, dass Wald mit relativ dichtem Unterholz von der Lawine durchströmt wurde (z. B. in Bings). Objektive Messergebnisse zur Charakterisierung des Schnees im Zeitpunkt der Katastrophe waren nachträglich nicht zu erhalten. Während der Katastrophenperiode musste sehr lockerer Schnee vorgelegen haben.

Bild 1 orientiert über die Geländebeziehungen bei Blons und gibt eine Uebersicht der Lawinensituation. Die mittlere Hangneigung wird auf etwa 30° geschätzt. Die Geländeneigung des Abrisses und Anlaufgebietes hinter dem Bahnhof Dalaas geht aus den Bildern 2 und 3 hervor. In Anbetracht der anlässlich der Lawinenkatastrophe im Vorarlberg herrschenden meteorologischen Verhältnisse ist anzunehmen, dass die Schneebeschaffenheit im Gebiet von Dalaas nicht wesentlich von derjenigen im Gross-Walsertal abgewichen ist.



Lawine im Karakoram (Thron d'or)

Photo A. Roch

¹⁾ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes

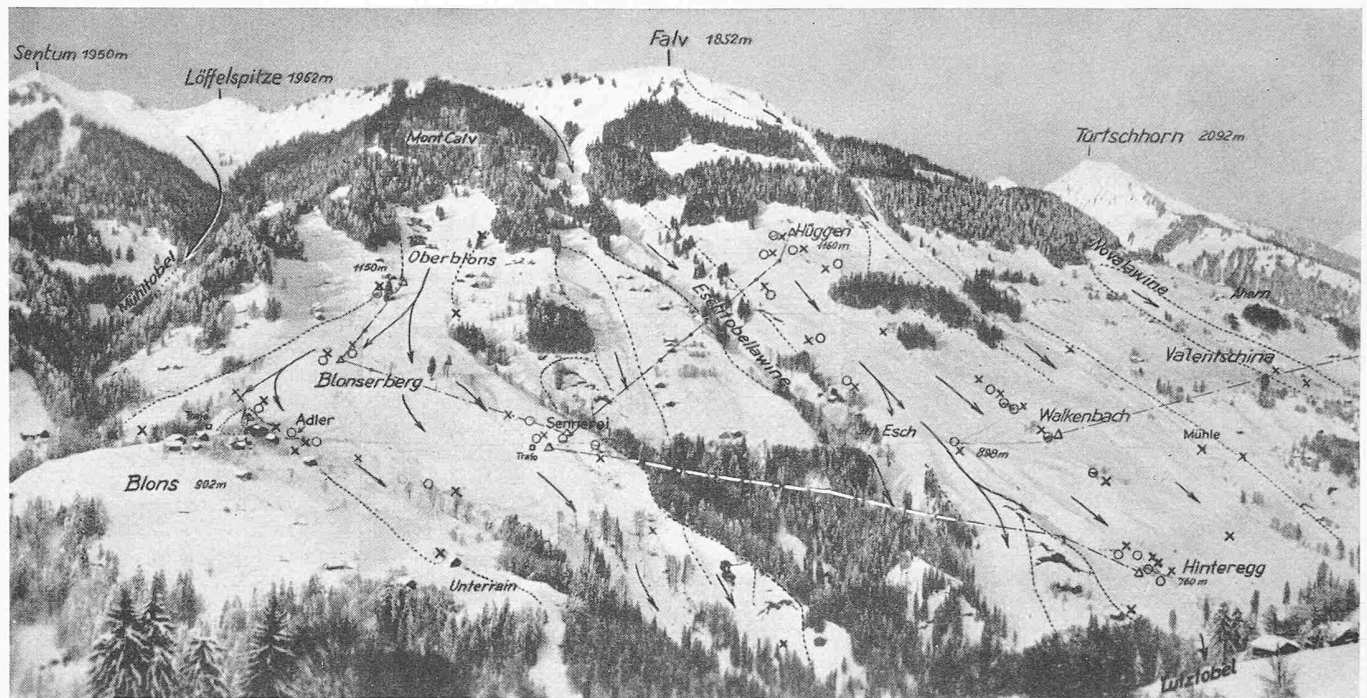


Bild 1. Lawennenniedergänge im Grossen Walsertal am 11. Januar 1954. ○ zerstörte Häuser, × zerstörte Ställe, △ Seilbahnstationen, — — — Seilbahnen, — — — Richtung der Züge, Begrenzung der Lawennenzüge

2. Feststellungen an zerstörten Objekten

A. Blons und Sonntag

Die Häuser, die in Blons und Sonntag zerstört wurden, waren von ähnlicher Bauweise: Sie waren auf einem Sockelmauerwerk in Holz entweder im Blockverband oder als Ständerbau mit Verschalung erstellt worden. Auch die im Blockverband erstellten Häuser waren vielfach mit Holzschindeln verkleidet. Nachstehend sollen die Zerstörungen an Hand von einigen typischen Beispielen gezeigt werden.

a) Mesmerhaus in Blons (Bild 4)

Das in Blockbauweise erstellte Haus wurde durch eine Lawine von seinem Fundament abgehoben, als Ganzes etwa 50 m fortgeschoben und blieb an einem seitlichen Hang schräg stehen. Als Sekundärwirkung ist durch die Schräglage der Dachstock mit dem Dach horizontal vom übrigen Gebäude abgeglitten. Die hintere Gebäudewand ist bis auf 2,5 m Höhe eingedrückt, während die höher gelegene Giebelwand, obschon durch Fensteröffnungen stark geschwächt, auseinandergefallen ist, ohne dass dabei Balken gebrochen wären. Ueber die ursprüngliche Konstruktion des eingedrückten Wandteils bestehen keine exakten Anhaltspunkte mehr. Die Breite der Wand betrug etwa 6 m und die Dicke der Balken war 17 bis 18 cm. Es ist zu erwarten, dass auch dieser Wandteil durch Fenster und Türöffnungen geschwächt war. Unter der Annahme einer geschlossenen Wand bei einer Biegefestigkeit von etwa 400 kg/cm² für die vorliegende Holzqualität

