Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 66 (1974)

Heft: 8-9

Artikel: Modellversuche über die durch Lawinen verursachten Wellenbewegungen im Ausgleichbecken Ferden im Loetschental

Autor: Volkart, Peter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921261

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: 04.02.2026

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

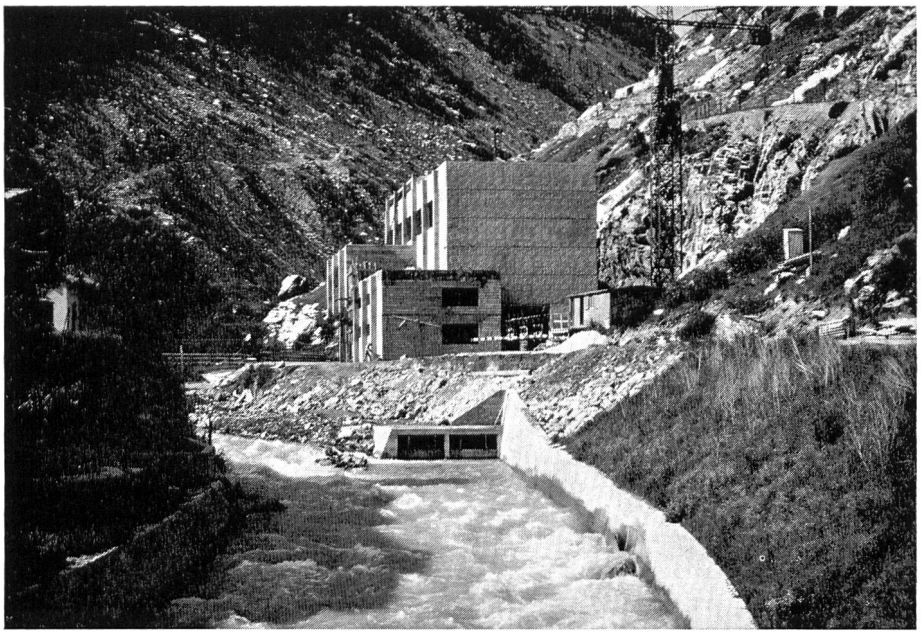


Bild 14
Zentrale Steg an der Lonza; Bauzustand im Juni 1974.

Die Zentrale Steg ist im Rohbau erstellt, der Innenausbau ist in Arbeit. Der Unterwasserkanal ist zur Hälfte betoniert. Der Maschinenhauskran mit einer Tragkraft von 100 Tonnen ist montiert, die beiden Transformatoren sind auf Platz.

Gesamthaft entsprechen die Arbeitsfortschritte dem Programm. Bei einzelnen Objekten konnte sogar ein beachtlicher Vorsprung erzielt werden. Sofern keine Schwierigkeiten auftreten, wird die Inbetriebnahme des Kraftwerkes termingemäss anfangs Oktober 1975 möglich sein.

Bildernachweis:
Foto Nr. 2 Aufnahme Archiv Lonza AG; Nrn. 5/7 Aufnahmen Hch. Baumgartner, Herisau; Nrn. 3, 14 Aufnahmen F. M. Brouwer, Visp.

Adresse des Verfassers:
Dipl. ing. ETH Christian Fux
Gesamtbauleitung KW Lötschen
c/o LONZA AG, Elektrizitätswerke
3930 Visp

MODELLVERSUCHE UEBER DIE DURCH LAWINEN VERURSACHTEN WELLENBEWEGUNGEN IM AUSGLEICHBECKEN FERDEN IM LOETSCHENTAL

DK 532.591.001.57

Peter Volkart

Bei der Projektierung, aber auch beim Betrieb von Stauseen in alpinen Gebieten stellt sich oft die Frage nach dem höchsten zulässigen Stauspiegel während der Perioden grösster Lawinengefahr. Ein Lawinenniedergang in ein volles Staubecken kann zur Folge haben, dass die ausgelösten Wasserspiegelbewegungen zu unerwünschten Ueberflutungen des Ufergeländes oder der Staumauer selbst führen können. Ein Wintervollstau ist im allgemeinen bei Staubecken, die dem Tages- und Wochenausgleich dienen, zu erwarten. Einen solchen Fall stellt auch das Ausgleichbecken Ferden des Kraftwerks Lötschen mit seinen von Lawinenzügen flankierten Uferzonen dar.

Winterbetrieb mit reduziertem Stau zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen durch Wellen steht an sich im Gegensatz zum Bestreben möglichst intensiver Beckenbewirtschaftung, da der volumenmässig ergiebigste höchst gelegene Anteil des Stauraumes zur Energieproduktion wegfällt. Es ist deshalb von besonderem Interesse diejenige Winterhöchststaukote zu kennen, welche gerade noch keine Gefährdung durch Wellenschlag erwarten lässt. Diese Kote kann dann als betrieblich optimal angesehen werden.

Die Voraussage nun, welche Wellenhöhen, insbesondere welche Ueberschwappwassermengen an der Sperre kurz nach Lawineneintritt zu erwarten sind, gliedert sich in zwei Teilprognosen. Zum ersten muss in Kenntnis der möglichen Lawineneinzugsgebiete und deren Schnee- oder Eiskubaturen sowie aufgrund früher beobachteter Lawinenniedergänge in guter Näherung angegeben werden können, mit welchen sekundlichen Fliessmengen und mit welchen Frontgeschwindigkeiten der Lawinen am Eintrittsort in den Stausee gerechnet werden soll. Es darf dabei auch die Möglichkeit des gleichzeitigen Eintreffens zweier oder mehrerer Lawinen im Stauraum nicht ausser acht gelassen werden. Erst wenn durch die zuständigen Spezialisten auf dem Gebiete der Lawinenprognose diese Eintrittsbedingungen, welche im wesentlichen den Anfangsimpuls auf den ruhenden Seespiegel bestimmen, ermittelt worden sind, kann das eigentliche Problem der angefachten Bewegungen des Wasserspiegels in Angriff genommen werden.

