Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113/114 (1939)
Heft: 21

Artikel: Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee
Autor: Bendel, L.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-50611

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: 26.07.2025

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

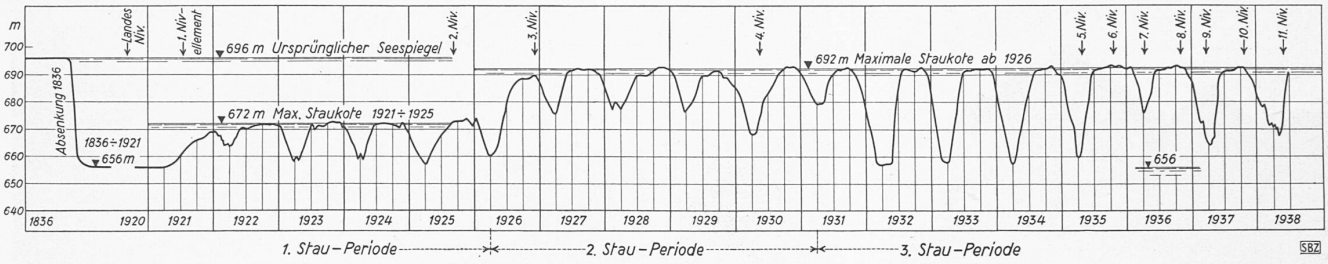


Abb. 9. Zeitlicher Verlauf der Spiegelschwankungen des Lungernsees von 1836 bis 1938

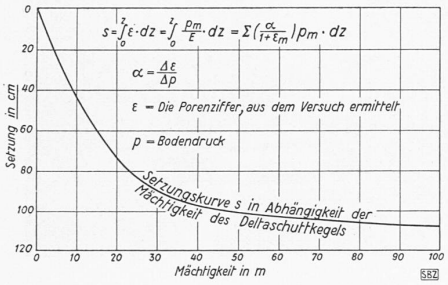


Abb. 10. Max. Geländesetzung infolge Eigengewicht des Deltaschuttkegels

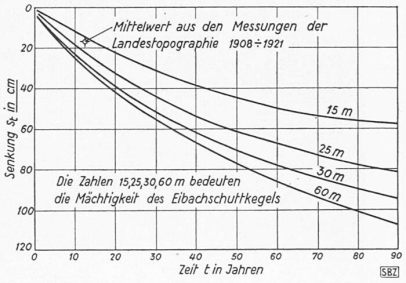


Abb. 11. Senkungen s_t in Funktion des Zeitfaktors t

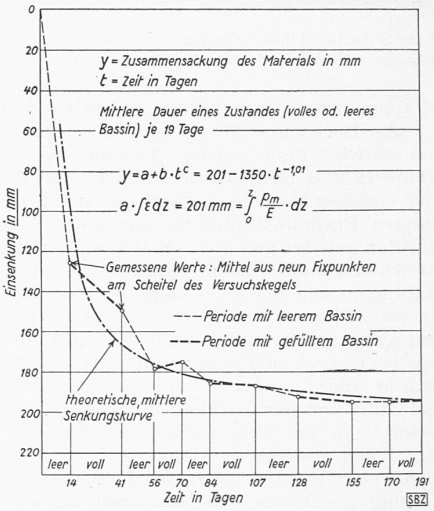


Abb. 12. Einfluss wiederholter Becken-Füllung und -Leerung auf die Materialsetzung

Die Abb. 10 bis 13 entsprechen den Ergebnissen der Modellversuche im Laboratorium in Lungern

Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee

Von Dr. L. BENDEL, Ingenieur-Geologe, Luzern

Wie vorstehend erwähnt, machten sich im Umgelände des Lungernsees seit der ersten Absenkung von 1836 Geländebewegungen geltend. Um die Grösse und Art dieser Uferbewegungen feststellen zu können, wurde um den ganzen Lungernsee herum ein Fixpunktnetz mit mehr als 200 Punkten angelegt. Die Hälfte der Beobachtungsstellen entfiel auf den mit Häusern überbauten Eibachschuttkegel, als das wichtigste Untersuchungsobjekt. An zahlreichen dieser Punkte hat die Schweiz. Landestopographie nicht nur die Vertikalbewegungen, sondern auch die horizontalen Verschiebungen durch Präzisionsmessungen ermittelt.