ergibt sich für das Brechen der Holzbalken ein rechnerischer statischer Druck von maximal etwa 4500 kg/m². Durch das Vorhandensein von Öffnungen in der Wand wird ihre Festigkeit stark vermindert, indem nicht mehr die Biegefestigkeit der Balken massgebend ist, sondern die Kräfte durch die Zapfen der senkrechten Hölzer übernommen werden müssen. Der angegebene Druck ist daher als obere Grenze zu beurteilen, der wahrscheinlich in Wirklichkeit höchstens zur Hälfte erreicht wird. Aus den festgestellten Zerstörungen, wie auch aus dem Vorhandensein intakter Fensterscheiben auf der Seiten- und Vorderwand ist zu schliessen, dass beim Auftreffen der Lawine keine schlagartige Beanspruchung eintrat. Vielmehr mussten die Vorgänge so langsam abgelaufen sein, dass mit einer statischen Druckbeanspruchung gerechnet werden darf. Die Zerstörungen an der rückseitigen Giebelwand und an der Dachhaut deuten auf eine nach aufwärts wirkende Kraftkomponente hin. Mit dem Mobiliar und der Schneelast, jedoch ohne Fundament, dürfte das Gewicht des Hauses schätzungsweise zwischen 40 und 50 t liegen. Zum Kippen um die vordere Kante ist daher eine Vertikalkraft von etwa 20 bis 25 t nötig, was einem Druck auf die hintere Fassadenfläche von etwa 650 bis 750 kg/m² entsprechen würde.

b) Wohnhaus in Sonntag (Bild 5)

Die Bauart des Hauses war praktisch die selbe wie beim Mesmerhaus in Blons; die Geländeneigung des Lawennenzuges dürfte etwas geringer gewesen sein. In Abweichung zum Haus in Blons war hier der untere Teil der Rückwand wesentlich

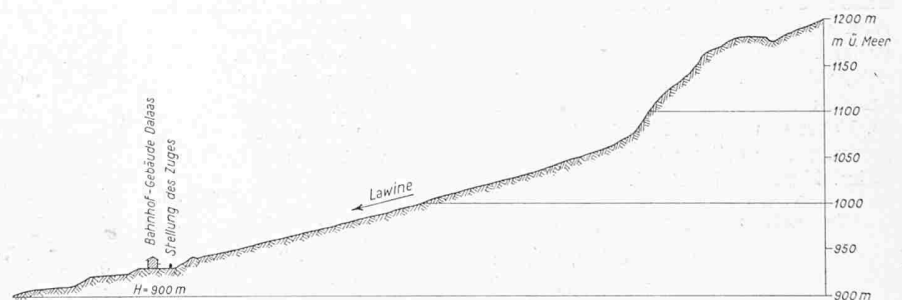


Bild 3. Längsprofil des Lawennelaufs ob Bahnhof Dalaas (Arlberglinie), Masstab 1:8000

Bild 2 (links). Blick gegen den Lawennenzug ob Bahnhof Dalaas

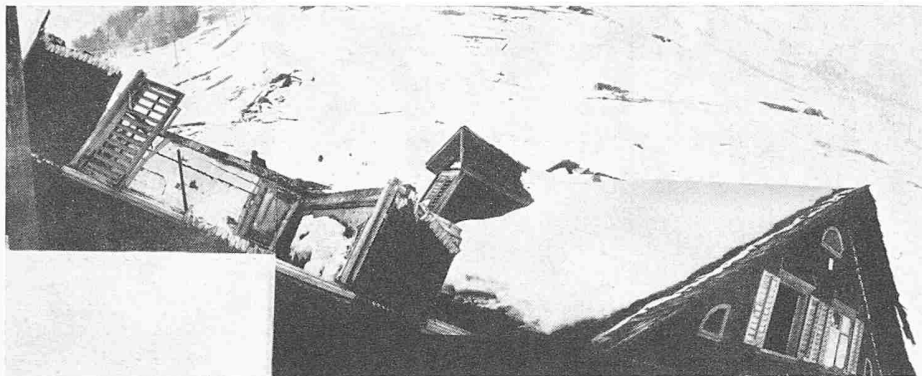


Bild 4. Mesmerhaus Blons. Das in Blockbauweise erstellte Haus wurde als Ganzes vom Fundament abgehoben, an eine seitliche Böschung transportiert, wo infolge der Schräglage der Dachstock vom übrigen Haus abglitt. Rechts die der Lawine zugekehrte Gebäudewand

weniger zerstört als die Giebelwand und die hintere Hälfte des Daches. Die Ursache liegt in einem hinter dem Hause befindlichen grossen Scheiterhaufen, der den mittleren Teil der unteren Rückwand schützte und als Auflaufkeil wirkte. Ob schon das ganze Haus etwa 7 m nach vorne geschoben wurde, ist der Holzhaufen nur im oberen Teil etwa 1 m nach vorne gestossen, was für eine relativ geringe, horizontale Schubwirkung an dieser Stelle spricht. Die Länge des auf den Holzhaufen aufgelaufenen Schneekeils betrug im Zeitpunkt der Besichtigung, als schon erhebliche Setzungen eingetreten waren, noch etwa 7 m.

Die Zerstörungen der Giebelwand sind nicht auf Biegebrüche der Balken zurückzuführen. Wie Bild 5 (rechts) zeigt, wurden die Balken durch eine vertikal nach oben wirkende Kraft auseinandergerissen. Eine gleichgerichtete Kraft hat das Dachgebälk zerstört. Die Trümmer liegen noch in unmittelbarer Nähe des Gebäudes und lassen weder auf eine schlagartige Wirkung noch auf eine grosse Geschwindigkeit des stossenden Schnees schliessen. In der Zone, wo das Dach zerstört ist, wurde der 5 m breite und 4 m tiefe Estrichboden, bestehend aus 40 mm dicken Tannenbrettern, muldenartig bis zur Bruchgrenze durchgebogen, da sich offenbar bis zur Zerstörung des Daches die Schneemasse aufstaute. Die rechnerische statische Last zum Eindringen des Estrichbodens beträgt 300 bis 350 kg/m². Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, dass in einem zeitlich gestaffelten Verlauf zuerst durch eine vertikal nach oben wirkende Kraftkomponente die Giebelwand und ein Teil des Daches zerstört und das ganze Gebäude hinten vom Fundament gehoben wurde, und erst in einer spätern Phase, durch die aufgestaute Schneemasse, das ganze Haus nach vorn gegliitten war. Zum Heben des Hauses auf einer Seite ist eine Vertikalkraft von etwa 30 bis 35 t (rd. 0,7 t/m² Fassadenfläche) erforderlich, welche grössenordnungsweise auch der Kraft entspricht, die nötig ist, um das Dachgebälk von unten zu brechen, während zum Schieben des Hauses (bei einem Reibungskoeffizienten von $\mu \sim 0,2$ auf Schnee) nach Abheben nur etwa 15 t genügen, was etwa

