**Zeitschrift:** Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

**Band:** 14 (1921-1922)

**Heft:** 9

**Artikel:** Die Versuche am Grundablassstollen Mühleberg und deren Verarbeitung [Fortsetzung]

**Autor:** Keller, A.J.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-920304

**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

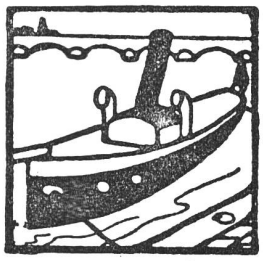
**Terms of use**

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:** 23.07.2025

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

# SCHWEIZERISCHE WASSERWIRTSCHAFT



OFFIZIELLES ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

ZEITSCHRIFT FÜR WASSERRECHT, WASSERBAUTECHNIK, WASSERKRAFTNUTZUNG, SCHIFFAHRT .·. ALLGEMEINES PUBLIKATIONSMITTEL DES NORDOSTSCHWEIZERISCHEN VERBANDES FÜR DIE SCHIFFAHRT RHEIN-BODENSEE

GEGRÜNDET VON DR O. WETTSTEIN UNTER MITWIRKUNG VON a. PROF. HILGARD IN ZÜRICH UND ING. GELPKE IN BASEL

Verantwortlich für die Redaktion: Ing. A. HÄRRY, Sekretär des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, in ZÜRICH 1
Telephon Selnau 3111 .·.·. Telegramm-Adresse: Wasserverband Zürich.

Alleinige Inseraten-Annahme durch:
SCHWEIZER-ANNONCEN A. G. - ZÜRICH
Bahnhofstrasse 100 — Telephon: Selnau 5506
und übrige Filialen.
Insertionspreis: Annoncen 40 Cts., Reklamen Fr. 1.—
Vorzugsseiten nach Spezialtarif

Administration und Druck in Zürich 1, Peterstrasse 10
Telephon: Selnau 224
Erscheint monatlich
Abonnementspreis Fr. 18.— jährlich und Fr. 9.— halbjährlich
für das Ausland Fr. 3.— Portozuschlag
Einzelne Nummer von der Administration zu beziehen Fr. 1.50 plus Porto.

No. 9 ZÜRICH, 25. Juni 1922 XIV. Jahrgang

## Inhaltsverzeichnis:

Die Versuche am Grundablaßstollen Mühleberg und deren Verarbeitung (Fortsetzung). — Untersuchung über die Verbesserung der Gefällsausnützung in Staugebieten (Schluss). — Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes (Schluss). — Der Ausbau des Oberrheins zwischen Basel und Strassburg. — Wasserkraftausnutzung. — Schiffahrt und Kanalbauten. — Verschiedene Mitteilungen. — Geschäftliche Mitteilungen.

## Die Versuche am Grundablaßstollen Mühleberg und deren Verarbeitung.

Von A. J. Keller, dipl. Ing. an der Bauabteilung der Bernischen Kraftwerke A.-G.

(Fortsetzung.)

### 3. Formeln für die Ermittlung der Kapazität des Einlaufes, des Eintrittsverlustes und Bestimmung der zugehörigen Koëffizienten; Vergleich mit andern Versuchsdaten.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde als Eintrittsverlust der Energieabfall beim Stolleneintritt angesprochen. Es fragt sich nun, auf welcher Strecke nach dem Einlauf dieser Verlust zur Auswirkung kommt. Bei den Messungen No. 4 und 5 wurde der Wasserspiegel in Profil 6.40 in jeder Einlaufhälfte in je drei Punkten eingemessen. In Profil 4.07 m konnte die Einmessung nur in je einem Punkt erfolgen. Dagegen konnte durch Vergleich mit dem vorhergehenden und dem nachfolgenden Profil mit ziemlich guter Annäherung die mutmassliche Wasserspiegellage ergänzt werden. Die daraus ermittelte Energie gab im Vergleich mit der Energie im Profil 6.40 m keine wesentliche Abweichung. Es wird deshalb der Eintrittsverlust auf der Strecke zwischen Einlauf und Grundablasssturm-Mitte bezw. dessen unterer Flucht (Profil 6.40) auftreten. Beim Versuch No. 6, bei welchem die Einmessung des Wasserspiegels im Einlaufturm nur in einem Profil gelang, kann füglich auch angenommen werden, dass sich der Eintrittsverlust nicht über das Profil 4.07 m hinaus erstreckte.

