

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Theorie und Bau der Wasserräder

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1846

Sechster Abschnitt. Wehre und Kanäle

[urn:nbn:de:bsz:31-282850](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282850)

Sechster Abschnitt.

Wehre und Kanäle.

Die natürlichen Gefälle der Bäche und Flüsse sind meistens mit der Jahreszeit veränderlich, haben oftmals nicht die wünschenswerthe Grösse und sind fast nie an einen bestimmten Ort concentrirt, wie es zum Betriebe eines Wasserrades nothwendig ist. Man kann desshalb die natürlichen Gefälle fast nie unmittelbar benutzen, sondern sie müssen erst durch einen geeigneten Wasserbau in künstliche Wasserfälle verwandelt werden, was in der Regel entweder durch ein Wehr oder durch einen Kanal oder endlich durch die vereinte Anwendung eines Wehres und Kanales geschieht.

Unter welchen Umständen die Anlage eines Wehres nothwendig, und unter welchen Umständen dieselbe zweckmässig ist.

Der Bau eines Wehres ist nur dann möglich, wenn es die Verhältnisse erlauben, dass auf eine längere Strecke der Wasserspiegel über seinen natürlichen Stand gehoben werden darf.

Der Bau eines Wehres ist unter folgenden Umständen nothwendig oder zweckmässig: 1) wenn kein natürliches Gefälle vorhanden ist, und ein künstliches Gefälle hervorgebracht werden soll; 2) wenn das vorhandene natürliche Gefälle nicht die wünschenswerthe Grösse hat, daher durch einen künstlichen Bau vermehrt werden soll; 3) wenn in dem Flusse oder Bache auf eine kurze Strecke ein starkes Gefälle vorhanden ist, das auf einen Punkt concentrirt werden soll; 4) wenn die Veränderungen des Wasserstandes eines Flusses oder Baches vermindert oder aufgehoben werden sollen; 5) wenn das Gefälle, welches durch die Stauung des Wassers hervorgebracht werden soll, nicht zu gross ist und höchstens 2.5^m beträgt; 6) wenn zwei oder mehrere von den so eben angeführten Umständen vorhanden sind.

Unter welchen Umständen soll ein Kanal angelegt werden ?

Ein Kanal soll angelegt werden, 1) wenn es die Lokalverhältnisse nicht erlauben, das Rad in das Flussgebiet zu verlegen; 2) wenn das Wasserrad und das zu betreibende Werk gegen die Einwirkung der Hochwasser geschützt werden sollen; 3) wenn das zu betreibende Werk wegen bestehender Eigenthums- oder Lokalverhältnisse an einem gewissen Orte in der Nähe des Flusses erbaut werden muss, nach welchem Orte ein Kanal geführt werden kann; 4) wenn ein bedeutenderes Gefälle, welches ein Bach oder ein Fluss auf einer langen Strecke des Laufes darbietet, zum Betriebe eines Werkes benutzt werden soll.

Unter welchen Umständen soll ein Kanal und ein Wehr gebaut werden ?

Die vereinte Anordnung eines Wehres und eines Kanales kann 1) nothwendig, 2) wünschenswerth, 3) unnöthig sein.

Sie ist nothwendig, wenn überhaupt die Umstände von der Art sind, dass sie sowohl auf den Bau eines Wehres, als auch auf jenen eines Kanals entschieden hinweisen. Sie ist in der Regel wünschenswerth, wenn ein Kanal angelegt werden muss, damit das Wasser leichter und gleichförmiger in den Kanal eintritt. Sie ist endlich unnöthig, wenn mit einem Wehre allein der Zweck erreicht werden kann, und wenn das Werk in den Fluss hineingebaut werden muss.

Eintheilung der Wehre.

Die Wehre werden eingetheilt in 1) vollkommene Wehre oder Ueberfallwehre, 2) unvollkommene Wehre oder Grundwehre, 3) Schleussenwehre, 4) combinirte Wehre aus Ueberfällen und Schleussen. Die ersteren werden durch einen dammartigen, quer über den Fluss sich erstreckenden Einbau mit horizontalem Scheitel gebildet, welcher höher liegt, als der Wasserspiegel im Flusse vor dem Einbau. Grundwehre werden ähnliche Einbauten von kleinerer Höhe genannt, wenn der Scheitel niedriger liegt, als der ungestaute Wasserspiegel vor dem Einbau. Schleussenwehre können alle diejenigen Einbauten genannt werden, deren stauende Wirkung nach Belieben regulirt oder ganz beseitigt werden kann. Gewöhnlich bestehen sie aus einem oder aus mehreren nach verticaler Richtung beweglichen Schiebern, welche, wenn sie niedergelassen sind, das Wasser im Flusse zurückhalten, es aber, wenn sie mehr oder weniger aufgezogen werden, in grösserer oder geringerer

Quantität an ihrer unteren Kante austreten lassen. Auf diese Weise kann durch ein Schleussenwehr der Wasserstand vor demselben immer auf einer gewissen Höhe erhalten werden, vorausgesetzt, dass der Wasserzfluss nicht gar zu veränderlich ist. Was unter einem combinirten Wehr zu verstehen ist, bedarf keiner Erklärung.

Umstände, welche bestimmen, was für ein Wehr erbaut werden soll.

Ein Grundwehr wird angelegt, wenn die Wassermenge nicht bedeutend veränderlich und die Stauung, welche durch das Wehr hervorgerufen werden soll, nicht bedeutend ist.

Ein vollkommenes Ueberfallwehr wird angelegt, wenn die Wassermenge nicht bedeutend veränderlich und die hervorzubringende Stauung gross ist.

