

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Schweizerische Bauzeitung |
| Herausgeber: | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine |
| Band: | 83/84 (1924) |
| Heft: | 15 |
| Artikel: | Neues über Turbinen-Abnutzungen und automatische Entsandungs-Anlagen |
| Autor: | Dufour, H. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-82773 |

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: 23.02.2026

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

INHALT: Neues über Turbinen-Abnützungen und automatische Entsandungs-Anlagen. — Die Fließgrenze des Eisens. — Aus der Siedlung Essen-Stadtwald. — Zur Frage des Schubmittelpunktes. — † Wilhelm Schmidt. — Miscellanea: Das Muralen-gut in Zürich. Neuer, rein elektrisch betätigter Einmann-Sicherheitswagen. Verbindung der Insel Singapore mit dem Festland. Wasserstrassenpläne in der Tschechoslowakei.

Eine Eisenbahnlinie über den Chaiber-Pass in Indien. Eidgen. Technische Hochschule. Hochbrücke über den kleinen Belt. — Konkurrenz: Neubau für die Basellandschaftliche Kantonalbank in Birsfelden. — Literatur. — Vereinsnachrichten Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Sektion Bern des S. I. A. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 83. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 15.

Neues über Turbinen-Abnützungen und automatische Entsandungs-Anlagen.

Von Ing. H. Dufour, Lausanne (früher Basel).

Ueber die bei zwei grossen Hochdruck-Kraftwerken festgestellten Folgen der Turbinen-Abnützungen und die durch Umbau ihrer Entsandungs-Anlagen mit periodischer Spülung in *automatische Entsanter* erzielten bemerkenswerten Ergebnisse ist in dieser Zeitschrift¹⁾ bereits berichtet worden.

Es wird heute noch vielfach angenommen, dass eine namhafte Abnützung der Turbinen durch Geschiebe und Sandgehalt ihres Betriebswassers nur bei hohen Gefällen eintreten kann. Eine etwas gründlichere Studie dieser Frage hat aber gezeigt, dass es in Wirklichkeit nicht so ist, sondern dass die selbst bei den niedrigsten Gefällen festgestellten Abnützungserscheinungen die volle Aufmerksamkeit der Erbauer und Besitzer von Wasserkraftwerken verdienen. Die Menge und Härte der Geschiebekörner, die auch bei mittlern und niedrigen Gefällen durch die Turbinen gehen, ist oft sehr gross; Sandkörner, die ohne besondere Vorbereitung und unter dem blosen Fingerdruck das Glas zerschneiden sind keine Seltenheit. Bei den heute fast ausschliesslich verwendeten Francisturbinen, werden die mit grosser Sorgfalt berechneten und hergestellten Leit- und Laufradflächen durch die in Gestalt von wahren Sandadern durchfliessenden Materialien abgenützt und deformiert. Die Körner, die in den Spalt gelangen, werden durch den Wasserdruk und das rotierende Laufrad gegen das Saugrohr getrieben, sie vergrössern in kurzer Zeit die Spaltweite und erzeugen übertriebene Wasserverluste.

Im Falle der Abbildung 1 werden die Turbinen ungefähr alle zwei Jahre in Stand gesetzt; die Abnahme der Wirkungsgrade vom Juni bis August ist eine Folge der fortschreitenden Abnützung, seine Zunahme von November bis März ist auf die vorgenommenen Reparaturen und auf den Umstand zurückzuführen, dass bei Niederwasser alle in Betrieb gehaltenen Turbinen mehr oder weniger in gutem Zustand sind. Die schraffierte Fläche stellt die Verminderung der verfügbaren Energie durch die Turbinenabnützungen dar; sie beträgt für das ganze Jahr 21 450 000 kWh (= 2450 kW-Jahr) oder 9,8% der mit neuen Turbinen verfügbaren Energie. Im Falle der Abbildung 2 werden die Turbinen alljährlich in Stand gesetzt; die Verminderung der verfügbaren Energie beträgt 8 383 000 kWh (= 957 kW-Jahr) oder 10% der mit neuen Turbinen verfügbaren Energie. Da die Energie dieser Anlagen zum grössten Teil für elektro-chemische Zwecke verwendet wird, mögen hier einige Durchschnittszahlen über die Erzeugungsfähigkeit eines kW-Jahr von Interesse sein: Soda 2200 kg, Calciumkarbid 2200 kg, Gusseisen 3300 kg, Potasche 3000 kg, Aluminium 290 kg, Stahl 8760 kg. Die durch die Turbinenabnützungen verursachten Produktion-Ausfälle sind also ganz bedeutend.

