

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 17 (1926)
Heft: 6

Artikel: Notizen über hydraulische Vorarbeiten für Wasserkraftanlagen
Autor: Roth, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059804>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Notizen über hydraulische Vorarbeiten für Wasserkraftanlagen.

von H. Roth, beratender Ingenieur, Bern.

Mit Rücksicht auf die Internationale Ausstellung für Wasserkraftnutzung und Binnenschifffahrt, die am 1. Juli dieses Jahres in Basel eröffnet wird¹⁾, glauben wir unsere Leser mit diesen allgemein gehaltenen Ausführungen über die hydraulischen Vorarbeiten für Wasserkraftanlagen zu interessieren.

Der Autor weist zunächst auf die grundlegende Bedeutung sorgfältiger und langjähriger Wassermessungen vor Erstellung von Wasserkraftwerken hin und beschreibt die Bedingungen, die erfüllt sein müssen, um zuverlässige Wassermessungen vornehmen zu können.

¹⁾ Siehe auch Mitteilungen auf Seite 235 dieses Bulletin.

En prévision de l'Exposition internationale de navigation intérieure et d'exploitation des forces hydrauliques, qui va s'ouvrir à Bâle le 1^{er} juillet prochain¹⁾, nous pensons intéresser nos lecteurs par ces considérations générales, relatives aux travaux du domaine hydraulique qui doivent précéder le choix de l'équipement des centrales hydro-électriques.

L'auteur rend d'abord attentif à l'importance capitale de mesures de débit minutieuses et étendues à de longues années avant la construction des centrales, et parle des conditions à remplir pour assurer toute précision désirable à ces mesures.

¹⁾ Voir aussi communications à la page 235 de ce bulletin.

Hie und da bleiben die Ertragnisse von Wasserkraftanlagen infolge Kombination ungünstiger Umstände, wie Industriekrise, Konkurrenz neuer Werke, hinter den Erwartungen zurück. Oefters dürften sich bei eingehender Untersuchung noch andere Ursachen herausstellen. So kann unter anderem die Verwirklichung ursprünglich gemachter Voraussetzungen unterlassen worden sein (Zuleitung weiterer Bäche zur Wasserfassung, Aufstellung weiterer Einheiten, Bau von Fernleitungen usw.).

Als weitere Ursache bei ungenügenden Ergebnissen kommt eventuell auch die Mangelhaftigkeit hydraulischer Vorarbeiten in Betracht, und zwar:

- a) weil es zwischen dem Beginn der Vorstudien und dem Bau der Anlage an Zeit zur Abklärung dieser Fragen fehlte oder
- b) weil den hydraulischen Vorarbeiten überhaupt nicht genügende Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Heute muss ein Wasserkraftwerk wie irgend ein industrielles Unternehmen betrieben werden. Das Rohmaterial ist das Wasser — das Endprodukt elektrische Energie. Da letztere meist vor Bauvollendung verkauft wird, wobei Verträge über Menge, Dauer und Leistung abgeschlossen werden, sollten bei Baubeginn über das Quantum des Rohmaterials und dessen zeitliches Zurückgehen genügende Aufschlüsse vorliegen. Nicht selten fehlen hierüber gute Unterlagen. Die folgenden Zeilen sollen daher einigen Aufschluss über die Art und Weise geben, wie solide Unterlagen für die Ermittlung der stets wechselnden Wassermengen zu beschaffen sind.

Die hydraulischen Vorarbeiten haben die Ergiebigkeit und Zuverlässigkeit eines bestimmten Flusses als Wasserlieferant festzustellen. Hierzu benötigen wir eine Anzahl direkter Mengenmessungen und eine fortlaufende Kontrolle über das Variieren der Mengen. Diese Kontrolle wird vermittelt Wasserstandsbeobachtungen an einer festen Skala durchgeführt — diese Skala heisst Pegel, wenn einzig eine eingeteilte Latte angebracht wird. Die Beurteilung über den Wert von Pegelbeobachtungen hängt vom Verhalten der Flüsse im allgemeinen ab.

