

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Effektbestimmung eines Wasserlaufes

[urn:nbn:de:bsz:31-270981](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270981)

wissen Höhe ansteigt. Dies ist für die Bayarbeiten sehr störend, hinderlich und nachtheilig. Dieses Grubenwasser muss daher, um die Fundamentarbeiten durchführen zu können, weggeschafft werden, und zwar durch Anwendung von Einrichtungen und Maschinen, die mit trübem, schlammigem Wasser arbeiten können.

Insbesondere in den Bergwerken sammeln sich grosse Wassermengen, indem durch die Schachte die wasserdichten Schichten durchbrochen werden, daher alle Horizontalwasser in den Schacht eindringen und in dessen Tiefe (Teufe) sich sammeln. Auch dieses Grubenwasser ist mehr oder weniger schlammig unrein und enthält noch zuweilen unorganische Säuren aufgelöst. Diese Beschaffenheit des Grubenwassers erschwert die Förderung (Herausschaffung desselben durch Anwendung von Pumpen oder andere Wasserhebungsmaschinen) in nicht geringem Grade.

Effekt-Bestimmung eines Wasserlaufes.

Messung des Gefälls. Zur Bestimmung des absoluten Effektes einer Wasserkraft sind dreierlei Messungen nothwendig. Nämlich das Gefälle, die Geschwindigkeit des Wassers und die Wassermenge, welche in jeder Sekunde durch einen bestimmten Querschnitt des Wasserlaufes fliesst. Es soll in Folgendem erklärt werden, wie diese Messungen vorzunehmen sind.

Die Methode zur Bestimmung eines Gefälls richtet sich nach der Beschaffenheit desselben. Ist das Gefälle ganz konzentriert, ist also ein natürlicher Wasserfall vorhanden oder, was dasselbe heisst, befinden sich die zwei Punkte, deren Höhenunterschied gemessen werden soll, genau oder nahe in einer und derselben Vertikallinie übereinander, so kann das Gefälle direkt entweder mit einem Senkel oder vermittelst einer Messlatte gemessen werden. Ist das Gefälle an einem mehr oder weniger steilen Bergabhang, so bedient man sich zur Messung desselben am zweckmässigsten einer Messlatte mit Wasserwaage und Messlatte.

Ist das Terrain schwach geneigt, d. h. ist die Horizontaldistanz der Punkte, deren Höhenunterschied gemessen werden soll, sehr gross im Vergleich zu dem letzteren, so leistet ein empfindliches Nivellirinstrument mit Fernrohr und Wasserwaage die besten Dienste. Dabei ist die Methode zu empfehlen, nach welcher das Nivellirinstrument immer in der Mitte der Stationen aufgestellt und sowohl nach vorwärts als nach rückwärts visirt wird. Die Vortheile, welche diese Art zu nivelliren darbietet, sind folgende: 1) kann man selbst mit einem nicht rektifizirten Instrument ganz genaue Resultate er-

halten, wenn nur die Libelle empfindlich und das Fernrohr scharf ist; 2) kann bei diesem Verfahren durch die Refraktion kein Fehler entstehen; 3) ist bei diesem Verfahren eine Korrektion wegen des Unterschiedes zwischen dem wahren und dem scheinbaren Horizont nicht nothwendig; 4) hat man bei diesem Verfahren das Nivellirinstrument nur halbmal so oft aufzustellen, als bei den übrigen Methoden.

Messung der Geschwindigkeit des Wassers. Selbst bei einem Wasserlauf in einem ganz regelmässig gebildeten geraden Kanale ist die Geschwindigkeit der Bewegung der Wassertheilchen nicht konstant. Die Adhäsion des Wassers am Boden und an den Wänden verursacht einen gewissen Widerstand, welcher zur Folge hat, dass die Strömungs-Geschwindigkeit an der Oberfläche und in der Mitte derselben am grössten ist und von da an gegen den Boden hinab und nach den Wänden hin abnimmt. Diese grösste Geschwindigkeit kann mit einer für praktische Zwecke hinreichenden Genauigkeit mittelst eines Schwimmers gemessen werden, indem man längs des Wasserlaufes eine gewisse Wegstrecke s abmisst und aussteckt, dann mittelst einer Sekundenuhr die Zeit t misst, die ein Schwimmer braucht, um längs dieser Wegstrecke im Wasser fortzuschwimmen. Der Quotient $\frac{s}{t}$ gibt dann die grösste Geschwindigkeit u des Wassers. Als Schwimmer kann man sich einer kleinen Bouteille bedienen, die durch Sand oder Kies so tarirt wird, dass sie in aufrechter Stellung im Wasser so weit eingetaucht schwimmt, dass nur der obere Theil des Halses aus dem Wasser herausragt.