Sehr ausgesprochene Abnützungserscheinungen sind auch in zwei Grosskraftwerken mit einem Wasserverbrauch von je 200 bis 300 m³/sek und äussersten Nutzgefällen von 5 und 14 m festgestellt worden. Die vor etwa 22 Jahren aufgestellten Turbinen des Kraftwerkes „A“ zeigten schon nach acht Betriebsjahren eine weit vorgeschrittenen Abnützung mit derartig starkem Wirkungsgrad-Abfall, dass die Frage ihrer Auswechslung ernstlich erwogen wurde. Da die Abnützung trotz öfters und kostspieligen Reparaturen die Betriebssicherheit stark bedrohte, mussten diese Turbinen

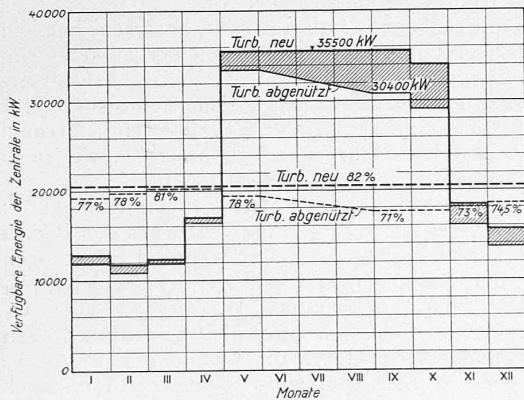
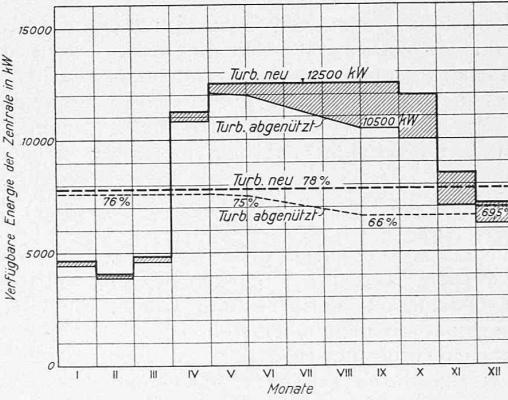


Abb. 1 und 2. Wirkungsgrade und verfügbare Leistungen zweier Kraftwerke zwischen 50 und 100 m Gefälle, mit Turbinen im neuen Zustand und in verschiedenen Stadien der Abnützung.



Eine genaue Bestimmung der Turbinenwirkungsgrade, wie sie bei den in genannter Veröffentlichung erwähnten Untersuchungen erfolgte, ist in der Mehrzahl der Fälle möglich, bedingt aber, je nach den Bau- und Betriebs-Verhältnissen der Werke, grosse Erfahrungen und viel Arbeit. Aus diesem Grunde muss oft zuerst mit den vorhandenen Betriebsmesseinrichtungen operiert werden; die Messergebnisse werden zwar nur unter Annahme einer gewissen Toleranz genau, für den Fachmann aber, der sie zu verwerten weiß, von grossem Nutzen sein. Zum mindesten können sie die Opportunität von Präzisionsmessungen darstellen. Es seien hier einige Beispiele angeführt:

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Diagramme der Turbinenwirkungsgrade und der verfügbaren Leistungen zweier Kraftwerke mit Gefällen zwischen 50 und 100 m.