Es muss angenommen werden, dass jeder Flusslauf sich stets — von Jahr zu Jahr — von Woche zu Woche — ja von Tag zu Tag — verändert. Normalerweise wird sein Bett im Oberlauf fortwährend vertieft und im Unterlauf fortwährend erhöht. Dieser Vorgang erschwert, weil die Abflussrinne stets sich ändert, die Kontrolle der Abflussmengen an der Pegelstelle. Wir müssen annehmen, dass sogar bei stets sich gleichbleibender Wassermenge (was in der Natur nie eintritt) die Wasserspiegelhöhe an einem bestimmten Ort des Flusses mit der Zeit Veränderungen unterworfen wäre.

Variiert jedoch die Menge, wie üblich, in hohem Masse und relativ häufig, dann ist gewiss, dass die Flussgestaltung im Grundriss wie im Längenprofil Veränderungen unterworfen ist.

Eine gute Abflusskontrolle setzt daher wegen der Möglichkeit von Sohlenveränderungen häufige *direkte Wassermessungen* an bestimmten (wenn möglich stets den gleichen) Stellen voraus. Je häufiger diese Messungen in Verbindung mit Pegelablesungen erfolgen, desto besser — aber desto kostspieliger wird die hydraulische Untersuchung für die spätere Beurteilung des Kraftgewinnes.

Normalerweise wird angenommen, dass zwischen den einzelnen Messterminen, sofern kein ausserordentliches Hochwasser mit grosser Geschiebeführung eintritt, der Fluss unverändert bleibe. Bei dieser Annahme entspricht dem Wasserstand auf Höhe eines bestimmten Skalenteilstriches eine ganz bestimmte Abflussmenge. Kontrollmessungen müssen feststellen, ob dies nach Verlauf einiger Zeit immer noch der Fall ist.

Das *Variieren des Wasserstandes* an einer absolut festen Skala gibt bereits ein Bild über das annähernde Ab- oder Zunehmen der Wassermenge. Wird nun vermittelt direkten Mengenmessungen diese Skala oder dieser Pegel bei verschiedenen hohen Wasserständen „geeicht“, dann kann in bezug auf den Pegel eine sogenannte *Abflussmengenkurve* aufgezeichnet werden. Diese Kurve ermöglicht, für jeden beliebigen Wasserstand am Pegel die genaue Durchflussmenge abzulesen. Die erste Arbeit bei der Inangriffnahme von Entwurfsstudien für ein Wasserkraftwerk besteht daher im sofortigen Errichten geeigneter Pegelstationen und in der jeweiligen täglichen Kontrolle des Wasserstandes.

Wo sind *Pegel* zu errichten? Natürlich überall dort, wo Wasser zur Kraftnutzung dem Fluss entzogen werden soll. Diese Stellen sind zum vornherein nicht immer bekannt. Die Pegel müssen daher vorerst an den verschiedenen Armen eines Flussgebietes derart verteilt werden, dass jeder Flussarm für sich allein sicher kontrolliert werden kann.

Die massgebende Stelle, an welcher ein Pegel zu errichten ist, ist in einem einzelnen Flussabschnitt diejenige, welche die beste Wasserkontrolle ermöglicht — also diejenige Stelle, an der im Laufe der Zeit die wenigsten Veränderungen an Ufer und Sohle zu erwarten sind. Die zeitraubenden und kostspieligen Wassermessungen werden dadurch auf ein Minimum beschränkt und es besteht die gute Möglichkeit, zutreffende Ergebnisse über die hydraulischen Verhältnisse zu gewinnen.