Ein Schleussenwehr wird angelegt, wenn bei höchstem Wasserstand die Lokalverhältnisse gar keine Stauung gestatten.

Ein Ueberfall-Schleussenwehr wird angelegt, wenn bei einem sehr veränderlichen Wasserzfluss der Wasserstand ober dem Wehr immer nahe auf derselben Höhe erhalten werden soll.

In den meisten Fällen weisen die Umstände auf ein Ueberfall-Schleussenwehr hin.

Genauere Entscheidung der Frage, ob ein Grund- oder ein Ueberfallwehr angelegt werden soll.

Es sei:

h die Stauung, welche durch das Wehr hervorgerufen werden soll;
b die Breite des Wehres, welche in der Regel mit jener der Flussbreite übereinstimmt, manchmal aber auch grösser angenommen wird;

Q die Wassermenge, welche in jeder Sekunde über das Wehr abfliessen soll.

Diess vorausgesetzt, ist die Wassermenge, welche bei einer Stauung **h** über ein Wehr von der Breite **b** abfliessen würde, dessen Krone bis zu dem vor dem Einbau vorhandenen Wasserspiegel reichen würde, Fig. 64,

$$0.42 \, b \, h \, \sqrt{2 \, g \, h}$$

Ist nun diese Wassermenge genau $= Q$, so muss die Krone des zu erbauenden Wehres bis an den ursprünglich vorhandenen

Wasserspiegel reichen. Ist dagegen obige Wassermenge grösser oder kleiner als Q , so muss im ersteren Falle ein vollkommenes Ueberfallwehr, und im letzteren ein Grundwehr angelegt werden.

Die Höhe eines vollkommenen Ueberfallwehrs, Fig. 65, wird auf folgende Art berechnet:

Es sei $a b$ das Bett des Flusses, $a_1 b_1$ die Oberfläche des Wassers vor dem Einbau, DA die Tangente an die gestaute Oberfläche des Wassers, $AC = h$ die hervorzubringende Stauung, $AB = x$ die Höhe des gestauten Wasserspiegels in einiger Entfernung von dem Wehr über dem Scheitel des letzteren, b die Breite des Wehrs.

Diess vorausgesetzt ist:

$$Q = 0.42 b x \cdot \sqrt{2 g x}$$

und daraus folgt:

$$x = \left(\frac{Q}{0.42 b \sqrt{2 g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Die Werthe von x und Q kann man auch mittelst der Tabelle III. bestimmen, mit welcher das Buch schliesst.

Ist x bestimmt, so hat man für die Höhe der Krone über dem ursprünglichen Wasserstand $a_1 b_1$, $h - x$.

Die Höhe BE des Wasserstandes unmittelbar über dem Scheitel des Wehres ist annähernd

$$BE = \frac{4}{5} x$$

Die Höhe eines Grundwehres wird auf folgende Weise bestimmt. Es sei $AC = h$ die Stauung, welche durch das Wehr hervorgebracht werden soll. $CB = x$ die Tiefe der Wehrkrone unter dem ursprünglichen Wasserspiegel, b die Breite des Wehres, Q die Wassermenge in Kub. M., welche p 1^a über das Wehr abfliessen soll. Diess vorausgesetzt, ist nach bekannten Regeln

$$Q = 0.42 b h \sqrt{2 g h} + 0.62 b x \sqrt{2 g h}$$

und daraus folgt:

$$x = \frac{Q - 0.42 b h \sqrt{2 g h}}{0.62 b \sqrt{2 g h}}$$

oder auch

$$x = \frac{Q}{0.62 b \sqrt{2 g h}} - 0.674 h$$

Die Stauweite, das heisst die Entfernung, auf welche sich die Stauung stromaufwärts erstreckt, kann durch einfachere Formeln nicht genau berechnet werden. Als Schätzung kann folgende Rechnung dienen:

Nennt man α den Neigungswinkel der Oberfläche des Wassers vor dem Einbau stromaufwärts von dem Querschnitte an, in welchen das Wehr erbaut werden soll und betrachtet die gestaute Wasserfläche als eine horizontale Ebene, so ist die Stauweite

$$h \cotg. \alpha$$

Zu einer genaueren Bestimmung dieses Elementes muss man zu dem weitläufigen von *Belanger* und *Navier* aufgestellten Verfahren seine Zuflucht nehmen.

Berechnung eines Ueberfall-Schleussen-Wehres.

Nehmen wir an, die beiden Wehre sollen eines neben dem andern quer über den Strom angelegt werden.

Nennen wir

q die Wassermenge, welche bei dem kleinsten Wasserstande über das Ueberfallwehr abfliessen soll;

Q die Wassermenge, welche bei Hochwasser über das Ueberfallwehr und durch die ganz geöffnete Schleusse abfliessen soll;

b die Summe der Breiten beider Wehre;

y die Breite der Schleusse;

H die Stauung bei dem kleinsten Wasserstande;

h den Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstande, welcher oberhalb des Wehres eintreten darf;

h_1 den Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstande unterhalb des Wehres;

x die Tiefe der Krone des Ueberfallwehres unter dem oberen Wasserspiegel beim kleinsten Wasserstande, wenn die Wassermenge q über das Ueberfallwehr abfließt.

Vorausgesetzt, dass das Wehr einen vollkommenen Ueberfall bildet, und dass die Grundschwelle der Schleusse mit dem höchsten Wasserstand unterhalb des Wehres zusammenfällt, hat man die Gleichungen

$$q = 0.42 (b - y) x \sqrt{2gx}$$

$$Q = 0.42 (b - y) (x^2 + h) \sqrt{2g(x + h)} + \\ + 0.42 y (H + h - h_1) \sqrt{2g(H + h - h_1)}$$

aus welchen die Werthe von x und y am leichtesten durch Versuche bestimmt werden, indem man für x einen Werth annimmt, dann aus der ersten Gleichung den Werth von y sucht, und dann nachsieht, ob diese Werthe von x und y auch der zweiten Gleichung genügen u. s. f.

