

# Der Uferbruch am Davosersee

Autor(en): **Moor, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 5

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38950>

## **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.

INHALT: Der Uferabbruch am Davosersee. — Wettbewerb zum Neubau des Burgerspitals der Stadt Bern. — Ansprache von Rektor R. Wyssling im Auditorium max. der E. T. H., vor Beginn der Generalversammlung der G. E. P. am 3. Juli 1923. — Das Kraftwerk Ritom der S. B. B. — Miscellanea: Eine neue eiserne Bogenbrücke für die Michigan Central über den Niagara. Schweizerisches Luftverkehrswesen. Auskleidung

von Stollen mit fertigen Betonringen. Zweite Juragewässer-Korrektion. Grabmal für Immanuel Kant. Elektrifikation der Arlbergbahn. Der Schweizerische Elektrotechnische Verein. — Nekrologie: Joseph Eggermann. — Preisausschreiben: Schläflistiftung. — Literatur: Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, berechnet aus der spezifischen Wärme. Literar. Neuigkeiten. — S. T. S.

Band 82.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 5.

## Der Uferabbruch am Davosersee.

Von Ing. Robert Moor, Zürich.

Bei der Absenkung des Davosersees, zur Ausführung der Seefassung und anderer baulicher Einrichtungen für das Kraftwerk Davos-Klosters der „B. K.“<sup>1)</sup>, hat sich am 7. Februar d. J. ein grosser Uferabbruch ereignet, dessen in der „Schweizer. Bauzeitung“ vom 17. Februar bereits kurz Erwähnung getan worden ist. Das Auftreten von Uferabbrüchen bei der Absenkung von Seen ist an und für sich eine bekannte Erscheinung<sup>2)</sup>; der Fall am Davosersee bietet aber so viel Interessantes, dass er eine eingehende Erörterung verdient. Er wird insbesondere auch zur Abklärung der Ursachen dieser Art Erdbewegungen beitragen.

Das Becken des Davosersees (Abb. 1, Seite 56) ist durch Ufer von sehr verschiedenartiger geologischer Beschaffenheit umschlossen. Das Ostufer, dem die Rhätische Bahn folgt, besteht aus Fels, der teilweise mit Moräne und Schutthalde überlagert ist; schon in einer Tiefe von etwa 10 m unter normalem Seespiegel kommt die Felsunterlage der überdeckten Partien zu Tage. Nordöstlich angrenzend treffen wir den Wall des Drusatscha-Bergsturzes, der durch Talabriegelung gegen Osten die Entstehung des Sees verursacht hat, und dem das kleine Delta des Drusatschabaches in der Südostecke vorgelagert ist. Auf der Nordseite des Sees breitet sich „Ob dem See“ das grosse, flache Delta des Todtalpbaches aus, das sich auf der Westseite an eine bewaldete Felskuppe (die sog. „Liebes-Insel“) anlehnt (Abb. 2). Von da bis zum Seeabfluss wechseln Moräne, Delta von kleinen Zuläufen und Fels miteinander ab. Am Südufer endlich finden wir in den „Seewiesen“ abermals ein grosses Delta, das diese ganze Seeseite einnimmt, jenes des Flüelabaches, der zur Seeseite künstlich herangezogen wird.

des Todtalpbaches aus feinem Serpentin sand, mit ganz wenig feinkörnigem Kies besteht, ist die Verlandung des Flüelabaches aus Gneis und Granit-Schotter zusammengesetzt. Die kleinen Delta und Randterrassen unterteilen sich wiederum in solche aus grobem Schutt und solche aus lehmigem Abtragungsmaterial der Hangmoränen.

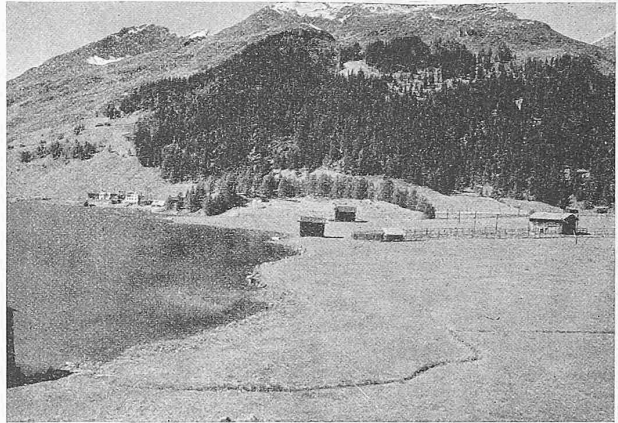


Abb. 2. 1, Ursprüngliches Todtalpbach-Delta, gegen Westen gesehen.

