

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 75/76 (1920)
Heft: 9

Artikel: Die Wasserkraftanlage "Gösgen" an der Aare der A.-G.
"Elektrizitätswerk Olten-Aarburg"
Autor: AG Motor
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36425>

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: 12.01.2026

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

INHALT: Die Wasserkraftanlage „Gösgen“ an der Aare. — Einfache Theorie der Regulierungsvorgänge indirekt wirkender Regulatoren. — Von der Stiftung zur Förderung schweizerischer Volkswirtschaft. — Wettbewerb für eine Wohnkolonie im „Feldli“, St. Gallen. — Ein Gedenktag in der Geschichte der Gotthardbahn. — Miscellanea: Neue französische Einheitsbezeichnungen. Normalienkommission für das Baugewerbe. Elek-

trifizierung der Vorortbahnen von Melbourne. Helsingfors als Haupthafen Finnlands. — Nekrologie: S. Spychiger. M. Dolivo-Dobrowolsky. A. Saurer. — Konkurrenz: Bebauungsplan Elfenau- und Mettlen-Gebiet in Bern. Schiffbarmachung des Rheins Basel-Bodensee. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Band 75. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 9.

Die Wasserkraftanlage „Gösgen“ an der Aare der A.-G. „Elektrizitätswerk Olten-Aarburg“.

Mitgeteilt von der A.-G. «Motor» in Baden.

(Fortsetzung von Seite 85.)

Der Oberwasserkanal.

Auf die Gesichtspunkte, die bei der Wahl des Kanal-Tracé massgebend waren, soll hier nicht näher eingetreten werden; sie gipfeln darin, eine möglichst wirtschaftliche, gleichzeitig aber auch betriebsichere Wasserzufuhr zum Maschinenhaus, unter möglichster Schonung des kultivierten Geländes und der bewohnten Ortschaften zu erreichen. Die Linienführung ist bereits unter „Allgemeines“, unter Hinweis auf die Uebersichtskarte Abbildung 2 besprochen worden, die wir hier des bessern Verständnisses halber wiederholen.

Die Gesamtlänge des Oberwasserkanales beträgt 4,80 km; das Sohlengefälle wurde entsprechend dem berechneten Wasserspiegelgefälle bei der maximalen Wasserführung von $350 \text{ m}^3/\text{sek}$ zu 0,013 % in der oberen normalen Partie auf 3,2 km Länge, und zu 0,023 % in der übrigen mit reduziertem Querschnitt ausgeführten Felsstrecke gewählt.

Als Normalprofile kamen je nach den Untergrund- und Geländeverhältnissen drei Profiltypen zur Anwendung, und zwar von Km. 0 bis 2,5 ein Einschnittprofil, von Km. 2,5 bis 3,3 ein Profil mit Dammböschung und von Km. 3,3 bis 4,8 ein Einschnittprofil im Felsen.

In der Strecke des Einschnittprofils (Abb. 46, Seite 94) besteht der Untergrund im wesentlichen aus Niederterrassen-Schotter, doch wurde der Kalkfelsen auf einer Strecke von etwa 500 m, insbesondere an der linksseitigen Böschung ebenfalls angeschnitten. Dieser Schotter lieferte ein gutes Betonmaterial. Abbildung 47 zeigt die auf dieser Strecke zur Verwendung gelangte Sortieranlage für Kies und Sand mit gleichzeitiger Wäscherei. Die Schottermasse war meistens mit einer bis 1,5 m starken Schicht lehmhaltigen Sandes bedeckt, die mit dem Schotter vermischt ein gutes Dammmaterial bildete. Das Einschnittprofil hat eine Sohlenbreite von 32,0 m und Böschungen 1:1,5; 4,0 m über der Sohle wurde eine Berme von 1,0 m Breite angelegt. Die normale Wassertiefe beträgt 6,10 m und die mittlere Durch-

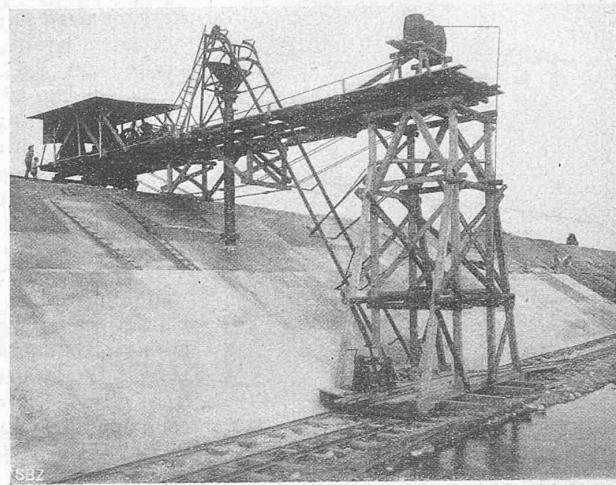


Abb. 49. Betonaufzug für die Betonierung der Böschungen.