Geometrische Profilkontrolle durch Profilaufnahme allein genügt nämlich nicht, um die Veränderungen in den Abflussverhältnissen der Pegelstelle festzustellen. Eine Veränderung kann wegen eventuellen Gefällsänderungen in den allermeisten Fällen einzig vermöge direkter Wassermessungen ermittelt werden. Die günstigsten Stellen für die Errichtung von Pegelstationen sind daher im allgemeinen felsige Flusspartien. Dort finden sich meist auch Brückenniederlassungen, sowie drei günstige Faktoren zur Kontrolle der Wassermengen:

1. Der Fluss wird sich ausser bei seitlichen Felseinstürzen nie erhöhen — vertiefen kann er sich nicht, oder im Laufe der Jahre doch nur in so geringem Masse, dass die Abflusskontrolle dadurch nicht gestört wird.
2. Die Ufer sind zur Anbringung solider Marken und Skalen für sehr hohe und für sehr tiefe Wasserstände gut geeignet — zudem finden sich in der felsigen Umgebung die zur Höhenversicherung des Pegels notwendigen Höhenfixpunkte.
3. In der Brückenniederlassung wird es Leute geben, die gegen Entgelt jeden Tag ein- oder mehrmals den Wasserstand am Pegel ablesen, notieren und dem Studienbureau monatlich eine Tabelle der beobachteten Wasserstände zustellen. Diese Leute werden auch bei der Errichtung von Notstegen für die Wassermessungen behülflich sein.

Die Mengenmessung an solch meist etwas wilden Flussstellen ist natürlich nicht leicht und häufig nur bei Niederwasser durchführbar. Die Messungen bei höheren Wasserständen müssen daher ober- oder unterhalb der felsigen Strecke in weniger steilen Flussabschnitten erfolgen, wobei auf Versickerungen oder auf Quellschüsse

und Seitenbäche zwischen der Mess- und Pegelstelle Rücksicht zu nehmen ist. Während der Dauer der Wassermessung muss stets jemand bei der Pegelstation verbleiben und von Zeit zu Zeit die Pegelstände gewissenhaft aufnotieren.

Gelegentlich wird den Pegeln noch ein Instrument beigegeben, welches die Notierung selbsttätig ausführt. Der Pegel heisst dann *Limnigraph*, kostet das Vielfache eines einfachen Pegels und wird zum Schutze gegen Witterungseinflüsse mit einem Häuschen umgeben.

Der Limnigraph ist ein mit Schwimmer, Uhrwerk und Papierrolle ausgerüsteter Pegel, auf dessen Rolle die Wasserspiegelhöhe fortwährend aufgezeichnet wird. Wann und wo wird ein Limnigraph aufgestellt? Nach der Inbetriebsetzung eines Limnigraphen ist die Berechnung der Abflussmengen für jeden beliebigen Zeitpunkt möglich. Bei stark variierenden Flüssen sollten daher die Mehrkosten für dessen Installation nicht gescheut werden. Im allgemeinen ist die Errichtung von Limnigraphen im Oberlauf der Flüsse, oberhalb der regulierenden Seen am nötigsten.

Ausser zur Kontrolle der Betriebsverhältnisse und der Stauhaltung bei bestehenden Wasserkraftanlagen benötigt man den Limnigraphen besonders dann, wenn es sich um Projekte für Akkumulierwerke handelt. Die Gebirgsflüsse führen oft in $\frac{1}{2}$ oder 2 Stunden dauernden Hochfluten grössere Wassermengen ab, als die monatliche Gesamtsumme ausmacht. Solch plötzliche Anschwellungen infolge Gewitterregen können nur mittels Limnigraphen sicher kontrolliert werden. Ohne einen solchen Apparat werden die grossen Mengen bei täglich einmaliger Pegelablesung unbeachtet abfliessen und es ist unmöglich, einen genauen Wasserhaushalt für das Akkumulierwerk aufzustellen. Aehnliche Erwägungen haben für die Kontrolle der Gletscherflüsse Geltung, welche im Sommer, je nach der Entfernung von den Gletschern, die täglichen Hauptwassermassen gegen den Abend oder erst während der Nacht abführen. Als weiterer Vorzug des Limnigraphen ist zu erwähnen, dass derselbe in abgelegenen, schwer zugänglichen Hochgebirgstälern wöchentlich nur einen Kontrollgang erfordert.