¹⁾ „S. B. Z.“ Bd. 78, Nr. 25 bis 27 (17., 24., 31. Dez. 1921).

während und kurz nach dem Kriege mit hohen Kosten durch neue ersetzt werden. Im Jahre 1919 stellte sich der durch möglichst genaue Messungen festgestellte Wirkungsgrad der in Betrieb befindlichen besten Turbinen, wovon der Viertel aus neuen Turbinen bestand, auf 53%, während der mittlere Wirkungsgrad dieser Turbinen im neuen Zustand etwa 70% betragen hatte. Die verfügbare Energie dieses Kraftwerkes betrug 85 940 000 kWh mit neuen gegen 64 950 000 kWh mit abgenützten Turbinen; die Energieabnahme durch Abnützung stellt sich somit auf 24,5%. Bis heute sind zwei Drittel der Turbinen dieses Kraftwerkes ausgewechselt worden.

Die ebenfalls vor rund 23 Jahren aufgestellten Turbinen des Kraftwerkes „B“ waren durch die von ihrem Betriebswasser mitgeführten Geschiebe und Abfälle nach acht bis zwölf Betriebsjahren so beschädigt, dass sie ausgewechselt

werden mussten. Die jetzt im Betriebe laufenden Turbinen, die öftere und teuere Reparaturen durchmachen müssen, sind wieder so weit abgenutzt, dass eine derselben schon im Laufe des vorletzten Jahres ausgewechselt werden musste. Innert 22 Jahren sind demnach auf dem gleichen Platz drei Turbinen nacheinander aufgestellt worden. Abb. 3 zeigt ihre am meisten abgenutzten Teile; die Erweiterung der Spalte a_1 und a_2 ist eine sehr rasche, nach einem Jahr erreicht der Spielraum 30 bis 40 mm und der Wirkungsgradabfall, den man übrigens rechnerisch kontrollieren kann, etwa 10%.

Die rasche Spaltvergrösserung hört erst auf, wenn die durch den Rechen mit 40 mm l. W. noch gelangenden Kiessteine ohne zu klemmen durch die Spalte gehen. In 10 bis 13 Jahren sind die starken Leitapparaturwände, wie Abb. 3 zeigt, durchlöchert und es gelangt eine grosse Wassermenge unausgenutzt in das Saugrohr. Die Leistung dieser Turbinen, die im neuen Zustande 1200 kW betrug, ist allmählich bis auf 800 kW zurückgegangen; ihr Wirkungsgrad muss somit weniger als 50% betragen.

Diese vier Beispiele, die leicht vermehrt werden könnten, bestätigen, dass an geschiebeführenden Flüssen die Turbinen selbst bei Niederdruckwerken sehr stark unter der Abnutzung leiden können. Für diese Werke, wie für Hochdruckwerke, sind die Unterhaltungskosten, zu denen die noch bedeutenderen, wenn auch zu oft unvermuteten Ausfälle in der Energie-Erzeugung kommen, ein schwerer Nachteil, der ihr finanzielles Ergebnis ernstlich beeinflussen muss.

Die ersten Massnahmen für die Verbesserung solcher Zustände wären öftere Turbinen-Revisionen und periodische Wirkungsgrad-Kontrollen, denn, wenn auch anzuerkennen ist, dass die grösste Zahl der Wasserkraftwerke die bereits besprochenen Energieausfälle kennen, so kann anderseits beobachtet werden, dass die wenigsten über ihren genauen Wert orientiert sind. In vielen Werken werden heute noch diese Energie-Ausfälle einfach ignoriert oder als notwendiges Uebel betrachtet.