Sowohl diese grösste Geschwindigkeit, wie auch die Geschwindigkeit, die in einem beliebigen Punkt des Querschnittes des Wasserlaufes stattfindet, kann auch mit einem Woltmann'schen Flügel gemessen werden, wenn man den Coefficienten des Instrumentes durch Versuche genau ermittelt hat, d. h. wenn man durch Versuche die Zahl gesucht hat, mit welcher man die Anzahl der Umdrehungen des Flügels multiplizieren muss, um die diesen Umdrehungen entsprechende Geschwindigkeit des Wassers zu finden.

Mittlere Geschwindigkeit der Strömung eines Wasserlaufes nennt man diejenige konstante Geschwindigkeit, mit welcher alle Wassertheilchen durch einen bestimmten Querschnitt eines Wasserlaufes fließen müssten, damit durch den Querschnitt eine eben so grosse Wassermenge fließen würde, als bei der wirklichen veränderlichen Geschwindigkeit durchfließt. *Prony* hat durch Versuche

an Kanälen diese Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der grössten Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht und hat folgende empirische Formel aufgestellt:

$$u = U \frac{U + 2.37}{U + 3.15} \dots \dots \dots (1)$$

Die Resultate, welche diese mit den Erfahrungen gut zusammenstimmende Formel gibt, sind in der Tabelle Seite 125 der Resultate, 4. Auflage, enthalten.

Bestimmung der Wassermenge eines Wasserlaufes. Die Wassermenge eines Wasserlaufes kann vermittelt eines Schwimmers oder vermittelt eines künstlich angelegten Ueberfall-Wehres gemessen werden. Die erstere Methode ist für einen wohl geregelten, die letztere auch für einen ungeregelten Wasserlauf anwendbar. Um die Wassermenge vermittelt eines Schwimmers zu messen, bestimmt man zuerst vermittelt des Schwimmers die grösste in der Mitte des Wasserlaufes stattfindende Geschwindigkeit U , berechnet hierauf vermittelt der obigen von Prony aufgestellten Formel (1) die entsprechende mittlere Geschwindigkeit u und bestimmt noch das Querprofil des Wasserlaufes, indem man in verschiedenen Entfernungen vom Ufer die Wassertiefen misst, die in einem und demselben Querschnitt vorkommen. Berechnet man hieraus den Querschnitt Ω und multipliziert denselben mit der mittleren Geschwindigkeit u , so erhält man durch das Produkt Ωu die zu berechnende Wassermenge, welche in jeder Sekunde durch den Querschnitt strömt.

Um diese Wassermenge vermittelt eines künstlichen Wehres zu messen, errichtet man aus starken Brettern quer über den Wasserlauf ein Ueberfallwehr, verdichtet dasselbe am Boden und an den Seiten sorgfältig mit fettem Thon, mit Moos oder mit Werg, lässt hierauf das Wasser über das Wehr abfliessen, misst die Breite b des Wasserstrahles und die Höhe h des Wasserspiegels in einiger Entfernung vor dem Wehr über der horizontalen Ueberfallkante desselben. Vermittelt dieser Daten findet man dann die in jeder Sekunde über das Wehr abfliessende Wassermenge Q in Kubikmetern vermittelt nachstehender Formel:

$$Q = \left(0.351 + 0.062 \frac{b}{B} \right) b h \sqrt{2 g h} \dots \dots \dots (2)$$

vorausgesetzt, dass das Wehr folgende Eigenschaften hat:

- 1) Muss der Querschnitt des Wasserkörpers im Zuflusskanal wenigstens 5 mal grösser sein, als der Querschnitt $b h$,
- 2) muss die Breite b des Ueberfalles wenigstens den dritten Theil von der Kanalbreite B betragen,
- 3) muss der Ueberfall mit einer horizontalen und scharfen Kante versehen sein,
- 4) muss sich die Kante des Ueberfalls wenigstens in einer Höhe $2 h$ über dem Spiegel des Unterwassers befinden.

