

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 65 (1947)  
**Heft:** 31

**Artikel:** Wassermessungen nach dem chemischen Verfahren  
**Autor:** Winkler, G. / Wipf, M.H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-55917>

### **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:** 22.02.2026

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

## Wassermessungen nach dem chemischen Verfahren

Von G. WINKLER, Dipl. Ing. Chem., Chippis, und M. H. WIPF, Dipl. Ing. Lausanne

DK 532.574.8

In den Freispiegelstollen des Kraftwerkes Mörel<sup>1)</sup> der Rhonewerke A.-G., Ernen (Wallis) wird etwa zwei km unterhalb der Rhonefassung Wasser der Binna, eines linksufrigen Zuflusses der Rhone, eingeleitet. Die Zuführung des Binna-wassers erfolgt durch Hunziker-Schleuderbetonröhren von 90 cm lichtigem Durchmesser, deren Anordnung aus Lageplan und Längenprofil (Bild 1) ersichtlich ist.

Um in der Zentrale Mörel laufend über die Menge des eingeleiteten Binnawassers orientiert zu sein, wurde neben dem Schleuderbetonröhrenkanal ein Schacht mit einem Wasserstandsfernmelder montiert, der die Füllhöhe in der Betonrohrleitung anzeigt. Durch Messungen musste die Abflussmenge in Funktion der Abflusshöhe in den Zementrohren bzw. im Schacht festgestellt werden. Flügelmessungen kamen wegen der grossen Wassergeschwindigkeit (rd. 5 m/s) nicht in Frage. Ein Messüberfall konnte nirgends eingebaut werden, da der Hauptstollen des Kraftwerkes während der Messungen in Betrieb bleiben musste. Man entschloss sich deshalb, die chemische Messmethode anzuwenden.

Das Prinzip dieses Verfahrens ist recht einfach. Man infiziert den messenden Wasserlauf mit einer genau bekannten Menge einer chemischen Substanz und ermittelt die Konzentration der erzielten Lösung mittels geeigneter chemischer Verfahren. Die Infektion geschieht praktisch am einfachsten durch Zuschütten einer konzentrierten Lösung der chemischen Substanz mit Hilfe eines geeichten Dosierapparates. Es bedeuten:

$q$  = Abflussmenge der zugesetzten konzentrierten Lösung in l/s

$Q$  = Abflussmenge des zu messenden Wasserlaufes direkt oberhalb der Infektionsstelle in l/s

$c$  = Konzentration (Analyse) der zugesetzten Lösung in mg/l

$C$  = Konzentration (Analyse) des infizierten Wassers bei der Probeentnahme in mg/l

Es bestehen folgende Beziehungen:

$$\frac{q}{Q+q} = \frac{C}{c}$$

$$Q+q = \frac{q \cdot c}{C}$$

oder: Infektion (in mg/s) =  $q$  (zugesetzte Lösung in l/s)  $\times$   $c$  (Konzentration in mg/l)

$(Q+q)$  = Abflussmenge im infizierten Wasserlauf (in l/s) =

$$\frac{\text{Infektion}}{\text{Analyse des infiz. Wassers}} = \frac{q \cdot c}{C} = \frac{\text{mg/s}}{\text{mg/l}} = \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

<sup>1)</sup> Siehe SBZ Bd. 122, S. 215\* und 229\* (1943).

Die Anwendbarkeit des chemischen Messverfahrens hängt wesentlich von folgenden Faktoren ab:

a) Gründliche Durchmischung der Zusatzlösung mit dem Wasserlauf, zwecks homogener Infektion.

b) Wahl einer geeigneten chemischen Substanz, die keine Veränderungen erleiden darf und in minimalen Konzentrationen leicht bestimmt werden kann.

Der erste Faktor darf in unserem Falle als gegeben vorausgesetzt werden, da die Wasserleitung nach der Infektionsstelle eine starke Querschnittsverminderung, verbunden mit Gefällewechsel, erleidet und zudem mehrere Krümmungen aufweist. Der zweite Faktor hängt weitgehend von der zu messenden Wassermenge ab.

Vom chemischen Standpunkt aus ist es wünschenswert, eine möglichst einfache und stabile Substanz für die Infektion zu verwenden. Boucher und Mellet [1] schlagen dafür gewöhnliches Kochsalz vor und bestimmen dasselbe im infizierten Wasser durch Feintitration mit  $\text{AgNO}_3$   $\frac{N}{100}$ -Lösung.