Die Neigungen der verschiedenen Teile des Beckenrandes unter dem Seespiegel weisen erhebliche Unterschiede auf. Der Schotterkegel des Flüelabaches ist zum grössten Teil mit einer Böschung von  $18^{\circ}$  bis  $21^{\circ}$  angeschüttet worden, eine vereinzelte Stelle ist um  $33^{\circ}$  geneigt. Beim Delta des Todtalpbaches ist dessen oberer Rand steiler, fast durchwegs zwischen  $27^{\circ}$  und  $33^{\circ}$  geneigt. Gegen den Fuss hin flacht sich dann zwar die Böschung erheblich ab. Am steilsten ist die aus scharfkantigem Dolomitschotter bestehende Schutthalde östlich der Fassung, die bis  $36^{\circ}$  geneigt ist. Die alten Moränenränder sind wieder umflacher und erreichen meistens kaum  $27^{\circ}$ . Wo der Kurvenplan steile Stürze aufweist, wie z. B. längs des Ostufers, sind ausstreichende oder nur mit einer geringen Schlammschicht überdeckte Felsbänke vorhanden, deren Oberfläche Gletscherschliff zeigt.

Von diesem Seebecken, das einen natürlichen Gesamtinhalt von 15,1 Millionen  $m^3$  besitzt, sollen 11,0 Millionen  $m^3$  durch Absenkung des Seespiegels um 28,0 m ausgenützt werden. Dazu werden mittels Stauung um 6 m noch weitere 3,9 Millionen  $m^3$  Speichermenge gewonnen. Es beträgt somit die für beide Kraftwerke Davos-Klosters und Klosters-Küblis aus dem Davosersee verfügbare Speichermenge 14,9 Millionen  $m^3$ . Im Diagramm Abb. 3 sind die charakteristischen Verhältnisse des Sees graphisch dargestellt.

Für die Ausführung der Wasserfassung, sowie der Zuleitung, die bis unter den tiefsten Betriebswasserspiegel hinabgeführt werden müssen, wird der See erstmalig bis auf Kote 1530 abgesenkt. Zu diesem Zweck, zur

Förderung des Seeinhaltes nach dem Landwasser, wurde eine schwimmende Pumpenanlage erstellt. Es sei hier noch bemerkt, dass eine Anzapfung des Sees vom Stollen her ausgeschlossen war, wegen der grossen Vorlagerung von Schuttmaterial an der Fassungsstelle und weil der Vortrieb des Stollens bis zur einzigen Stelle, wo der Fels in der Tiefe der Fassung austreicht (etwa 220 m westlich

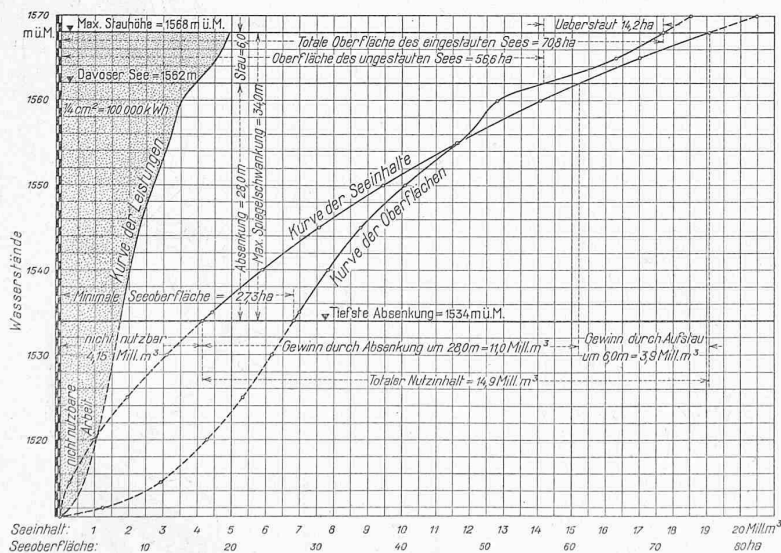


Abb. 3. Diagramm der Wasserstände, Oberflächen und Inhalte des Davoser-Sees.

Die Vielfältigkeit der Uferbeschaffenheit wird noch vermehrt durch den wesentlichen Unterschied in der Material-Zusammensetzung der Auflandungen. Während das Delta

<sup>1)</sup> Vergl. „S. B. Z.“ Band 77, Seite 127 ff. (19. März 1921).