Der Pegel besteht meist aus Eisen und muss in kurzen Stücken von ein bis zwei Metern Länge leicht montiert werden können. Die Pegellatte muss derart gezahnt sein, dass Ableseirrtümer ausgeschlossen sind; das Streichen mit verschiedener Oelfarbe kann die fehlerfreie Ablesung erleichtern. Selbstverständlich sollte sich der Pegel oder dessen Unterlage nicht etwa setzen. Zu diesem Zweck muss derselbe rückwärts durch ein Fixpunktnivellement, welches die Kontrolle erleichtert, versichert werden.

Beim Pegelablesen hat der Beobachter die Zeit zu notieren – um die Variation des Wasserstandes bei Wellenschlag zu berücksichtigen, ist der Wasserstand einige Sekunden zu beobachten, bevor der kontrollierte Mittelwert im Notizbuch eingetragen wird. Bei Kontrollgängen notiert der Ingenieur den Wasserstand ebenfalls und hat damit eine Möglichkeit in der Hand, die vom Beobachter eingesandte Monatsliste der Wasserstände später auf ihre Genauigkeit hin zu überprüfen. Diese Kontrolle ist nötig und sichert nach kurzer Frist einwandfreies Beobachtungsmaterial.

Frühere Erfahrungen lehren, dass in strengen Wintern die Pegelablesungen gelegentlich vernachlässigt oder nach Gutdünken im Notizbuch eingetragen wurden. Dem Pegelbeobachter an Gebirgsflüssen ist daher beim Einwintern einzuschärfen, das ganze Pegelprofil vom Eise frei zu halten. Sobald dies nicht mehr möglich wird, ist kein Wasserstand einzutragen, an dessen Stelle im Beobachtungsbuch jedoch die Bemerkung zu setzen „Pegel ist vereist“. Während dieser Zeit hat die dem Pegel zugehörige Abflussmengenkurve keine Geltung und es kann die Kontrolle des Abflusses nur mittels direkter Messungen entweder mit Flügel oder, bei kleineren Bächen, mittels Ueberfall erfolgen.

Sobald die täglichen Abflussmengen des zu untersuchenden Flusses über *eine Serie Jahre* ermittelt und *als Dauerkurve* aufgetragen sind, ist es möglich, die grösste Nutzmenge für die Wasserkraftanlage zu bestimmen. Die maximale Schluck-

menge wird natürlich, je nachdem das Kraftwerk seine Energie an eine Stadt oder an einen elektro-chemischen Betrieb abzugeben hat, eine verschieden grosse sein. Um sich keinen Täuschungen über die Grösse des *Mittelwertes der zur Verfügung stehenden Wassermenge* hinzugeben, muss der Ertragswert der untersuchten Periode wenn irgend möglich mit einer zeitlich längeren Beobachtungsreihe verglichen werden. Dies ist dann möglich, wenn im benachbarten Flussgebiet eine länger andauernde Abflussbeobachtung vorliegt oder wenn im Flusseinzugsgebiet schon viele Jahre vor den hydraulischen Beobachtungen die meteorologische Kontrolle eingesetzt hat. Wir erhalten durch meteorologisches Beobachtungsmaterial einige Anhaltspunkte, um die Ergiebigkeit des Flusses während sehr trockener Zeitschnitte abzuschätzen ¹⁾.

Mit dem Zeitpunkt, in welchem die definitive Projektierung der Wasserkraftanlage in Angriff genommen wird, muss zur genauen Abklärung der Gefällsverhältnisse nicht nur bei der Wasserrfassung, sondern auch bei der Zentrale, resp. an derjenigen Stelle, wo das Triebwasser wieder in den Fluss zurückgelangen soll, eine Pegel- oder Limnigraphenstation errichtet werden.