Führung der Kanäle.

Um mit einem möglichst kurzen Kanale ein Gefälle von wünschenswerther Grösse zu erhalten, sucht man immer solche Strecken zu wählen, auf welchen im Flusse ein starkes relatives Gefälle vorhanden ist. Ist das umliegende Land eben, so eignen sich zur Anlage eines Kanales vorzugsweise Flusskrümmungen mit starkem relativem Gefälle. Der Kanal wird in diesem Falle, so weit es die Lokal- und Eigenthumsverhältnisse erlauben, auf der concaven Seite des Flusses in möglichst gerader Linie geführt.

Die wichtigsten Bestimmungen, welche bei der Anlage eines solchen Kanales vorkommen, sind 1) die Ein- und Ausmündungspunkte, 2) die Verbindungslinie zwischen diesen Punkten, 3) der Ort des Kanals, an welchem das Werk anzulegen ist.

Die Ein- und Ausmündungspunkte werden vorzugsweise durch das Gefälle bestimmt, welches hervorgebracht werden soll. Die Verbindungslinie dieser Punkte richtet sich, wie schon gesagt, nach den Lokal- und Eigenthumsverhältnissen.

Wenn nicht durch Eigenthumsverhältnisse oder durch andere nicht technische Rücksichten der Ort für die Anlage des Werkes vorgeschrieben wird, ist es in der Regel am zweckmässigsten, wenn das Werk in der Nähe der Einmündung des Kanales angelegt wird, so dass also der Obergraben kurz und der Untergraben lang ausfällt. Die Gründe, welche für eine solche Anlage sprechen, sind folgende:

1) Ist der Obergraben kurz, so befindet sich die Einlassschleusse des Kanals in der Nähe der Fabrik. Das Aufziehen, Abstellen, Reinigen, und überhaupt die Beaufsichtigung und Bedienung der Schleusse kann also dann mit wenig Zeitverlust und sehr prompt geschehen.

2) Im Obergraben bildet sich im Winter gewöhnlich Grundeis, insbesondere dann, wenn die Wassertiefe in demselben nicht gross ist. Dieses Grundeis muss in der Regel weggeschafft werden; und je kürzer der Obergraben ist, desto geringer ist die aus dem Kanal zu entfernende Quantität Eis.

3) Im Untergraben bildet sich, wegen den wärmeren Horizontalwassern, welche in denselben eindringen, nicht leicht Grundeis, und

wenn es sich auch bildet, kann es nicht leicht Störungen im Gang der Maschine verursachen, braucht daher nicht entfernt zu werden.

4) Die Veränderungen des Wasserstandes im Flusse verursachen, wenn der Untergraben lang ist, nur eine geringe, wenn derselbe aber kurz ist, eine bedeutende Stauung des Wassers am Anfange des Untergrabens, wodurch das nutzbare Gefälle vermindert wird.

5) Die wasserdichte Herstellung der Kanaldämme des Obergrabens ist gewöhnlich mit vielen Schwierigkeiten verbunden, und im Winter werden diese Dämme, wenn sie nicht hinreichend hoch und breit sind, durch Einfrieren zerrissen. Die Böschungen des Untergrabens dagegen brauchen nicht wasserdicht zu sein, und das wärmere Horizontalwasser, welches sie durchdringt, schützt sie auch gegen das Einfrieren.

6) In der Regel fällt das Terrain nach der Richtung des Kanalzuges, und dann kostet die Anlage mit einem kurzen Ober- und langen Untergraben weniger, als wenn das umgekehrte Verhältniss in der Länge dieser Gräben gewählt wird.

Befindet sich der Fluss in einem Gebirgsthale, und soll ein bedeutendes Gefälle genommen werden, so ist es in der Regel am zweckmässigsten, den Kanal an den Bergabhängen bis an das Fabrikgebäude fortzuführen, und das Wasser von der Kraftmaschine weg in einem kurzen Abflusskanal mit starkem relativem Gefälle wiederum in den Fluss zu leiten.

Geschwindigkeit des Wassers im Kanale.

Die Geschwindigkeiten der Wassertheilchen in den verschiedenen Punkten eines und desselben Querschnittes sind nicht gleich gross. Bei einem geraden Kanal mit regelmässigem Querschnitt ist die Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche des Wassers am grössten, von da an nimmt sie sowohl nach der Tiefe als auch nach den Ufern zu ab.

Ein genaues Gesetz zur Bestimmung der Geschwindigkeit in einen beliebigen Punkt des Querschnitts ist nicht bekannt. Aus den Versuchen von *Dubuat* hat *Prony* folgende Beziehungen aufgefunden:

Nennt man

U die grösste Geschwindigkeit in der Mitte der Oberfläche des Wassers, w die Geschwindigkeit an dem Grundbett,

u die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Querschnitt, so ist:

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

$$w = 2u - U$$

Für die Geschwindigkeiten von 0.3^m bis 1^m, welche gewöhnlich bei Kanälen vorkommen, findet man aus der ersten dieser Formeln:

$$u = 0.8 U$$

und dann wird

$$w = 0.6 U = 0.75 u$$

$$u = \frac{4}{3} w = 0.8 U$$

Am Grundbette des Kanals darf die Geschwindigkeit des Wassers eine gewisse Grenze nicht überschreiten, weil sonst das Bett angegriffen und aufgewühlt wird. Diese Grenze richtet sich nach der Beschaffenheit des Materials, aus welchem der Kanal besteht. Sie ist nach *Telfort* für