<sup>2)</sup> Vergl. die Erörterung dieser Erscheinung durch H. Roth und Dr. G. Lüscher in Bd. 74, S. 51 (2. VIII. 1919) und S. 181 (11. X. 1919), ferner in Bd. 75, S. 129 (20. III. 1920) und S. 289 (26. VI. 1920). Red.

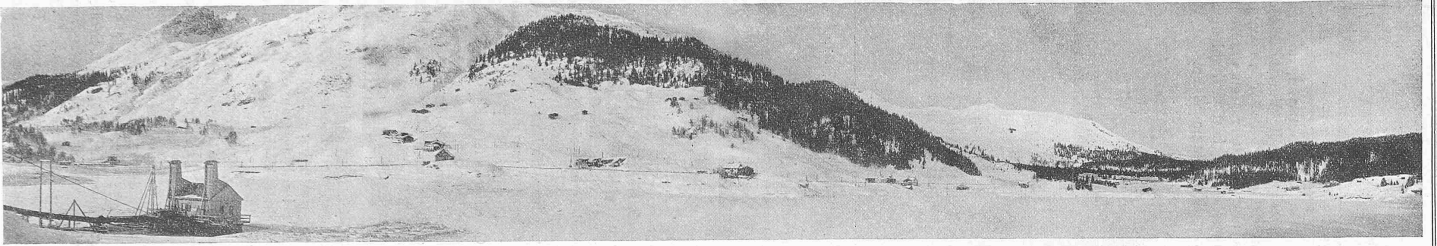


Abb. 6. Panoramabild des nordwestlichen Seeufers, aufgenommen beim Seehorn am 23. Dez. 1922, Absehung 6 m. Vorn links die schwimmende Pumpanlage.

Abb. 1. Lageplan des Davoser-Sees 1:6000, mit 2 m Kurven und Eintragung aller Uferabbrüche bis zum 7. Februar 1923. Die entsprechenden Seesstände sind dem Diagramm Abb. 7 auf Seite 59 zu entnehmen.

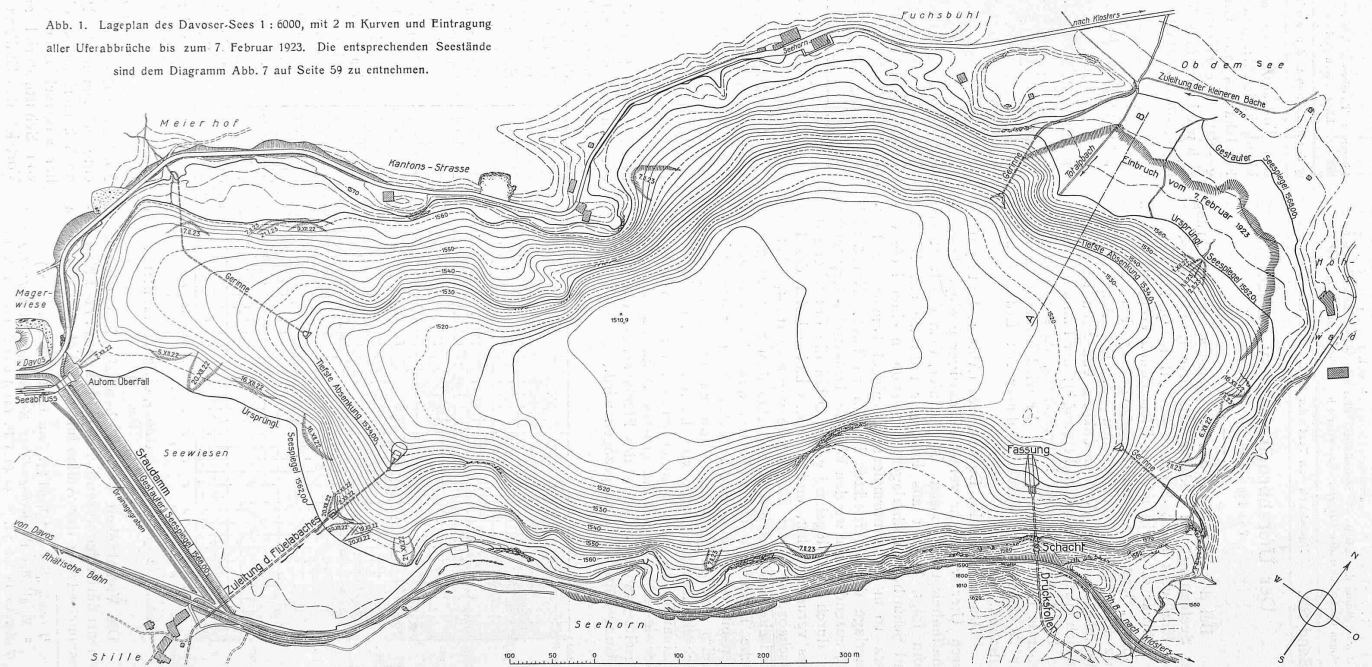




Abb. 8. Abbruch „Ob dem See“ vom westlichen Rande aus gesehen, am 11. Februar 1923.