Komponenten-Zusammensetzung der Fixpunktbewegungen

Die festgestellten Senkungen (s) der Fixpunkte setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen:

$$s = s_e + s_k \pm [s_F + s_{st} + s_t] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Es bedeutet:

s_e = Setzung des Fixpunktes infolge Eigengewicht des Bodens, m. a. W.: Bewegungen, die der Boden gemacht hätte, auch wenn der Lungernsee auf der alten Kote des Jahres 1836 (Kote 656 m) gelassen worden wäre;

s_k = Setzungen des Fixpunktes infolge der Konstruktionsart des Fixpunktes; z. B. Eigensetzungen der Mauer, an der der Fixpunkt angebracht worden war;

s_F = Setzungen oder Hebungen des Fixpunktes infolge Frostwirkung auf den Boden;

s_{st} = Setzungen oder Hebungen der Fixpunkte infolge Aenderung der Seespiegellage (Staubetrieb);

s_t = Einfluss der Zeit auf die Verschiebung der Fixpunkte: In den Jahren 1921, 1925, 1930 und 1935 z. B. war der See zur Zeit der Vornahme der Nivellements im Steigen begriffen. Infolge der verzögernden Reaktion des Bodens auf Aenderungen der Seestaulage (Hysteresis des Bodens) wurde in den erwähnten Jahren durch die Nivellements nicht diejenige Fixpunktlage ermittelt, die der vorhandenen Stauhöhe bei lang andauernder, gleichbleibender Seespiegellage entsprochen hätte. Allein, da der See bei allen erwähnten Messungen stets im Steigen begriffen war, und da er bei der Vornahme der Nivellements ungefähr die gleiche Stauhöhe aufwies, kann der Messfehler als gleichsinnig angenommen werden. Die Messresultate dürfen daher miteinander verglichen werden; s_t ist positiv, wenn das Nivellement während steigendem See vorgenommen wird, und negativ bei sinkender Seehöhe einzusetzen.

Es erhebt sich nun die Frage, von welcher Grössenordnung die einzelnen Setzungs-Komponenten sind.

s_e konnte mit Hilfe der eidgenössischen Nivellements 1908 und 1921 längs des Lungernsees der Grössenordnung nach einigermassen ermittelt werden. Dass das im Eibachgebiet vorhandene Deltaschuttkegelmaterial infolge Eigengewicht allein schon komprimierbar ist, geht aus Abb. 10 hervor.

s_k ist für jeden Fixpunkt anders und kann für einzelne Fixpunkte, wenn sie schlecht fundiert sind, grössere Beträge erreichen. Es konnten nicht alle Fixpunkte diesbezüglich eingehend untersucht werden. Es wurden sieben Fixpunkte durch Untersuchung des Baugrundes näher beobachtet und festgestellt, dass bei *einem* Fixpunkt Relativbewegungen zur Bodensenkung angenommen werden müssen.

s_F ist von den jeweiligen, in den Beobachtungsperioden herrschenden klimatischen Verhältnissen abhängig. Nach strengen Wintern dürfte auf Grund von Versuchen bei Häusern, die nur 25 bis 30 cm tief fundiert sind, eine zusätzliche Setzung des im Eibachgebiet noch relativ locker gelagerten Bodens von 5 bis 20 Hundertstel Millimetern entstehen.

s_t ist zunächst für die folgenden Berechnungen nicht in Betracht gezogen worden, da alle den Berechnungen zu Grunde gelegten Nivellements unter gleichen Stauseebedingungen (ähnliche Stauhöhe und stets bei steigendem See) vorgenommen wurden.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Berechnungen

Periode	Mittlere Jahressenkung im gesamten Fixpunktnetz	Mittlerer Streuungsbereich	
		Grössenordnung	Anzahl der Fixpunkte in Prozenten im Bereich «e»
1908/21	1,12 mm	0 bis 2,49 mm	90 %
1921/25	2,02 mm	0,52 ÷ 3,52 mm	74 %
1925/30	1,70 mm	0,41 ÷ 2,99 mm	68 %
1930/35	3,17 mm	0,65 ÷ 5,69 mm	75 %

Tabelle 2: Mittlere Senkung der Fixpunkte

Periode	Mittl. Jahressenkung (s)	Stauhöhe				Differenz Max. Stau minus Mittl. Stau $D = st - M$
	Mittel aus 40/62 F. P.	Max. (st)	Mittel (M)	Min.	Amplit. (A)	
1921/25	2,02 mm	692 m	664 m	656 m	17 m	28 m
1925/30	1,70 mm	692 m	683 m	674 m	18 m	9 m
1930/35	3,17 mm	692 m	675 m	657 m	35 m	17 m

Aus den Untersuchungen über Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee

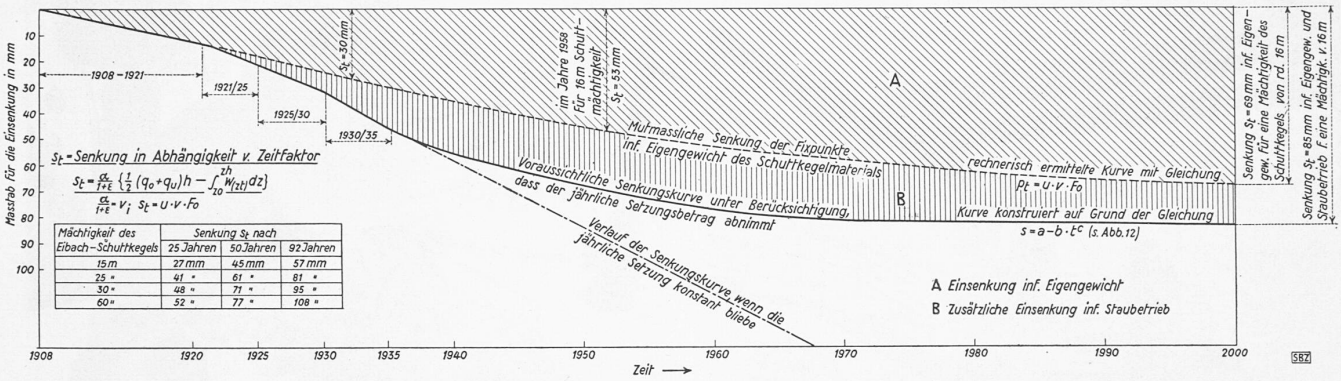


Abb. 13. Voraussichtliche künftige Bewegung der Fixpunkte durch Senkung infolge Eigengewicht (A) und Staubetrieb (B)

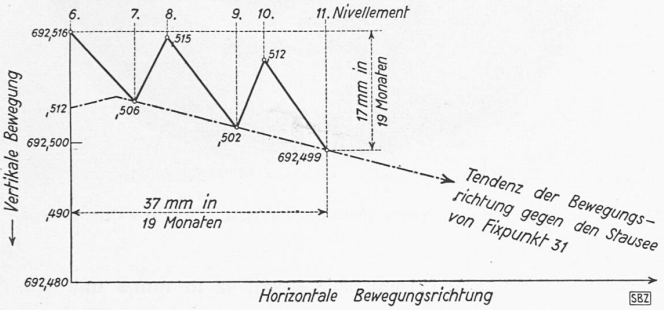


Abb. 14. Bewegung des Fixpunktes 31 am Mühlebach-Schuttkegel (vergl. Abb. 5). Die Punkte entsprechen den Nivellements lt. Abb. 9

Streuungen in den Messresultaten

Um feststellen zu können, ob mit der Art des Stauseebetriebes eine gesetzmässige Bewegung der Ufer zusammenhänge, wurde zuerst der jährliche Mittelwert (s) der Senkungen der einzelnen Zeitperioden 1908 ÷ 1921, 1921 ÷ 1925, 1925 ÷ 1930 und 1930 ÷ 1935 ermittelt. Allein der Mittelwert sagt nichts darüber aus, ob der Streuungsbereich der verschiedenen Setzungswerte gross oder klein sei. Um Anhaltspunkte über die Grösse des Streuungsbereiches zu erhalten, wurde der Gauss'sche Ansatz für die Bestimmung des mittleren Streuungsbereiches genommen. Darnach beträgt die mittlere Abweichung e der Einzelwerte vom gefundenen Mittelwert

$$e = \pm \sqrt{\frac{[v\,v]}{n}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Es bedeutet:

e = mittlere Abweichung vom Mittelwert (m);
m = Mittelwert der Beobachtungen;
E = durch die Landestopographie gemessener Einzelwert der Einsenkung der Fixpunkte;
$v = E - m$ = Differenz zwischen Mittelwert und dem von der Landestopographie gemessenen Wert;
n = Anzahl der Beobachtungen durch die Landestopographie. Ferner wurde festgestellt, wieviel Prozent (P) der von der Landestopographie gemessenen Werte sich innerhalb des mittleren Streuungsbereiches befinden. Zu diesem Zweck dient die Formel:

$$P = \frac{\pm e}{m} = \frac{\pm 100 \sqrt{\frac{[v\,v]}{n}}}{\frac{\Sigma E}{n}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Gesetzmässiger Zusammenhang zwischen Fixpunktsenkung und Seestaubetrieb

Aus Tabelle 1 geht nicht hervor, warum die mittlere Senkung der Fixpunkte in der Zeitperiode 1925/30 kleiner war, als in der vorhergehenden Zeitperiode 1921/25. Um die Ursache herauszufinden, wurde zunächst die mittlere Jahressenkung der Fixpunkte in Abhängigkeit von der absoluten Seestandhöhe und der Amplitude der Seeschwankung gebracht. In der Tabelle 2 sind die entsprechenden Werte zusammengestellt.