Es ist mir bekannt, dass die Wasserwerk-Betriebe den Wirkungsgrad-Kontrollen, wegen der erforderlichen Vorbereitungen, der möglichen Störungen, der Kosten und, es muss auch gesagt werden, wegen des geringen Vertrauens, das sie in die Genauigkeit der Resultate haben, im allgemeinen wenig sympathisch gegenüber stehen. Der letzte Punkt mag früher berechtigt gewesen sein, ist aber heute, wenn diese Kontrolle durch erfahrene, die Mühe nicht scheuende Ingenieure vorgenommen werden, nicht mehr am Platze. Sind einmal die Wirkungsgrade der Turbinen im neuen Zustande und in verschiedenen Stadien der Abnutzung, ferner die Kurve der verfügbaren Wassermengen bekannt, so kann jedes Werk die zwei Diagramme der verfügbaren Leistungen, wie Abb. 1 und 2, aufstellen. Diese Diagramme, der Energielieferungs-Plan und die Strompreise werden ihm dann erlauben, den genauen Wert der erlittenen Ausfälle zu berechnen.

Wie die angeführten Beispiele zeigen, werden die festgestellten Ausfälle oft unerwartet hohe Werte zu Tage bringen, die zur sofortigen Instandsetzung der Turbinen und, für die Zukunft, zur Anwendung von wirksamen Schutzmassnahmen Veranlassung geben. Die rationellste Schutzmassnahme besteht, wie bekannt, in der Errichtung einer guten Entsandungsanlage, und es soll im nachstehenden die weitere Entwicklung der automatischen Entsandung gezeigt werden. Die Grundzüge der hier besprochenen Neuerungen sind durch Patente geschützt.

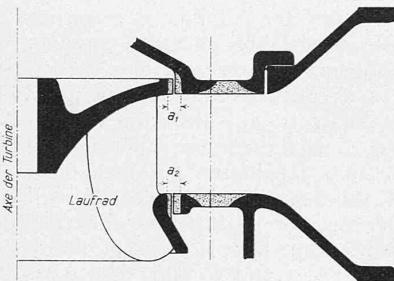


Abb. 3. Abnutzungs-Erscheinungen einer Francis-Turbine, die unter 8 bis 14 m Gefälle arbeitet.

I. Der automatische Entsander der Gornergrat-Bahn.

Das zur Erzeugung des Bahnstromes am Findelenbach bei Zermatt gebaute Wasserkraftwerk¹⁾, für 1 m³/sek, 100 m Gefälle und 1000 PS Maschinenleistung, hatte seit seiner Inbetriebsetzung ausserordentlich viel mit dem Geschiebe des wilden Bergbaches zu kämpfen. Für den Schutz der Turbinen vor Steinen und Sand standen zwei Klärbecken zur Verfügung, die infolge des steil abfallenden Felsens hintereinander angeordnet worden waren, und es mussten die sich darin bildenden Ablagerungen zwei- und sogar bis dreimal im Tag entfernt werden, was jedesmal einen Stillstand des Kraftwerk-Betriebes verursachte. Es ergab sich daraus eine nicht unbedeutende Zunahme der Arbeitslöhne; ferner war die Bildung von Extrazügen, sowie die elektrische Beleuchtung und Heizung der Bahnstationen zu gewissen Tageszeiten unmöglich, weil gerade diese Pausen für das Entfernen der Geschiebe-Ablagerungen benutzt wurden. Infolge der trotz alledem ungenügenden Wassereinigung war der Turbinenbetrieb mit Druckwasser-Regulatoren sehr schwierig und ihre Abnutzung derart, dass die Leistung gegen den Herbst zu stark abnahm und die Leitapparate jeden Winter ausgewechselt werden mussten.

An den Einbau einer Entsandungs-Anlage mit periodischen Spülungen, die mindestens zwei Klär-Kanäle erfordert hätte, konnte wegen der zu hohen Kosten, der stark veränderlichen und zeitweise bedeutenden Geschiebeführung des Findelenbaches nicht gedacht werden, und die Gesellschaft entschloss sich deshalb für einen automatischen Entsander.