Die Titrationsprobe muss dafür etwa gleiches Volumen aufweisen, wie die Titerflüssigkeit. Die Bestimmung geht also

direkt für Lösungen  $\geq \text{NaCl } \frac{N}{100} = \text{rd. } 0,6 \text{ g NaCl/l}$ . Man kann

mit dem vorhandenen Dosierapparat höchstens mit 0,2 l/s NaCl-Lösung 30%ig, also mit rund 60 g NaCl/s infizieren. Das Verfahren würde demnach für Wasserläufe  $\leq 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  noch ansprechen. Bei grösseren Wasserläufen müssten entsprechend grössere Proben gezogen und im Laboratorium durch Eindampfen konzentriert werden, was analytisch umständlich ist. Um die Empfindlichkeit der Methode zu erhöhen, müssen an Stelle der titrimetrischen Analysenverfahren kolorimetrische Reaktionen herangezogen werden.

Zirilli [3] hat einige der empfindlichsten kolorimetrischen Reaktionen auf ihre Verwendbarkeit für Wassermessungen untersucht und ist mit der Griess'schen Reaktion auf Natrium-Nitrit ( $\text{NaNO}_2$ ) zu günstigen Ergebnissen gelangt. Man unterzog nun diese Reaktion im Laboratorium der Aluminiumfabrik Chippis einer Nachprüfung, unter Verwendung eines lichtelektrischen Kolorimeters und ermittelte die für genaue, quantitative Bestimmungen optimale Konzentration zu rd. 0,08—0,12 mg  $\text{NaNO}_2/100 \text{ cm}^3$ . Die Empfindlichkeitsgrenze für qualitativen Nachweis liegt natürlich viel tiefer, etwa bei 0,002 mg  $\text{NaNO}_2/100 \text{ cm}^3$ .

Zwei weitere Reaktionen wurden im Laboratorium Chippis auf ihre Verwendungsmöglichkeit untersucht. Die Infektion mit NaCl und dessen Nachweis mit Silbernitrat geht