Werden die Senkungen (s) in Beziehung zur Amplitude (A) und zur Differenz (D) aus maximal möglichem Stau minus mittlerer vorhandener Stauhöhe gebracht, so ergibt sich folgender Ansatz:

$$s = \alpha\, A\, \beta^{a D} \quad (*) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

α ist ein Koeffizient, der von der Horizontal-Entfernung zwischen Uferlinie und Messpunkt abhängig ist; β ist ein Koeffizient, der von der Bodenbeschaffenheit abhängig ist; a eine Konstante = 0,1. Die Werte sind der Tabelle 3 zu entnehmen; darin bezieht sich Kol. I auf das ganze Fixpunktnetz um den See, II auf die Punkte unterhalb und III auf jene oberhalb des alten Geländerisses auf dem Eibachschuttkegel. Die Auswertung der obigen Formel ergab die Werte lt. Tabelle 4.

Obige Formel für s wurde im Jahre 1935 aufgestellt. Die in den Jahren 1936, 1937 und 1938 vorgenommenen neuen Präzisionsnivellements am Eibachschuttkegel ergaben Werte, die mit den aus obiger Formel errechneten Zahlen auf 0,25 mm Genauigkeit übereinstimmen. Werden die Fixpunkte unterteilt in solche, die oberhalb des alten Risses liegen (Abb. 5 und 6) und in solche unterhalb desselben, so gilt die oben abgeleitete Formel immer noch. Der Koeffizient α ändert, während β als Bodenmaterial-Koeffizient konstant bleibt:

$\alpha = 0{,}164$; $\beta = 1{,}10$; $a = 0{,}1$ für Punkte unterhalb des Risses.
$\alpha = 0{,}074$; $\beta = 1{,}10$; $a = 0{,}1$ für Punkte oberhalb des Risses.

Der Unterschied zwischen beobachteten und gemessenen Werten beträgt im Mittel aller Fälle 0,1 mm, maximal 0,4 mm.

Obige Formel für die Senkung der Fixpunkte in Abhängigkeit des Staubetriebes gilt nicht nur für das kiesige, sandige Material eines Bachschuttkegels, sondern grundsätzlich auch für das Moränenmaterial.

Zeiteinfluss auf die Setzungen

Um zu wissen, ob und in welcher Weise die Setzungen mit der Zeit kleiner werden, wurden in einem in Lungern eigens erstellten Laboratorium folgende Versuchsreihen durchgeführt:

Es wurden relativ ungestörte Bodenproben aus dem Schuttkegel des Eibaches entnommen; für die Bodenmuster wurden

(*) Dieses Senkungsgesetz ist auf wahrscheinlichkeits-theoretischem Wege gefunden worden. Vergl. Bendel: Statistisch-mathematische Untersuchungen systematischer Betonuntersuchungen, «SBZ» Bd. 102, S. 78*.

Tabelle 3: Zahlenwerte zu Formel (4)

Periode	A	D	β	a	α I	α II	α III
1921/25	17	28	1,1	0,1			
1925/30	18	9	1,1	0,1	0,085	0,164	0,07
1930/35	35	17	1,1	0,1			

Tabelle 4: Auswertung der Formel (4)

Periode	Senkung Beobachtung	Senkung Berechnung
1921/25	2,0 mm	1,9 mm
1925/30	1,7 mm	1,7 mm
1930/35	3,2 mm	3,4 mm