flussgeschwindigkeit bei $350 \text{ m}^3/\text{sek}$ Wasserführung etwa 1,40 m/sec. Betonplatten, die unterhalb der Berme 20 cm, oberhalb derselben 15 cm stark sind, verkleiden die Böschungen (Abb. 48 und 49). Die an Ort und Stelle erstellten Platten haben eine Länge von je etwa 5,0 m und eine Breite von 2,0 bis 3,5 m. Durch die Unterteilung der ganzen Betonverkleidung in einzelne Platten ist dies ermöglicht, Setzungen der Verkleidungsunterlage zu folgen. Ihre Erstellung ist von den Unternehmungen mit verschiedenen Installationen erfolgt. Es sei hier auf den in Abb. 49 dargestellten Aufzug hingewiesen, der von der Firma Buss & Cie. für die Verbringung des Betons von der Kanalsohle auf die Verwendungsstelle an der Böschung verwendet wurde. Bei sandigem Untergrund wurde die Betonverkleidung auf eine Kiesunterlage gelegt und ihr Fuss durch eine Vorlage aus Kieselsteinen oder Steinschroppen geschützt.

Mit Ausnahme der linksseitigen Böschung der Strecke von Km. 0,6 bis 1,40 waren auch in den Einschnittpartien Dammanschüttungen nötig, weil das natürliche Gelände zum Teil tiefer als der Kanalwasserspiegel liegt. Es kamen

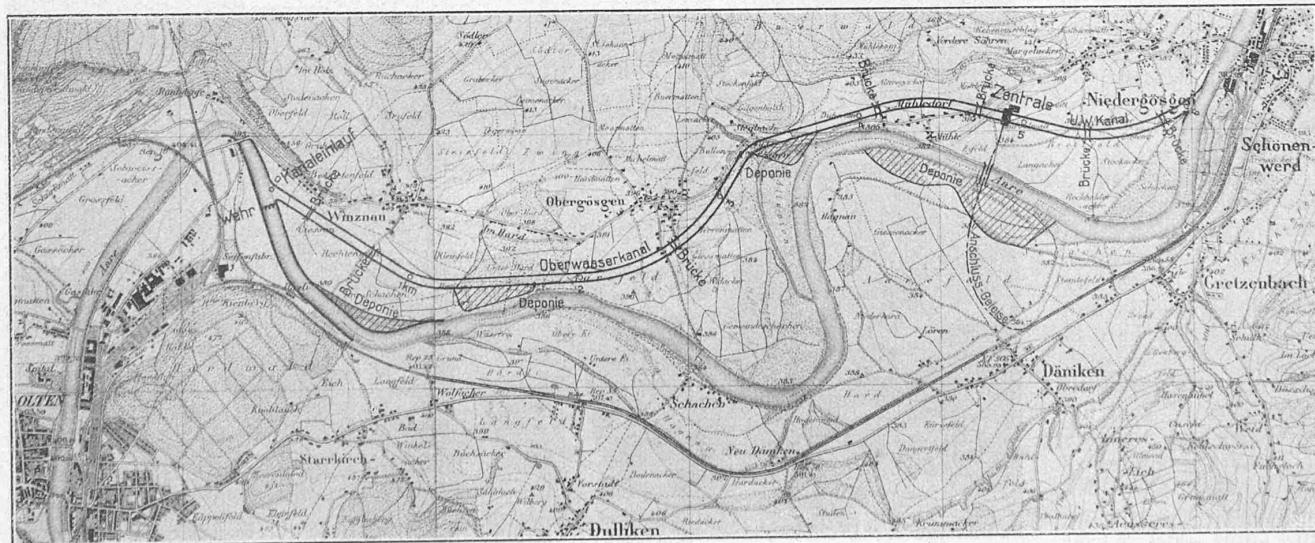


Abb. 2 (wiederholt aus Nr. 1). Uebersichtskarte der Kraftanlage „Gösgen“ an der Aare. — Masstab 1:40 000.

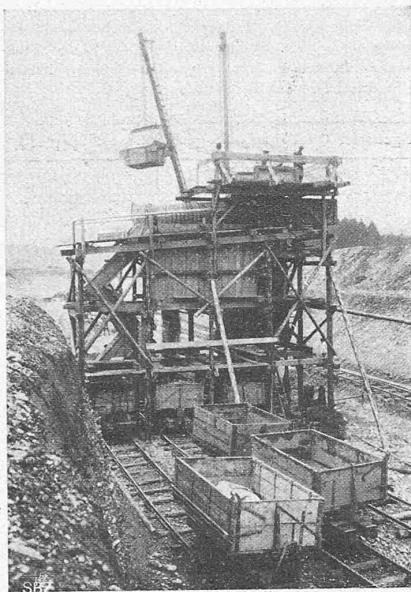


Abb. 47. Sortieranlage für Kies und Sand.

dabei gleichfalls anderthalb-füssige Böschungen zur Anwendung. Die Dammkrone ist 1,20 m über dem max. Stauwasserspiegel durchwegs horizontal mit einer normalen Kronenbreite von 4,0 m angelegt. Um zwischen Untergrund und aufgeschüttetem Dammkörper keine glatte Berührungsfläche zu erhalten, die zu Durchsickerungen führen könnte, wurden nach sorgfältigem Abhub des Humus im DammLAGER einzelne Furchen parallel zur

Abb. 48. Kanalpartie bei Km. 9 bis 10 im Bau.
An der Böschung rechts Betonverkleidung unvollendet (26. XI. 15).