Die in einem der vorhandenen Klärbecken, ohne dessen Länge, oder Breite zu vergrössern, eingebaute neue Anlage besitzt, wie aus Abbildung 4 und 5 ersichtlich, nur einen Klärkanal. Ihre Ausrüstung besteht aus zwei Reihen von Beruhigungsrechen G_1 und G_3 , einem Feinrechen G_2 , einem sogenannten Empfänger E und einem Spülkanal S mit Regulierschieber V_4 für die automatische Abführung des ausgeschiedenen Geschiebes, einem verstellbaren Ueberlauf V_2 und einer Entleerungsschütze V_3 . Gegenüber dem Entsander des Kraftwerkes Ackersand²⁾ sind hier das Vorhandensein von nur einem Klär-Kanal und der Regulierschieber des Spülwasserkanales neu.

Bei den gegebenen örtlichen Verhältnissen hat die erste dieser Neuerungen die Erstellung einer äusserst einfachen und billigen Anlage erlaubt, obwohl es gewagt erscheinen kann, an einem solchen wilden Gebirgsbach, für einen Bahnbetrieb, einen Entsander mit nur einem Klärkanal zu bauen. Diese Befürchtung hat sich indessen, wie noch gezeigt werden wird, als ganz unbegründet erwiesen.

Die Wirkungsweise dieses Entanders ist die folgende: Solange die Wasserführung des Findelenbaches den Bedarf des Kraftwerkes übersteigt, was fast während der ganzen Betriebszeit der Bahn der Fall ist, ist der Schieber V_4 geöffnet. Der beim Fliessen des Wassers zwischen G_1 und V_2 niedergehende Geschiebereggen gleitet auf die schrägen Seitenböden und gelangt durch die Öffnungen u_1 , u_2 , u_n des Empfängers in den Spülkanal S , um von dort durch V_4 automatisch kontinuierlich abgeführt zu werden. Ausser der sehr geringen Reinigungsarbeit des Feinrechens G_2 , (die Anlage liegt auf 1800 m ü. M. nahe an der Vegetationsgrenze), bedarf also diese Betriebsweise des Entanders keiner Wartung oder Bedienung. Zu diesem wichtigsten Vorteil des automatischen Entanders kommt noch sein, durch das Fehlen von jeglichen Ablagerungen in den Klärkanälen erzielter unveränderlicher Wirkungsgrad.

Es sei mir gestattet an dieser Stelle hinzuzufügen, dass bei den Entsandungsanlagen mit periodischen Spülungen ein bestimmter Wirkungsgrad angegeben und durch Versuche mit ganz kleinen Sandmengen nachgewiesen werden kann. Es braucht aber heute kaum noch erwähnt zu werden, dass die im Betrieb sich bildenden Ablagerungen die Entsandung allmählich stark beeinträchtigen, sodass der mittlere effektive Betriebs-Wirkungsgrad wesentlich unter dem nachgewiesenen bleibt.

¹⁾ Kurze Beschreibung in „S. B. Z.“, Bd. 31, S. 136 (7. Mai 1898).

²⁾ Vergl. „S. B. Z.“, Bd. 78, S. 310, (24. Dez. 1921).