Im vorliegenden Beispiel des Ausgleichbeckens Ferden im Lötschental wurde die Lösung dieses zweiten, hydromechanischen Fragenkomplexes mittels hydraulischer Modellversuche gesucht, welche an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) in Zürich zur Durchführung gelangten. Dieses Vorgehen drängte sich

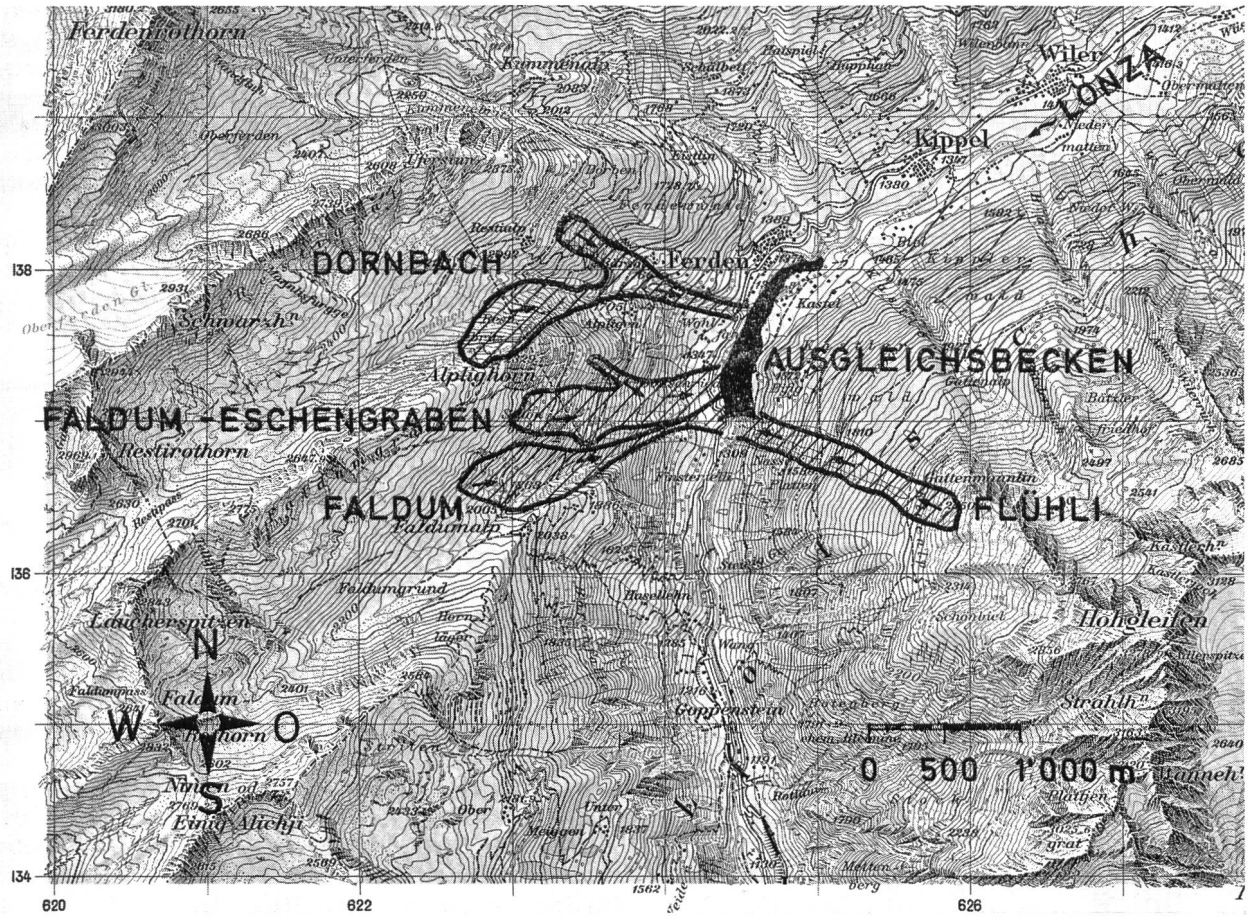


Bild 1 Generelle Karte der wichtigsten Lawinenzüge im Gebiet des Staubeckens Ferden (Reproduktion mit Bewilligung der Eidgenössischen Landestopographie).

unter anderem deshalb auf, weil die besonders interessierende Talsperren-Ueberschwappwassermenge bei den vorliegenden Randbedingungen rein rechnerisch nicht bestimmbar ist. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Uebereinstimmung der so ermittelten Ueberschwappmengen und Wellenkenngrössen mit den Naturwerten weitgehend von der Güte der schwierigen Voraussagen der Lawinenspezialisten abhängt, sofern es in der Modelldurchführung gelingt, Lawineneintrittsimpuls und geometrische Randbedingungen des Staubeckens zufriedenstellend nachzubilden.

Natürliche Lawinengefährdung

Ein Blick auf die schematisierte Lawinenkarte in Bild 1 zeigt, dass im wesentlichen vier natürliche Fliessrinnen für Schnee und Eis bestehen, nämlich die Couloirs «Faldum», «Faldum-Eschengraben» und «Dornbach» auf der Westseite des 1,3 km langen, bis 160 m breiten und 1,72 Mio m³ fassenden Stausees sowie die «Flühli»-Rinne östlich der Sperre.