Diese Art der Dammherstellung wurde bis zu einem Wasserdruck von etwa 4,0 m über Terrain angewendet. Unterhalb Km. 2,5 fällt jedoch das Gelände sehr rasch auf Kanalsohle und sogar bis 2,50 m unter diese (Abbildung 50). Hier mussten die Dämme zur Erreichung einer guten Dich-

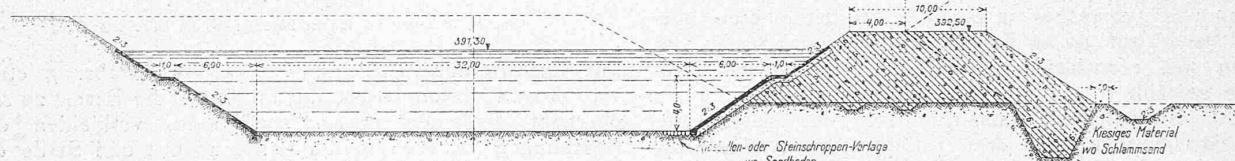


Abb. 46. Normalprofil des Oberwasserkanaals auf der Strecke Km. 0 bis 2,5 (Einschnittprofil). — Masstab 1:500.

Axe bis 1,0 m tief ausgehoben. Die Anzahl dieser Furchen oder „Zähne“ richtete sich nach der Dammhöhe. Ausser dieser Verzahnung ist dort, wo der Untergrund aus feinem Sand bestand, am landseitigen Dammfuß ein sogenannter Kiessporn bis in den gewachsenen Kies eingebaut worden, um ein Herausquetschen oder Ausfliessen des Untergrundes zu verhindern (Abb. 46); der grösseren Sicherheit halber ist hier die Kronenbreite von 4 bis auf 10,0 m vergrössert worden. Alle Dämme der Einschnitt-Strecke sind ohne besondere Vorkehren in Schichten von 50 cm angeschüttet worden. Lediglich hat man darauf gehalten, dass einzelne kopfgrosse Kieselsteine ausgelesen wurden und dass im Dammkörper keine Kiesnester entstanden.

Am Fusse der Dämme wurden aussenseitig Entwässerungsgraben erstellt zur Aufnahme des Grund- und Tagwassers aus dem Umgelände und des vom Kanal herrührenden Sickerwassers. Während der rechtsseitige Graben an geeigneten Stellen ohne weiteres in die Aare geleitet werden konnte, musste der linksseitige an zwei Stellen unter dem Kanal hindurchgeführt werden.

tung nach einem besonderen Normalprofil erstellt werden, das in Abbildung 51 dargestellt ist. Dieses Profil war linksseitig notwendig von Km. 2,3 bis 2,85, wo an das Hochbord angeschlossen werden konnte, und rechtsseitig von Km. 2,5 bis Km. 3,3. Der Untergrund in dieser Dammstrecke bestand bis zu 4,0 m Tiefe unter Terrain aus Schlammsand, der auf gutem kiesigen Material aufgelagert



Abb. 52. Aushub des Schlammsandes bis 4 m unter Terrainlinie für das rechte DammLAGER, gesehen ab Km. 3,2.

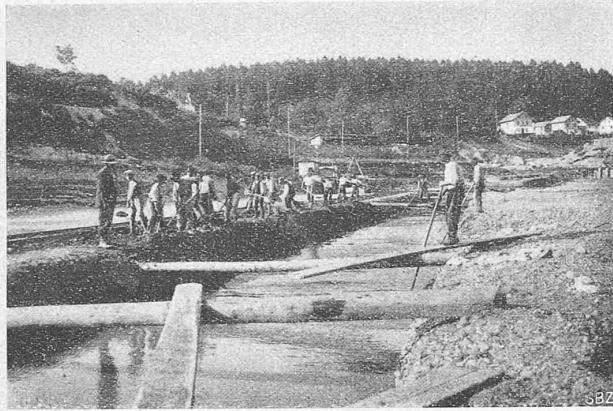


Abb. 53. Einschwemmen des Lehms für den Sporn des rechtsseitigen Damms bei Km. 3 (vergl. Abb. 51).