800 kg/m² hinterer Gebäudefläche entspricht. Die überschlägliche Nachrechnung der beiden Fälle Blons und Sonntag ergibt erstens befriedigende Uebereinstimmung in der Grösse der wirksamen Kräfte und zweitens relative kleine Kräfte. Die trotzdem grossen Zerstörungswirkungen sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass nach oben gerichtete Kraftkomponenten auf die Häuser wirkten, für deren Aufnahme bei gewöhnlichen Wohnbauten normalerweise keine konstruktiven Massnahmen getroffen werden.

c) Haus mit Stall «Walkenbach»

Das Haus ist in Ständer-Bauweise erstellt und sehr tief in den Hang gebaut, so dass die bergseitige Giebelwand das

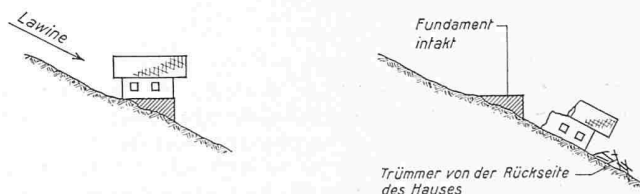


Bild 6. Schematische Darstellung der Zerstörungsart der Häuser in Blons (Bild 4) und Sonntag (Bild 5) vor und nach der Katastrophe

Tabelle 1. Hauptdaten der zerstörten Häuser

		Haus Blons	Haus Sonntag
Breite rd.	m	6	10
Länge rd.	m	8	10
Höhe 1. Etage rd.	m	2,5	2,5
Höhe Giebelwand rd.	m	4	4
Wanddicke (ohne Schindeln)	cm	17—18	16
Dachfläche rd.	m ²	100	180
Gewicht (gesch.) rd.	t	40—50	60—70
Kraft zum einseitigen Heben einschl. Schneelast rd.	t	20—25	30—35
Auftrieb pro 1 m ² Wand rd.	kg/m ²	650—750	700—800

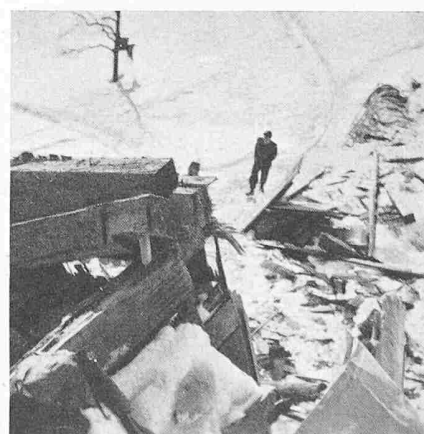
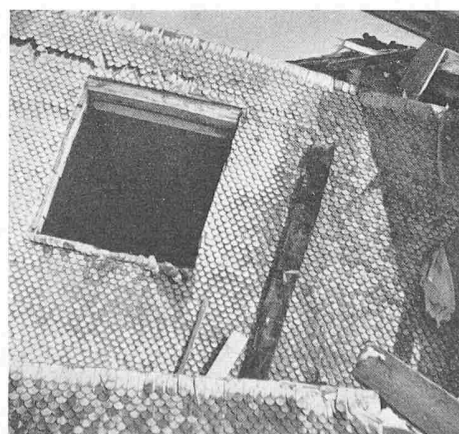


Bild 5. Haus in Sonntag. Links: nach vorn gekippter und verschobener vorderer Gebäudeteil; in der Mitte: Teil der Seitenwand des hinteren Gebäudeteils mit gehobenen und heruntergeworfenen Balken. Der Balken über dem Fenster ist ebenfalls gehoben; rechts: Einzelheit der hinteren Ecke mit ausgehobenen Zapfen

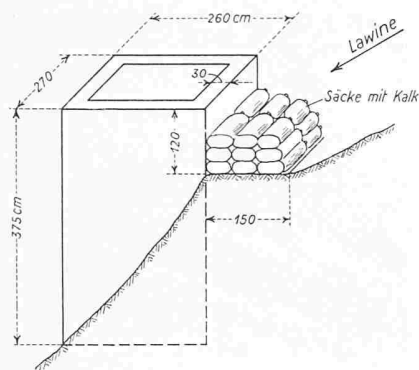


Bild 7. Seilbahnfundament in Blons

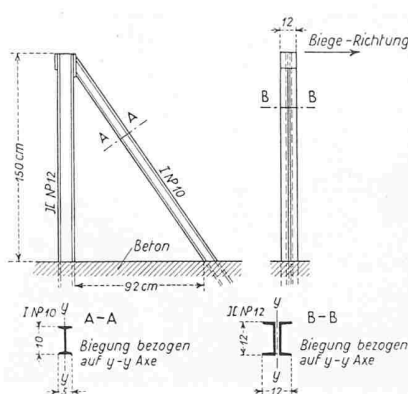


Bild 8. Eisenständer der Seilbahn in Blons

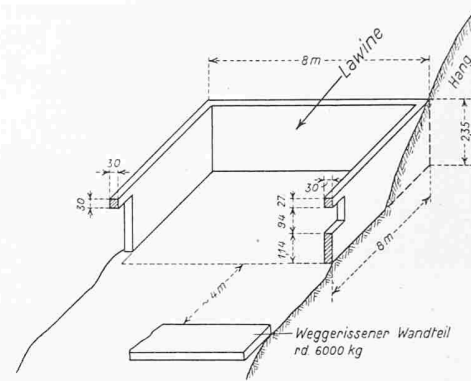


Bild 9. Sockelmauer eines Neubaus in Blons

Terrain nur etwa 2 bis 3 m überragt. Durch eine Lawine sind Balken eines höher gelegenen Stalles auf das Dach transportiert worden, ferner wurde der Aufbau einer unmittelbar daneben stehenden Seilbahnstation weggerissen. Trotz der leichten Bauweise erlitt das Haus infolge Ueberströmens der Lawine ausser einer leichten Verschiebung talwärts äusserlich keinen nennenswerten Schaden. An der bergseitigen Giebelwand waren einzelne Balken nahe dem Bruchzustand. Wegen der geringen Angriffsfläche konnte sich die nach oben wirkende Kraftkomponente nicht genügend auswirken. Der Schneedruck der gestauten Schneemasse auf die relativ kleine exponierte, bergseitige Giebelwand von maximal zirka 3000 kg/m^2 (geschätzt aus den festgestellten Zerstörungen an den Balken) genügte nicht, um das Haus nach vorn umzudrücken.