In noch nicht erschlossenen Ländern ist es, um das Verhältnis zwischen Abfluss und Niederschlag zu bestimmen, wichtig, wenn von Anfang an parallel mit den hydraulischen Beobachtungen die meteorologische Kontrolle weitergeführt werden kann. Wird während einigen Jahren das Verhalten der Flüsse und der Niederschläge stetsfort kontrolliert, dann sind, sofern aus früheren Zeiten zuverlässige meteorologische Beobachtungen vorliegen, bereits vorsichtige Schlüsse über den mittleren Abflussertrag möglich.

In der Schweiz sollte der Ertrag des Abflusses nie aus dem gemessenen Niederschlag abgeleitet werden, da es, abgesehen von der unbekannten Verdunstungshöhe, für Berggegenden nicht wohl möglich ist, das Verhältnis zwischen Sommer- und Winterabfluss richtig einzuschätzen.

Der Abfluss ist auch deshalb direkt zu ermitteln, weil streng genommen die meteorologische Beobachtung allein nur für den engen Umkreis der Beobachtungsstelle gilt und kein absolutes Mass für die Höhe des Abflusses ergibt. Meteorologisches Beobachtungsmaterial ist aber trotzdem, wie bereits erwähnt, in vielfacher Hinsicht von Nutzen, erkennen wir doch aus den über viele Jahrzehnte hinreichenden Beobachtungsreihen den Rhythmus im Wechsel nasser und trockener Jahre. Wie viel Wasser etwa vor 40 Jahren in einem Gebirgsfluss abgeflossen ist, lässt sich nachträglich, da man weder Verdunstung noch Versickerung, noch den Gletscherzuschuss kennt, nicht feststellen.

Es muss ferner beachtet werden, dass kein Flussgebiet gleich ist wie das andere und sei es auch noch so benachbart oder geologisch von derselben Struktur. Die *Abflussergebnisse* eines Gewässers *dürfen daher* unter keinen Umständen dem Einzugsgebiet proportional auf den benachbarten, noch *nicht* untersuchten Fluss *übertragen werden*. Sind Vorstudien für neue Wasserkraftanlagen durchzuführen, dann ist die direkte Bearbeitung des Flussgebietes, weil am zuverlässigsten, zu empfehlen.

In der Einleitung wurde angenommen, dass zur Kontrolle der Abflussmengen sich eine genügende Anzahl Pegelstellen in felsigen Flußstrecken vorfinden. Dies ist leider auch in der Schweiz nicht überall der Fall. In verschiedenen Flussgebieten befinden sich Pegelstationen an *Flußstrecken*, welche *in Schotterstrassen* eingebettet sind. In solchen Strecken ändern die Sohlenverhältnisse beinahe nach jeder grösseren Anschwellung. Trotz der Veränderlichkeit des Pegelprofiles ist es, sofern Kosten nicht gescheut werden, möglich, eine genügende Abflussmengenkontrolle durchzuführen. Die Abflussmengenkurve verliert nämlich nach jeder Sohlenveränderung ihre Geltung und es muss so rasch wie möglich eine neue Kurve ermittelt werden. Letzteres ist jedoch erst dann möglich, nachdem bei verschiedenen hohen Wasserständen mindestens drei Wassermessungen durchgeführt worden sind. Die nach-

¹⁾ In trockenen Jahren liefert der Rhein bei Basel nur ca. 60% der mittleren Jahreswassermenge.

träglich bestimmte Abflussmengenkurve erhält in einem solchen Fall rückwirkende Geltung bis zum Tage nach dem Hochwasser.

Bei Flüssen mit stabilen Sohlenverhältnissen genügt jedes Jahr mindestens eine Kontrollmessung.

Die Erstellung einer Wasserkraftanlage benötigt grosse finanzielle Mittel. Damit eine, den hohen Ausgaben entsprechend genaue Vorarbeit möglich wird, sollten von Anfang an auch genügende Kredite zur Ermittlung der Wasserverhältnisse bewilligt werden. Sind die Kredite bereitgestellt, dann ist es, um zuverlässige Unterlagen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des projektierten Werkes zu gewinnen, am zweckmässigsten, wenn das entsprechende Flussgebiet im oben dargelegten Sinne untersucht wird.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Konferenzen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (I. E. C.) in New York im April 1926.¹⁾

Bericht

von A. Huber-Ruf, Baden.