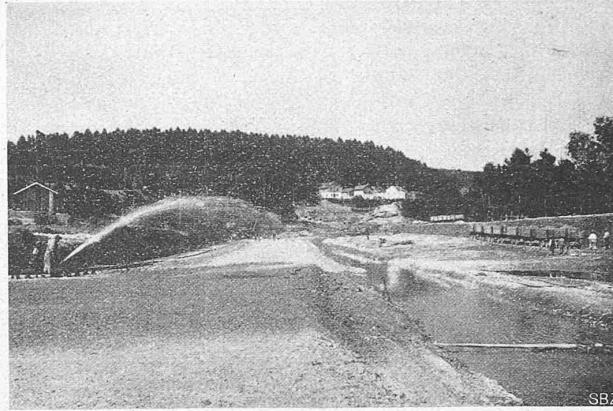


Abb. 55. Bespritzen des rechtsseitigen Damms bei Km. 3 etwa auf Kote 381,00 (vergl. Abb. 51).

war. Um ein Ausquetschen oder Ausfliessen des Schlamm-sandes zu verhindern, wurde dieser auf die Breite des ganzen Dammlagers bis auf den Kiesboden ausgehoben (vergl. Abbildung 52). Im Damminnern befindet sich, ähnlich wie am Staudamm des Klöntalersees, ein Lehmkern, der noch 1 bis 2 m tief in den Kiesgrund eingreift (siehe Abbildungen 51 und 53). Dieser Lehmkern hat oben eine Breite von 1,5 m und erweitert sich nach unten mit einem Anzug von 6:1. Der undurchlässige schlammartige Untergrund unter der Kanalsohle ist mit dem Lehmkern durch eine Schicht von mindestens 1,0 m Stärke möglichst lehm-haltigen Materials verbunden, wodurch ein geschlossenes dichtes Profil erreicht worden ist.

Der Lehm ist in Schichten von 20 cm eingebbracht und mit Walzen von mindestens 1,5 t Gewicht gewalzt worden. Dabei sind zwei Arten von Walzen zur Verwendung gekommen, eine gewöhnliche einrollige Walze, die entweder durch eine Lokomotive auf nebenliegendem Geleise oder durch eine Bauwinde mit endlosem Seil be-

wegt wurde (Abbildung 54), und eine ebenfalls einrollige, durch einen Benzinmotor angetriebene Walze. Das eigentliche Dammmaterial wurde in Schichten von höchstens 0,5 m aufgeschüttet und mit Walzen von 6 t Gewicht eingewalzt.

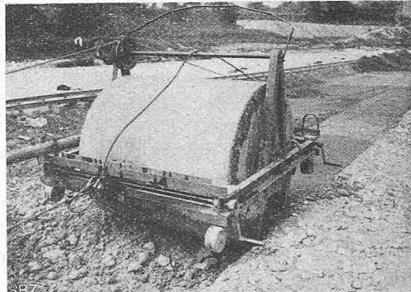


Abb. 54. Einrollige Walze mit Scilbetrieb für das Walzen des Lehmkerns.

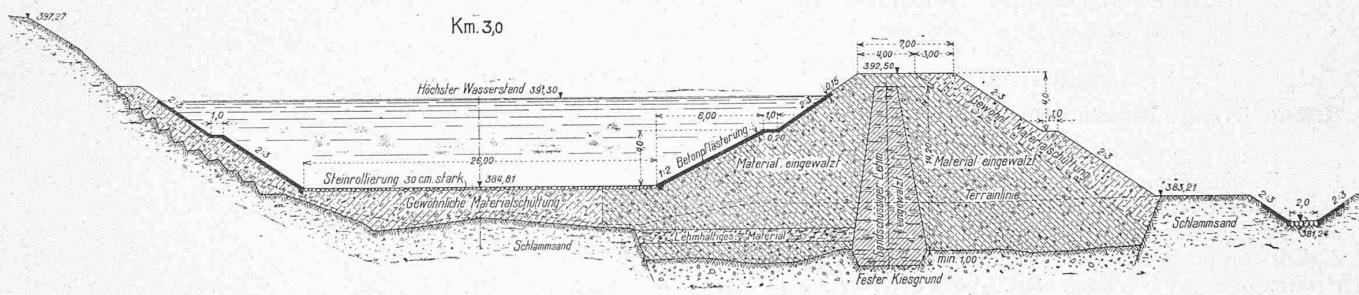


Abb. 51. Normalprofil des Oberwasserkanals in der Dammstrecke, Km. 2,5 bis 3,3 (Dammprofil bei Km. 3,0). — Maßstab 1:500.