Da für das Staubecken Ferden mit seinen steilen, unbewohnten Uferzonen hauptsächlich die Mauer-Ueberschwappwassermengen und nicht der zeitlich daran anschliessende, allgemeine Anstieg des Wasserspiegel infolge Auffüllens des Sees durch Lawinenmaterial interessiert, beschränkte man sich auf Eis- respektive Nassschneelawinen, die bekanntlich eine Dichte von ca. 920 kg/m³ aufweisen; die sogenannten Staublawinen mit einer Dichte unter 250 kg/m³, welche erfahrungsgemäss nur unbedeutende Wellen an Seeoberflächen bewirken, wurden in den Modelluntersuchungen nicht berücksichtigt. In den Versuchen wurde lediglich der Niedergang der Faldumlawine simuliert, weil diese mit rund 200 000 m³ das höchste geschätzte Eintrittsvolumen erwarten lässt und weil ihre Eintrittsstelle unmittelbar wasserseits der Sperre liegt. Die Faldumlawine stellt folglich für das Phänomen des Ueberschwappens über die Mauer sicher den ungünstigsten Fall dar. In den Modellversuchen wurde nicht berücksichtigt, dass oberhalb der Sperre Ferden ein Keil aus Aushubmateral vorgesehen ist, welcher bewirken soll, dass eine Lawine aus dem Faldumcouloir so geteilt wird, dass ein gewisser Anteil luftseits der Bogenstaumauer niedergeht.

Die Modell-Lawine

VERSUCHSMETHODE

Da an der VAW im Zusammenhang mit dem Ausgleichbecken Ferden vorgängig bereits ausgedehnte Untersuchungen betreffend die hydraulischen Anlageteile der Sperre sowie über Ablagerung und Spülung von Geschiebe im und aus dem Stauraum durchgeführt worden waren, stand bereits ein Geländemodell inklusive Bogenmauer im geometrischen Massstab 1 : 50 zur Verfügung, welches den gesamten Stauraum sowie 300 Meter der luftseitigen Gerinnestrecke darstellte. Aus Bild 2 ist der für die Lawinenversuche bedeutsame Teil des Modelles ersichtlich.

Zwecks Nachbildung der Lawinen musste entsprechend dem Modellmasstab ein nicht hygroskopisches «Lawinen-Material» mit einer Dichte von 900 bis 950 kg/m³ gefunden werden, welches die notwendigen Rutscheigenschaften aufweisen und aus versuchstechnischen Gründen ohne jewei-

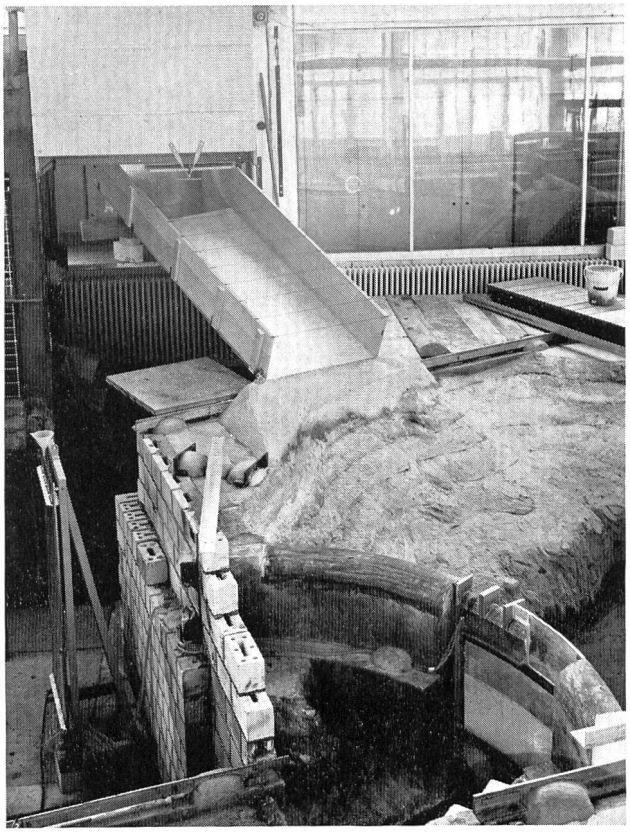


Bild 2 Ansicht des für die Lawinenversuche verwendeten Modellteils im Massstab 1:50 bezüglich der Natur. Unten die Bogenstaumauer aus Plexiglas und Mörtel mit den aufgesetzten Pfeilern der Hochwasserentlastung. Oben links der Silo für das Lawinenmaterial sowie die neigbare Rinne mit Distanzmarken. Letztere sind eines der Hilfsmittel zur photographischen Bestimmung der Einfliessgeschwindigkeit.

lige Zwischentrocknung verwendbar sein sollte. Als am besten geeignet erwies sich schliesslich das erstmals verwendete Produkt «Vestolen» mit folgenden, hier wesentlichen Eigenschaften:

— spez. Gewicht 945 bis 955 kg/m³, also etwas höher als Naturlawine mit ca. 920 kg/m³;
— Körner perlförmig, Durchmesser 2,5 bis 4 mm, entsprechend 12,5 bis 20,0 cm in Naturmassen;
— gute Rutschfähigkeit in feuchtem Zustand;
— im Wasser ohne spezielle Nachbehandlung verwendbar.