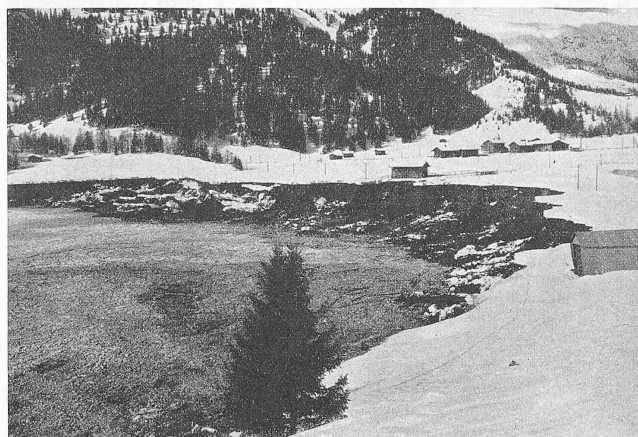


Abb. 9. Abbruch „Ob dem See“ vom östlichen Rande aus gesehen, am 7. Februar 1923.

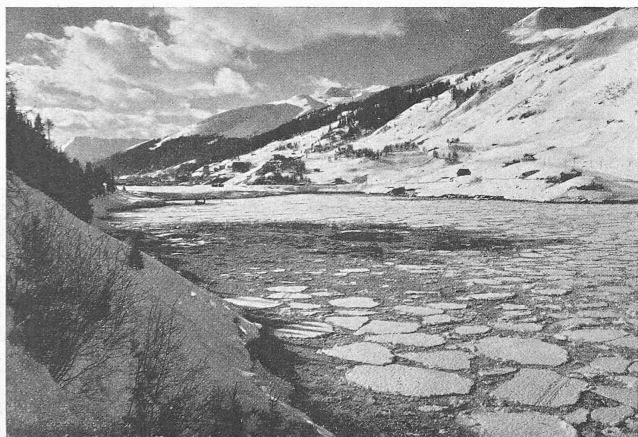


Abb. 11. Blick aus der S.-O.-Ecke des Sees gegen Westen, am 7. Februar 1923.



Abb. 10. Ansicht des östlichen Seeufers, gegen Norden gesehen, am 7. Februar 1923.