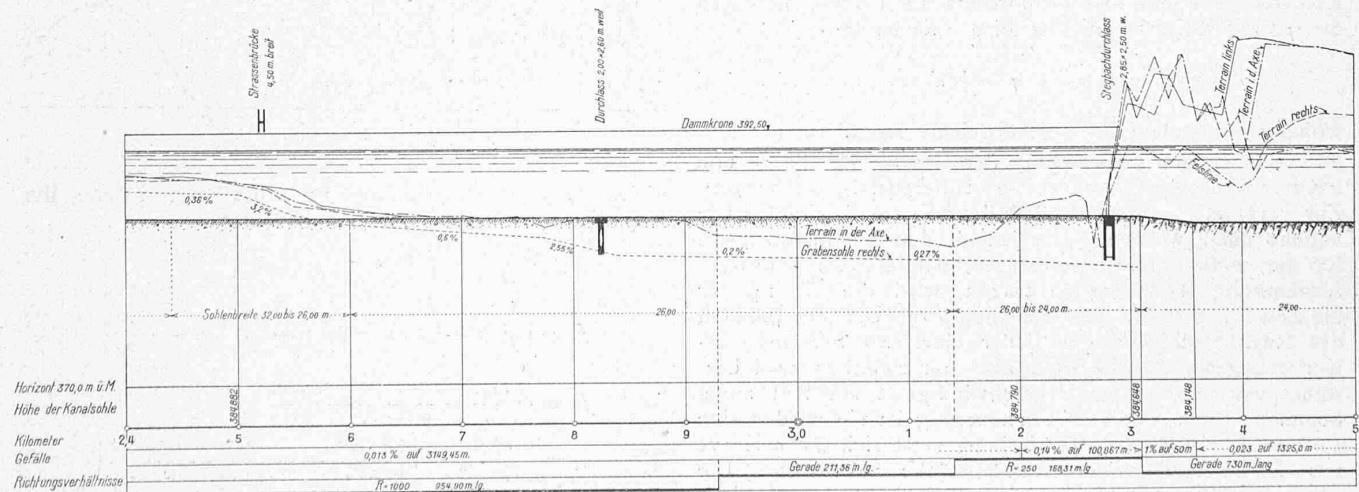


Abb. 50. Längenprofil des Oberwasserkanals von Km. 2,4 bis 3,5 (Dammstrecke). — Längen 1:6000, Höhen 1:600.

samtkubatur rd. $45000 m^3$ ausmacht, kam ein sand-schüssiger Lehm zur Verwendung, der aus einer 800 m weit entfernten Grube gewonnen werden konnte.

Der untere Teil der Dammböschungen wurde auf der Innenseite zweifüllig erstellt. Man konnte deshalb, um einen gleich grossen benetzten Querschnitt wie im Einschnittprofil beizubehalten, die Sohlenbreite von 32 m auf 26 m herabsetzen. Die Böschungen sind im übrigen in gleicher Weise durch Betonplatten verkleidet. Nach aussen ist der Damm durch eine gewöhnliche Materialschüttung um 3,0 m Breite verstärkt. Die Kanalsohle erhielt auf der Dammstrecke eine 20 cm starke Steinrollierung.

Zur Kontrolle der Dammsenkungen sind auf der Dammkrone alle 50 m Höhenmarken angeordnet. Bei einer Dammhöhe von 10,0 m bis 14,0 m betrug die totale Setzung nach zwei Jahren Betriebsdauer des Kanals im Maximum 40 mm, im Mittel 21 mm, wovon auf die letzten zehn Monate eine mittlere Setzung von 2 mm entfällt. Feststellbare Durchsickerungen durch oder unter dem Damm wurden bis heute nicht beobachtet. (Die Abbildungen 52, 56 und 57 zeigen die gleiche Dammstrecke in verschiedenen Baustadien.)

(Forts. folgt.)