Das Problem des Ausflusses aus der Einlauföffnung des Einlaufturmes ist, sofern die Öffnung unter solchem Druck steht, dass schiessender Abfluss eintritt, identisch mit dem Problem des Ausflusses aus einem Gefäss in freie Luft, denn der Abfluss ist dann unabhängig vom Unterwasserstand. Der Unterschied gegenüber dem reinen Ausflussproblem besteht darin, dass der Einlauföffnung eine parallele Führung von 8 m, bestehend aus den Einlaufpfeilern und der Einlaufsohle, vorgelagert ist, die flussaufwärts in eine Rinne übergeht, sowie dass flussabwärts der Öffnung sich ein gleich dimensioniertes Ablaufgerinne anschliesst. Die Auswirkung dieser Einbauten ist die, dass dem Wasser auf die Ausflussöffnung hin der Weg gewiesen ist und infolgedessen eine kleinere Kontraktion entsteht. Das angebaute Gerinne wird kaum einen wesentlichen Einfluss auf den Abfluss ausüben, da es genau genommen die Verlängerung der vor der Ausflussöffnung liegenden Einbauten bildet.

Über den reinen Ausfluss aus einem Gefäss, sowie über den Ausfluss aus Gefässöffnungen, die vor oder nach denselben Einbauten besitzen, liegen Modellversuche von einer stattlichen Anzahl Experimentatoren vor. Die Formeln, die dieselben ihren Ver-

suchen zugrunde legten, haben alle den gleichen innern Aufbau; ihre Fassung ist aber verschieden, so dass die errechneten Koëffizienten nur für die betreffende Formel streng genommen Gültigkeit besitzen.

Die einfachste Form dieser Formeln ist folgende:

$$Q = \mu F \sqrt{2 g H_m} \quad \text{(Siehe Abb. 23.)} \qquad (8)$$

$\mu$ = Ausfluss-Koëffizient.
F = Ausflussfläche.
$H_m$ = mittlere Druckhöhe der Öffnung, wobei
$\mu = \varphi \psi$ ist und (9)
$\varphi$ = Geschwindigkeits-Koëffizient
$\psi$ = Kontraktions-Koëffizient
bedeuten.

Der erstere ist der Quotient aus der tatsächlichen Geschwindigkeit nach dem Austritt und der theoretischen Geschwindigkeit bezogen auf $H_m$. Der letztere ist das Verhältnis des Strahlquerschnittes nach dem Austritt zur Austrittsfläche. Die drei Koëffizienten können ohne weiteres aus Abb. 19 ermittelt werden, wenn berücksichtigt wird, dass dort die Geschwindigkeitsenergie nach Formel (2) berechnet wurde. Der Geschwindigkeitskoëffizient ergibt sich dann:

$$\varphi = \frac{\sqrt{\frac{2 g k}{x}}}{\sqrt{2 g H_m}} = \frac{\sqrt{k}}{\sqrt{x H_m}} \qquad (10)$$

k = Geschwindigkeitshöhe in Profil 6.40 m.
$x$ = Geschwindigkeitsausgleichwert.
$H_m$ = Mittl. Druckhöhe vor der Einlauföffnung.

Der Kontraktionskoëffizient berechnet sich:

$$\psi = \frac{F_o}{F} \quad \text{(Siehe Abb. 23)} \qquad (11)$$

wobei für $F_o$ der Durchflussquerschnitt im Profil 6.40 m und für F der Eintrittsquerschnitt des Einlaufturmes einzusetzen ist.

Als Eintrittsverlust wird der Energieabfall vom O. W. bis Profil 6.40 m angesehen. Die Grössen k und $H_m$ können aus Abb. 19 abgegriffen werden. $x$ beträgt 1.10 m.