Vor Versuchsbeginn wurde das «Vestolen» in einen kubischen sich nach unten verjüngenden Holzsilo eingebracht. Das Oeffnen des Silos, also der Start der Modellawine, erfolgte durch Aufreissen eines Horizontalschiebers. In der Folge ergoss sich die «Lawine» über eine offene, in ihrer Neigung variierbare Rinne bis in den Stauraum des Modells. In der unmittelbaren Umgebung der Eintrittsstelle in den See war das leicht ausfächernde Gelände exakt wiedergegeben. Das versuchstechnisch schwierigste Unterfangen stellte die modellgerechte Nachbildung der Lawine bei ihrem Eintritt in den See dar. Aus den Berichten des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos liessen sich für ein Lawinenvolumen von 200 000 m³ eine mittlere Einfliessdauer von ca. 40 s in Natur (entspricht ca. 6 s im Modell) und Frontgeschwindigkeiten beim Eintritt von 15 bis 26 m/s (2,1 bis 3,5 m/s im Modell) entnehmen. Als Frontgeschwindigkeit wird dabei die Geschwindigkeit der Lawinenspitze im Zeitpunkt des Auftreffens auf den Wasserspiegel bezeichnet. Als Einfliessmenge respektive Einfliessgeschwindigkeit sind der zeitlich variable sekundliche Durchfluss durch den See-Eintrittsquerschnitt respektive die entsprechende momentane Geschwindigkeit definiert. Diese Präzisierung ist notwendig, weil die Lawinen nicht als gleichförmig bewegte, prismatische Körper betrachtet werden können. Die Fliesshöhe, also die Mächtigkeit der Lawine während der Zeitspanne des Einfliessens in den See — letztere als Einfliessdauer benannt —, ist keine konstante, sondern eine zeitlich variable Grösse.

Die Versuchsanlage war so ausgelegt, dass Frontgeschwindigkeit und Einfliessdauer innerhalb gewisser Grenzwerte solange angepasst werden konnten, bis eine gute Uebereinstimmung mit der Natur erzielt wurde. Zur Messung des Seespiegelverlaufes in Funktion der Zeit fanden mehrere Widerstandspegel, sogenannte Drahtpegel Verwendung, welche im Prinzip die durch die Niveauschwankungen des Wasserspiegels bewirkte elektrische Widerstandsänderung zwischen zwei feinen Platindrähten einem Fotopapierschreiber übermittelten.

DER LAWINENEINTRITTSVORGANG

Auf der Foto des Bildes 3 ist das Eintauchen der Front einer simulierten Lawine mit 200 000 m³ Volumen festgehalten. Es ist gut ersichtlich, dass — analog zu bekannten Naturvorgängen — die Front nicht wie ein fester Körper schlagartig auf der Wasseroberfläche auftrifft, sondern dass ein eigentlicher, wenn auch forcierter Einfliessvorgang stattfindet. Dieser ersten Phase des Fronteintrittes folgt eine zweite, bei der sich Oberflächenwellen konzentrisch vom Eintrittsort wegbewegen, während gleichzeitig die Masse der einfliessenden Lawine unter die Seeoberfläche taucht und je nach Auftreffwinkel und Auftreffimpuls in eine beträchtliche Tiefe vorstösst. Dieser Zustand ist im Bild 4 festgehalten. In der Folge erreichen die Primär-Oberflächenwellen das Gegenufer und werden reflektiert; im Sektor zwischen Gegenufer und wasserseitig gewölbter Bogenstaumauer formiert sich eine meterhohe Welle, welche bei hohem Seestand teilweise über die beiden Oeffnungen der Hochwasserentlastung sowie über die Mauer selbst übertreten kann und in diesem Falle als Ueberschwappwelle bezeichnet wird. In einer dritten Phase treffen die reflektierten Erstwellen auf die gegenläufigen, sekundären Oberflächenwellen. Da zu diesem Zeitpunkt der Seespiegel aber bereits mit einer beträchtlichen Schicht schwimmenden Lawinenmaterials bedeckt ist, werden die weiteren Wasserspiegelbewegungen sehr rasch gedämpft. Zu diesem Zeitpunkt hat die Ueberschwappwelle bereits die Hochwasserentlastung und je nach Ausdehnung und Anfangsstaukote auch die Sperre in ihrer gesamten Ausdehnung überflutet. Als abschliessender Vorgang folgt das stetige Auffüllen des Stauraumes entsprechend dem eingeflossenen Lawinenvolumen, wobei bei ungenügender Vorabsenkung des Beckenspiegels noch beträchtliche Wassermassen in das Unterwasser gelangen können. Schliesslich liegt ein flacher Keil aus Lawinenmaterial an der Seeoberfläche. Dieser Endzustand des gesamten Lawineneintrittsvorganges ist aus Bild 5 ersichtlich.

Versuchsresultate

Bild 6 stellt für vier Lawinenvolumina den zeitlichen Verlauf der Einfliessgeschwindigkeit dar, wie er im Modell an der Eintrittsstelle des Faldumgrabens erreicht wurde. Bild 7 veranschaulicht die entsprechenden Kurven für die Einfliessmengen. Es zeigt sich deutlich, dass der Lawinenstrom in der Frontpartie die grössten Geschwindigkeiten und Fliessmengen erreicht. Die erzielten, für den Eintrittsimpuls massgebenden Maximalwerte entsprechen mit Front-

geschwindigkeiten von 17 bis 26 m/s und Einfliessmengen bis 6500 m³/s sehr gut den errechneten Prognosen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos [1]. Die gemessenen Wellenhöhen und Ueberschwappwassermengen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Daraus entnimmt man beispielsweise, dass beim höchsten angenommenen Volumen der Faldumlawine von 200 000 m³ und Maximalstau im Becken die Sperre voraussichtlich rund zwei Meter überflutet würde. Dabei würden sich etwa 2300 m³ Wasser als eigentliche Ueberschwappmenge ins Unterwasser ergiessen und eine in Richtung Goppenstein laufende, sich rasch verflachende Flutwelle formieren, welche unmittelbar unterhalb der Staumauer mit maximal 60 m³/s weglaufen würde. Diese Abflussmenge entspricht etwa dem zweijährlich wiederkehrenden Hochwasser der Lonza. Eine Sicherheitsvorabsenkung des Staues um 2 Meter würde genügen, um die Ueberschwappmenge auf rund 700 m³ zu reduzieren und für das zeitlich daran anschliessende stetige Auffüllen des Stauraumes mit Lawinenmaterial ausreichend Raum zu schaffen.