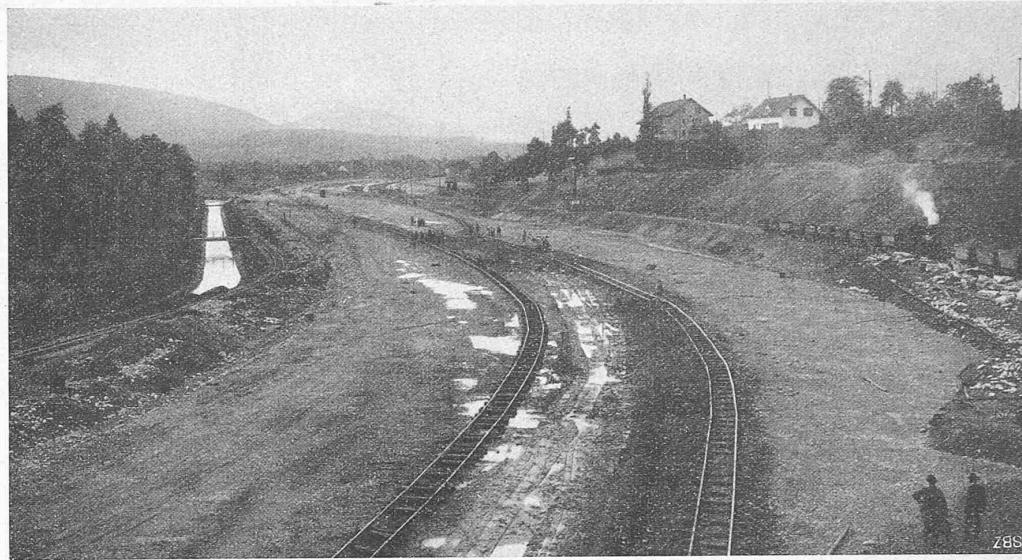


Abb. 56. Damm bei Km. 3,2 kanalaufwärts gesehen.
Zwischen den Gleisen der bis auf Kanalsohlenhöhe ausgeführte Lehmkerne (14. X. 15).

ergeben, sind, wie am Schlusse an einem Beispiel gezeigt werden wird, sehr gering. Da nun außerdem die gemachten Voraussetzungen bei der genauen Methode in der Praxis auch stets nur annähernd erfüllt sind, so ergibt die vorliegende Methode im allgemeinen mit der Ausführung ebenso gut übereinstimmende Resultate wie die genauen Gesetze.

Unter Bezug auf Abbildung 14 ist nach Gl. (14)

$$k_x = \varepsilon (\text{Parabelfläche } \varphi_1 x t_x - \text{Dreieck } \sigma x t_x)$$

Die Gleichung der k -Linie ist (Abbildung 15)

$$k = \frac{\sigma \cdot \delta}{T_s} \cdot t$$

Für den Umsteuerpunkt x_1 ist $k_x = \varphi_x$, nach Gl. (4) wird somit

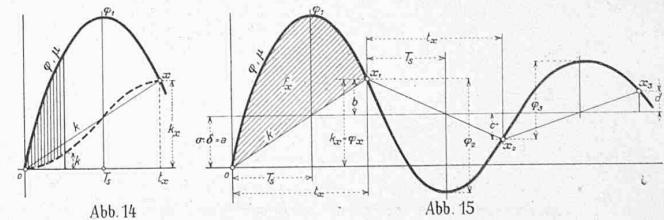
$$k_x = \frac{\sigma \cdot \delta \cdot t_x}{T_s} = \frac{\sigma}{T_a} \left(t_x - \frac{t_x^2}{2 T_s} \right)$$

Hieraus ergibt sich

$$t_x = 2 T_a \left(\frac{T_s}{T_a} - \frac{\delta}{\sigma} \right) \dots \dots \quad (15)$$

Anderseits ist nach Gl. (14)

$$k = \varepsilon \int_0^{t_x} (\varphi - k) dt = \varepsilon \cdot f_x$$



wobei f_x die in Abbildung 15 schraffierte Fläche der Regulierschieber-Abweichungen bedeutet.

$$\varepsilon = \frac{k_x}{f_x}$$

$$f_x = \int_0^{t_x} \varphi dt - \int_0^{t_x} k dt = \int_0^{t_x} \frac{\sigma}{T_a} \left(t - \frac{t^2}{2 T_s} \right) dt - \frac{t_x \cdot k_x}{2}$$

$$f_x = \frac{\sigma \cdot t_x^2}{2 T_a} - \frac{\sigma \cdot t_x^3}{6 T_s \cdot T_a} - \frac{t_x \cdot k_x}{2}$$

$$k_x = \frac{\sigma \cdot \delta}{T_s} \cdot t_x = \varepsilon \left[\frac{\sigma \cdot t_x^2}{2 T_a} - \frac{\sigma \cdot t_x^3}{6 T_s \cdot T_a} - \frac{t_x^2 \cdot \sigma \cdot \delta}{2 T_s} \right]$$

$$\frac{\delta}{\varepsilon \cdot T_s} = \frac{t_x}{2 T_a} - \frac{t_x^2}{6 T_s \cdot T_a} - \frac{t_x \cdot \delta}{2 T_s}$$

Einfache Theorie der Regulievorgänge indirekt wirkender Regulatoren.

Von Ingenieur H. Joos, Winterthur.

(Schluss von Seite 83.)

II. Regulierung mit veränderlicher Reguliergeschwindigkeit.

a) Ohne Reibung.

Ist bei einer hydraulischen Regulierung der Druck der Arbeitsflüssigkeit, sowie die Verstellkraft des Servomotorkolbens konstant, so kann dessen Reguliergeschwindigkeit proportional der Regulierschieber-Abweichung s gesetzt werden; vorausgesetzt, dass die Regulierschieber-Kanäle über den ganzen Hub gleiche Breite besitzen. Die Kolbenwege k sind also proportional der Fläche, die durch die φ - und k -Kurve gebildet wird. Es ist also

$$k = \varepsilon \int_0^t (\varphi - k) dt \dots \dots \quad (14)$$

wobei ε = konstant für eine gegebene Regulierung.