Nachfolgende Zusammenstellung ergibt die ermittelten Werte:

| Messung | No. | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| k | m | 4.75 | 10.00 | 12.26 |
| $H_m$ | m | 5.75 | 11.32 | 14.14 |
| $\varphi$ | | 0.87 | 0.90 | 0.89 |

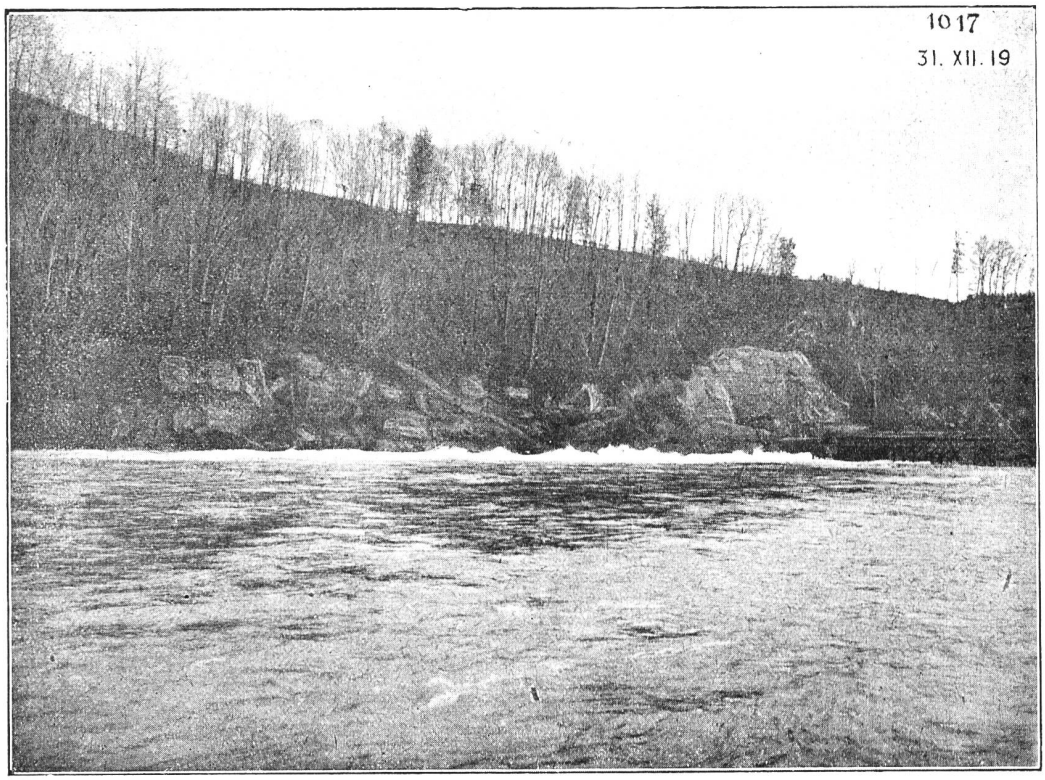



Abb. 20. **Stollenauslauf (31.12.19) mit Querwellen, Abfluss ca. 170 m³/sek.** (Photographie B. K. W.)

Die nach Formel (11) ermittelten Kontraktionskoëffizienten ergeben sich nachfolgend:

| Messung | | No. 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| Wassertiefe des Profils 6.40 m . . . . | $T_m$ m | 2.42 | 2.66 | 2.85 |
| Durchflussfläche $T_m$ X 8.00 . . . | $F_o$ m² | 19.3 | 21.30 | 22.80 |
| Ausflussfläche 7.4 X 4.0 | F m² | 29.6 | 29.6 | 29.6 |
| | $\psi$ | 0.65 | 0.72 | 0.77 |

Die nach Formel (8) berechneten Abflusskoëffizienten $\mu$ ergeben sich wie folgt, wobei F = 3.70 X 2 X 4.00 = 29.6 m² ist:

| Messung | No. | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| $H_m$ | m | 5.75 | 11.32 | 14.14 |
| Q | $m^3$/sek. | 178.5 | 283.1 | 335 9 |
| $\mu$ | | 0.57 | 0.65 | 0.68 |

Diese Werte ergeben sich ebenfalls durch Multiplikation der ermittelten $\varphi$ und $\psi$ Koëffizienten.