In dieser Formel bedeutet B die Kanalbreite, b die Ueberfallbreite. Wenn der Ueberfall eben so breit ist, als der Kanal, d. h. wenn $b = B$ ist, gibt die Formel

$$Q = 0.443 b h \sqrt{2 g h} \dots \dots \dots (3)$$

Die Formel (2) ist eine durch Versuchsergebnisse korrigirte unvollkommene theoretische Formel und ist auf folgende Art entstanden.

Man findet die wahre über das Wehr abfliessende Wassermenge Q durch das Product aus dem wahren Querschnitt des Wasserstrahles an der Kante des Ueberfalles in die wahre mittlere Geschwindigkeit des Wassers in diesem Querschnitt. Der wahre Querschnitt des Strahles, gemessen an der Kante, ist aber offenbar kleiner, als das Product $b h$ und die wahre mittlere Geschwindigkeit ist offenbar kleiner, als die Geschwindigkeit $\sqrt{2 g h}$ mit der ein Wassertheilchen an der Kante des Ueberfalls austritt.

Nimmt man nun das Product $b h \sqrt{2 g h}$, so muss dasselbe grösser sein, als die wahre Wassermenge.

Nennt man nun k den Korrektions-Coeffizienten, mit welchem $b h \sqrt{2 g h}$ multiplizirt werden muss, um den wahren Werth von Q zu erhalten, so hat man

$$Q = k b h \sqrt{2 g h} \dots \dots \dots (4)$$

Zur Bestimmung von k sind mannigfaltige Versuche angestellt worden, insbesondere ist dies geschehen durch *Poncelet* und *Lebros*, ferner durch *Kastel* in Toulouse. Die ersteren dieser Versuche wurden mit einem Wehr von nur 0.2 Meter Breite angestellt, die Versuche von *Kastel* dagegen mit einem Wehr von einem Meter Breite. Da die Wehre, welche man zur Messung der Wassermengen der Wasserläufe erbaut, in der Regel 2, 3, 4 Meter Breite haben, so verdienen die Werthe von k , welche mit einem Wehr von einem Meter Breite gefunden wurden, unter sonst gleichen Umständen gewiss mehr Vertrauen, als jene, die durch Versuche mit einem Wehr von nur 0.2 Meter Breite gefunden wurden.

Ich habe daher zur Bestimmung von k die Versuchsergebnisse von Kastel jenen von Poncelet vorgezogen. Dabei hat es sich gezeigt, dass der Coefficient k nicht konstant, sondern mit dem Verhältniss $\frac{b}{B}$ etwas variabel ist, und dass man mit den Versuchsergebnissen nahe übereinstimmende Werthe erhält, wenn man nimmt

$$k = 0.381 + 0.062 \frac{b}{B} \dots \dots \dots (5)$$

Vermittelst dieses Werthes von k verwandelt sich die Formel (4) in die Formel (2). Allein es ist zu bezweifeln, dass dieser Werth von k unter allen Umständen ein für praktische Zwecke hinreichend genaues Resultat geben kann; es ist im Gegentheil wahrscheinlich, dass der wahre Werth von k nicht nur von $\frac{b}{B}$, sondern auch von der absoluten Breite b des Ueberfalles abhängt und mit derselben etwas wächst, weil der Einfluss der seitlichen Contractionen bei einem schmalen Wehr gross, bei einem breiten Wehr klein ausfällt. Indessen einstweilen bis genaue Versuche mit breiten Wehren angestellt werden, bleibt nichts anderes übrig, als sich mit den Versuchsergebnissen von Kastel zu begnügen.

Was die praktische Herstellung eines Wehres zum Behufe der Wassermessung betrifft, so ist diese leichter gesagt als gethan. Man muss zum Behufe dieser Herstellung das Wasser aus dem Kanal ableiten, was oftmals mit Schwierigkeiten verbunden ist, muss ferner dafür sorgen, dass das Wehr ringsum dicht ist, was wohl bei regelmässigen Kanalwänden und Kanalboden leicht geschehen kann, aber bei einem natürlichen Wasserlauf in Sand- oder Geröllboden mit nicht geringen Schwierigkeiten verbunden ist, weil man sich doch einen bedeutenden Kostenaufwand nicht gefallen lassen will.