d) Andere Objekte

Betonfundamente von Seilbahnstationen. Die Fundamente waren entsprechend Bild 7 als Betonschacht erstellt. Je nach Hangneigung variierte die Gründungstiefe auf der Bergseite. Obschon der Holzaufbau jeweils zerstört war, ist keines der besichtigten Fundamente durch die Lawinen verschoben worden. Die nachgerechneten Kippkräfte mussten kleiner als 4000 bis 5000 kg/m^2 gewesen sein.

Geländerpfosten im Eschtobel. Die Eschtobel-Lawine wurde im Gegensatz zu den übrigen Lawinen dieses Gebietes offenbar bereits im «Anrissgebiet» durch das Tobel kanalisiert (s. Bild 1) und erhielt im weitem noch Zuflüsse anderer Lawinen von der Seite. Durch die seitliche Eindämmung war auch die Expansion teilweise gehemmt, so dass diese Lawine wegen der grösseren Schneemasse und offenbar höheren Schneebefrachtung ihrer Art nach zwischen den Staublawinen und Grundlawinen liegt. Für diese Annahmen sprechen auch die Schäden am Waldbestand auf der Flanke des Tobels, die im Gegensatz zu den kaum feststellbaren Zerstörungen am Baumbestand durch eine Staublawine in Bings-Bludenz standen. Die Bahn der Bingslawine führte durch einen Wald an steilem Felshang. Trotzdem ein Gebäude beim Uebergang des Hanges in die Ebene durch die Lawine in der üblichen Art zerstört wurde, ist am Baumbestand nur unmerklicher Schaden entstanden. Ein weiterer Unterschied gegenüber den übrigen

Lawinen lag in der Beschaffenheit der Schneemasse. Im Eschtobel war der Schnee auf die ganze Tiefe ziemlich gleichmässig mit Holzteilen, Erde und Steinen durchsetzt, während bei den übrigen Lawinen trotz zum Teil sehr grossen Schneehöhen, z. B. im Staugebiet beim Bahnhof Dalaas die Trümmer jeweils lokalisiert in der Nähe der zerstörten Objekte oder in einem gewissen Abstand auf der Schneeoberfläche zerstreut lagen. Diese Beobachtungen lassen darauf schliessen, dass bei dieser «kanalisierten» Lawine die Schubwirkungen wesentlich grösser waren als bei den im freien Hang abgleitenden Lockerschneelawinen. Es dürfte sich bei dieser Lawine für die gegebenen Verhältnisse und in jenem Gebiet um diejenige mit der grössten Kraftwirkung handeln. Als Indikator für die Grenzen der Kräfte dient erstens ein Eisenbahnschienenstück, das als Geländerpfosten diente und intakt blieb, somit ein Grenzwert ergibt, der nicht erreicht wurde, ferner abgebrochene Baumstämme, die auf den untern, überschrittenen Grenzwert hinweisen. Die statische Nachrechnung ergibt, dass die Kraft von etwa 6000 kg/m^2 Rundholz-Projektion überschritten wurde.

Eine Profileisen-Stütze entsprechend Bild 8, die für eine projektierte Seilbahn erstellt war, deren Seile jedoch noch nicht eingezogen waren, wurde seitlich umgebogen. Zum Umbiegen in der vorliegenden Richtung ist eine statische Kraft von etwa 3500 kg/m^2 notwendig, s. Bild 8a.

Sockelmauer eines im Bau befindlichen Hauses in Blons (Bild 9). Bei diesem Objekt wurden die Bauarbeiten eingestellt, nachdem die Baugrube ausgehoben und die vier Sockelmauern betoniert waren. Das Objekt befand sich somit als oben offener Kasten derart horizontal in den Hang gestellt, daß die Rückwand ganz, und die beiden Seitenwände teilweise vom Erdreich umgeben waren und nur die talseitige Front-



Bild 8a. Durch Lawine abgeogener Eisenständer

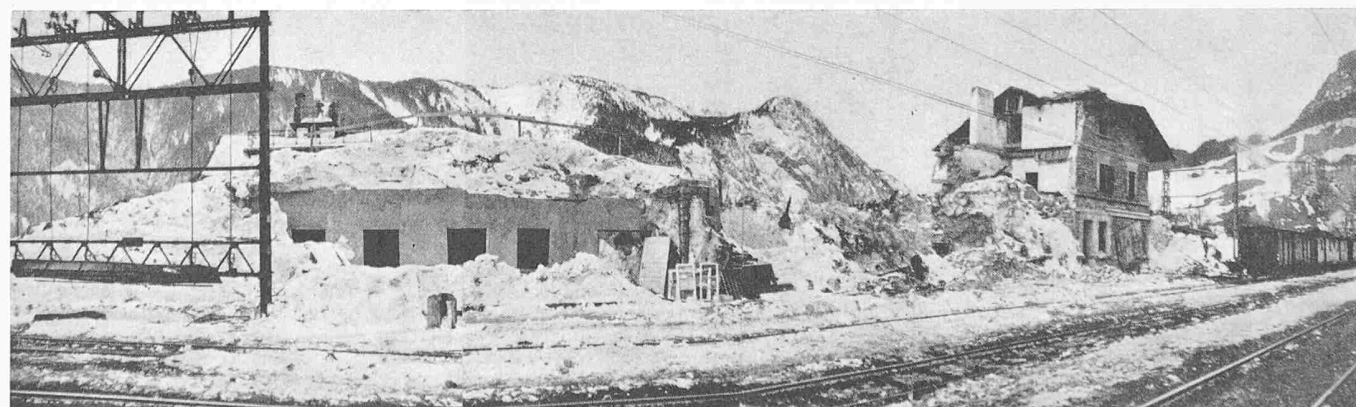


Bild 10. Gesamtbild der Zerstörungen am Gebäudekomplex des Bahnhofs Dalaas



Bild 11. Auf etwa 7 m Höhe aufgestaute Schneemassen an der Frontseite des Bahnhofs Dalaas