Die Amplituden der sich an der Seeoberfläche fortpflanzenden Wellen sind ebenfalls aus der Tabelle 1 ersichtlich. Sie erreichen Werte von 3 bis 5 m zwischen Ruhespiegel und Höchstausschlag. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeiten liegen für das Becken Ferden im Mittel bei 20 m/s. Die Modellversuche haben zudem ergeben, dass nach 60 bis 90 Sekunden in der Natur infolge der starken Schwingungsdämpfung durch die schwimmende Lawinenmasse die ausgeprägtesten Welleneffekte im mauernahen Beckendrittel abgeklungen sein werden.

Vergleich mit den früheren Untersuchungen über einen Abbruch des Giétrogletschers

Bereits im Jahre 1972 wurden an der VAW Modellversuche über die möglichen Auswirkungen eines Abbruches des Giétrogletschers in den rund 500 Meter tieferliegenden Stausee Mauvoisin durchgeführt [2]. Die angenommenen Eisvolumina lagen etwas über denjenigen für die Faldumlawine. Da die mittlere Neigung des Geländes zwischen See und Gletscher, der «Cascade de Giétro», mit 80 % wesentlich steiler ist als das Gefälle des Faldumgrabens von 25 %, resultierten Eintrittsgeschwindigkeiten in den rund 500 m breiten Mauvoisinsee (Ferden 160 m breit) von 45 bis 65 m/s (gegenüber 15 bis 26 m/s der Faldumlawine). Obschon es sich im Falle Mauvoisin um den Abbruch von Gletschereis über einem steilen Geländeabschnitt, im Falle Ferden um das Einfliessen einer Lawine handelt, ist eine Gegenüberstellung der Hauptresultate sicher von Interesse.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Werte verstehen sich für Stauspiegel ohne Sicherheitsvorabsenkung. Da bei den Mauvoisinversuchen keine Hochwasserentlastung mit Oberkante auf Kote des Anfangswasserstandes vorhanden war, ergaben sich bei den unteren Eintrittsvolumina — im Gegensatz zu Ferden — noch keine Ueberschwappmengen.

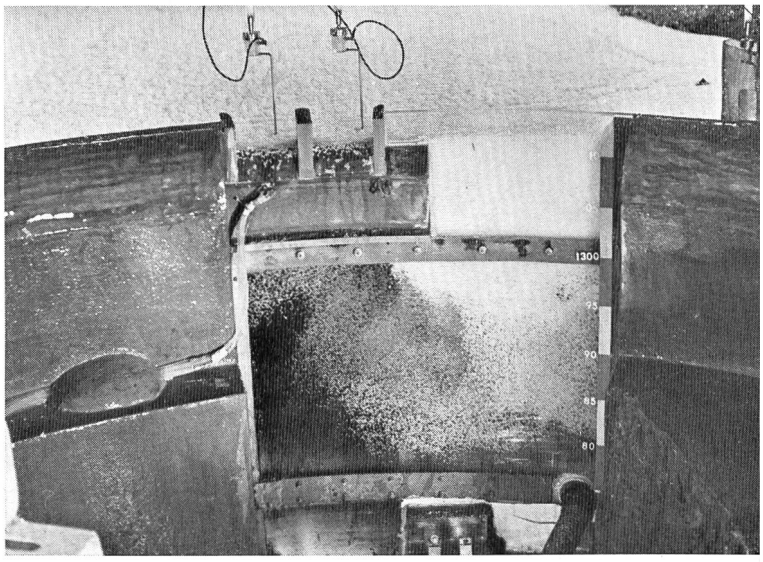
Folgerungen

Die gute Uebereinstimmung am Modell erzielter Lawinenfrontgeschwindigkeiten und Einfliessmengen mit den auf Erfahrung und Berechnung beruhenden Angaben der Lawinenforscher und Glaziologen zeigt, dass es durchaus realistisch ist, Probleme der Oberflächenwellenbildung in Stauseen als Folge von Eisstürzen oder Lawinenniedergän-

[1], [2] Literaturhinweise am Schluss

Bild 3 Eintritt der Lawinenfront bei einem Gesamtvolumen von 200 000 m³; Zustand kurz vor dem Ueberschwappen über die Bogenstaumauer.

Bild 4 Blick von der Talseite durch die Plexiglasmodellstaumauer. Es ist ersichtlich, wie das Lawinenmaterial während der Eintrittsphase teilweise bis gegen die Wasserfassung (unten rechts) und die Grundablässe (unten Mitte) hinuntertaucht. In den beiden Oeffnungen der Hochwasserentlastung sind die Widerstandsmesspegel sichtbar.



Wellenhöhen und Ueberschwappwassermengen in Naturwerten — Tabelle 1

Lawinen-volumen	Staukote	Mauer Nähe Lawineneintrittsort		Mauermitte bei Hochwasserentlastung (HWE)		Mauer Nähe Gegenufer		Ueberschwappwassermenge über		
		Wellen-höhe	davon über Mauer-Krone	Wellen-höhe	davon über HWE	Wellen-höhe	davon über Mauer-Krone	HWE	Mauer	total
m³	m ü. M.	m Natur	m	m	m	m	m	m³	m³	m³ Natur
50 000	1310,50	3,62	0,12	2,60	2,10	3,65	0,15	260	50	310
	1311,00*	3,60	0,60	3,12	3,12	3,70	0,70	505	128	633
100 000	1310,00	4,00	0,00	4,56	3,56	4,47	0,47	270	92	362
	1311,00*	4,17	1,17	4,55	4,55	4,32	1,32	879	591	1470
150 000	1309,50	4,24	0,00	4,82	3,32	5,00	0,50	469	101	570
	1311,00*	4,30	1,30	4,96	4,96	4,95	1,95	965	724	1689
200 000	1309,00	4,33	0,00	5,28	3,28	5,98	0,98	600	112	712
	1311,00*	4,65	1,65	4,93	4,93	5,25	2,25	1071	1203	2274
Ueberschwappzeit		2,4 ± 1,4 s		8,0 ± 2,0 s		4,4 ± 3,0 s				