Die genaue Entwicklung der Gesetze für die φ - und k -Kurven ergeben verwickelte Differenzial-Gleichungen. Zur Vereinfachung soll deshalb die k -Kurve als eine Gerade angenommen werden. Um jedoch den Voraussetzungen für die veränderliche Reguliergeschwindigkeit mit grosser Annäherung Rechnung zu tragen, wird die Gl. (14) für die Zeit t_x , d. i. die Zeit zwischen zwei Umsteuerpunkten des Regulierschiebers, bei jeder einzelnen Schwingungskurve angewandt. Es wird also nur zwischen zwei Umsteuerpunkten die Reguliergeschwindigkeit konstant angenommen; nach erfolgter Umsteuerung ist sie wieder eine andere. Durch diese Vereinfachung setzt sich die φ -Kurve aus Teilen verschiedener Parabelstücke zusammen. Die Abweichungen, die sich bei einer auf diese Art von einer nach den genauen Gesetzen bestimmten Schwingungskurve

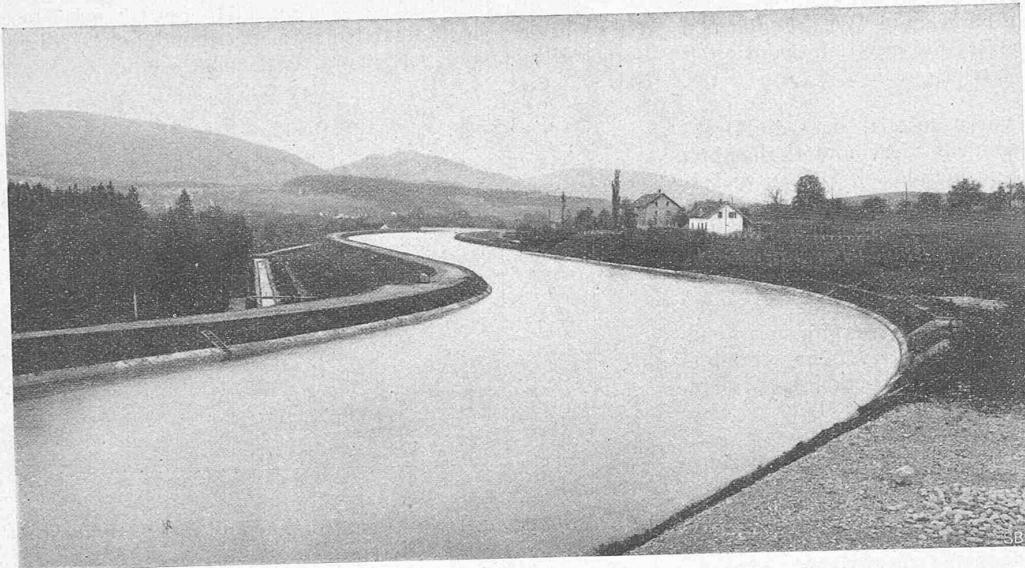


Abb. 57. Dammstrecke des Kanals von Km. 3,2 aufwärts gesehen.
Die Dammkrone liegt 12 bis 13 m über der Sohle des Parallelgrabens. (Aufnahme vom 23. V. 1918.)

Für t_x die Gl. (15) eingesetzt gibt

$$\frac{\delta}{\varepsilon \cdot T_s} = \frac{T_s}{T_a} - \delta - \frac{2}{3} \frac{T_s}{T_a} + \frac{4}{3} \delta - \frac{2}{3} \frac{T_a}{T_s} \delta^2 - \delta + \frac{T_a}{T_s} \delta^2 \\ \frac{T_s^2}{3 T_a} - \frac{2}{3} \delta \cdot T_s + \frac{T_a \cdot \delta^2}{3} - \frac{\delta}{\varepsilon} = 0 \quad \dots \quad (16)$$

(δ ist in absolutem Wert einzusetzen)

Hieraus berechnet sich die Schlusszeit T_s und diese ist, wie ersichtlich, von der Belastungsänderung σ unabhängig, also für eine gegebene Regulierung konstant. Das Gleiche gilt für t_x nach Gl. (15).

Das erste Maximum φ_1 ist nach Gl. (5)

$$\varphi_1 = \frac{\sigma \cdot T_s}{2 T_a}$$

Das zweite Maximum $\varphi_2 = \frac{b}{a} \varphi_1$

Das dritte Maximum $\varphi_3 = \frac{c}{a} \cdot \varphi_1 = \frac{c}{b} \cdot \varphi_2$

wobei $\frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \dots i = \frac{t_x - T_s}{T_s}$ = konstant für alle Schwingungskurven. Hiermit kann in einfacher Weise das Geschwindigkeitsdiagramm aufgezeichnet werden.