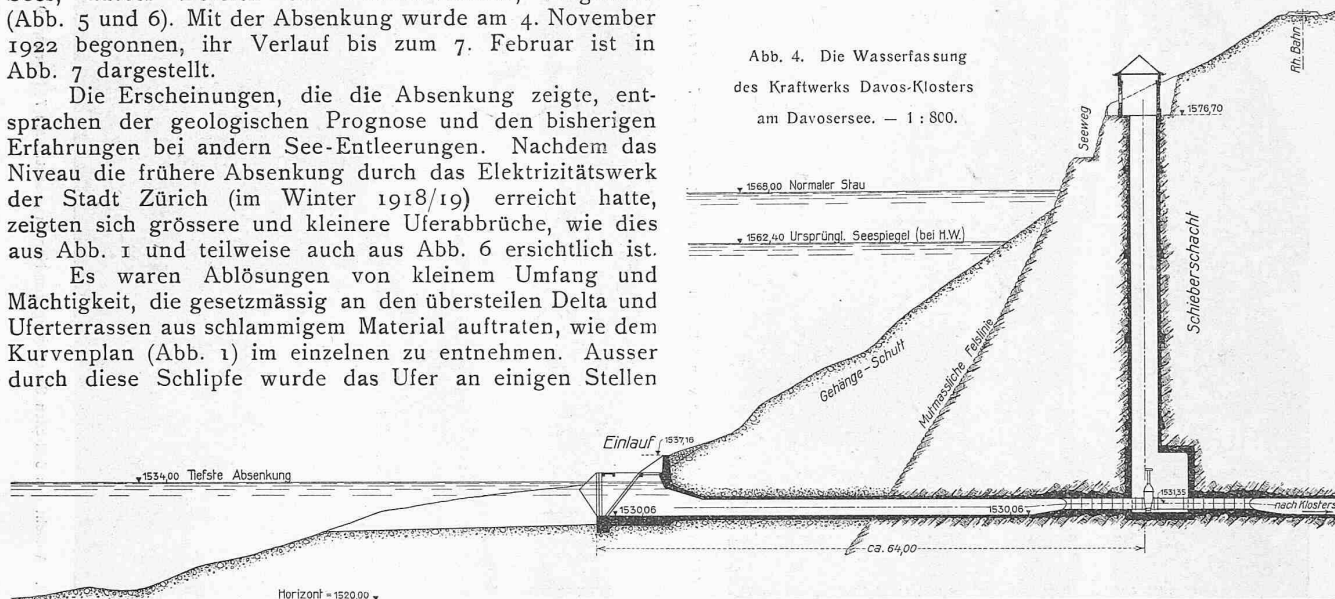


vom vorgesehenen Stolleneinlauf) infolge der ausserordentlich geringen Felsüberlagerung mit sehr grossen Gefahren verbunden gewesen wäre.

Die Pumpenanlage besteht aus zwei Aggregaten von je  $1 \text{ m}^3/\text{sek}$  maximaler Leistung, die auf Pontons montiert waren. Diese Anlage war, bezw. ist am Südost-Ende des Sees, ausser Bereich des Flüelabachdelta, aufgestellt (Abb. 5 und 6). Mit der Absenkung wurde am 4. November 1922 begonnen, ihr Verlauf bis zum 7. Februar ist in Abb. 7 dargestellt.

Die Erscheinungen, die die Absenkung zeigte, entsprachen der geologischen Prognose und den bisherigen Erfahrungen bei andern See-Entleerungen. Nachdem das Niveau die frühere Absenkung durch das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (im Winter 1918/19) erreicht hatte, zeigten sich grössere und kleinere Uferabbrüche, wie dies aus Abb. 1 und teilweise auch aus Abb. 6 ersichtlich ist.

Es waren Ablösungen von kleinem Umfang und Mächtigkeit, die gesetzmässig an den übersteilen Delta und Uferterrassen aus schlammigem Material auftraten, wie dem Kurvenplan (Abb. 1) im einzelnen zu entnehmen. Ausser durch diese Schlipfe wurde das Ufer an einigen Stellen



durch Rinnale angegriffen; insbesondere zeigten sich solche am Flüelabachdelta, infolge von Wasserverlusten aus dem provisorischen Pumpkanal. Die kleinen Abnisse des Ufers beim Totalpachdelta sind ebenfalls Erosions-Erscheinungen; sonst aber zeigten sich dort keinerlei Anzeichen einer Bewegung oder Setzung. Als dann der Seespiegel die Kote 1550,70 m, d. h. eine Absenkung von 11,30 m unter normalem Wasserspiegel erreichte, es war dies am 7. Februar, 5 Uhr morgens, löste sich plötzlich der vordere Teil des Totalpachdelta auf etwa 330 m Breite und 80 bis 90 m Tiefe zwischen Ufer- und Abrisslinie und glitt in die Tiefe. Die Masse, die sich dabei bewegte, ist auf rd.  $900\,000 \text{ m}^3$  zu schätzen; davon versanken rd.  $450\,000 \text{ m}^3$  bis unter das Niveau der tiefsten Seeaussüzung. Der Teil, der unter den damaligen Seespiegel (1550,70) untertauchte, hatte ein Ausmass von rd.  $280\,000 \text{ m}^3$ , was der Spiegelhebung nach dem Absturz von 0,60 m entspricht. Die unmittelbare Wirkung dieser gewaltigen Uferbewegung, die sich, nach Aussage eines Augenzeugen, am Nordende auslöste und sich augenblicklich bis ans andere Ende des Delta ausbreitete, war die Bildung einer Sturzwelle, die sich am ganzen Seeumfang bis auf etwa 3 m Höhe erhob. Diese mächtige Welle riss die Pumpenanlage von ihren Verankerungen los und überflutete sie, wobei einer der beiden diensttuenden Maschinen das Leben verlor. Die 80 cm starke Eisdecke wurde in unzählige Stücke zerbrochen und der Seeschlamm von den Ufern abgespült (Abb. 8 bis 11, Seite 57). Eine Kontrolle der Uferprofile ergab, dass an einzelnen Stellen bis 3 m Seeschlamm abgetragen worden ist, der bis an den Fuss der Beckenböschung abfloss.