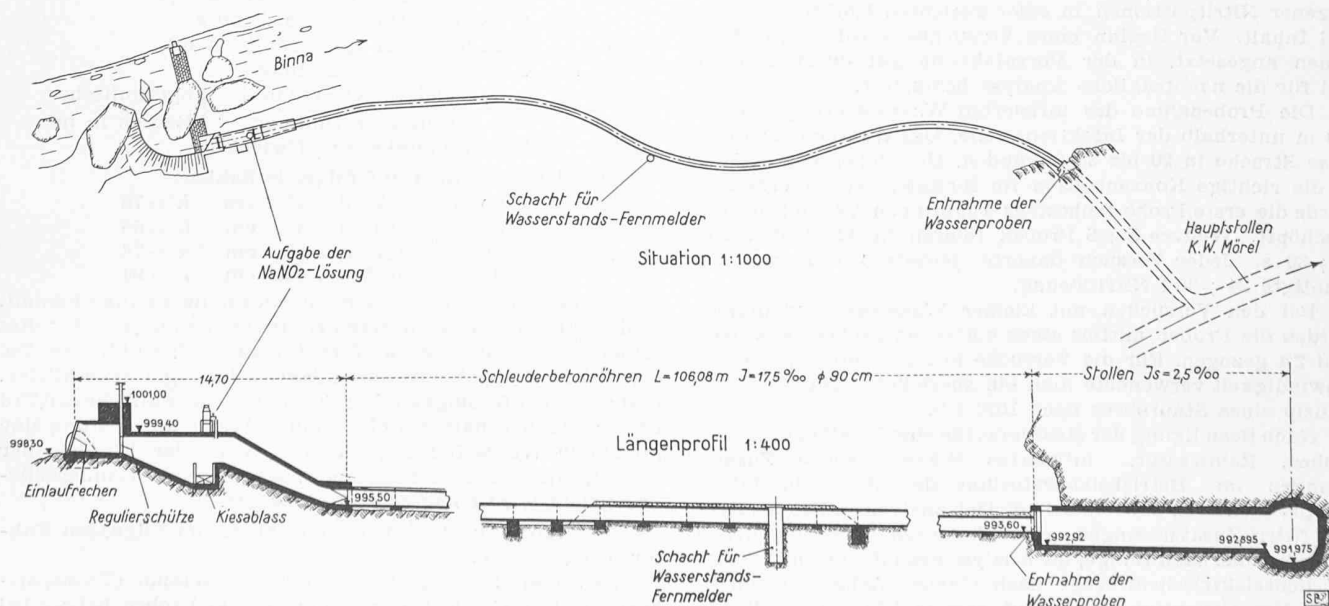


Bild 1. Fassung und Zuleitung der Binna zum Hauptstollen des Kraftwerkes Mörel

leider nicht, weil keine reproduzierbaren Eichkurven für die nephelometrische AgCl-Bestimmung erhalten wurden. Die Infektion mit Fluorescein, ebenfalls rd. 0,1 mg/100 cm<sup>3</sup>, würde wohl gehen, aber dieses Produkt ist mehr als 100 mal teurer als technisch reines Na-Nitrit. Fluorescein kann mit Vorteil für vereinzelte Kontrollbestimmungen Anwendung finden.

Die Küvetten der üblichen lichtelektrischen Kolorimeter fassen 100 cm<sup>3</sup> Lösung. Mit einer Infektion von 1 mg NaNO<sub>2</sub>/l der entnommenen Wasserproben und einer Kolorimeterprobe von 90 cm<sup>3</sup> plus 10 cm<sup>3</sup> Reagens würde man eben in den optimalen Bereich fallen. Aus praktischen Erwägungen zog man vor, die Infektion mit etwa 2 mg NaNO<sub>2</sub>/l vorzunehmen, um bei einer Wasserprobe von 100–120 cm<sup>3</sup> zwei Kolorimeterproben von je 50 cm<sup>3</sup> verfügbar zu haben.

Die mutmasslichen Wassermengen, die zu bestimmen waren, bewegten sich zwischen 0,3 und 3 m<sup>3</sup>/s. Dies bedingte einen variablen Zusatz von rd. 0,6 bis 6 g NaNO<sub>2</sub>/s. Die Abstufung konnte entweder durch variablen Zusatz von Lösungen gleicher Konzentration oder aber durch konstanten Zusatz von Lösungen abgestufter Konzentration erfolgen. Man verwendete das letztgenannte Verfahren mit Rücksicht auf die geringere Eicharbeit für den Dosierapparat.

#### Ausführung der Messungen

Bild 3 zeigt die Aufgabeapparatur für die NaNO<sub>2</sub>-Infektion. Sie besteht aus:

1. Al-Kanne von rd. 40 l Inhalt, mit Hahn, als Vorratsgefäß für die Nitritlösung. Die Kanne steht auf einem rd. 70 cm hohen Holzschemel.
2. Dosiergefäß aus Al-Blech, rd. 12 cm Ø, 65 cm hoch, mit Ueberlauf auf 55 cm Höhe, sowie Ablaufrohr unten, 9 cm lang, mit Düse von 6 mm Ø. Die gewählten Dimensionen für Füllhöhe und Düsendurchmesser ergaben einen Ausfluss von rd. 0,1 l/s. Dieser Wert wurde durch Eichung mittels Messgefäß genau festgestellt.
3. Verteilrinne unterhalb der Düse quer zum Wasserlauf über dessen ganze Breite, mit Abflusslöchern in regelmässigen Abständen.

Das Dosiergefäß wurde durch den Hahn der Vorratskanne derart gespiesen, dass stets ein wenig Nitritlösung beim Ueberlauf in einen untenstehenden Emailtopf ausfloss. Der Topf wurde jeweils ausgewechselt und sein Inhalt in die Kanne zurückgeschüttet.

Das Ansetzen der Nitritlösungen geschah mittels vorgezogener Nitritportionen in einer geeichten Korbflasche von 20 l Inhalt. Vor Beginn eines Versuches wurden zwei Portionen angesetzt, in der Vorratskanne gut durchgemischt und für die nachträgliche Analyse bemustert.

Die Probenahme des infizierten Wassers erfolgte etwa 100 m unterhalb der Infektionsstelle. Das Wasser durchfloss diese Strecke in 20 bis 30 Sekunden. Um sicher von Anfang an die richtige Konzentration im Binnawasser zu erfassen, wurde die erste Probe frühestens 1 min nach Versuchsbeginn geschöpft. Weitere 5 ÷ 8 Proben folgten in Abständen von 15 ÷ 30 s. Jeder Versuch dauerte jeweils 4 ÷ 5 min und benötigte 24 ÷ 30 l Nitritlösung.

Bei den Versuchen mit kleiner Wassergeschwindigkeit wurden die Proben mittels eines einfachen Probehebers nach Bild 2a gezogen. Für die Versuche mit grösserer Wassergeschwindigkeit verwendete man ein spezielles Gerät nach dem Prinzip eines Staurohres nach Bild 2b.