Aufgelöste Erde	0.076 ^m
Fetten Thon	0.152 ^m
Sand	0.305 ^m
Kies	0.609 ^m
Abgerundete Kieselsteine	0.914 ^m
Eckige Kieselsteine	1.22 ^m
Conglomerate	1.52 ^m
Geschichtete Felsen	1.83 ^m
Ungeschichtete Felsen	3.05 ^m

Für Kanäle, welche aus einem der ersteren dieser Materiale hergestellt werden sollen, muss man wohl die grössten Geschwindigkeiten in Rechnung bringen, welche diesen Materialien entsprechen, denn diese grössten Geschwindigkeiten sind schon so klein, dass mit denselben die Querschnittsdimensionen des Profils bereits sehr gross ausfallen. Die Geschwindigkeiten am Grundbett können dagegen kleiner als die oben angegebenen Werthe angenommen werden, wenn es sich um lange Kanäle handelt, die aus einem der haltbareren Materialien ausgeführt werden sollen, denn die Gefällsverluste würden bei langen Kanälen zu gross ausfallen, wenn man, in der Absicht, ein möglichst kleines Querprofil zu erhalten, die grössten Geschwindigkeiten in Rechnung bringen würde. In den gewöhnlicheren Fällen darf man die Geschwindigkeit am Grundbett annehmen:

	Werthe von w.	entsprechende Werthe von u.
Für aufgefüllte oder gegrabene Kanäle	0.3 ^m bis 0.6 ^m	0.4 ^m bis 0.8 ^m
Für hölzerne oder gemauerte Kanäle	0.6 ^m bis 1 ^m	0.8 ^m bis 1.3 ^m

Querprofil des Kanals.

Aus der mittleren Geschwindigkeit u , welche das Wasser im Kanale annehmen soll, und aus der Wassermenge Q , welche p 1" fortgeleitet werden soll, ergibt sich der Querschnitt Ω des Wasserkörpers im Kanale. Es ist nämlich

$$\Omega = \frac{Q}{u}$$

Die Gestalt des Querschnittes richtet sich theils nach dem Material, theils nach der Wassermenge. Hölzerne und gemauerte Kanäle erhalten rechtwinklige, aufgefüllte Kanäle symmetrisch dossirte trapezförmige Profile. Die Dossirung kann, wenn sie mit Steinen gepflastert wird, 60° betragen, ist sie aber aus gestampfter Erde, so darf sie höchstens 45° betragen.

Das relative Gefälle, welches das Wasser im Kanal haben muss, wenn es mit einer gewissen Geschwindigkeit fortfließen soll, und folglich auch der Gefällsverlust, welchen der Kanal verursacht, hängt einerseits von der Geschwindigkeit u , andererseits von dem Verhältniss ab, zwischen dem Inhalt des Querschnittes des Wasserkörpers und dem Theile seines Umfanges, welcher mit dem Kanale in Berührung steht, welchen Theil man den „benetzten Umfang“ zu nennen pflegt.

Je kleiner dieses Verhältniss ist, desto geringer ist der Gefällsverlust. In dieser Hinsicht wären das halbe Quadrat und das halbe reguläre Sechseck die zweckmässigsten Profilformen; allein sie können wenigstens bei grösseren Wassermengen nicht angewendet werden, weil es in diesem Falle sehr schwierig ist, die Kanäle wasserdicht herzustellen, indem ihre Tiefe zu gross ausfällt. Wegen dieses Umstandes ist es überhaupt nicht möglich, eine rationelle Regel für das Verhältniss der Breite und Tiefe des Wasserkörpers aufzustellen, man muss sich daher mit einer empirischen Regel begnügen.

Durch Vergleichung der Dimensionen von ausgeführten Kanälen habe ich gefunden, dass man nehmen darf Fig. (67):

$$\frac{b}{t} = 2.7 + 0.9 \Omega$$

wobei b die Breite des Grundbettes, t die Wassertiefe und Ω den Querschnitt des Wasserkörpers bedeutet. Bezeichnet man den Böschungswinkel mit α , so ist:

$$\Omega = bt + t^2 \cotg. \alpha = t^2 \left(\frac{b}{t} + \cotg. \alpha \right)$$

man erhält demnach:

$$t = \sqrt{\frac{\Omega}{\frac{b}{t} + \cotg. \alpha}}$$

und wenn t berechnet ist, ergibt sich b aus:

$$b = \left(\frac{b}{t}\right) t$$

Um die Querschnittsdimensionen eines Kanales zu berechnen, für welchen Q , u , α gegeben ist, bestimme man zuerst den Werth von Ω , dann den Werth von $\frac{b}{t}$, hierauf findet man den Werth von t und endlich b .

Das Längenprofil des Kanales.

Um eine gleichförmige Bewegung des Wassers im Kanale hervorzubringen, welcher bei durchaus gleichen Profilen einer unveränderlichen Wassertiefe entspricht, muss das relative Gefälle des Kanalbettes so gross sein, dass dadurch der Reibungswiderstand des Wassers an dem benetzten Umfang überwunden wird.

Zur Bestimmung dieses Gefälles hat man nach den Untersuchungen und Erfahrungen von *Prony* folgende Formel:

$$\frac{G}{L} = \frac{S}{\Omega} (0.0000144 u + 0.000309 u^2)$$

in welcher bedeutet:

G das totale Gefälle des Kanals.

L die Länge des Kanals.