Soll durch Anwendung der Formeln (8) und (9) der Energieverlust bestimmt werden, so müssen jeweils je zwei der drei Koëffizienten gewählt werden. Der Vorteil liegt darin, dass dadurch die den Abfluss bedingenden Faktoren getrennt zur Einschätzung gelangen können. Es ist dies die Einschätzung von $\varphi$ (Geschwindigkeits-Koëffizient) und $\psi$ (Kontraktionskoëffizient). Letzterer ist durch die Formgebung der Einlaufmündung bestimmt. Bei der Einschätzung des erstern ist massgebend, ob sich vor der Einlaufmündung Walzen und Wirbel bilden können. Ihre Wirkung besteht darin, dass sie schon vor Eintritt des Wassers Energie vernichten und zudem ihre energievernichtende Wirkung im weitern Verlauf des Abflusses fortsetzen. Mit wachsender Entfernung vom Einlauf nimmt ihre Wirkung ab. Die Wandrauhigkeit kann nur bei walzen- und wirbelfreiem Einlauf bei der Einschätzung von $\varphi$ wesentlich in Erwägung gezogen werden.

Es sei noch darauf verwiesen, dass die exakte Formel für die Ermittlung des Abflusses aus einer rechteckigen Öffnung:

$$Q = 2/3\ \mu\ b \sqrt{2\ g} \left( h_1^{3/2} - h_2^{3/2} \right) \qquad (12)$$

für $\mu$ folgende Werte ergibt:

| Messung | No. | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| | $\mu$ | 0.57 | 0.64 | 0.68 |

die mit den nach Formel (8) errechneten praktisch übereinstimmen.

Wie schon weiter oben begründet, wird als Eintrittsverlust der Energieabfall vom Oberwasser bis Profil 6.40 m angesehen; die Grösse $\triangle$ h des Energieverlustes kann den Energielinien in Abb. 19 entnommen werden. (Differenz der Energie von O. W. bis Profil 6.40 m).

Solche Eintrittsverluste werden in der Hydraulik sehr oft in Funktion der Geschwindigkeitshöhe, die sich nach dem Eintritt ergibt, dargestellt und durch folgende Formel ausgedrückt:

$$\triangle h = \lambda k \qquad (13)$$

$\triangle$ h = Eintrittsverlust = Energieabfall von O. W. bis Profil 6.40 m.

k = Geschwindigkeitshöhe nach Eintritt = $x \frac{v_o^2}{2g}$ (Siehe Abb. 23) und kann aus Abb. 19 (Profil 6.40) für alle Versuche direkt abgegriffen werden.

$\lambda$ = Verlust-Koëffizient.

Aus den Versuchswerten ergibt sich dann:

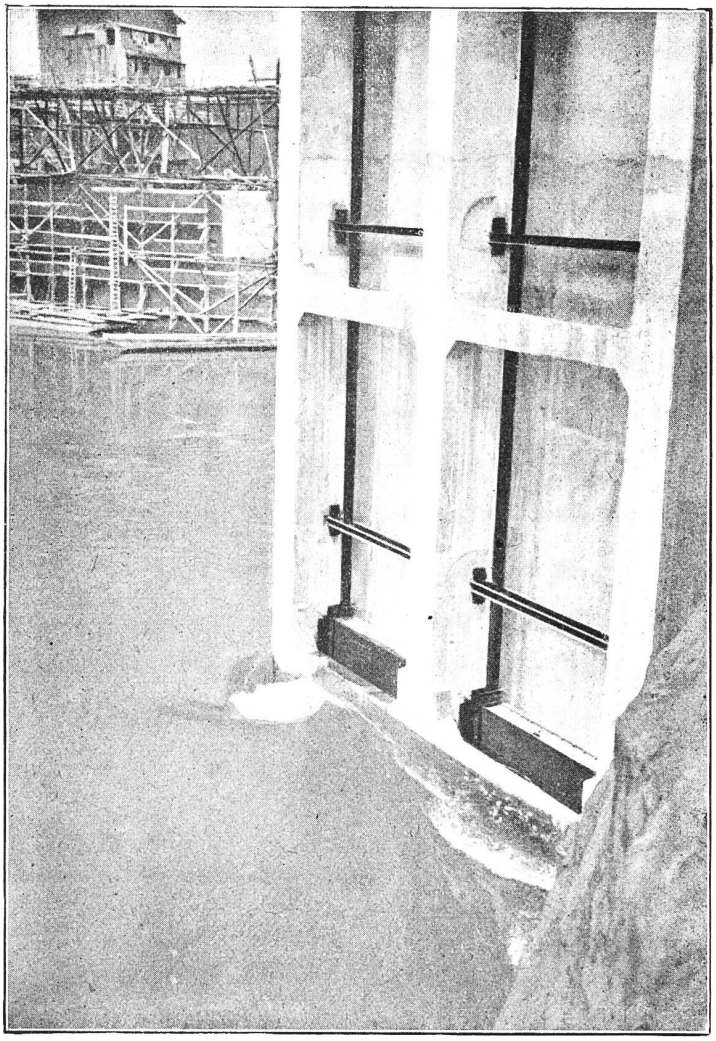


Abb. 21. **Stolleneinlauf mit Eintrittswirbel. (21.4.20). Kote O. W. = 417.75, Abfluss 178.53 m³/sek.** (Photographie Schurter A. f. W.)

| Messung | No. | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|
| $\triangle$ h | m | 0.72 | 0.81 | 1.18 |
| k | m | 4.75 | 10.00 | 12.26 |
| $\lambda$ | m | 0.151 | 0.081 | 0.096 |

Der Energieverlust am Einlauf beträgt also 8 bis 15 % der Geschwindigkeitshöhe nach dem Einlauf, wobei noch darauf verwiesen sei, dass diese sich zu $x \frac{v_m^2}{2\ g}$ ergibt, wenn $v_m$ die mittlere Geschwindigkeit bedeutet. $x$ wurde mit 1.10 eingesetzt.

Die bisherigen Bestimmungen des Eintrittsverlustes haben sich lediglich auf die Fälle bezogen, bei denen die Einlauföffnung unter Druck stand. (Versuche No. 4, 5 und 6). Bei den Versuchen No. 1, 2 und 3 trat in der Einlauföffnung ein freier Wasserspiegel auf und erfolgte der Abfluss auf der ganzen Stollenlänge strömend. Beim Eintritt ist ebenfalls ein Energieverlust aufgetreten, dem die gleichen Ursachen zugrunde liegen, wie sie auf Seite 118 aufgeführt sind. Der Querschnitt aber, der den Eintrittsverlust bedingt, rückt von der Öffnung flussaufwärts bis zum obern Ende der beiden Einlaufpfeiler, weil hier der Übergang von der ausgehobenen Zu-

laufrinne zum rechteckigen Einlaufprofil stattfindet, während bei der Einlauföffnung keine Profiländerung mehr eintritt. Zur Berechnung des Energieverlustes kann unter Umständen die Brückenstau-Formel von Rehbock (s. Bauingenieur vom 30. Nov. 1921, S. 603) für strömenden Abfluss bei sinngemässer Anwendung gebraucht werden. Da keine Querprofilaufnahmen (mit Ausnahme der Messprofile) des Zulaufgerinnes vorliegen, können die Koëffizienten der Rehbockschen Formel nicht nachgeprüft werden.

Zur Beurteilung der Grössenordnung der Verluste und ihres Verhältnisses zur Geschwindigkeits-Energie, sind dieselben in nachstehender Tabelle zusammengestellt:

| Messung | No. | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Geschwindigkeitshöhe Einlaufturm Profil 4.07 m | k m | 0.271 | 0.279 | 0.434 |
| Eintrittsverlust | $\triangle E$ m | 0.096 | 0.108 | 0.088 |
| | $\frac{\triangle E}{k}$ 100 % | 35 | 39 | 20 |

2 und 3 erfolgte die Einmessung im Einlaufturm in Profil 4.07 m (siehe oben) und bei den Messungen No. 4 und 5 in Profil 6.40 m. Die Stollenlänge und deren Aufteilung auf die einzelnen Profile zeigt nachstehende Tabelle:

| | Distanzzahl m | Länge m |
|---|---|---|
| Normales Stollenprofil . . . | 139.82 ( ) 18.07 | 121.75 |
| Übergangsstrecke . . . . . | ( ) 14.07 | 4.00 |
| Stolleneinläufe . . . . . | ( ) 6.40 | 7.67 |
| Totallänge Messungen No. 4 und 5 und für die Berechnung von No. 6 . . | | 133.42 m |

Bei den Messungen No. 1, 2 und 3 betrug die Länge der Stolleneinläufe 10.00 m und deshalb die totale Länge 135.75 m.