Nach Beendigung der Messversuche wurden alle gezogenen Proben, Reinwasser, infiziertes Wasser sowie Zusatzlösungen im Betriebslaboratorium der Aluminiumfabrik Chippis chemisch, bzw. kolorimetrisch analysiert. Die Analyse der Nitrit-Zusatzlösungen geschah durch Titration gegen Permanganat nach Lunge, die Analyse des infizierten Wassers auf lichtelektrischem Wege nach eigener Arbeitsvorschrift, unter Berücksichtigung der mit reinem Wasser erhaltenen Blindwerte.

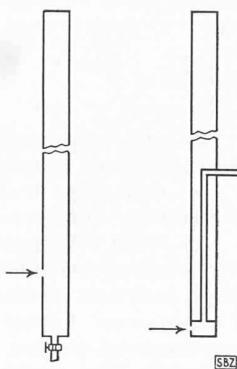


Bild 2a und 2b.

Links: Probeheber für kleine Wassergeschwindigkeit.

Rechts: Probegerät für grosse Wassergeschwindigkeit

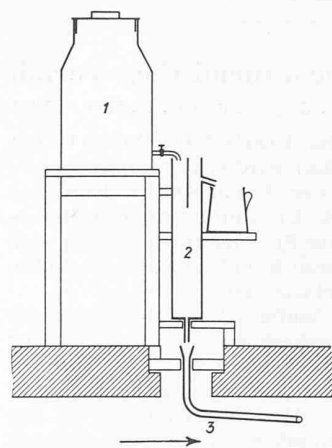


Bild 3. Dosierapparat.

1 Aluminiumkanne, 2 Dosiergefäß, 3 Verteilrinne

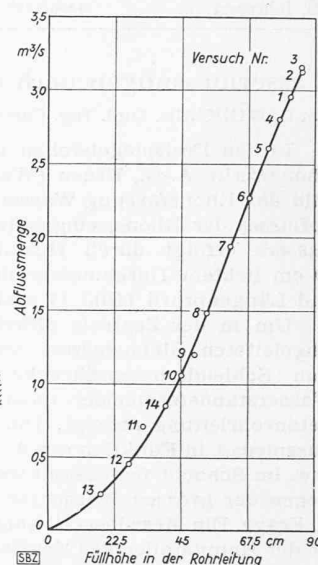


Bild 4. Ergebnisse der Messung vom 1. September 1946

#### Messergebnisse

Die erste Versuchsreihe wurde am 2. Juli 1946 durchgeführt. Die Binna brachte Hochwasser und der Einlaufquerschnitt wurde durch Geschiebe stark eingengt. Es war nicht möglich, mehr als 2 m<sup>3</sup>/s Wasser einzuleiten, während die Kapazität des Rohrkanals unter normalen Umständen 3,2 m<sup>3</sup>/s beträgt. Zudem hatte man grosse Mühe, den Pegelstand während einiger Minuten konstant zu halten. Es wurden trotzdem 17 Versuche durchgeführt und 95 Wasserproben entnommen. Die Ergebnisse zeigten eine gewisse Streuung, die eine Wiederholung der Versuche ratsam erscheinen liess.

Diese wurde unter Ausnützung der gewonnenen Erfahrungen am 1. September 1946 vorgenommen. In 14 Versuchen, mit Füllhöhen in der Leitung von 18 ÷ 85,5 cm wurden insgesamt 94 Wasserproben, d. h. durchschnittlich 6 ÷ 7 Proben pro Versuch geschöpft. Von den Analysen-Werten wurden die arithmetischen Mittel bestimmt und dann daraus gemäss den eingangs erwähnten Formeln die Abflussmengen berechnet. Die Ergebnisse sind in Bild 4 graphisch aufgetragen; die Abflussmengen in Funktion der Füllhöhe der Rohrleitung dargestellt. Durch die so erhaltenen Punkte lässt sich gut eine Kurve legen. Der einzige Versuch, der eine gewisse Streuung aufweist, ist Nr. 11.