An der Abrisstelle selbst ergab die Nachpeilung das Profil lt. Abb. 12. Dieses Profil, aufgenommen auf der Linie A-B des Kurvenplanes, weist die grösste Bewegungsfläche auf; sie dehnt sich hier auf  $4580 \text{ m}^2$  aus, während das vollständig untergetauchte, bezw. abgeflossene Material, eine Profilfläche von  $2760 \text{ m}^2$  einnimmt. Mutmasslich ist die Bewegung durch die in Abb. 12 gestrichelt eingetragene, konkave Linie begrenzt. Am oberen Rande zeigt die Abrissfläche die für kohäsionsfähiges Material typische Steilheit.

Zur Ermittlung der Ursache dieser grossen Erdbebewegung müssen folgende Verhältnisse in Erwägung ge-

zogen werden. Das Material, aus dem das Delta zusammengesetzt ist, besteht zur Hauptsache aus Serpentin sand; Kies ist nur wenig vorhanden und meist nur stellenweise in den oberen Lagen zu finden. Es rührt dies davon her, dass der ganze ausgedehnte Schuttkegel des Baches wasser-durchlässig ist, weshalb der weitaus grösste Teil des

Wassers im Bereich des Delta versickert und als Grundwasser dem See zufliesst, wobei das gröbere Geschiebe in den oberen Partien des Schuttkegels zurückgelassen wird. Die feinsten Sedimente, der Schlamm, werden am weitesten in den See hinaus getragen und setzen sich am Fuss des eigentlichen Schuttkegels an. Diesem Scheidungsprozess, der sich, wie bekannt, bei jedem Delta abspielt, kommt im vorliegenden Fall, wegen des grossen Prozentsatzes an feinstem Material, eine massgebende Bedeutung zu.

Beim Vorschieben des Delta setzt sich der Schuttkegel fortwährend auf den vorgelagerten Fuss aus feinstem Material und Schlamm auf, dessen Mächtigkeit, nach verschiedenen Beobachtungen, zu 6 bis 8 m angenommen werden kann. Die Profilinie des Delta spiegelt diese Scheidung wider, weil ihre Neigung mit dem natürlichen Böschungswinkel jeder Stelle ziemlich genau übereinstimmt. Dies im Gegensatz zur Bergschutthalde, wo der grösste Schutt, zufolge seines grösseren Beharrungsvermögens, an den Fuss hinabrollt.

Wie bereits erwähnt, ist das Totalpachdelta durchlässig und führt Grundwasser, dessen Spiegel den Bewegungen des Seespiegels ständig folgt. Diese Bewegung war übrigens sehr gering und betrug im Maximum rd. 20 cm im Tag.

Das Volumengewicht des trockenen Deltamaterials beträgt im Mittel  $1,78$ ; in natürlicher Lage wird es etwas höher sein, weshalb in den nachfolgenden Berechnungen  $\gamma$  zu  $1,80 \text{ t/m}^3$  angenommen worden ist. Bei der Absenkung des Sees und des Grundwassers hat die trocken gelegte Schicht des Delta ihren Auftrieb verloren; ihr relatives Volumengewicht von  $0,8 \text{ t/m}^3$  ist auf  $1,8 \text{ t/m}^3$  gestiegen, ja sogar darüber, denn das in den Poren zurückbehaltene Kapillar-Wasser, das 10 bis 12% des Volumens ausmachen kann, erhöht noch dieses Gewicht.

Die unterste Deltaschicht, die wegen ihres Wassergehaltes ebenfalls unter hydrostatischen Verhältnissen steht, wird durch die Steigerung des Volumengewichtes der Ueberlagerung unter erhöhten Druck gesetzt; diese Erscheinung ist nicht zu verwechseln mit dem Druck auf die undurchlässige Unterlage des Delta bezw. des Seebeckens, der durch die Spiegelabsenkung um die Differenz der Wassersäule vermindert wird.

