

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Anlage der Kanäle

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

**Ausführung eines Wehrbaues.** Das Spezielle der Anordnung und Ausführung eines Wehrbaues gehört in das Ingenieurfach, daher wir uns hier darauf beschränken, die wesentlichsten Bedingungen eines guten Wehrbaues zu bezeichnen und durch einige Beispiele zu erläutern.

Bei einem Wehrbau muss man dahin wirken, dass derselbe vom Wasser weder unterwaschen oder unterwühlt, noch an den Seiten umgangen werden kann. An den beiden Ufern müssen daher tief fundamentirte, in die Ufer selbst eingreifende Schutzbauten hergestellt werden, und die Unterwühlung des Wehres muss entweder durch tiefe Betonmassen oder durch Spundwände und Pfahlroste mit Bedielungen verhindert werden.

Fig. 6, Tafel I. ist ein hölzernes Wehr, *a b c* Spundwände, *d* bedielter liegender Rost, *e* dichte Balkenwand durch Zangen zusammengehalten und verstrebt, *f* Wehrkrone.

Fig. 7, Tafel I. Hölzernes Wehr mit einem steinernen Vorbau.

Fig. 8, Tafel I. Steinernes Wehr mit Betonfundament.

### Anlage der Kanäle.

**Zweck eines Kanals.** Ein Fabrikkanal ist eine künstliche Wasserleitung, vermittelt welcher das auf eine längere Flussstrecke vorhandene Gefäll nach einem beliebigen Punkt der Flussumgebung verlegt und daselbst konzentriert werden kann. Es sei Fig. 9, Tafel I. *AFB* eine Flussstrecke, *H* das auf derselben vorhandene Gefäll oder der Höhenunterschied des Wasserspiegels bei *A* und bei *B*, *C* sei ein beliebiger Punkt in der Umgebung des Flusses, nach welchem hin das Gefäll *H* konzentriert werden soll, *ACB* der zu diesem Behufe angelegte Kanal. Wie das Längenprofil des Kanals beschaffen sein muss, zeigt Fig. 10, Tafel I. *AA*, *BB* sind die Fortsetzungen der Wasserspiegel *AA*, und *BB*, das Gefälle *CE* ist gleich *H*. Ist *ADGB* der Durchschnitt des Terrains, so ist *AD* ein Durchschnitt, *DC* eine Aufdämmung, *BE* eine Ausgrabung. Man sieht, dass es theoretisch möglich ist, das Gefäll nach einem ganz beliebigen Punkt der Flussumgebung zu konzentriren, und hieraus ist zu erkennen, dass die Gewinnung oder Konzentration eines natürlichen Gefalles vermittelt eines Kanales im Allgemeinen der Konzentration vermittelt eines Wehres vorzuziehen ist, denn bei einer Anlage mit Wehr und ohne Kanal muss das zu treibende Werk in das Flussbett oder hart an das Ufer errichtet werden, ist also dem Hochwasser und der Nässe und Feuchtigkeit ausgesetzt. Bei Anwendung eines Kanals ist dagegen die Möglichkeit geboten,

für die Anlage der Fabrik eine Stelle zu wählen, an der man von der Einwirkung des Wassers im Fluss vollkommen geschützt ist, und die vielleicht in mancher anderen Hinsicht zweckdienliche Eigenschaften besitzt oder Annehmlichkeiten gewährt, die bei der Lange- weile eines Fabrikbetriebes auch nicht zu verschmähen sind. Die alte Gewerbe-Industrie wusste die natürlichen Gefälle nur durch Wehre zu konzentriren, die neuere Industrie wendet überall Kanäle an, wo es die Lokalverhältnisse nur möglich machen. Auch dies ist einer der grossen Fortschritte der neueren Industrie. Noch muss hervorgehoben werden, dass vermittelst eines Kanals sehr hohe Gefälle, die auf einer sehr langen Strecke eines Flusslaufes vor- kommen, konzentriert werden können.