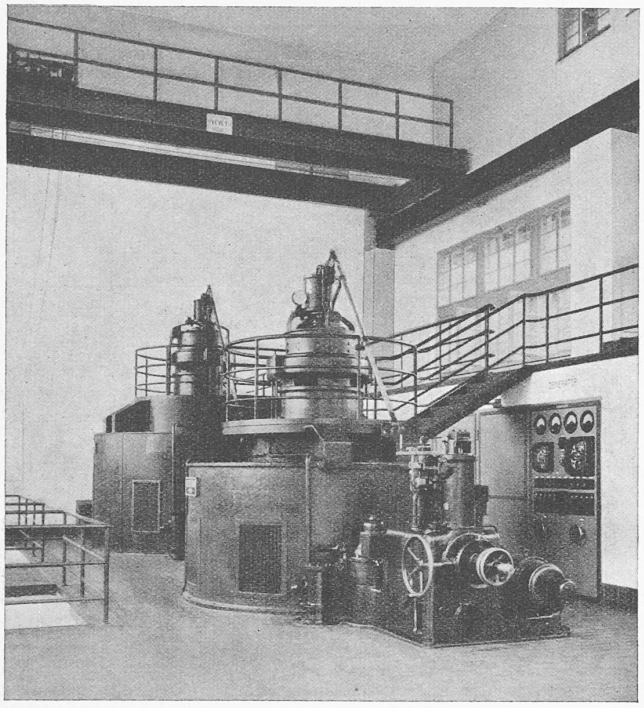


Abb. 15. Zentrale Kaiserstuhl (4000/10 000 PS), mit Oerlikon-Generatoren

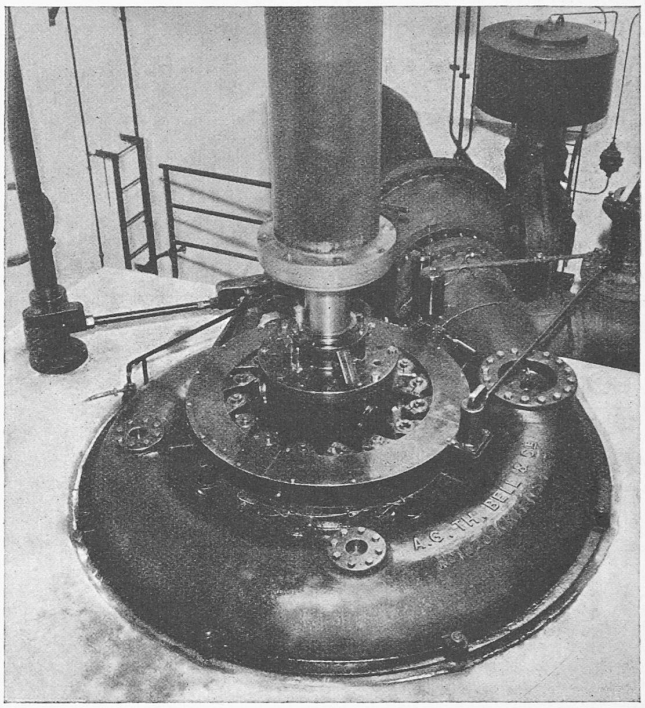


Abb. 16. Spiral-Francis-Turbine 10000 PS der A. G. Th. Bell & Cie., Kriens

die Druck-Setzungs-Diagramme ermittelt und für die Porenziffer ε die bekannte Beziehung gefunden

$$\varepsilon = -C \ln (p + p_c) - \beta (p + p_c) + C_1 = \frac{n}{1 - n} \quad . \quad (5)$$

n = Porenvolumen; $p_i\, p_c$ = Bodenbelastungswerte in kg/cm²; C = bodenphysikalische Kennziffer; $^1/_c$ = Verdichtungswert des Bodens.

Der Verdichtungswert $^1/_c$ schwankte zwischen 8,0 bis 8,06; der Wert 8 lässt auf kalkiges Material mit tonig-organischen Beimischungen schliessen. Die Porenziffer 0,78 bis 0,96 lässt ebenfalls auf Material mit tonigem Charakter schliessen. Trotzdem der Kompressibilitätsversuch mit dem Material im Modell so durchgeführt wurde, dass das Material seitlich nicht entweichen konnte, ergaben sich an den relativ ungestörten Bodenproben merkliche Zusammendrückungen. Das Bachschuttmaterial ist auch heute noch ziemlich locker gelagert.

Wird für das Schuttkegelmaterial Quasi-Isotropie vorausgesetzt, so kann das noch mögliche Zusammensinken (s) des heute trockenen Deltas infolge Eigengewicht berechnet werden.

$$s = \int_0^z \varepsilon\, dz = \int_0^z \frac{\sigma}{M_B}\, dz\,;\; s = \sum \frac{\alpha}{1 + \varepsilon_m}\, p_m \Delta z = v F_0 \quad (6)$$

worin z = Mächtigkeit des Materiales; ε = Porenziffer;

v = Verfestigungsbeiwert; $\alpha = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p}$

M_B = Zusammendrückungsmodul; p = Bodenbelastungswert in kg/cm².

Aus obiger Formel ergibt sich die Beziehung gemäss Abb. 10. Es sind dies Endwerte, d. h. sie entsprechen maximaler Zusammendrückungsmöglichkeit des Bachschuttmateriales.