* 1311.00 = Normalstau; tiefere Staukoten entsprechen einer Sicherheitsvorabsenkung gemäss der Seevolumenkurve

gen mit Hilfe von Versuchen an naturähnlichen, geometrisch verkleinerten Modellen durchzuführen. Es kann sich dabei selbstverständlich nicht darum handeln, den komplexen Fliessvorgang einer Lawine oder eines Eissturzes vom Anrissgebiet bis hinunter zur Talsohle mit allen Feinheiten nachzuvollziehen. Es genügt für die Frage der Ueberschwappwelle vollauf, den Eintrittsimpuls zu simulieren, welcher im wesentlichen durch Dichte, Einfliessmenge und Geschwindigkeit sowie durch Eintrittswinkel und Bündelungsgrad des Lawinen- beziehungsweise Eisstrahles bestimmt ist.

Die Versuchsresultate an den Modellen «Ferden» und «Mauvoisin» sagen Wellenhöhen von 1,5 bis 5 m voraus.

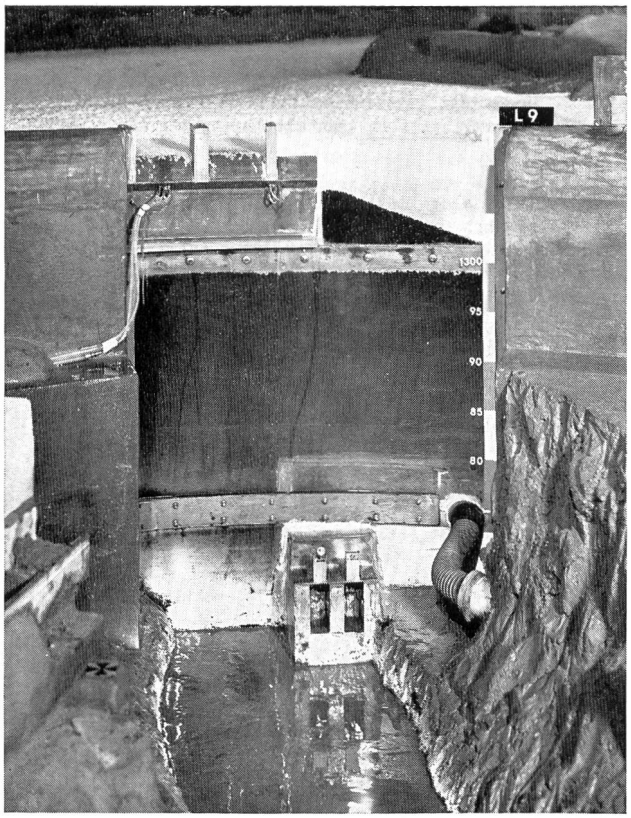


Bild 5 Die Mächtigkeit des treibenden Lawinenmaterials beträgt im Endzustand 5 bis 10 Meter (200 000 m³) und erstreckt sich bis 800 Meter seeaufwärts.

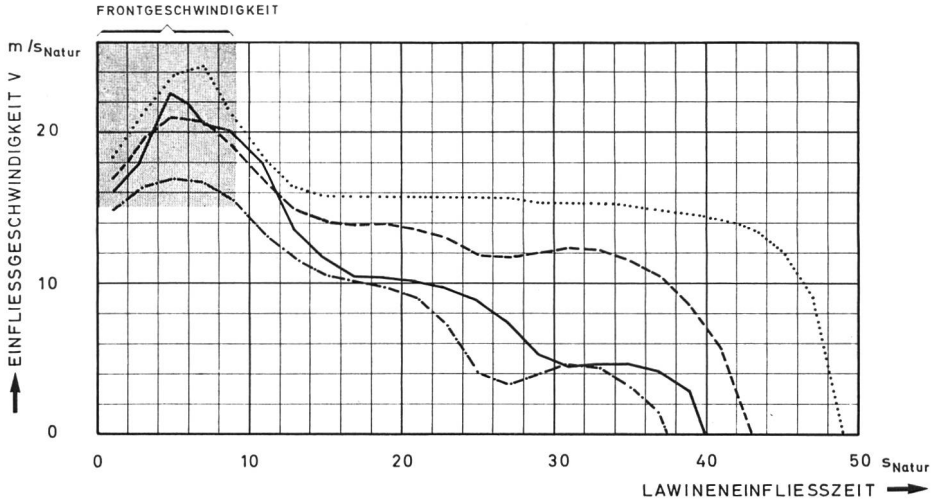
Wenn diese Werte auch nicht verallgemeinert werden dürfen, so kann man doch annehmen, dass die höchsten Wellen bei anderen Stauseen unter etwa analogen Verhältnissen kaum wesentlich höhere Amplituden erreichen werden. Die Ueberschwappwassermenge, also der erste Mauerüberflutungsanteil, ergab sich für das Ausgleichbecken Ferden jeweils zu rund 1,5 % des im Versuch variierten totalen Lawinenvolumens, sofern der Anfangsseespiegel auf Stauzielkote stand. In vergleichbaren Fällen des Mauvoisinsees mit ca. doppelt so grossen Eis-Eintrittsgeschwindigkeiten wurden Werte von 3% und mehr ermittelt. In beiden Fällen stellte sich heraus, dass bei einer Vorabsenkung des Stausees entsprechend dem zu erwartenden Einfliessvolumen die eigentliche Ueberschwappwassermenge als an sich ungefährlich angenommen werden kann. Eine mögliche Gefährdung widerlagernaher Geländepartien durch Ueberschwappwasser sei aber nicht völlig ausser acht gelassen. Für die Uebertragung der Voraussagen über diesen ersten Ueberflutungsanteil auf andere Staubecken sei an dieser Stelle aber doch darauf hingewiesen, dass die Sicherheit gegenüber Ueberschwappvorgängen weniger eine Frage des vorabgesenkten Seevolumens als vielmehr eine solche nach der Vorabsenkhöhe und der Geländeform in Sperrennähe ist, da es sich ja um ein Wellenphänomen handelt.