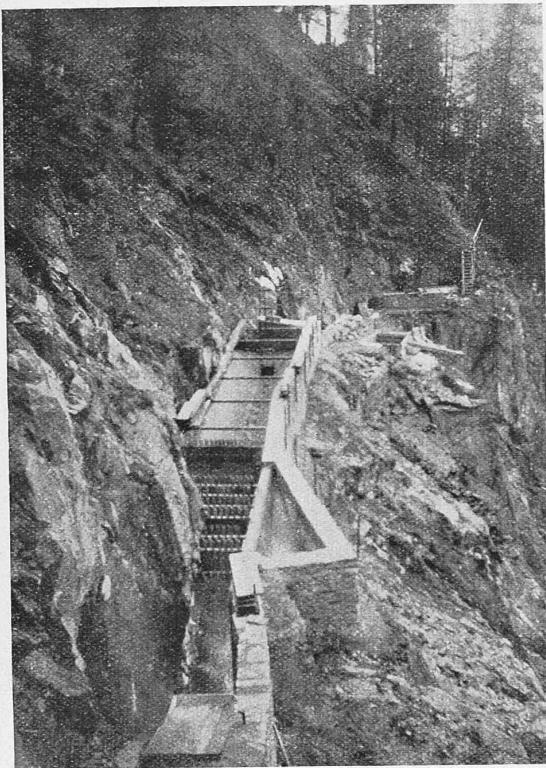


Abb. 5. Entsander der Gornergrat-Bahn, gegen den Auslauf gesehen.

In der letzten Zeit noch haben Anhänger der Anlagen mit periodischen Spülungen in technischen Zeitschriften versucht, den Glauben zu erwecken, als würden jene Entsander auch mit automatischen und kontinuierlichen Spülungen arbeiten. In der Tat sollen die Worte „automatisch“ und „kontinuierlich“ auch bei den vollkommenen solcher Anlagen nur sagen, dass das Auswaschen der Ablagerungen nach Entleerung bzw. Ausserbetriebsetzung der Klärräume, d. h. Vornahme der erforderlichen Schützen-Betätigungen, ohne Nachhilfe mit Schaufeln oder dergl., vor sich geht. Dass aber die Zahl dieser Schützenbetätigungen bis über hundert im Tag ansteigen kann, wird selbstverständlich nicht erwähnt.

Wenn am Anfang oder Ende des Sommers die Wasserführung des Findelenbaches zurückgeht, so vermindert sich seine Geschiebeführung sehr stark und es wird die Spülwassermenge durch Schliessen des Schiebers V_4 so weit herunterreguliert, dass ihre Geschwindigkeit in den Öffnungen u_1 , u_n und dem Spülkanal S gerade noch genügt, um die kleine Menge von feineren Sinkstoffen abzuführen. Lässt die Wasserführung des Findelenbaches keinen auch nur reduzierten Spülwasserverbrauch zu, so wird V_4 geschlossen und erst bei Wasserüberfluss wieder

geöffnet. Die Erfahrung hat auch hier wie bei andern Anlagen gezeigt, dass die dabei auf die Empfänger niedergehende kleine Sand- und Schlammende durch das Wiederöffnen von V_4 in Bewegung kommt und in wenigen Minuten mit einem Minimum von Spülwasser anstandslos abgeführt wird. Mit dem automatischen Entsander können also die bei Kleinwasser ausgeschiedenen Materialien periodisch in längeren Zeitabschnitten durch die sehr einfache Handhabung des Spülwasserschiebers abgeführt werden, ohne dafür den Klärkanal entleeren oder den Betrieb irgend wie stören zu müssen. Diese Möglichkeit darf auch als ein wesentlicher Vorteil gebucht werden.

Es sei hier noch ergänzend bemerkt, dass die in Abbildung 4 etwas schematisch dargestellten Schaufeln des Empfängers auf Grund von Versuchen und der gesammelten Erfahrungen so geformt sind, dass die sich bei längerem Geschlossensein von V_4 , also beim Unterlassen der erwähnten periodischen Spülungen bildenden Ablagerungen diese Schaufeln nur überdecken und nicht in die Öffnungen u_1 , u_2 , u_n und in den Spülkanal S eindringen können. Diese Ablagerungen können somit nach Entleerung des Kanals ohne Zutun des Wärters gänzlich ausgewaschen werden, wie dies bei Anlagen mit nur periodischer Spülung, also mit glattem Boden der Fall ist.