Der Einfluss des Zeitfaktors (t) auf die Senkung (s) kann nach der Formel für kohärente Böden angenähert berechnet werden:

$$s_t = \frac{\alpha}{1 + \varepsilon} \left\{ \frac{1}{2} (q_0 + q_u)\, h - \int_{\beta = 0}^{z = h} w_{(z\,t)}\, dz \right\} = \mu v F_0 \quad (7)$$

Es bedeutet: ε = Porenziffer, $\frac{\alpha}{1 + \varepsilon} = \nu$ = spez. Wasserverlust, q_0 = Bodenbelastung an der Oberfläche des betrachteten Elementes der Höhe h, q_u = Bodenbelastung an dessen Unterfläche, $w_{(z\,t)}$ = hydrostatischer Ueberdruck in der Tiefe z zur Zeit t, μ = Verfestigungsgrad.

$F_0 = \frac{1}{2} (q_0 + q_u)\, h$. — Für $\mu = 1$ wird $s = v F_0$, vergl. Formel 6.

Für das Eibachschuttmaterial gilt angenähert die Beziehung:

$$\mu = 1 - \frac{2}{3}\, e^{-\left(\frac{3\,c\,t}{h^2} - \frac{1}{4}\right)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

worin $c = \frac{k}{\gamma \nu}$; k = Durchlässigkeitsziffer in mm/s und γ = Raumgewicht in g/cm³.

Da das Material des Eibachschuttkegels tonhaltig ist und Beimischungen von organischer Substanz enthält, wird k klein. Versuchstechnisch ergab sich k im Mittel zu

$$k = 5{,}5 \times 10^{-6}\ \text{mm/s}$$

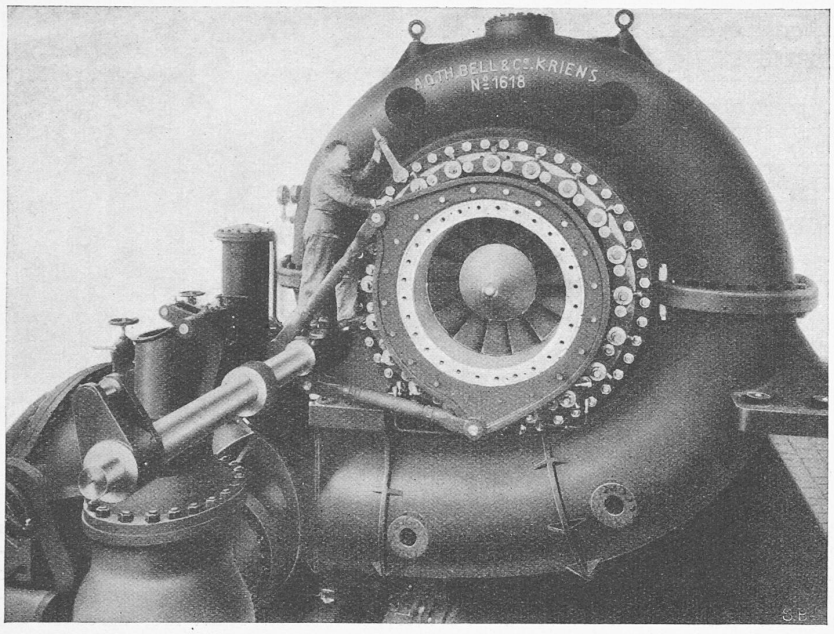
Für die Zeitperioden t = 25,50 und 90 Jahre und für die verschiedenen Mächtigkeiten h = 15, 25, 30 und 60 Meter wurden mit Hilfe der Formeln 7 und 8 die Senkungen (s_t) gemäss Abb. 11 errechnet.

Diese Werte sind unter der Annahme errechnet worden, dass Quasi-Isotropie des Bodens vorhanden sei. — Um festzustellen, ob die rechnerisch ermittelten Zahlenwerte der Setzungs-Abnahme im Alter mit der Wirklichkeit übereinstimmen, wurde aus Eibachmaterial in einem Betonbassin von 7×7 m Grundfläche ein künstliches Delta erstellt. Dabei sorgte man dafür, dass die Kornzusammensetzung im künstlichen Delta jener des natürlichen Eibachschuttkegels entsprach, auch wurde sie laufend kontrolliert; ebenso wurde die Dichte, die Art der Ablagerung usw. scharf beobachtet. Nachdem der künstliche Schuttkegel einige Zeit ruhengelassen worden war, wurde das Betonbassin in Zwischenräumen von je 2 bis 3 Wochen jeweils geleert und wieder mit Wasser gefüllt (Abb. 12). Ueber den Schuttkegel wurden 21 Messpunkte nach einem bestimmten Koordinatensystem gelegt und die vertikalen und die horizontalen Verschiebungen der Fixpunkte ermittelt. Die Messergebnisse sind in Abb. 12 wiedergegeben. Deutlich sichtbar ist die verzögernde Wirkung der Setzungserscheinung, sobald das Bassin mit Wasser gefüllt wird. Ebenso ist die starke Abnahme der absoluten Grösse der Setzung, nachdem das Versuchsbassin verschiedene Male gefüllt und entleert worden war, deutlich zu erkennen. Die Versuche zeigen deutlich das qualitative Verhalten eines Schuttkegels bei wechselndem Wasserstand; der Zusammenhang quantitativer Art zwischen Modellversuch und Natur ist hier nicht weiter diskutiert.