Um den technischen Werth eines Wasserlaufes zu bestimmen, ist eine genaue Bestimmung der in einem beliebigen Zeitmoment vorhandenen Wassermenge nicht genügend, sondern man muss einen solchen Zeitmoment wählen, in welchem ungefähr die mittlere Wassermenge abfließt, muss aber auch suchen die kleinste und grösste Wassermenge kennen zu lernen. Für sehr wichtige grössere Maschinenanlagen wird man am besten thun, ein Versuchswehr so dauerhaft herzustellen, dass es für die Dauer eines Jahres dicht und fest hält, um die Wasserquantität oftmals und insbesondere wenn Aenderungen sichtlich eintreten zu bestimmen. Ueberhaupt kann man bei diesen Bestimmungen über das Gefälle, die Wassermenge und Beschaffenheit des Wassers nicht vorsichtig genug sein. Sehr

oftmals ist es schon vorgekommen, dass leichtsinnig oder oberflächlich oder mit nicht genügender Sachkenntniss verfahren wurde, und dass die kostspieligsten Einrichtungen auf ungenaue oder fehlerhafte Daten getroffen wurden, so dass dann nachträglich Ergänzungsbauten mit Dampfmaschinen hergestellt werden mussten, um zu allen Zeiten einen geordneten Fabrikbetrieb durchführen zu können.

Der technische Werth einer Wasserkraft. Um zu entscheiden, ob es rathsam ist, die an einem bestimmten Ort vorhandene Wasserkraft zum Betrieb einer Fabrik zu benützen oder mit andern Worten, um die geeignete Baustelle für eine zu errichtende Fabrik von gewisser Ausdehnung zu bestimmen, muss man Nachstehendes in Erwägung ziehen.

Ob der Ort, an welchem eine reichliche Wasserkraft vorhanden ist, für den Betrieb einer Fabrik geeignet ist. Wir haben schon früher, Seite 9, erklärt, dass Lokalitäten im Hochgebirge in der Regel die Eigenschaften nicht besitzen, welche für einen geordneten, sicheren und vortheilhaften Fabrikbetrieb wünschenswerth und nothwendig sind, dass dagegen das Hügel- und Flachland in den meisten Fällen am geeignetsten ist.

Grössere Fabriken sollen immer reichlich mit Betriebskraft versehen sein, so dass ein ungestörter geregelter Betrieb selbst unter ungünstigen Umständen noch möglich ist. Um dem kostspieligen Betrieb mit Dampfmaschinen auszuweichen, wird man daher stets zu suchen haben, eine Wasserkraft ausfindig zu machen, die selbst beim geringsten Wasserzfluss die zum Betrieb nothwendige Kraft liefert. Kann man in der Gegend, in welcher man die Fabrik anlegen will, eine solche Wasserkraft nicht ausfindig machen, sondern nur eine solche, die zwar bei mittlerer Wassermenge hinreichende Kraft darbietet, beim kleinsten Wasserlauf aber nicht, so bleibt freilich nichts anderes übrig, als die Herstellung einer Dampfmaschine, die so viel Kraft entwickelt, als dem Unterschied zwischen der mittleren und kleinsten Wasserkraft entspricht, und die hydraulische Kraftmaschine für die mittlere Wassermenge einzurichten.

In rein theoretischer Hinsicht enthalten zwei Wasserläufe gleiche Leistungsfähigkeiten, wenn ihre absoluten Effekte 1000 Q H und 1000 Q, H, gleich gross sind. Allein in praktischer Hinsicht kann zwischen zwei solchen Wasserläufen ein grosser Unterschied bestehen. Sowohl die Einrichtung für Wasserkräfte mit sehr grossem Gefälle und sehr kleiner Wassermenge, als auch für Wasserkräfte

mit ganz kleinem Gefälle und sehr grosser Wassermenge fallen jederzeit, man mag Turbinen oder Wasserräder anwenden, sehr ungünstig aus. Am besten ist es immer, wenn der Wasserlauf in keiner Hinsicht irgend eine Extravaganz enthält.

Durch eine Vergleichung einer grossen Anzahl von bestehenden Wasserbauten habe ich gefunden, dass die Einrichtungen in jeder Hinsicht den praktischen Anforderungen entsprechen, wenn sich das Gefälle H nicht viel von demjenigen entfernt, welches die folgende Formel bestimmt:

$$H = 1 + \frac{N_n}{10} \quad \text{wobei } H = 3 \left[1 + \frac{1}{9} N_n \right] \text{ in f. Pa.}$$

für $N_n = 4 \quad 10 \quad 20 \quad 40 \quad 60 \quad 80$

wird $H = 1.4 \quad 2.0 \quad 3.0 \quad 5.0 \quad 7.0 \quad 9.0$

Hat man zwischen mehreren Gefällen zu wählen, so wird man demjenigen den Vorzug geben, welches mit dieser Regel am nächsten übereinstimmt.