Man kann auf Grund dieser Resultate den Rauigkeitskoeffizienten  $k$  nach der Durchflussformel von Strickler ausrechnen.

$$v = \frac{Q}{F} = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

$v$  = Fliessgeschwindigkeit in m/s

$Q$  = Durchflussmenge in m<sup>3</sup>/s

$F$  = benetzter Querschnitt in m<sup>2</sup>

$J$  = Gefälle der Leitung

$R = \frac{\text{benetzter Querschnitt}}{\text{benetzter Umfang}} = \begin{cases} \text{hydraulischer} \\ \text{Radius in m} \end{cases}$

$k$  = Rauigkeitskoeffizient

Dabei kommt man auf folgende Zahlen:

Füllhöhe = 0,25 d = 22,5 cm  $k = 78$

Füllhöhe = 0,5 d = 45 cm  $k = 66$

Füllhöhe = 0,7 d = 63 cm  $k = 76$

Füllhöhe = 0,95 d = 85,5 cm  $k = 94$

Da bei der Binna ziemlich viel Kies in die Leitung kommt, sind die Rohre in der unteren Hälfte etwas aufgeraut; dies erklärt den niedrigeren  $k$ -Wert für die halbe Füllhöhe. Die eigentliche Rohrsohle ist durch das Geschiebe glatt geschliffen, deshalb ist der Rauigkeitskoeffizient für eine Füllhöhe = 0,25 d besser als bei halber Rohrfüllung. Wenn die Leitung eine maximale Wasserführung aufweist, wird der Einfluss der oberen, glatten Rohrhälfte grösser und der Rauigkeitskoeffizient wird entsprechend günstiger.

Die Kosten werden hauptsächlich von folgenden Faktoren beeinflusst:

a) Zugänglichkeit der Messtelle im Gelände (Transportkosten). Das Gewicht der Apparate und Proben betrug bei der Binna Messung 170–190 kg.

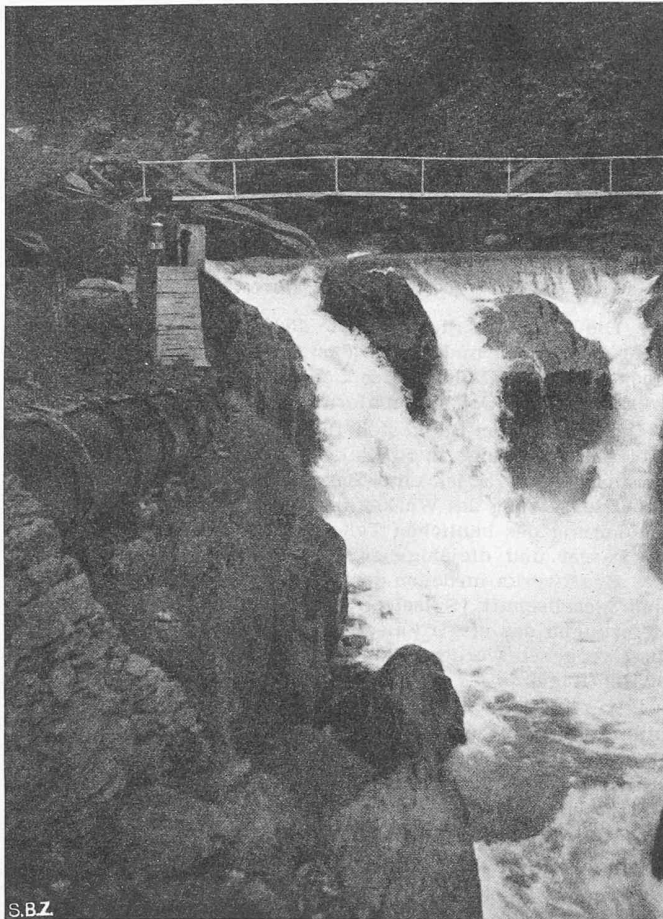


Bild 5. Wasserfassung der Binna, Kraftwerk Mörel

b) Von der Distanz zwischen Aufgabe- und Entnahmestelle. Je grösser diese ist, umso länger dauern die einzelnen Versuche.

c) Von der Grösse der zu messenden Abflussmenge. Grosse Wassermengen benötigen mehr und konzentriertere Nitritlösung als kleine.

Die Binnawassermessung vom 1. Sept. 1946 (Durchführung von 14 Versuchen an einem Tag) verlangte z. B. folgenden Aufwand:

	Angestellte	Arbeiter
1. Personal		
Versuchsleitung und Pegelablesung	1	—
Herstellung und Aufgabe der konzentrierten Nitrit-Lösung	1	2
Probe-Entnahme	1	1
Schützenbedienung		1
Verbindungsmann		1
Total	3	5

2. Verbrauchsmaterial. 20 kg  $\text{NaNO}_2$  zu Fr. 0.68 = Fr. 13.60 (Zum Vergleich: 20 kg Fluorescein zu Fr. 100.— würden 2000 Fr. kosten).