In Ab. 13 ist graphisch dargestellt, wie die Oberfläche des Eibachschuttkegels sich gesenkt hätte *ohne* Stauseebetrieb (Fläche A). Die Fläche B gibt die Grösse der Senkungen wieder, die auf Grund der oben beschriebenen Versuche errechnet wurden.

Art der jährlichen Bewegungen der Fixpunkte

Während 19 Monaten führte man in der Natur sechs Präzisionsnivellements durch, um die Einwirkungen des Füllens und Entleerens des Lungernsees auf die Art der Bewegung der Fixpunkte studieren zu können. Abb. 14 zeigt am Beispiel des Fixpunktes 31, dass die Bewegungsart durch den Stauseebetrieb mit Absenken und Heben um jeweils 30 m stark beeinflusst



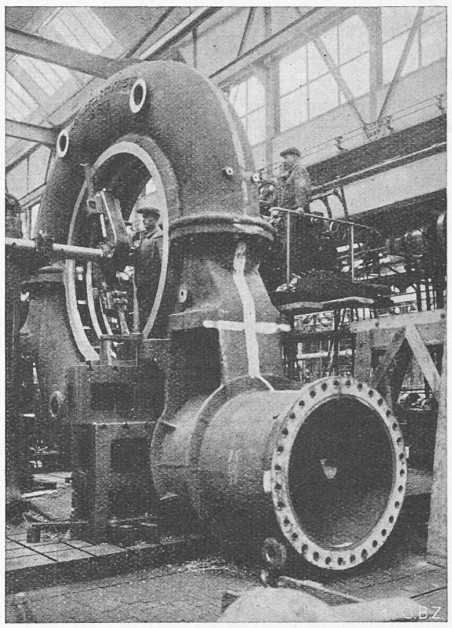


Abb. 18. 22500 PS-Spiral-Francis-Turbine der Zentrale Unteraa der C. K. W. — A. G. Th. Bell & Cie., Kriens. — Abb. 19. Ausbohren des Spiralgehäuses

wird. Der Vergleich mit Abb. 12 mit den Hebungen und Senkungen der Fixpunkte im künstlichen Deltaschuttkegel des Versuchsbassin zeigt für Versuch und Wirklichkeit den gleichen Charakter der Senkungstendenz.

Schlussfolgerungen

1. Die eingehenden Untersuchungen am Lungernsee über die Bewegungen der Ufer infolge Staubetriebes ergaben wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf die Abhängigkeit zwischen Seespiegelschwankung und Grösse der Fixpunktbewegungen.

2. Es ist gelungen, die Beziehung zwischen der Art des Staubetriebes und der damit zusammenhängenden Art der Fixpunktbewegungen mathematisch zu erfassen.

3. Mit Sicherheit ist vorauszusagen, dass mit der Zeit die Grösse der jährlichen Bewegung der Fixpunkte abnimmt und dem Endwert null entgegenstrebt.

4. Die Versuche im Prüfraum und die Wirklichkeit ergaben gute Uebereinstimmung über die Art der Senkungstendenz eines Bachschuttkegels, der im Bereich eines Stausees mit stark schwankender Stauamplitude liegt.