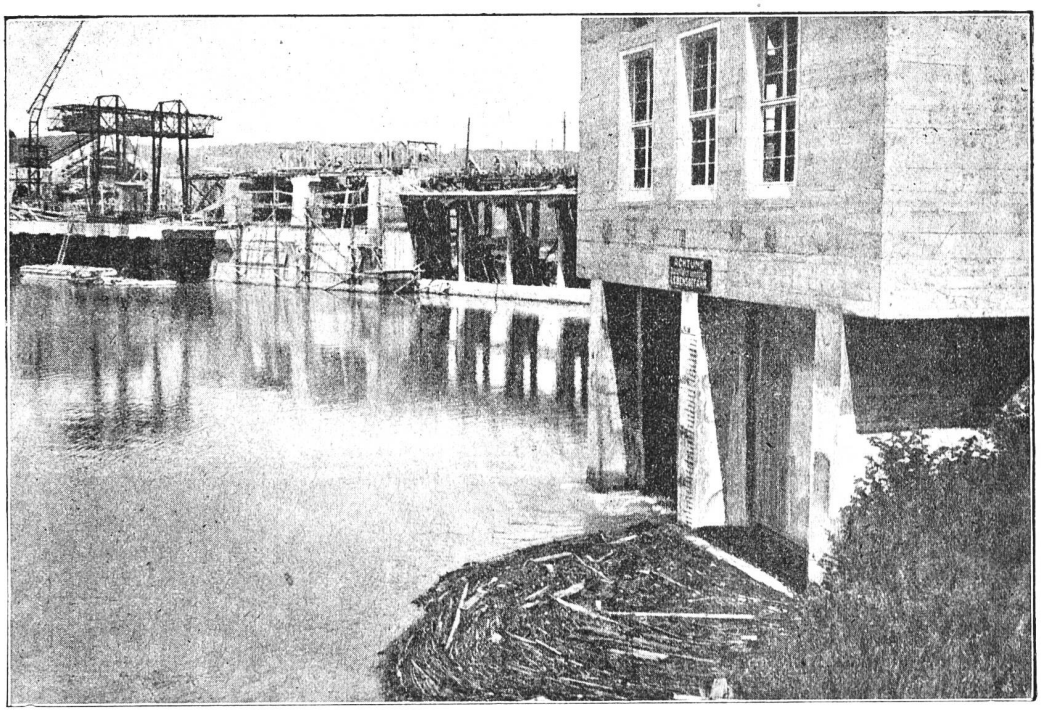


Abb 22. **Stolleneinlauf. Eintrittswirbel, ist zum Teil durch Schwemmgut zugedeckt. (2.7.20). Kote O. W. = 480.14, Abfluss 339.93 m³/sek.** (Photographie Schurter A. f. W.)

Da die Einmessung des Wasserspiegels im Einlaufturm nur in Profil 4.07 m und nur in einem Punkt erfolgte, ist die ermittelte Energie im genannten Profil unsicher und besitzen die oben zusammengestellten Werte nur orientierenden Charakter.

### 4. Ermittlung der Rauhigkeitszahl n (Ganguillet & Kutter) des Stollens.

Für die Ermittlung der Rauhigkeitszahl n (G. & K.) werden die Wasserspiegeleinmessungen im Einlaufturm und auf der Stirnseite des Stollenauslaufes Profil 139.82 benützt. Bei den Messungen No. 1,

Die Berechnung erfolgte nach Formel (4), (5) und (6) auf Seite 99, indem ein mittlerer Profilradius und eine mittlere Durchflussfläche eingesetzt wurde, entsprechend dem nicht parallelen Verlauf der Wasserspiegellinie im normalen Stollenprofil mit dessen Sohle. Dem Umstand, dass die Übergangsstrecke und die beiden Einläufe andere Profilverhältnisse aufweisen, wurde nicht Rechnung getragen, da deren Berücksichtigung infolge der fast durchwegs gleichen Grösse der benetzten Profile kaum eine wesentliche Änderung des Endwertes bedingen würde, wohl aber die Rechnung unnötig kompliziert hätte.

(Fortsetzung folgt.)