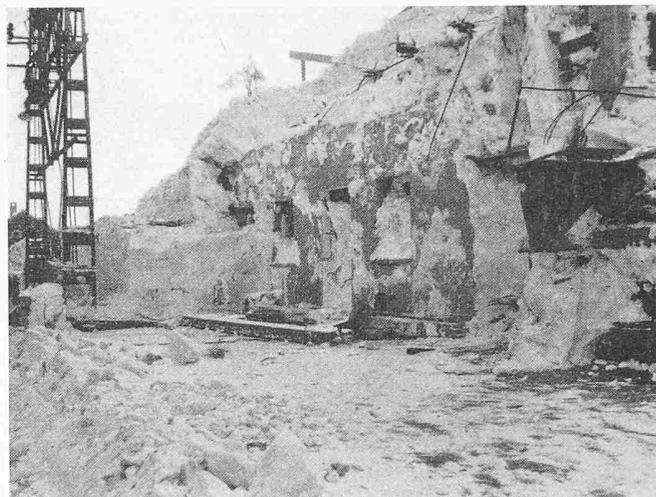


Bild 12. Oestlicher Gebäudeteil mit eingepresstem Schnee bei Tür- und Fensteröffnungen

wand aussen frei stand. Der Hang erstreckte sich mit ziemlich gleichmässiger Neigung (etwa 30°) ohne wesentliche Hindernisse über 700 bis 1000 m aufwärts bis zur Waldgrenze. Durch die Lawine wurde die talseitige Betonwand von den Seitenwänden abgerissen, umgelegt und trotz der Hangneigung nur etwa 4 m geschoben. Die rechnerische Zugkraft, um diese Mauer abzureissen, beträgt bei einer angenommenen Zugfestigkeit des Betons von 15 bis 20 kg/cm^2 total etwa 100 bis 150 t, bzw. 3000 bis 5000 kg/m^2 Mauerfläche.

B) Bahnhof Dalaas

a) Gebäude

Die allgemeine Situation bei der Katastrophe vom Januar 1954 geht aus Bild 3 hervor. Die Lawine traf frontal auf das Bahnhofgebäude auf. Der westliche, noch stehende Teil des Gebäudes befand sich ziemlich in der Mitte der Lawine. Aus den Entfernungen der noch intakten Objekte kann die wirksame Breite der Lawine abgeschätzt werden, sie beträgt etwa 120 m. In Anbetracht der Ebenheit und Breite des Hanges ist diese geringe Breite nur verständlich, wenn man annimmt, dass eine im höher gelegenen und steilen Anrissgebiet ausgelöste Lawine den ganzen Hang durchstossen hat, ohne sich sichtlich auszubreiten. Infolge der Stauwirkung beim nicht zerstörten Gebäudeteil erreichte die Schneehöhe etwa 7 m (Bild 11). Das Ausmass der Gebäudezerstörung im gesamten ist aus Bild 10 ersichtlich. Auf der östlichen Seite (links in Bild 10) wurde das Dach abgetragen, bzw. nach hinten umgelegt. Die Dachtrümmer lagen unmittelbar hinter dem Gebäude. Der untere, in 40 cm dicken Backsteinmauern erstellte etwa 12 m breite und 3,3 m hohe Gebäudeteil ist stehen geblieben. Fenster und Türen waren samt den Rahmen nach innen gedrückt. Gestützt auf die Erfahrungen bei Sprengversuchen genügen für diese Zerstörungen bereits Drücke der Grössenordnung etwa 100 bis 200 kg/m^2 . Die ins Innere gepresste Schneemasse erzeugte einen Querdruck, so dass seitliche Verbindungstüren eingedrückt und Decken gehoben wurden (Bild 12). Beim vorliegenden, einstöckigen Gebäude ist wegen der geringen Mauerpressung zum Eindringen der Frontwand offenbar die Ueberwindung der Schubfestigkeit massgebend. Unter der Annahme einer Schubfestigkeit von 5 bis 10 kg/cm^2 des Mauerwerkes ergibt sich ein Druck auf die Mauerfläche von 1200 bis 2400 kg/m^2 . Hinter diesem Teil des Bahnhofgebäudes befand sich in etwa 15 m Entfernung ein Haus mit überdeckter Veranda. Das Verandadach wurde von oben her zusammengedrückt, indem die vom davorstehenden Gebäude gestauten Schneemassen wie bei einem Ueberfallwehr auf das dahinterliegende Verandadach stürzten. Für diese vorwiegend von oben nach unten wirkende Kraftkomponente spricht auch die Feststellung, dass die übrige Gebäudefront und selbst die Fensterscheiben intakt blieben. Der mittlere Teil des Bahnhofes ist vollständig eingestürzt.