Es wurde ferner durch Versuche festgestellt, dass der natürliche Böschungswinkel des trockenen, kohäsionslosen Materials zwischen  $32^\circ$  und  $37^\circ$  liegt. Durch Aufnahme von Kapillarwasser erhöht sich der Böschungswinkel ganz wesentlich und übersteigt sogar  $45^\circ$  für einzelne Proben, bei einem Wassergehalt von 10 bis 12%. Die

Verhältnis von 1,8 zu 0,8 erhöht wird, entsprechend der Aenderung der relativen Volumgewichte der über, bzw. unter Wasser liegenden Schichten. Bei diesem ideellen Querprofil (strichpunktierte Erdlinie in Abbildung 12) beträgt die mittlere Böschungsneigung ( $\eta$ )  $27^\circ 15'$ . Als natürlicher Böschungswinkel sei der des Böschungsfusses von  $6^\circ 45'$ , und

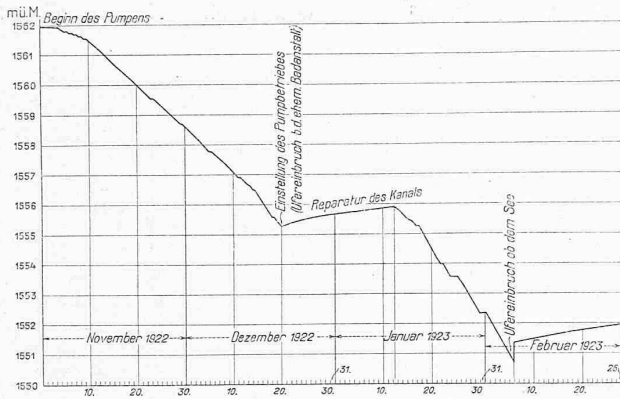


Abb. 7. Graphische Darstellung der Seabsenkung.

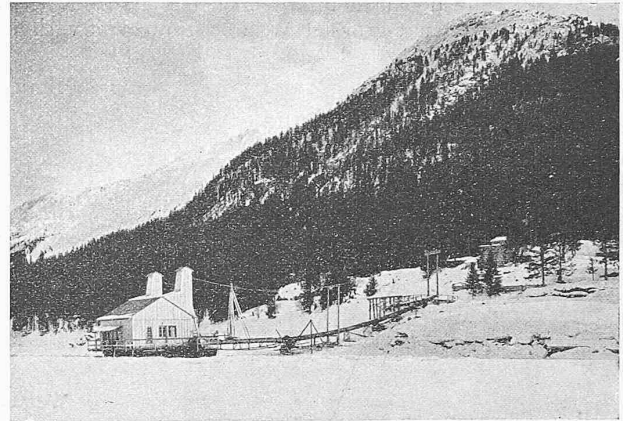


Abb. 5. Die schwimmende Pumpsanlage (23. XII. 1922).

Kohäsion des Materials in natürlicher Lagerung konnte zu rd.  $0,30 \text{ kg/cm}^2$  ermittelt werden; sie ist verhältnismässig hoch und erreicht beinahe den Wert von festgelegtem, lehmigem Boden in erdfeuchtem Zustand.

Es ist nun festzuhalten, dass, ganz abgesehen von der Kohäsion, der natürliche Böschungswinkel des trocken gelegten Deltamaterials grösser ist, als die vorhandene Neigung des Profils im Bereiche der Absenkung. Da auch die unter Wasser stehende Halde dem natürlichen Böschungswinkel entsprach, war die Stabilitätsbedingung des ganzen Hanges des Delta, auch nach der Absenkung, immer noch erfüllt. Es müssen somit andere Verhältnisse, als blosse

als Wert für die Kohäsion  $2,9 \text{ t/m}^2$  in die Formel eingeführt. Daraus ergibt sich für die gefährliche Höhe:

$$H = \frac{2,9}{0,8} \cdot \frac{\cos 6^\circ 45' \cdot \sin 27^\circ 15'}{\sin^2 10^\circ 15'} = 52,0 \text{ m}$$

und für die Mächtigkeit:

$$E = \frac{2,9}{0,8} \cdot \frac{\cos 6^\circ 45'}{\sin 20^\circ 30'} = 10,30 \text{ m.}$$

Die rechnerisch ermittelte Höhe des Bewegungskörpers stimmt recht gut mit der Wirklichkeit überein, während dies gar nicht der Fall ist für die Mächtigkeit  $E$ , die  $62,50 \text{ m}$  misst, statt nur  $10,30 \text{ m}$ . Der Umstand, dass die in den Formeln eingesetzten Werte eher zu ungünstig sind, indem