Ω den Querschnitt des Wasserkörpers.

$S = b + \frac{2t}{\sin. \alpha}$ den benetzten Umfang.

u die mittlere Geschwindigkeit, welche das Wasser im Kanale annehmen soll.

Wenn es sich darum handelt, durch den Kanal möglichst wenig an Gefälle zu verlieren, muss man demselben der ganzen Ausdehnung nach das relative Gefälle $\frac{G}{L}$ geben, welches durch die letzte Gleichung

bestimmt wird, und die Wasserspiegel an den Ein- und Ausmündungen müssen in diesem Falle mit jenen, welche in dem Flusse vorhanden sind, übereinstimmen.

Gestatten aber die Verhältnisse, dass durch den Kanal einiger Gefällsverlust entstehen darf, so ist es gut, wenn man den Wasserspiegel an der Einmündung etwas unter dem tiefsten Wasserstand des Flusses annimmt, und der ersten Strecke des Zufluss- so wie der letzten Strecke des Abflusskanales ein stärkeres relatives Gefälle gibt, als den übrigen Theilen des Kanales, weil dadurch der Zu- und Abfluss des Wassers erleichtert wird. Am Anfange des Kanals muss zur Regulirung des Wasserzuflusses eine Schleuse angebracht werden, und unmittelbar vor dem Wasserrade ist eine zweite Schleuse nothwendig, durch welche das Ueberwasser (d. h. die Differenz zwischen der zufließenden Wassermenge und derjenigen, welche auf das Rad zu wirken hat) nach einem Leerkanal abfließen kann. Diese Schleuse und der Leerkanal sind insbesondere auch nothwendig, wenn das Rad abgestellt wird. Denn die Schleuse am Anfang des Kanales wird immer erst abgestellt, nachdem dies mit dem Rade geschehen ist, es muss also das in der Zwischenzeit in den Kanal eintretende Wasser irgend wo abfließen können. Gesetzt aber auch, dass die Schleuse am Anfang des Kanales gleichzeitig oder etwas früher als das Rad abgestellt würde, so wäre doch auch in diesem Falle ein Leegerinne mit Schleuse unmittelbar vor dem Rade nothwendig, weil das Wasser, nachdem die Einmündungsschleuse geschlossen worden ist, seine Bewegung im Kanale vermöge der Trägheit noch weiters fortsetzt, sich daher vor dem Rade sammeln und aufstauen würde, wenn daselbst keine Abflussöffnung angebracht würde.

Anwendung der Regeln über den Wehr- und Kanalbau.

In einer Krümmung eines Flusses sei (beim niedrigsten Wasserstand) zwischen zwei Punkten, deren Horizontaldistanz 952^m beträgt, ein natürliches Gefälle von 2.6^m vorhanden. Man beabsichtigt daselbst eine grössere Fabrik anzulegen, welche zu ihrem Betriebe einen absoluten Effekt von 80 Pferdekräften bedarf. Die Terrainverhältnisse sind folgendermassen beschaffen. Das concave Ufer sei steil und hoch, das convexe dagegen flach und das umliegende Terrain liege 1 bis 2^m über dem Spiegel des Flusses. Stromaufwärts sei diese Höhe grösser als stromabwärts. Das relative Gefälle des Terrains (welches nach diesen Angaben grösser ist, als jenes von dem Flusse) sei zwischen den Punkten, deren Horizontaldistanz oben angegeben wurde, nahe von unveränderlichem Werth. Es sei gestattet, den Kanal geradlinig zu führen, und das Fabrikgebäude nach einem beliebigen Punkt des Kanales zu ver-

legen. Die Wassermenge des Flusses sei beim niedrigsten Stande 2.36^{km} , beim höchsten Stande 6.34^{km} , die Differenz dieser Wasserstände sei 0.43^{m} .

Es sei gestattet, das Wasser 1^{m} über seinen höchsten Stand zu stauen. Die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand oberhalb des Wehres soll nur 0.24^{m} betragen. Die Breite des Flussbettes sei, da wo das Wehr anzulegen ist, 10^{m} .

Unter diesen Verhältnissen ist klar, dass sowohl ein Wehr als auch ein Kanal angelegt werden muss. Die Wasserkraft, welche gewonnen werden soll, ist so bedeutend, dass sie mit dem vorhandenen natürlichen Gefälle nicht hervorgebracht werden kann, denn der Bau, wie er auch eingerichtet werden mag, verursacht doch immer einigen Gefällsverlust; mit dem natürlichen Gefälle von 2.6^{m} würde man daher nur ein nutzbares Gefälle von ungefähr 2^{m} erhalten, und dann wäre eine Wassermenge von 3^{km} nothwendig, die der Fluss beim niedrigsten Wasserstand gar nicht darbietet. Da die Wassermenge beim tiefsten Stande 2.36^{km} beträgt, so muss die Anlage so eingerichtet werden, dass man unter allen Umständen mit 2^{km} Wasser zum Betriebe der Fabrik ausreicht. Diese Wassermenge erfordert aber zu einem absoluten Effekt

von 80 Pferdekraften ein Gefälle von $\frac{75 \times 80}{2 \times 1000} = 3^{\text{m}}$, das natürliche

Gefälle muss also noch durch ein Wehr vergrößert werden. Mit einem Wehr allein kann aber der Zweck nicht erreicht werden, denn das concave Ufer müsste, da es nur 1 bis 2^{m} hoch ist, der ganzen Länge nach mit einem Damm versehen werden, um das umliegende Terrain zu schützen, und das Wehr müsste die bedeutende Höhe von ungefähr 3.5^{m} erhalten. Ein Kanal, welcher das vorhandene natürliche Gefälle concentrirt, in Verbindung mit einem Wehr, um das natürliche Gefälle zu erhöhen, ist also ohne Zweifel der zweckmässigste Bau. Nachdem nun wenigstens im Allgemeinen entschieden ist, was gebaut werden soll, so muss nun weiter das Wie? erwogen werden, und zwar zuerst in Bezug auf den Kanal.