Die hydraulischen Maschinen des vierten Ausbaues

Die Zentrale bei Kaiserstuhl. Vom seeseitigen Ende des Melchaa-Stollens, das als Wasserschloss ausgebildet wurde, beträgt das Gefälle bis zum See je nach Stand des Staues 115 ÷ 119 m und die verfügbare Wassermenge max. rd. 10000 l/sec. Wegen der starken Schwankungen des Seespiegels muss das Abwasser der in dieser aufgestellten beiden vertikalachsigen Francis-Turbinen (Abb. 15 und 16) von max. 4000, bzw. 10000 PS nach dem Saugrohr nochmals gefasst werden, bevor es in den See ausfliesst. Die grosse Verschiedenheit in der Leistungsfähigkeit der genannten Aggregate ist bedingt durch die stark veränderliche Wasserführung im Melchaa-Stollen. Als ferngesteuertes bedienungsloses Kraftwerk stellte es an die Maschinen, Apparate und Sicherheitsvorrichtungen besondere Anforderungen, denen die A.G. Th. Bell & Cie. in Kriens, die neben allen hydraulischen Maschinen auch Absperrorgane und anderes mehr für das gesamte Lungernseewerk lieferte, Rechnung trug. Der Kugelschieber am Einlauf zur Druckleitung wird durch einen Elektromotor geöffnet und durch ein Gewicht geschlossen. Seine Bewegungen werden von der Zentrale Unteraa aus gesteuert. Daneben sind Sicherheitsvorrichtungen vorhanden, die bei Rohrbruch oder sonstwie verursachtem Druckabfall vor den Turbinen die Schliessbewegung einleiten. Zur Vermeidung von Druckstössen in der Leitung wird die Bewegungsgeschwindigkeit der Kugelschieber vor den Turbinen durch besondere Regulatoren überwacht. Das Oeffnen dieser Schieber erfolgt durch einen Oelservomotor, während die Schliessbewegung ebenfalls durch ein Schliessgewicht bewirkt wird. Auch diese Absperrorgane werden von der Zentrale Unteraa aus gesteuert.

Weil die Zentrale ohne Bedienung ist, musste vor allem der Schmierung der Turbinen ein besonderes Augenmerk geschenkt werden. Führungslager, Regulierringe und Hebel laufen im Oelbad, und die Leitschaufellager werden automatisch durch eine vom Regulierring aus angetriebene Fettpresse geschmiert. Die Stopfbüchse ist als Labyrinthdichtung ausgebildet. Zur Kühlung der mit Tragsegmenten ausgerüsteten Spurlager wird deren Schmieröl mit einer Umlaufpumpe durch eine Kühlschlange gefördert, an die sich ein Filter anschliesst. Diese Umlaufpumpe, sowie die Drucköl pumpe zu den Regulatoren und ein kleiner Kompressor für die Schwimmerregulierung werden von einem gemeinsamen Elektromotor mit Zentrifugalanlasser angetrieben. Steigen die Oeltemperaturen in den Lagern zu hoch, so werden die Turbinen selbsttätig stillgelegt. Da bei plötzlichem Schliessen des Leitapparates die Saugwassersäule abreisst, sodass sich ohne besondere Vorkehrungen im Saugrohr ein Vakuum bilden würde, das ein Zurückschlagen des Wassers zur Folge hätte, wird in diesem Fall von einer Leitschaufel aus ein Lufteinlassventil geöffnet, das sich dann, durch einen Katarakt gebremst, langsam wieder selbsttätig schliesst.

Von einem auf der Generatorwelle sitzenden Pendel aus wird über ein Gestänge mit Federbandgelenken der Steuerkolben der Oeldruckregulatoren betätigt. Eine besondere Einrichtung erlaubt, den Ungleichförmigkeitsgrad während des Betriebes von 0 bis 8% zu verstellen. Die Drehzahlverstellung bezw. Belastungsänderung bei parallel geschalteten Maschinen kann durch einen von der Zentrale Unteraa aus bedienten kleinen Elektro-Motor erfolgen, der durch Endausschalter in den Grenzlagen des Verstellbereiches selbsttätig ausgeschaltet wird. Normalerweise aber wird die Belastung mit Hilfe eines Schwimmers, der ebenfalls über ein Gestänge auf das Regulierventil einwirkt, der verfügbaren Wassermenge angepasst. Mit Hilfe

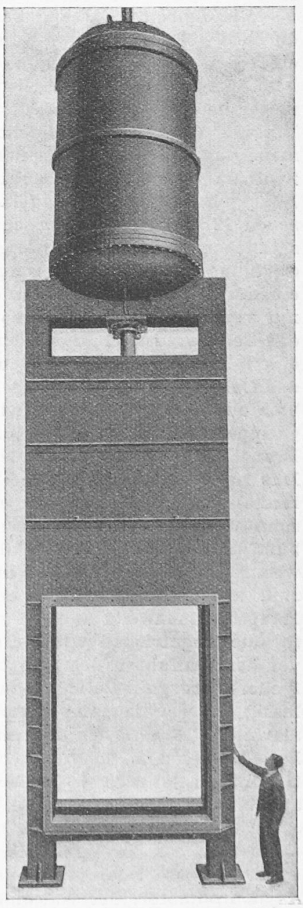


Abb. 17. Gleitschütze 1,80 × 2,40 m am Lungernsee mit ferngesteuertem hydraulischem Servomotor A. G. Th. Bell & Cie., Kriens