Die im Jahre 1904 gegründete Internationale Elektrotechnische Kommission hielt dieses Jahr zum erstenmal ihre Konferenzen in den Vereinigten Staaten von Amerika ab.

Die Technischen Komitees der Internationalen Elektrotechnischen Kommission tagten während der Zeit vom 14. bis 21. April in New York. An den Beratungen nahmen die Vertreter von 18 verschiedenen Staaten teil.

Den Abschluss der Konferenzen bildete die Vollversammlung vom 21. April 1926. Die Arbeiten der Technischen Komitees, soweit sie zur Genehmigung vorlagen, wurden dieser Vollversammlung unterbreitet.

Der folgende Bericht gibt eine Uebersicht über die in der Vollversammlung behandelten Traktanden.

Diejenigen Fragen, welche nochmals den nationalen Komitees unterbreitet werden müssen, sind in den Protokollen der Technischen Komitees, CEI Publikation 36, Seiten 85 bis 160 (in englischer Sprache) enthalten und werden Gegenstand eines weitem Berichtes bilden.

Vollversammlung vom Mittwoch, den 21. April 1926.

Konferenzteilnehmer:

Chairman, Hr. Guido Semenza, Präsident.
Hr. Dr. C. O. Mailloux, E. E., D. Sc. (Honorary President).
Hr. Colonel R. E. Crompton, C. B. (Honorary President).
Sir Richard Glazebrook, K. C. B. (Honorary Secretary).

¹⁾ Siehe auch Mitteilungen im Bulletin S. E. V. 1926, No. 3, Seite 98.

Belgien:

Hr. L. Colson.
" Baron C. Forgeur.
" E. Uytbork.

Tschechoslowakei:

Hr. Prof. V. List.

Chili:

Hr. Ing. Domingo Santa Maria.

Frankreich:

Hr. G. Darrieus.
" E. Genissieu.
" P. Girault.
" E. Roth.

Deutschland:

Hr. Dr. L. Fleischmann.
" Dr. M. Kloss.
" Dr. Moldenhauer.
" Dr. R. Rüdenberg.
" Dr. P. Schirp.
" Dr. K. Strecker.
" Dr. K. W. Wagner.

Grossbritannien:

Hr. L. B. Atkinson.
" S. C. Bartholomew.
" E. G. Batt.
" W. S. Burge.
" Lt. Colonel K. Edgumbe.
" A. R. Everest.
" Percy Good.
" C. Rodgers.
" J. S. Peck.
" T. Roles.
" C. P. Sparks.
" F. Wallis.

Holland:

Hr. Prof. C. Feldmann.
" M. T. Roskopf.
" W. H. Tromp.
" C. N. Van der Bilt.
" A. C. Van der Well.

Italien:

Hr. F. Clerici.
" O. Ferella.
" Prof. L. Lombardi.
" E. Morelli.
" N. Ratti.
" R. Vallauri.

Japan:

Hr. K. Ishikawa.
" H. Mori.
" T. Tada.
" Y. Yanagisawa.

Norwegen:

Hr. K. Heiberg.

Polen:

Hr. Prof. K. Drewnoski.

Russland:

Hr. Prof. M. Chatelain.

Schweden:

Hr. A. Enstrom.
" E. C. Ericson.
" S. Norberg.
" H. Nystrom.

Schweiz:

Hr. Dr. E. Huber-Stockar.
" A. Huber-Ruf.
" C. Hoenig.
" M. F. Denzler.

Vereinigte Staaten:

Hr. Prof. C. A. Adams.
" C. A. Bates.
" F. W. Breth.
" F. M. Farmer.
" W. H. Fulweiler.
" H. H. de Goede.
" H. M. Hobart.
" Dr. A. E. Kennelly.
" C. B. Le Page.
" Dr. F. R. Low.
" F. V. Magalhaes.