Damit das Wasserrad bei jedem Wasserstand mit 2 Kub M. Wasser den vorgeschriebenen Effekt hervorbringen kann, dürfen die Schaufeln des Rades nie mehr als bis zur Hälfte im Unterwasser eintauchen. Nun wird die radiale Dimension der Schaufeln nach der Seite (168) angegebenen Regel 0.55^{m} ; die Schaufeln dürfen also beim höchsten Wasserstand nur $\frac{1}{2} 0.55^{\text{m}} = 0.28^{\text{m}}$ tief tauchen, und da der Wasserstand im Flusse um 0.43 variirt, so muss der tiefste Punkt des Rades $0.43^{\text{m}} - 0.28^{\text{m}} = 0.15^{\text{m}}$ über dem tiefsten Spiegel des Unterwassers angenommen werden.

Um sicher zu gehen, dass beim niedrigsten Wasserstand die vor-

geschriebene Wassermenge ohne Schwierigkeit in den Kanal eintreten werde, ist es gut, wenn wir den Wasserspiegel in dem Kanale etwas, z. B. um 0.2^m unter dem Spiegel am Flusse annehmen.

Da wir schon dafür gesorgt haben; dass die Tauchung des Rades nie zu gross werden kann, so ist kein Grund vorhanden, das relative Gefälle im Abflusskanal grösser anzunehmen, als im Zuflusskanal, wir können daher, um die Summe der Gefälle zu bestimmen, welche der Zufluss- und der Abflusskanal erhalten müssen, die totale Länge der ganzen Anlage nebst einer angemessenen mittleren Geschwindigkeit in Rechnung bringen.

Für $Q = 2$, $u = 0.5$, $\alpha = 45^\circ$, $L = 952$. Wird

$$\Omega = \frac{Q}{u} \dots \dots \dots = 4^m$$

$$\frac{b}{t} = 2.7 + 0.9 \Omega \dots \dots \dots = 6.3$$

$$t = \frac{\sqrt{\Omega}}{\sqrt{\frac{b}{t} + \cotg. \alpha}} \dots \dots \dots = 0.74^m$$

$$b = \left(\frac{b}{t}\right) t \dots \dots \dots = 4.66^m$$

$$S = b + \frac{2t}{\sin. \alpha} \dots \dots \dots = 6.75^m$$

$$\frac{G}{L} = \frac{S}{\Omega} [0.0000444 u + 0.000309 u^2] = 0.000168$$

$$G \dots \dots \dots = 0.16^m$$

Beim niedrigsten Wasserstand muss also der Spiegel oberhalb des Wehres um: $0.15^m + 3^m + 0.16^m + 0.2 = 3.51^m$ höher liegen, als der Spiegel im Flusse an der Ausmündung des Kanales, und da das natürliche Gefälle 2.6^m beträgt, so ist die Stauung, welche durch das Wehr beim Niederwasser hervorzubringen ist, $3.51^m - 2.60^m = 0.91^m$.

Hinsichtlich des Kanales ist nun noch der Punkt zu bestimmen, nach welchem die Fabrik verlegt werden soll. Wenn nur allein die Kosten der Ausführung zu berücksichtigen sind, so muss man diesen Punkt so zu wählen suchen, dass die sämtlichen Kosten der Erdarbeiten möglichst klein ausfallen. In sehr vielen Fällen ist dies dann der Fall, wenn Auf- und Abtrag gleich gross werden, d. h. wenn das Volumen

der auszugrabenden Erde ebenso gross ist, als das Volumen der Ausfüllungen. In unserem Beispiel fällt Auf- und Abtrag gleich gross aus, wenn der Abzugskanal nur 43^m, demnach der Zuflusskanal 909^m lang gemacht wird.

Wenden wir uns nun zur Berechnung des Wehres. Da der Wasserstand oberhalb des Wehres nur um 0·24^m variiren darf, und die Wassermenge, welche über das Wehr abfliessen soll, beim Niederwasser $2·36 - 2 = 0·36^{\text{km}}$, beim Hochwasser $6·34 - 2 = 4·34^{\text{km}}$ und die Breite des Flussbettes 10^m beträgt, so ist vorauszusehen, dass ein Ueberfallswehr ohne Schleusse breiter als der Fluss werden muss, um den Anforderungen entsprechen zu können. Dieses Wehr müsste demnach in schiefer Richtung über den Fluss gelegt werden. Da die Entscheidung der Frage: was gebaut werden soll, jederzeit von grosser Wichtigkeit ist, so wird es nicht unzweckmässig sein, in dem vorliegenden Falle genauer zu untersuchen, ob mit einem schiefen Ueberfallswehr ohne Schleusse der Zweck erreicht werden kann.