Die Konstante $\varepsilon = \frac{k_x}{f_x}$ wird auf folgende Weise berechnet:

Es bezeichne

$x = \frac{H_R}{\delta} \cdot \alpha$ den Hub des Servomotorkolbens für einen Regulatorhub, der einer Geschwindigkeitsänderung von 1 % entspricht (Drehpunkt C in Abbildung 1 in letzter Nummer),

F die Kolbenfläche des Servomotors, G die für den Oeldurchfluss freie Schieberfläche für obigen Regulatorhub $\frac{H_R}{\delta}$ (Drehpunkt B),

c die Geschwindigkeit des Oels in der freien Schieberfläche,

l die Breite sämtlicher gesteuerten Schieberflächen.

Dann ist

$$k_x \cdot x \cdot F = f_x \cdot G \cdot c = \varepsilon f_x x \cdot F$$

Hieraus

$$\varepsilon = \frac{G \cdot c}{x \cdot F} = \frac{\frac{H_R}{\delta} \beta \cdot l \cdot c}{\frac{H_R}{\delta} \alpha \cdot F} = \frac{\beta \cdot l \cdot c}{\alpha \cdot F} \quad \dots \quad (17)$$

Es ist also unabhängig von δ .

b) Mit Reibung.

Betrachtet man ein Stück der Geschwindigkeitskurve zwischen zwei Umsteuerpunkten für sich, so können auf diese infolge der Annahme geradlinigen Verlaufs der

k -Kurve für die Reibung die gleichen Gesetze wie bei einer Regulierung mit konstanter Reguliergeschwindigkeit angewandt werden. In bezug auf die Dämpfung bietet wiederum der Fall III die kritischen Verhältnisse. Für eine gegebene Regulierung sei für diesen Fall die Dämpfung = Null; dann gilt hierfür

$$\varepsilon = \frac{2 R}{f_x}$$

Für Fall I (Abb. 16) wäre für den Kreisprozess

$$\varepsilon_I = \frac{2 R}{f_I} < \varepsilon,$$

da die Schieberabweichungsfläche f_I um das senkrecht schraffierte Stück grösser als f_x ist. Weil nun aber für eine

gegebene Regulierung ε für alle Fälle konstant ist, so müsste $k_x > 2 R$ sein oder bei einem $b = R$ wird $a > R$, d. h. es ist im Gebiete des Falles I positive Dämpfung vorhanden.

Für Fall II (Abbildung 17) gilt für den Kreisprozess, wenn man $a = \eta \cdot R$ setzt

$$\varepsilon_{II} = \frac{2 a}{f_{II}} = \frac{2 \eta \cdot R}{\eta \cdot f_x} = \varepsilon$$

d. h. im Gebiete des Falles II ist die Dämpfung gleich gross wie bei Fall III, also wie vorausgesetzt gleich Null. (Abbildung 18, Seite 98.)

Es kann also wiederum der Fall III zur Bestimmung des kleinsten zulässigen Ungleichförmigkeitsgrades δ_{min} benutzt werden.

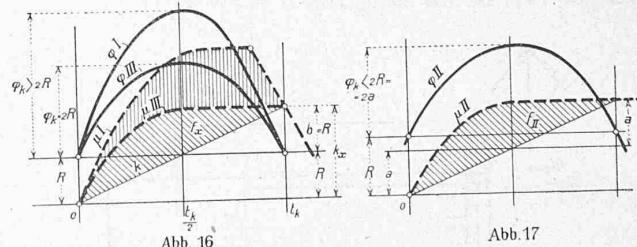
Es ist nach Gl. (3)

$$\varphi_k = \int_0^{t_k} \frac{dA}{J \cdot \omega^2} = 2 R$$

$$2 R = \frac{1}{J \cdot \omega^2} \cdot \frac{R}{\delta_{min}} \cdot L \frac{t_k}{4};$$

für $\frac{J \cdot \omega^2}{L} = T_a$ gesetzt gibt

$$t_k = 8 T_a \cdot \delta_{min} \quad \dots \quad (18)$$



(gegeben durch die Kraftmaschine und den Regulator). Anderseits ist

$$2 R = \varepsilon \cdot f_x = \varepsilon \int_0^{t_k} (\mu - k) dt = \varepsilon \frac{2}{3} 2 R \frac{t_k}{2} = \varepsilon \frac{2}{3} R t_k$$

hieraus: $\varepsilon = \frac{3}{t_k}$; $t_k = \frac{3}{\varepsilon}$;

für ε den Wert von Gl. (17) eingesetzt erhält man

$$t_k = \frac{3 x \cdot F}{G \cdot c} \quad \dots \quad (19)$$

(gegeben durch den Regulierschieber und Servomotor). Setzt man die Gl. (18) und (19) einander gleich, so erhält man für

$$\delta_{min} \geq \frac{3 x \cdot F}{8 T_a \cdot G \cdot c} \geq \frac{3}{8 \cdot \varepsilon \cdot T_a} \quad \dots \quad (20)$$