Der westliche Gebäudeteil sowie ein etwa 3 bis 4 m danebenstehender Gittermast aus Eisen sind stehen geblieben,



Bild 13. Westlicher, stehen gebliebener Gebäudeteil (wie Bild 11) mit davor liegender Lokomotive, nach Entfernen des Schnees



Bild 14. Zustand der Querwand des ersten Stockwerks, Lawinenrichtung von rechts nach links

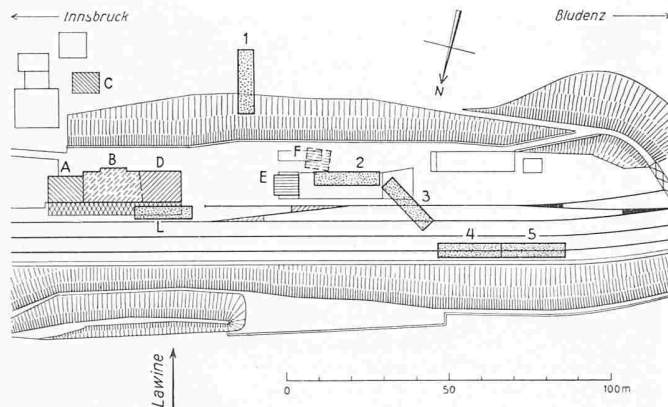


Bild 15. Lageplan des Bahnhofs Dalaas mit verschobener Zugskomposition, Masstab 1:2250

A Total verschüttete Notstromanlage	L Umgeworfene Lokomotive 120 t
B Total zerstörtes Bahnprofil	1 Ueber die Böschung verschobener Waggon
C Zerdrückter und hoch verschütteter Schweinestall	2, 3 Umgeworfene Waggon
D Noch stehender Gebäudeteil	4, 5 Auf dem Gleis stehen gebliebene Waggon
E Nach F verschobenenes Frachtmagazin	

trotzdem sich der Schnee bis über das zweite Stockwerk aufstaute. Der Lawindruck konnte dort etwa 2000 kg/m^2 nicht überschreiten. Eine umgelegte elektrische Lokomotive, die vor das Gebäude geschoben wurde und dadurch einen Schutzwall von 3 m Höhe bildete, verhinderte offenbar den Einsturz, Bild 13. Sehr instruktiv ist der Zustand der Fensterläden und Fenster dieses Gebäudeteils. Sowohl im Erdgeschoss als auch im ersten Stock sind die Fensterläden noch intakt oder nur wenig beschädigt. Beim mittleren Fenster im ersten Stock sind sogar noch die Fensterscheiben vorhanden. Diese Beobachtungen lassen darauf schliessen, dass die der Lawine vorausseilende «Druckfront» wenig Energie enthielt. Sie musste auf die Gebäudewand auftreffen, bevor die Lokomotive davorgeschoben wurde.

Der Zustand der Bruchebene zwischen stehendem und eingestürztem Teil quer zum Gebäude, also in Richtung der Lawine, gibt gewisse Anhaltspunkte für den Zerstörungsvorgang, Bild 14. Die Trennwand aus Backstein wurde nur auf der Höhe des ersten und zweiten Stockwerkes und nur bis zur mittleren Längswand eingedrückt. Für diese Zerstörungen sind aus den Bruchbildern zwei Kraftwirkungen zu erkennen, nämlich: eine in der Richtung der Querwand schräg nach oben gerichtete Schubkraft, wie aus der Bruchrichtung des bestehenden Spickels und der Verdrehung der Backsteine in der Bruchzone hervorgeht (Bild 14) und ein senkrecht auf die Wandfläche wirkender Querdruck.

Die Querkraft zum Eindringen der vorliegenden Backsteinwand, namentlich bei Berücksichtigung der infolge der Längskraft eingetretenen Lockerung des Verbundes, dürfte etwa 100 bis 200 kg/m^2 kaum übersteigen. Eine Abschätzung der Grösse der in der Längsrichtung wirkenden Kraftkomponente ist schwierig, da Einzelheiten über die Richtung der angreifenden Kräfte aus der Zerstörung nicht eindeutig ersichtlich sind. Wahrscheinlich wurde die Mauer durch die Vertikalkomponente des Druckes vorne abgehoben und ist dann unter geringem Seitendruck eingestürzt. Hiefür genügt eine vertikale Druckkomponente von 500 bis 1000 kg/m^2 auf die mit der Quermauer eingestürzte Frontwand von etwa 20 m^2 Fläche.

Der zwischen der mittleren Längswand und der hintern Aussenwand stehende Teil der Querwand ist durch Schub zerissen worden. Aus dem Verlauf und der Lage der Risse ist zu schliessen, dass der Schwerpunkt der horizontal wirkenden Kraftkomponente ziemlich hoch oben, schätzungsweise über dem Boden des ersten Stockwerkes angriff.

b) Eisenbahnzug

Zur Zeit der Katastrophe stand vor dem Bahnhof Dalaas eine Zugskomposition, bestehend aus einer elektrischen Lokomotive und fünf vierachsigen Personenwagen. Durch die Lawine ist die Lokomotive umgelegt und vor das Stationsgebäude geschoben worden. Der nachfolgende Wagen wurde

ebenfalls auf die Seite gelegt, aus der Komposition gelöst, dann offenbar zuerst quer geschoben. Wie aus einem klaffenden Riss im Dach zu schliessen ist, blieb ein Ende an einem Objekt (mutmasslich Leitungsmast) hängen, worauf sich der Wagen um 90° drehte und dann in der Längsrichtung weiter über eine Böschung hinunterglitt. Der zweite Wagen wurde ebenfalls seitlich umgelegt, dann weiter auf das Dach gedreht, vor die Rampe des Güterschuppens geschoben und schliesslich mit den Rädern nach oben auf die 110 cm hohe Rampe gehoben. Der dritte Wagen ist auf die Seite gelegt und schräg über die Gleisanlage geschoben worden, während die übrigen Wagen unversehrt blieben. Einzelheiten enthält Bild 15. Sowohl die Lokomotive wie auch der zweite Wagen wurden vom aufgestauten Schnee restlos überdeckt.

Für den Vorgang sind folgende Feststellungen wichtig: Bei der Lokomotive war die Blechverschalung der exponierten Seitenwand unversehrt; ebenso waren die der Lawine zugekehrten Seiten sowie die Scheiben der Fenster der Personenwagen intakt. Aus dieser Feststellung ist zu schliessen, dass beim Auftreffen der Lawinenfront keine nennenswerte schlagartige Beanspruchung auftrat. Laut Aussagen von Insassen des ersten Personenwagens, der am weitesten transportiert wurde, hat sich der Vorgang sehr langsam abgespielt. Diese Aussagen werden bestätigt durch die Art der Verletzungen der Reisenden, die allgemein harmlos waren und vorwiegend aus Schürfungen und Schnitten bestanden: letztere z. T. entstanden beim Aufschlagen der Fenster zur Befreiung. Die bereits bei Blons aus den Gebäudeschäden abgeleitete Annahme, dass der Zerstörungsvorgang zeitlich so langsam abläuft, dass die Kraftwirkungen statisch beurteilt werden können, ist durch diese Angaben bestätigt worden.