Nennen wir y die Breite, welche das Ueberfallswehr erhalten müsste, um den gestellten Bedingungen entsprechen zu können, x die Höhe des Wasserstandes über dem Scheitel des Ueberfalles, wenn die Wassermenge 0·36^{km} abfliesst, so ist $x + 0·24$ die Höhe, welche der Wassermenge 4·34 entsprechen soll, und man hat:

$$0·42 \cdot y \cdot x \sqrt{2gx} = 0·36$$

$$0·42 y \cdot (x + 0·24) \sqrt{2g(x + 0·24)} = 4·34$$

hieraus folgt durch Division:

$$\frac{(x + 0·24) \sqrt{x + 0·24}}{x \sqrt{x}} = 12·03$$

Der Werth von x , welcher dieser Gleichung entspricht, ist:

$$x = 0·058^{\text{m}}$$

und nun ergibt sich:

$$y = \frac{0·36}{0·42 \times \sqrt{2gx}} = 14^{\text{m}}$$

Das Wehr muss demnach 14^m breit gemacht werden, was allerdings ausführbar ist. Die Höhe der Wehrkrone über dem tiefsten Wasserstand unter dem Wehr ist $0·91 - 0·058 = 0·852^{\text{m}}$.

Nun verdient aber auch noch untersucht zu werden, welche Abmessungen einem quer über den Fluss gelegten Ueberfall-Schleussenwehr gegeben werden müssten.

Die Gleichungen (Seite 212) geben uns hierüber* Aufschluss. Es ist in dieselben zu substituieren:

$$q = 0.36, \quad Q = 4.34, \quad b = 10 - 1 = 9^m \\ (\text{1}^m \text{ Abgezogen von der Flussbreite wegen des Pfeilers})$$

$$H = 0.91^m \quad h = 0.24 \quad h_1 = 0.43, \quad g = 9.81$$

und dann wird:

$$0.36 = 0.42 (9 - y) x \sqrt{2gx} \\ 4.34 = 0.42 (9 - y) (x + 0.24) \sqrt{2g(x + 0.24)} + \\ + 0.42 y (0.91 + 0.24 - 0.43) \sqrt{2g(0.91 + 0.24 - 0.43)}$$

Aus diesen Gleichungen folgt durch Elimination von y

$$4.34 = 0.36 \frac{(x + 0.24) \sqrt{2g(x + 0.24)}}{x \sqrt{2gx}} + 1.137 \left(9 - \frac{0.36}{0.42 x \sqrt{2gx}} \right)$$

Durch Versuche findet man, dass dieser Gleichung entsprochen wird, wenn man nimmt:

$$x = 0.087^m$$

Vermittelst dieses Werthes von x findet man nun:

$$y = 9 - \frac{0.36}{0.42 x \sqrt{2gx}} = 1.49^m$$

Das Ueberfallwehr wird demnach 7.51^m breit, und der Scheitel muss $0.91 - 0.087^m = 0.823^m$ über den niedrigsten Wasserstand unter dem Wehr gelegt werden; die Schleusse erhält eine Breite von 1.49^m .

Diese Anordnung ist nun offenbar hinsichtlich der Kosten dem 14^m breiten Ueberfall vorzuziehen, es ist aber nicht in Abrede zu stellen, dass letzteres für die Leitung des Wassers nach dem Kanale etwas günstiger ist.

Zur besseren Uebersicht für die Verzeichnung der Anlage folgen die Rechnungsresultate zusammengestellt.

Horizontaldistanz der Ein- und Ausmündungspunkte des Kanals	= 952 ^m
Natürliches Gefälle des Wasserspiegels im Flusse zwischen diesen Punkten vor der Herstellung des Baues	= 2 60 ^m
Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand im Flusse an der Ausmündung des Kanales und un-mittelbar unter dem Wehr	= 0.43 ^m
Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand ober dem Wehr	= 0.24 ^m
Höhe des Wasserstandes im Kanal an seiner Ausmündung über dem tiefsten Wasserstand im Flusse	= 0.15 ^m
Tiefe des Wassers im Kanal	= 0.74 ^m
Breite des Grundbettes	= 4.66 ^m
Länge des Abflusskanales	= 43 ^m
Gefälle des Bettes von dem Abflusskanale (ganz unbedeutend)	= 0.0072 ^m
Höhe des tiefsten Punktes des Rades über dem tiefsten Wasserstand im Abflusskanal	= 0.15 ^m
Vertikalabstand der Wasserspiegel im Zu- und Abflusskanal an der Stelle, wo das Rad aufgestellt werden soll, beim niedrigsten Wasserstand	= 3.00 ^m
Länge des Zuflusskanales	= 9.09 ^m
Breite des Grundbettes	= 4.66 ^m
Tiefe des Wassers	= 0.74 ^m
Böschungswinkel	= 45 [°]
Gefälle des Grundbettes	= 0.153 ^m
Differenz zwischen den Wasserständen im Flusse (bei Niederwasser) und im Kanal an dem Einmündungspunkt	= 0.2
Breite des Ueberfallwehres	= 7.51 ^m
Höhe seiner Krone über dem tiefsten Wasserstand unter dem Wehre	= 0.823 ^m
Dicke der Wasserschichte über dem Scheitel des Wehres	} bei Hochwasser = 0.327 ^m
Breite der Schleuse	= 1.49 ^m

Beantwortung einer Frage über die vortheilhafteste Benutzung eines Wasserrechtes.

Es kommt in der Praxis oft vor, dass Jemand das Recht besitzt, aus einem Fluss a Fig. 68, 69 durch eine Schleuse c d von gesetzlich bestimmter Breite, und deren Fachbaum e in einer bestimmten Tiefe unter dem Wasserspiegel des Flusses liegt, so viel Wasser zu nehmen, als er nur immer erhalten kann, ohne in den Fluss einen Einbau machen zu dürfen, und es ist dann die Frage, wie der Wasserbau anzuordnen ist, um mit diesem Wasserbenutzungsrecht einen möglich grossen Nutzeffekt zu erhalten.