Um zu bewirken, dass unter allen Umständen und selbst bei sehr veränderlicher Wassermenge im Flusse der Eintritt des Wassers aus dem Fluss in den Kanal regelmässig und in hinreichender Menge erfolgt, ist es vortheilhaft, wenn der Wasserstand im Fluss an der Mündung des Kanals stets nahe auf gleicher Höhe erhalten wird, was, wie wir wissen, durch die Anlage eines Wehres ge- schehen kann. Für jede Kanalanlage ist daher ein Wehr ein sehr nützlicher Hilfsbau. Die gleichzeitige Erbauung eines Kanales und eines Wehres ist auch in dem Falle sehr zweckmässig, wenn das zwischen zwei Punkten A und B vorhandene Gefälle  $H_1$  nicht die wünschenswerthe Höhe hat. Legt man in diesem Falle unmittelbar unterhalb der Einmündung des Kanals ein Wehr an, durch das der Wasserspiegel bei A um  $H_2$  gestaut wird, so kann man ver- mittelst des Kanales das ganze Gefälle  $H_1 + H_2$  nach C hin kon- zentriren.

**Die horizontale Trace des Kanals.** Die Ein- und Ausmündungs- punkte eines Kanals werden vorzugsweise durch das zu gewinnende Gefälle bestimmt. Die Linie, längs welcher der Kanal herzustellen ist, richtet sich theils nach Lokal- theils nach Eigenthumsverhält- nissen. Gewöhnlich ist das dem Flussufer benachbarte Terrain ziemlich eben und kann der Kanal auf demselben in ziemlich gerader Richtung geführt werden.

Zuweilen zieht der Fluss längs eines Bergabhanges hin, und dann kann es zweckmässig werden, den Kanal nicht in die Ebene, sondern an dem Bergabhang selbst anzulegen. Kommen in der Nähe des Flusses höhere Berge vor, und untersagen die Eigen- thümer des Thalbodens und des Bergabhanges die Anlage eines Kanales auf ihren Gründen, so kann man sich dadurch helfen, indem man den Kanal in einem Tunnel durch die Berge führt.

Eine derartige Kanalanlage wurde in Atzenbach im Wiesenthal hergestellt.

Die zweckmässigste Baustelle für die Errichtung der Fabrik richtet sich, abgesehen von Eigenthumsverhältnissen, nach den Terrainverhältnissen. Im Flachland und Hügelland ist es meistens am zweckmässigsten, das Fabrikgebäude in der Nähe des Kanal-anfanges zu verlegen, so dass der Zuflusskanal kurz, der Abflusskanal lang ausfällt. Die Gründe, welche für eine solche Anlage sprechen, sind folgende: 1) kann die Einlassschleuse leicht und schnell bedient werden; 2) im Obergraben bildet sich im Winter gewöhnlich Grundeis, welches weggeschafft werden muss; im Untergraben dagegen entsteht, wegen des in denselben eindringenden wärmeren Horizontalwassers, nicht leicht Grundeis, und wenn es sich auch bildet so kann es doch nicht leicht den Gang der Maschinen stören; 3) Veränderungen des Wasserstandes im Flusse verursachen wenn der Untergraben lang ist, nur eine geringe Stauung am Anfange des letzteren; 4) die wasserdichte Herstellung der Kanal-dämme des Obergrabens ist gewöhnlich mit vielen Schwierigkeiten und Kosten verbunden, und im Winter werden diese Dämme häufig durch Einfrieren zerrissen; die Böschungen des Untergrabens dagegen brauchen nicht wasserdicht zu sein, und das wärmere Horizontalwasser schützt auch gegen das Einfrieren; 5) in der Regel fällt das Terrain nach der Richtung des Kanalzuges, und dann ist eine Anlage mit kurzem Oberkanal am billigsten. In Gebirgsgegenden ist dagegen eine Kanalanlage mit einem langen Obergraben und kurzem Untergraben zweckmässiger, weil in einer solchen Lokalität der Kanal ohne Schwierigkeit an den Bergabhängen eingegraben und längs denselben fortgeführt werden kann.