Zum Kippen der 120 t schweren Lokomotive unter der Annahme einer gleichmässigen Kraftverteilung auf die Seite waren mindestens 51 t bzw. 850 kg/m^2 erforderlich, zum Kippen der Eisenbahnwagen mindestens 18 t bzw. 300 kg/m^2 . Bei der extremen Annahme, dass der Wagen nach dem Kippen an die Rampe geschoben und erst dann durch Unterprennen von Schnee gehoben wurde, würde die Hebekraft mindestens 41 t bzw. 660 kg/m^2 betragen. Wird aber angenommen, der Wagen sei auf einem Schneepolster auf die Rampe geschoben oder gerollt worden, wofür die Endstellung mit den Rädern nach oben spricht, ist für dessen Hebung auf die Rampe bei einem Winkel von 45° des darunterliegenden Schneekeils eine Kraft von 400 bis 500 kg/m^2 notwendig.

Die Kräfte zum Verschieben der umgelegten Lokomotive bzw. der Wagen mit den glatten Metallflächen auf dem pulverigen Schnee sind gering und betragen bei einem angenommenen Reibungskoeffizient von $0,1$ bis $0,2$ bei der Lokomotive höchstens etwa 200 bis 400 kg/m^2 und bei den Wagen höchstens etwa 70 bis 140 kg/m^2 . Der Umstand, dass der hinter der Lokomotive befindliche Teil des Bahnhofgebäudes nicht zerstört wurde, dass sogar die Fensterläden und Fenster z. T. intakt blieben und der hinter dem zweiten Personenwagen befindliche leichte Holzschuppen nur leicht auf die Seite gedrückt wurde, lässt schliessen, dass mit der Bewegung dieser Zugteile die Lawine im wesentlichen aufgehalten wurde, wofür auch die grossen, aufgestauten Schneemassen sprechen. Die statisch ermittelten Kräfte, die angewendet wurden, um die Lawine zum Stillstand zu bringen, betragen für die Lokomotive etwa 1000 bis 1200 kg/m^2 und für den Eisenbahnwagen je nach Annahme für den Hebevorgang etwa 700 bis 1000 kg/m^2 . Aus der Grösse der ermittelten Kräfte, die bei Bewegungen der Lokomotive bzw. der Wagen auftraten, lässt sich die Neigung der wirksamen Resultierenden zu 20% bis 30% abschätzen.

II. Art und Grössenordnung der beobachteten Druckwirkungen

Die beobachteten Zerstörungswirkungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Kräfte, welche die untersuchten Zerstörungen im Lawinenzug verursachen, entstehen aus der Stauwirkung, welche das Objekt der strömenden Schneemasse entgegengesetzt. Die Beobachtungen haben ergeben, dass bei den untersuchten Fällen das Ansteigen der Kräfte auf ihr Maximum verhältnismässig langsam erfolgte. Die Wirkung auf die Objekte muss nicht nach der Theorie des Stosses verfolgt wer-

den, sondern man kann nach statischen Prinzipien auf die wirkenden Kräfte schliessen.

2. Infolge Fliessvorgang beim Stauen des Schnees wirken auf die Objekte Kräfte in Strömungsrichtung der Lawine wie auch quer dazu, speziell nach oben, wobei das Druckmaximum der verschiedenen Kräfte zeitlich nicht zusammenfallen muss. Die resultierende Stosskraft der Lawinen wirkt in der Regel nach oben, besonders an wenig geneigten Hängen und in Mulden (Dalaas, Monstein); sie kann aber auch unter sehr steilen Hängen von oben nach unten wirken (Vals). Bei den untersuchten Fällen überschritt die Druckwirkung in Stoss-Richtung der Lawine selten 5 t/m^2 getroffener Objektfläche, wobei es sich vornehmlich um Lockerschnee — oder StaUBLawinen handelte. Nur drei Sonderfälle aus der Schweiz lassen auf maximale Druckwirkungen von 10 bis 20 t/m^2 schliessen, wobei es sich um starke Hangneigungen, 45 bis 100 %, und z. T. um Grundlawinen handelte.

Die infolge Stauens einer Lawine durch ein in der Gleitbahn stehendes Hindernis auftretenden Vertikalkräfte können bei normaler Ausführung der Häuser etwa die Hälfte der Horizontalkraft erreichen. Ihre Wirksamkeit ist abhängig von den in der Aufprallfläche auftretenden Gleitwiderständen, wie Reibung an rauhen Fassaden (Steinquadern, Schindeln) oder Fassadenöffnungen, Fenstergewände, Dachvorsprünge usw. Für den Fall Blons war das Verhältnis $P_v/P_h \sim 0,2$, im Fall Dalaas im ungünstigsten Fall $\sim 0,5$. Im Fall Vals war der Druck nach unten wirkend. Nach unten gerichtete Druckwirkungen werden auch in der Schweiz am Fuss von Steilhängen häufig festgestellt (Andermatt, Zuoz).

3. Decken, welche von Lawinen überfahren werden, werden entsprechend der bei den jeweiligen Verhältnissen auftretenden Lawinenhöhe bzw. Stauhöhe durch das Schneegewicht beansprucht.

4. Durch mitgeschleppte Trümmer, Steine, Bäume usw. können Rammeffekte auftreten, die gegebenenfalls bei einer

Neuanlage durch Anwendung von Konstruktionen oder Verwendung von Materialien mit grossem Arbeitsvermögen berücksichtigt werden können.

5. Die Zerstörungswirkung des Luftstosses, welcher der Lawine vorausseilt, war bei den untersuchten Fällen gering und reichte nur zum Eindringen von Fenstern und leichten Türen, wofür erfahrungsgemäss ein Druckstoss von höchstens 500 kg/m^2 genügt. Dagegen können sich die Wirbelschichten einer StaUBLawinenfront ähnlich auswirken wie Druck- und Sogwirkungen eines Verdichtungsstosses der Luft. Zerstörungen, welche auf eine typische Sogwirkung zurückzuführen wären, konnten weder bei den Zerstörungen im Vorarlberg noch aus den verfügbaren Angaben aus der Schweiz nachgewiesen werden.