Bei dem Entsander der Gornergrat-Bahn sind, wie mir berichtet wurde, die Öffnungen des Empfängers nie überdeckt und im normalen Betrieb der Klärkanal für ein Auswaschen von Ablagerungen nie entleert worden. Bei den automatischen Entsandern mit zwei oder mehr Klärkanälen können diese abwechselungsweise ohne Betriebstoren entleert und eventuell gereinigt werden. Da ihnen aber hierdurch das Entleeren der Klärkanäle erspart wird, sorgen die Wasserwärter gerne dafür, dass die Schieber V_4 rechtzeitig geöffnet und damit die periodische automatische Spülung benutzt werden kann.

Der Entsander am Findelenbach wurde anfangs Juni 1922 in Betrieb gesetzt. Infolge der grossen und raschen Schwankungen der Wasserführung des Findelenbaches, verbunden mit Ufer- und Moränen-Rutschungen, erhält die Anlage außerordentlich veränderliche und zeitweise bedeutende Geschiebemengen, deren Korngrösse vom feinsten Schlamm aufwärts bis zu Kiessteinen von 50 mm Durchmesser und mehr geht. Die Wirksamkeit der Entsandung ist so weitgehend, dass der Schlamm des entsandeten Wassers praktisch keine Körner über 0,25 mm mehr aufweist und sein Gehalt an noch feineren Körnern mit 0,25 bis 0,2 mm, 0,2 bis 0,15 mm usw. auch wesentlich abgenommen hat. (Es sei hier noch an die Wirksamkeit des Entsanders Ackersand an genannter Stelle erinnert.) Messungen über die ausgeschiedenen Geschiebemengen wurden noch nicht gemacht; die zu Bauzwecken aus dem Spülwasser gewonnenen Sandmengen beweisen aber, dass diese noch grösser sind, als ursprünglich angenommen.

Die Anlage war während der ganzen Sommer 1922 und 1923 Tag und Nacht in Tätigkeit, ohne Unterbrechung und ohne andere Bedienung, als bei vorübergehendem

Niederwasser die morgens und mittags einmalige einfache Regulierung der Spülwassermenge. Der Kraftwerk-Betrieb konnte nunmehr ohne irgend welche Unterbrechung oder Energie-Ausfälle durchgeführt werden. Der Betrieb der Turbinen hat sich bedeutend gebessert und ihre Abnutzung, die genau aufgenommen wird, ist nur noch eine ganz geringe.

(Schluss folgt.)

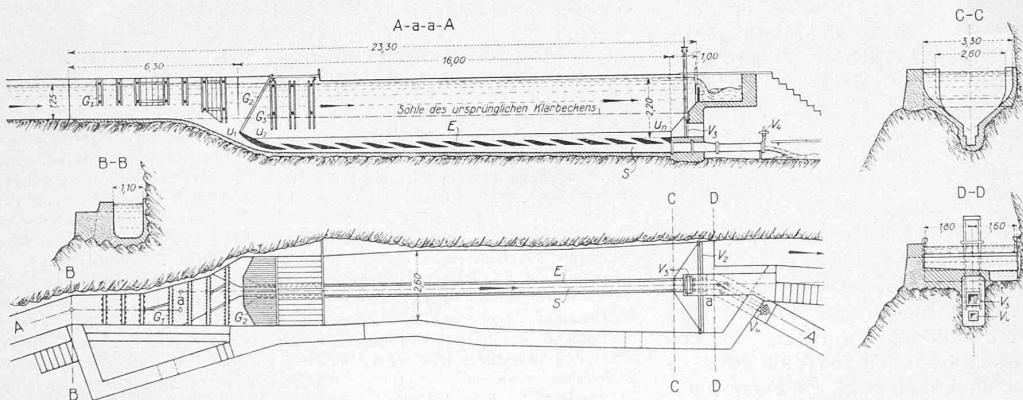


Abb. 4. Entsander der Gornergrat-Bahn. — Grundriss, Längsschnitt und Querschnitte 1:250.