3. Transporte (abgelegene, schlecht zugängliche Messtelle) Fr. 150.—.

4. Laboratoriumsarbeiten. Ein Laborgehilfe eine Arbeitswoche + 60% des Arbeitslohnes für Ueberwachungskosten.

Die Herstellung und Eichung der für die Versuche notwendigen Apparate kam auf rd. 1000 Fr. zu stehen. Dies ist jedoch eine einmalige Ausgabe, die auf alle Versuche zu verteilen ist. Sodann muss auch ein gewisser Betrag für die Benützung der Labor-Einrichtungen (Kolorimeter usw.) eingesetzt werden.

#### Schlusswort

Die Anwendung des beschriebenen Arbeitsverfahrens für die Messung von Wasserläufen auf chemischem Wege kommt auch für grössere Wassermengen in Frage, wenn einerseits das Wasser genügend rein ist und andererseits eine wirksame Durchmischung mit der chemischen Infektion gewährleistet ist.

Die Infektion kann mit dem gleichen Dosierapparat auf rd. 0,2 l/s Na-Nitritlösung 20%ig, also auf rd. 40 g  $\text{NaNO}_2$ /s

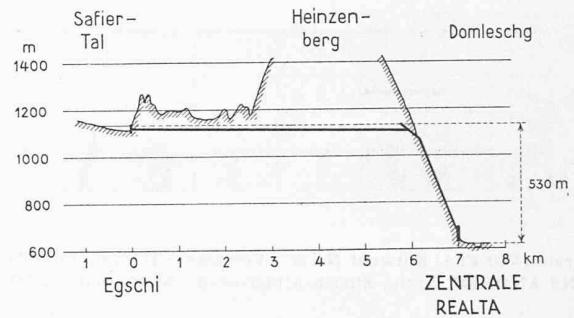


Bild 1. Längenprofil des Kraftwerkes Rabiusa-Realta



Bild 2. Lageplan

Masstab 1: 250000

erhöht werden; dadurch ist die Bestimmung einer Abflussmenge von 40 m<sup>3</sup>/s möglich. Unter Berücksichtigung der rein operativen Faktoren, also ohne Durchmischungsfehler, darf die Genauigkeit des Verfahrens zu  $\pm 2\%$  des Wertes veranschlagt werden, wovon rd. 1,4% allein auf die kolorimetrische Bestimmung entfallen.

#### Literatur

- [1] Jaugeages par titrations. Méthode chimique de Boucher et Mellet. «Bulletin Technique de la Suisse Romande», juin 1910.
- [2] E. Montagné et L. Barbillon: La mesure des débits et l'aménagement des usines hydrauliques. Ed. A. Michel, Paris 1927.
- [3] R. Zirilli: Jaugeage du débit des cours d'eau par microtitrage. Thèse 1943, Lausanne.

### Vom Kraftwerk Rabiusa-Realta

Von Dipl. Ing. HANS LEUCH, Direktor der Kraftwerke Sernf-Niedererbach A.-G., St. Gallen DK 621.311.21 (494.262.3)

Das Projekt der Ausnützung des Wassers der Rabiusa des Safiertales mittels eines Durchstichs durch den Heinzenberg nach dem Domleschg ist verhältnismässig jung. Während der Jahre 1929 bis 1934 sind in Safien-Rüti vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft Abflussmessungen für ein Einzugsgebiet von 87 km<sup>2</sup> durchgeführt worden. Sie stellten eine hinreichende Unterlage dar für die Aufstellung eines Projekts über die Nutzung dieses Gewässers zur Energieerzeugung.

Die Ingenieure M. Passet, Basel, und C. Hew, Chur, haben anfangs 1946 den Kraftwerken Sernf-Niedererbach (KSN) ein Projekt angetragen und bei der Erwerbung der Konzession mitgewirkt. Gegen Ende 1946 lag diese mit der Genehmigung des Kleinen Rates des Kantons Graubünden vor. Unmittelbar anschliessend wurden im Gebiet der Wasserfassung (Egschi) und im Areal der Zentrale (Realta) Sondierungen vorgenommen. Gleichzeitig wurde bei Trieg ein Stollen vorgetrieben, der später als Fenster und Teil des Druckstollens dient, um einen Aufschluss des Berginnern zu