Bei einer oberflächlichen Betrachtung der vorliegenden Frage könnte man vielleicht meinen, die vortheilhafteste Anlage sei diejenige, bei welcher möglichst viel Wasser durch die Schleuse in den Kanal b eintritt, durch welchen das Wasser dem Rade zufließt. Allein wenn man bedenkt, dass eine grosse Wassermenge nur dann erhalten werden kann, wenn der Wasserspiegel im Kanal b bedeutend tiefer steht, als im Flusse, also nur mit Aufopferung von Gefälle, so kommt man zu der Ueberzeugung, dass jene Meinung irrig ist, und dass es eine gewisse Wassermenge geben müsse, bei welcher der möglicherweise gewinnbare Nutzeffekt ein Maximum wird. Diese vortheilhafteste Anordnung wollen wir nun bestimmen.

Es sei

b die Breite der Schleuse.

h die Tiefe des Fachbaumes unter dem Spiegel des Wassers im Flusse.

h_1 die Tiefe des Wasserstandes im Kanal b unter dem Wasserstand im Flusse.

H das totale Gefälle, d. h. die Höhe des Wasserstandes im Flusse über dem Spiegel des Wassers im Abflusskanal des Rades.

Q die Wassermenge in Kubikmetres, welche p 1" in den Kanal b eintritt und auf das Rad wirkt.

E der absolute Effekt der Wasserkraft, welcher der Wassermenge Q und dem Gefälle $H - h_1$ entspricht

$m = 0.42$
 $m_1 = 0.62$ } zwei Coefficienten zur Berechnung der Wassermenge Q .

Der vortheilhafteste Werth von h_1 , um dessen Bestimmung es sich handelt, muss nothwendig gleich oder kleiner als h sein, denn die Wassermenge, welche in den Kanal eintreten kann, ist, wenn $h > h_1$ wäre, nicht grösser als wenn $h = h_1$ ist, dagegen ist, im ersteren Falle das nutzbare Gefälle grösser als im letzteren, wenn also $h_1 > h$ ist, so nimmt der Effekt fortwährend ab, je grösser h_1 wird, es muss also für das Maximum des Effektes $h_1 < \text{oder} = h$ sein. Innerhalb dieser Grenzen bildet aber der Wassereintritt einen unvollkommenen Ueberfall, und für diesen ist:

$$Q = m b h_1 \sqrt{2g h_1} + m_1 b (h - h_1) \sqrt{2g h_1}$$

oder

$$Q = b \left\{ (m - m_1) h_1 + m_1 h \right\} \sqrt{2g h_1}$$

ferner ist:

$$E = 1000 Q (H - h_1)$$

folglich, wenn man für Q den vorhergehenden Werth substituirt:

$$E = 1000b \left\{ (m - m_1) h_1 + m_1 h \right\} \sqrt{2g h_1} (H - h_1)$$

Für den vortheilhaftesten Werth von h_1 muss $\frac{dE}{dh_1} = 0$ sein; man erhält demnach zur Bestimmung dieses Werthes von h_1 die Gleichung:

$$0 = [(m - m_1) h_1 + m_1 h] [H - h_1] \frac{1}{2\sqrt{h_1}} +$$

$$+ (H - h_1) \sqrt{h_1} \cdot (m - m_1) - [(m - m_1) h_1 + m_1 h] \sqrt{h_1}$$

aus welcher folgt:

$$\frac{h_1}{h} = 0.3 \left[\frac{H}{h} - \frac{m_1}{m - m_1} \right] +$$

$$\pm \sqrt{0.09 \left[\frac{H}{h} - \frac{m_1}{m - m_1} \right]^2 + \frac{m_1}{5(m - m_1)} \frac{H}{h}}$$

Setzt man für m und m_1 die numerischen Werthe, so wird:

$$\frac{h_1}{h} = 0.3 \left[\frac{H}{h} + 3.1 \right] \pm \sqrt{0.09 \left[\frac{H}{h} + 3.1 \right]^2 - 0.62 \left(\frac{H}{h} \right)}$$

Für den vortheilhaftesten Werth von $\frac{h_1}{h}$ ist das untere von den Zeichen vor dem Wurzelzeichen zu nehmen. Die Resultate, welche aus dieser Gleichung folgen, sind in folgender Tabelle enthalten.

Für $\frac{H}{h} =$	0.5 ^m	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8
wird $\frac{h_1}{h} =$	0.14	0.28	0.39	0.48	0.55	0.61	0.70	0.76	0.80	0.83	0.86
und $\frac{h_1}{H} =$	0.29	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11

Die erste Horizontalreihe enthält verschiedene Verhältnisse zwischen dem totalen Gefälle und der Tiefe des Fachbaums unter dem Spiegel des Wassers im Flusse. Die zweite Horizontalreihe enthält die entspre-

chenden vortheilhaftesten Verhältnisse zwischen der Senkung des Wassers und jener Tiefe des Fachbaumes. Die dritte Horizontalreihe endlich enthält in Prozenten ausgedrückt die Effektverluste, welche wegen der Senkung des Wasserspiegels entstehen. Aus der zweiten Reihe sieht man, dass bei einer bestimmten Tiefe des Wassers an der Einlassschleuse die Senkung des Wasserspiegels mit der Grösse des Gefälles zunehmen soll. Daraus folgt, dass der Effekt, welcher gewonnen werden kann, in einem grösseren Verhältniss zunimmt, als das Gefälle, denn bei einem grossen Gefälle kann man nicht nur eine grössere Wassermenge durch die Schleuse eintreten lassen, sondern es wird auch der Effekt günstiger, indem, wie die dritte Horizontalreihe zeigt, die Effektverluste bei grossen Gefällen verhältnissmässig kleiner ausfallen als bei kleineren Gefällen.