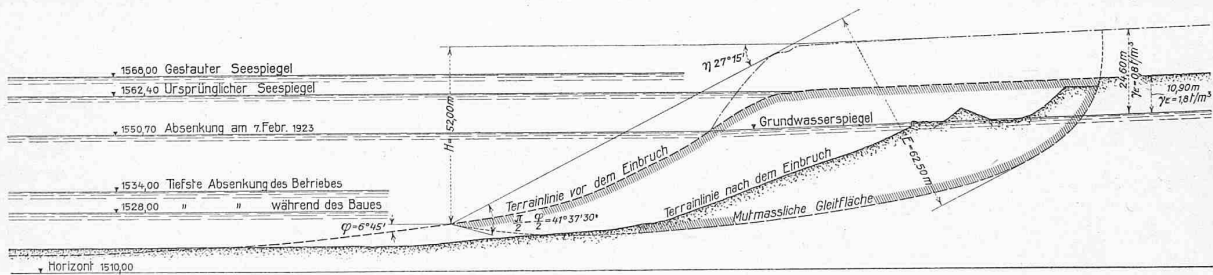


Abb. 12. Profil A-B (vergl. Lageplan Seite 56) des Uferabbruches „Ob dem See“ am 7. Februar 1923. — Masstab 1 : 2000.

Stabilitätsbedingungen, die Ursache an der Gleichgewichtsstörung tragen. Dies geht auch hervor aus der rechnerischen Untersuchung des Falles.

Die gefährliche Höhe einer Erdböschung, d. h. der Grenzwert über den hinaus eine Bewegung eintreten kann, ist nach der Formel von Résal bestimmbar:

$$H = \frac{c}{\gamma} \cdot \frac{\sin \eta \cos \varphi}{\sin^2 \left( \frac{\eta - \varphi}{2} \right)}$$

worin  $c$  die Kohäsion der Erdmasse,  $\gamma$  das Volumgewicht,  $\eta$  den Böschungswinkel und  $\varphi$  den natürlichen Böschungswinkel bedeuten.

Eine zweite, auf gleicher Grundlage aufgebaute Formel gibt die Mächtigkeit der bei Gleichgewichtsstörung sich bewegenden Erdmasse an ( $E$  in Abbildung 12):

$$E = \frac{c}{\gamma} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin (\eta - \varphi)}$$

Da sich die Formeln auf eine homogen zusammengesetzte Erdart, bzw. eine von gleichbleibendem Volumgewicht beziehen, muss als massgebendes Querprofil jenes betrachtet werden, das entsteht, wenn die trockengelegte Schicht im

der konkaven Profilform nicht Rücksicht getragen wurde und der kleinste natürliche Böschungswinkel als für die ganze Masse geltend angenommen worden ist, ändert am Missverhältnis des errechneten Wertes von  $E$ , zu demjenigen von  $H$ , nichts.

Die sonst gut übereinstimmende Formel für  $E$  zeigt hier eine so grosse Abweichung vom tatsächlichen Mass, dass daraus auf grundverschiedene Verhältnisse geschlossen werden muss. Es bestätigt dies die Annahme, dass im vorliegenden Fall nicht eine Ueberwindung der Stabilitätsbedingungen, nach Begriff der Erddrucktheorie, vorliegt. Die vorerwähnten Tatsachen, insbesondere die so weit in das Delta hineingreifende Bewegung, sowie die besondere Form der Gleitlinie, lassen vielmehr darauf schliessen, dass die Gleichgewichtsstörung auf das Zerquetschen der unteren Deltaschicht zurückzuführen ist.

Diese Zerquetschung kann durch nichts anderes verursacht worden sein, als durch die Vergrößerung der Belastung der untersten Sedimentschicht zufolge der Trockenlegung der obern. Die begrenzte Tragfähigkeit von



Bodenschichten vermindert ohne Zweifel in beträchtlichem Masse die gefährliche Höhe. Dies ist insbesondere offensichtlich bei den mit natürlichem Böschungswinkel angeschnittenen Dämmen und Delta, bzw. geöffneten Einschnitten, für die nach den Folgerungen der Erddrucktheorie die gefährliche Höhe unendlich wäre ( $H = \infty$  wenn  $\eta = \varphi$ ).

Wird sich bei weiterer Absenkung des Sees das Totalpbachdelta nochmals in erheblichem Masse bewegen? Diese Frage kann mit grösster Wahrscheinlichkeit verneint

werden, wenn erwogen wird, dass die neue Böschung auf das Verhältnis von etwa 1:4 abgeflacht wird, dass die im Delta weiter einwärts liegende Grundsicht kompakter sein muss als die jüngere Randzone, und endlich, dass dieser Schicht jetzt eine beträchtliche Masse herabgerutschten Materials aus der obren Zone vorgelagert ist.

In wasserwirtschaftlicher Beziehung hat dieser Uferabbruch den „B. K.“ durch die Vergrößerung des Stauraumes um rd. 450 000 m<sup>3</sup> einen wesentlichen Nutzen gebracht.