Da die Wassermenge eines Wasserlaufes überhaupt veränderlich ist, so kommt es bei der Anlage einer Fabrik nicht so sehr darauf an, die in einem bestimmten Zeitmoment vorhandene Wassermenge mit höchster Genauigkeit zu bestimmen, sondern man muss vielmehr dahin streben, durch oftmals und zu verschiedenen Zeiten wiederholte Messungen die quantitativen Verhältnisse des Wasserlaufes in einem vollen Jahreslauf kennen zu lernen. Allerdings ist dies nur dann nothwendig, wenn eine Wasserkraft mit einer kleinen Wassermenge zum Betriebe der zu errichtenden Fabrik nicht oder kaum ausreicht. Nebstdem, dass man sich über die quantitativen Verhältnisse ganz verlässlich unterrichtet, ist es auch rathsam, die qualitative Beschaffenheit des Wassers und dessen Herkommen zu erforschen. Dies kann theils durch eigene Beobachtungen und Rekognoszirungen des ganzen Wasserlaufes bis an seine Quellen, theils durch Einziehung von Erkundigungen bei den Bewohnern der Gegend geschehen. Forstleute, Geologen, Geometer und Müller sind oftmals in der Lage, beachtenswerthe Mittheilungen machen zu können. Namentlich wird man zu erforschen suchen, ob in der Gegend viele Quellen vorkommen, wie die Temperatur des Wassers zu verschiedenen Jahreszeiten ist, ob sich im Winter viel Eis bildet, ob und bejahenden Falls, welche Wasserquantitäten zu gewissen Jahreszeiten zu Wiesenbewässerungen verwendet werden; dann aber wird man sich insbesondere über die Eigenthumsverhältnisse der

Umgegend des Orts, wo sich Wasserkraft vorfindet, auf das Genaueste zu unterrichten suchen, um zu erfahren, ob und unter welchen Bedingungen, so wie für welche Geldopfer der Grund und Boden, auf welchem die verschiedenen Bauten hergestellt werden müssten, als Eigenthum erworben werden kann. Dies alles erfordert einen Mann, der nicht nur technische Kenntnisse, sondern auch Menschenkenntniss, Geschäftskentniss und Lebenserfahrung besitzt.

Hat man alle Verhältnisse, welche den technischen Werth eines Wasserlaufes bestimmen, zuverlässig erforscht und für die Anlage einer Fabrik günstig gefunden, und ist man so glücklich gewesen, hierauf das Wasserbenutzungsrecht, so wie den zur Ausführung der verschiedenen Bauten erforderlichen Boden als Eigenthum zu erwerben, so kann man endlich mit dem Studium der zur Fassung und Leitung des Wassers erforderlichen Einrichtungen schreiten. Davon haben wir im Nachfolgenden zu sprechen.

Fassung und Leitung des Wassers. Anlage der Wehre, Kanäle, Wasserleitungen.

Allgemeines. Um die Wirkungsfähigkeit, welche in einem Wasserlaufe enthalten ist, mittelst einer Kraftmaschine aufzusammeln, muss das natürliche Gefälle, welches der Wasserlauf auf eine gewisse Strecke seines Laufes darbietet, nach einem bestimmten Punkt in der Weise konzentriert werden, dass daselbst ein künstlicher Wasserfall entsteht, dessen Höhe gleich ist jener des Gefälles. Dies geschieht durch Wehre, durch Kanäle oder durch eine Wasserleitung in Röhren. Von dieser Fassung und Leitung haben wir nun zu sprechen.

Anlage der Wehre.

Wirkung eines Wehres. Ein Wehr ist ein dammartiger, quer durch den Fluss gelegter Einbau, wodurch das Wasser gestaut, und ein im Flusse vorhandenes natürliches Gefälle konzentriert wird.

Ist z. B., Fig. 1, Tafel I. A B C D das Flussbett, A, B, C, D, die Oberfläche des Wassers im Flusse vor der Errichtung des Baues, so kann das zwischen den Punkten B und C vorhandene Gefälle nach C hin konzentriert werden, wenn man daselbst einen dammartigen Querbau errichtet, dessen Scheitel nahe so hoch ist, als der Wasserspiegel bei B, denn errichtet man einen solchen Bau, so sammelt sich das