Als allgemein gültig kann festgestellt werden, dass Seespiegelbewegungen durch die sich flächenmässig ausweitende Schicht nachfliessenden Lawinenmaterials relativ stark gedämpft werden können. Im Ausgleichbecken Ferden zum Beispiel werden die Wellen, welche durch die unmittelbar bei der Sperre niedergehende Faldumlawine angefacht werden, in Mauernähe voraussichtlich nach etwa 90 Sekunden abgeklungen sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass in dieser kurzen Zeitspanne der Wellenausbreitung noch eine zweite oder gar dritte Lawine in den Stauraum gelangt, ist demnach recht gering.

Als Folgerung der vorstehenden Betrachtungen kann man über die Messresultate an den Modellen «Ferden» und «Mauvoisin» hinaus annehmen, dass Sicherheitsvorabsenkungen wegen Lawinen und Eisschlägen in Stauseen um denjenigen Anteil vorgenommen werden sollten, welcher der Summe der kurz- oder mittelfristig zu erwartenden, niedergehenden Volumina entspricht, unter Berücksichtigung einer minimalen Reserve in der Spiegelhöhe für einen einmaligen Ueberschwappvorgang. Diese beiden Bedingun-

Tabelle 2

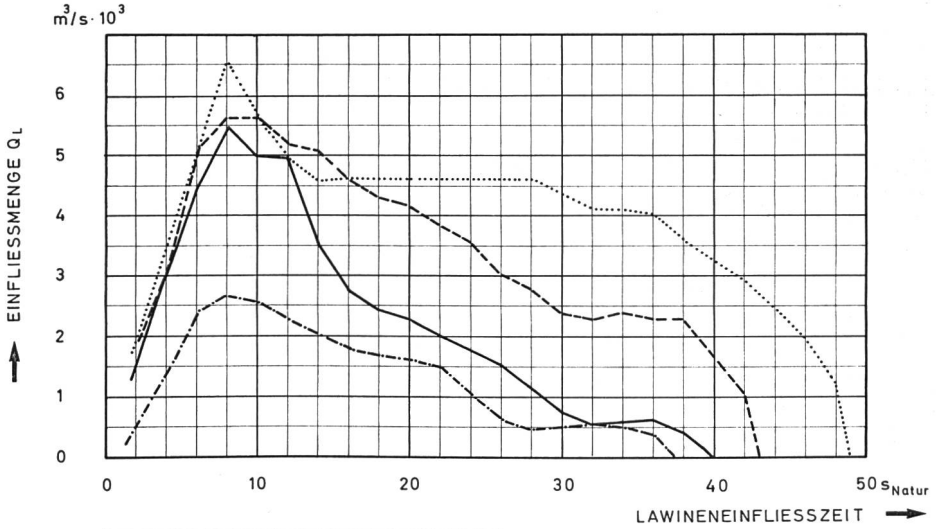
Lawinen- resp. Eisvolumen VE m³	Frontgeschwindigkeit m/s	Einfliessdauer s	Maximale Wellenhöhen im See m	Ueberschwapp-wassermenge m³	% von VE
Ferden					
50 000	21		Querwellen:	633	1,6
100 000	23	40	3,0 bis 5,0	1 470	1,5
150 000	24	bis	Längswellen:	1 689	1,1
200 000	26	50	1,5 bis 2,5	2 274	1,1
Mauvoisin					
50 000	44		0,3	—	—
100 000	46		0,5	—	—
150 000	—		—	—	—
200 000	49	über	0,8	—	—
250 000	50	120	1,0	ca.500	0,2
500 000	55		2,0	16 000	3,2



	VOLUMEN m³	$\overline{V}$ m/s
·····	200'000	16.39
- - - -	150'000	14.04
———	100'000	11.41
-·-·-	50'000	9.38

$\overline{V}$ = ZEITLICHES MITTEL VON V

Bild 6
Am Modell gemessene Einfliessgeschwindigkeiten der Lawinen.



	VOLUMEN m³	$\overline{Q}$ m³/s
·····	200'000	4'081
- - - -	150'000	3'488
———	100'000	2'500
-·-·-	50'000	1'329

$\overline{Q}$ = ZEITLICHES MITTEL VON Q_L

Bild 7
Am Modell gemessene Einfliessmengen der Lawinen.

gen für das potentiell einfliessende Volumen einerseits und für die höchste Wellenamplitude anderseits sind also nicht zu addieren, sondern es ist empfohlen, die einschneidendere von beiden als Sicherheitsgrösse zu verwenden. Wenn das Einhalten einer über mehrere Wintermonate konstanten Sicherheitshöhe des Stauspiegels aus betrieblicher Sicht unerwünscht erscheint, so wird im allgemeinen ein gut ausgebauter Lawinenbeobachtungs- und -warndienst auch ein kurzfristiges Anpassen des Nutzstaues an die wechselnden Umweltsbedingungen erlauben.