6. Die obigen Feststellungen ergeben sich aus der unmittelbaren Beobachtung der Zerstörungswirkungen von Lawinen. Der nächste Abschnitt wird zeigen, wieweit sie theoretisch bestätigt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Vergl. Berichte des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Weissfluhjoch, Davos.
- [2] Die Lawinenkatastrophe 1951. Rechenschaftsbericht des Internationalen Koordinationskomitees über die Verwendung der vom Schweizerischen Roten Kreuz für die Hilfeleistung gesammelten Geldmittel, Bern 1953.
- [3] Eidg. Dep. des Innern, Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei: Veröffentlichungen über Verbauungen Nr. 1 (1925), 2 (1934), 3 (1935), 4 (1936) und 6 (1951).
- [4] Beiheft Nr. 26 zu den Zeitschriften des Schweiz. Forstvereins 1951: Lawinenverbau.
- [5] «Bündnerwald» 1954, Nr. 7: Verbauungen von St. Antönien.
- [6] R. Haefeli: Schneemechanik. Zürich 1939.
- [7] E. Bucher: Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaues. Beiträge zur Geologie der Schweiz — Geotechn. Serie-Lieferung 6. Bern 1948.
- [8] M. de Quervain: Protection contre les Avalanches. Zeitschrift des Schweiz. Forstvereins 1954, Nr. 7.

Erfahrungen mit der Kehrrechtverwertungsanlage der Stadt Basel

Von Dipl. Ing. R. Palm, Basel

DK 628.492

Die Aufgabe jedwelcher Kehrrechtverwertung ist, den Anfall aus Haushaltungen und Kleinindustrie *hygienisch* zu beseitigen. Es entstehen dabei Kosten für die Mülleinsammlung und Anfuhr sowie für den Betrieb der Verwertungsanstalt. Weil für die Einsammlung kein geldlicher Gegenwert zu erhalten ist, jedoch die für den Betrieb entstehenden Kosten unter Umständen durch gewisse Einnahmen gedeckt werden können, müssen beide Kostenelemente getrennt erfasst werden.

Es sei hier nachdrücklich darauf hingewiesen, dass das, was in einer Stadt richtig ist, je nach Umständen in einer anderen Stadt nicht angewendet werden darf. Es trifft dies nicht nur für die Verbrennungsöfen und Kesseltypen zu, sondern auch für die Verwendungsart der anfallenden Produkte, nämlich ob die Wärme als Warmwasser oder Heisswasser, als Dampf für Stromerzeugung oder für Heizzwecke, was die Anlage mit Zusatzfeuerung auszurüsten sei, ob die Schlacke direkt in die nächste Grube abgefahren oder als Auffüllmaterial weiter transportiert werden darf, oder ob sie gar in Schotter auszusieben, auf Basaltstein nochmals erschmolzen oder zu Steinplatten oder zu anderem zu verarbeiten sei. Das selbe gilt für die Flugasche. Ob sie ohne Verwendung trotz des staubentwickelnden Transportes abgefahren oder mit Wasser oder Luft evakuiert, oder für Dünger, Bodenverbesserung, als feuchtigkeithaltendes Material, in anderen Fällen als Träger für Bitumenmischungen, Öle und andere Stoffe in der Fabrikation zu verwenden ist, ob sie sich wieder als Brennstoffzusatz eignet, oder in Zyklonfeuerungen zu Steinen erschmolzen werden soll, oder ob sie für Schlackenwollefabrikation zu gebrauchen ist.

Die örtlichen Verhältnisse bestimmen auch, ob Teile der Müllzufuhr, z. B. Papier, Eisen oder Gemüse, Obstabfälle und dgl. durch geeignete mechanische Einrichtungen ausgeschieden und wieder verwendet werden sollen. Hierauf ist zu entscheiden, ob die Ausscheidungen z. B. die Zerealien auf Dün-

ger zu verarbeiten sind, oder ob es wirtschaftlicher ist, die Aussiebung des Kehrrechts, welcher eventuell steril gemacht werden muss, sich besser dazu eignet. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Feinaussiebung des Mülls einen relativ höheren Düngwert hat als die gröberen Teile. Für die Art der Düngerherstellung werden die Platzverhältnisse, wie sie zur Verfügung stehen, und der Bedarf der verschiedenen Düngerarten ausschlaggebend sein.

Es kann sich hier keinesfalls darum handeln, alle Möglichkeiten zu untersuchen und die Lösungen anzugeben. Das ist Sache erfahrener Spezialisten. Es sollen hier nur einige Grundsätze aufgestellt werden.

Als erster ist ausschlag- und richtunggebend die hygienisch einwandfreie Beseitigung des Kehrrechts. Dieser Forderung sind alle anderen unterzuordnen. Eine Kehrrechtverwertungsanlage ist vor allem für das Wohl der Bevölkerung da. Verbunden mit dieser Forderung ist der Grundsatz zu wahren, dass jede Handarbeit vermieden werden soll. Damit wird auch das nächstgestellte Ziel erreicht, die Kehrrechtbeseitigung möglichst wirtschaftlich zu gestalten. Die Zeiten sind vorbei, in denen es angängig war, mit dieser Arbeit Menschen zu beschäftigen, welche bei dem geringsten Lohne arbeiten oder gar Strafgefangene zu verwenden.

Die Wirtschaftlichkeit wird durch die Menge der absetzbaren Produkte und die Preise, die mit ihnen erzielt werden können, bestimmt. Es empfiehlt sich auch aus diesem Grund, die Kehrrechtverwertung als sauberen Industriebetrieb und nicht als eine Abfallbeseitigungsanlage aufzuziehen, der man nur Abfallpreise glaubt zahlen zu müssen. Für die Preisbildung sind die Absatzmöglichkeiten ausschlaggebend. Es sollen die Fehler nicht wiederholt werden, die z. B. darin bestehen, dass neben einer Kiesgrube, welche den guten, harten Schotter im Tagbau liefert, Kehrrecht als solcher ausgeschmolzen und zu Steinen verarbeitet wird, obwohl der Fall vorliegen kann, dass Steine einen besseren Absatz finden als Wärme. Abfall-