LITERATUR

— «Eislawinen» von Prof. Dr. R. Haefeli in NZZ-Technik 4153/1965
— «Untersuchungen über die Wirkung von Lawinen» von B. Salm und F. A. Loescher in NZZ-Technik 993/1965
— «Contribution to Avalanche Dynamics» von B. Salm in I.A.S.H. 1969, S. 199 bis 214
— «Möglichkeiten und Grenzen der Gletscherüberwachung» von H. Rötlisberger in NZZ-Forschung und Technik 196/1974

Interne Berichte

[1] Berichte 72.72, 72.6 und 73.37 des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos
[2] VAW-Berichte: 601 Stausee Mauvoisin und Mauvoisin-Glacier de Giétro
VAW-Berichte: 631 Ausgleichsbecken Ferden Juli 1973 und Dezember 1973

Adresse des Verfassers:

P. Volkart, dipl. Ing. ETH
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich. Gloriastrasse 37—39, 8006 Zürich

LA PROTECTION DES EAUX EN VALAIS

CD 628.394.6 (494.44)

Georges L. Huber

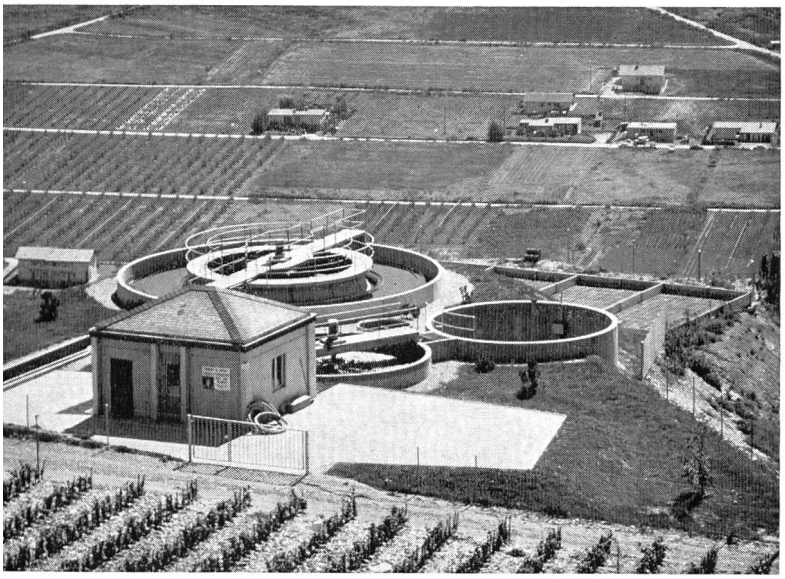
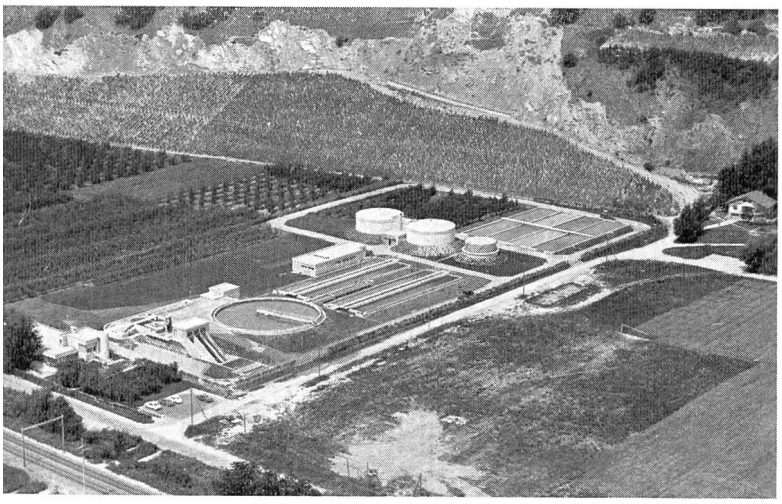


Fig. 1 Station d'épuration des villages de Erde et Premploz, commune de Conthey.

Fig. 2 Station d'épuration de Sion/Châteauneuf pour les communes de Sion, Grimisuat et Savièse.



Les eaux en Valais, comme celles d'ailleurs, n'ont guère subi d'altérations avant l'ère industrielle qui a débuté plus tardivement que dans d'autres régions de la Suisse. Les premiers fabricants qui se sont installés à la fin du siècle passé ou au début de l'actuel y sont venus parce qu'il y avait de l'eau, parce que la technique permettait de lui faire produire de l'énergie électrique, mais aussi parce qu'on ne savait pas transporter le courant à longue distance sans de trop grandes pertes. L'heureux développement des industries a eu évidemment comme corollaire une pollution des eaux. Une autre conséquence de cette expansion fut celle des agglomérations. En outre, le développement parallèle de l'artisanat, du tourisme, l'augmentation régulière du confort domestique ont eu comme résultat des altérations de plus en plus importantes de la qualité des eaux. Rhône et rivières ont supporté sans dommage pendant des décennies ces charges polluantes, ce qui fait que personne n'a pris conscience pendant assez longtemps des dangers que nous leur faisions courir. C'est plus particulièrement depuis 1960 que l'on s'est rendu compte que l'on allait s'approcher de certains seuils de pollution qui ne devraient pas être dépassés.

Avant de traiter plus particulièrement des efforts faits dans le canton pour lutter contre la pollution des eaux, il nous paraît indiqué de situer l'ordre de grandeur de cette pollution et de décrire les formes diverses qu'elle comporte.

Le Valais compte actuellement 210 000 habitants. Pendant l'hiver et l'été, le nombre des hôtes est important. Il est difficile de le chiffrer exactement, mais il peut être estimé à environ 140 000, ce qui fait que la pollution domestique peut être évaluée à certaines périodes à 350 000 équivalents-habitants.

La comparaison de ces deux chiffres fait apparaître un problème spécifique, à savoir que l'équipement pour l'épuration doit être prévu pour une population bien plus importante que celle qui est résidente. Au niveau du canton, la différence n'est peut-être pas très grande, mais à l'étage communal, il faut souvent construire des ouvrages d'assainissement d'une capacité 5 à 10 fois supérieure à celle qui serait nécessaire pour les seuls habitants. Pour la production et la distribution de l'eau potable, tout doit être égale-