Fig. 1, Tafel II. zeigt eine solche Kanalanlage. Fig. 2 ist ein Schnitt nach  $\alpha\beta$ .

**Geschwindigkeit des Wassers im Kanal.** Es darf nicht dem Zufall überlassen werden, mit welcher Geschwindigkeit das Wasser in einem Kanal fliesst, wenn derselbe hergestellt worden ist, sondern die Geschwindigkeit muss von vornherein festgesetzt werden, weil von derselben die Profile des Kanales und die dauernde Erhaltung desselben abhängen. Eine grosse Geschwindigkeit des Wassers hat zur Folge, dass das Querprofil des Kanals klein, dass dagegen das Gefäll des Kanales gross ausfällt. Eine grosse Geschwindigkeit vermindert also die Baukosten, verursacht aber einige Gefällverluste. Gewöhnlich sind die Kanäle in Sand- oder Kiesboden gegraben oder durch Auffüllung mit Sand und Kies gebildet. Soll das Bett

eines solchen Kanales durch das Wasser nicht aufgewühlt werden, so darf die Geschwindigkeit desselben eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Diese grössten Geschwindigkeiten, welche ein Kanalbett noch nicht merklich angreifen, sind:

Aufgelöste Erde . . . . .	0·076 <sup>m</sup>
Fetter Thon . . . . .	0·152 <sup>m</sup>
Sand . . . . .	0·305 <sup>m</sup>
Kies . . . . .	0·609 <sup>m</sup>
Abgerundete Kiesel . . . . .	0·914 <sup>m</sup>
Eckige Kiesel . . . . .	1·22 <sup>m</sup>
Conglomerat . . . . .	1·52 <sup>m</sup>
Geschichtete Felsen . . . . .	1·83 <sup>m</sup>
Ungeschichtete Felsen . . . . .	3·05 <sup>m</sup>

Bei Kies und Sand beträgt diese Geschwindigkeit 0·3 bis 0·5. Um für alle Fälle sicher zu sein, ist es angemessen, für Kanäle aus Sand und Kies den Werth von 0·3 Meter in Rechnung zu bringen. In hölzernen Kanälen kann man 0·6 Meter bis 1 Meter nehmen, weil dadurch die Baukosten vermindert werden.

**Querprofil des Kanals.** Aus der mittleren Geschwindigkeit  $u$ , welche das Wasser im Kanale annehmen soll, und aus der Wassermenge  $Q$ , welche in 1 Stunde fortgeleitet werden soll, ergibt sich der Querschnitt  $\Omega$  des Wasserkörpers im Kanale. Er 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 rechteckige, 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° sein.

Das relative Gefälle, welches das Wasser im Kanale 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:

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

wobei  $b$  die Breite des Grundbettes,  $t$  die Wassertiefe und  $\Omega$  den Querschnitt des Wasserkörpers bedeutet. Bezeichnet man den Böschungswinkel mit  $\alpha$ , so ist:

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

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  $Q$ ,  $n$ ,  $\alpha$  gegeben ist, bestimme man zuerst den Werth von  $\Omega$ , dann den Werth von  $\frac{b}{t}$ , hierauf findet man den Werth von  $t$  und endlich  $b$ .

**Längenprofil des Kanales.** Um eine gleichförmige Bewegung des Wassers im Kanale hervorzubringen (welche 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:

$$\frac{G}{L} = \frac{s}{\Omega} (0.0000444 u + 0.000309 u^2)$$

in welcher bedeutet:

$G$  das totale Gefälle des Kanals,

$L$  die Länge des Kanals,

$\Omega$  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 Gefällverlust 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 Kanales muss zur Regulirung des Wasserzuflusses eine Schleuse angebracht werden, und unmittelbar vor der Kraftmaschine 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 Leergerinne mit Schleuse unmittelbar vor dem Rade nothwendig, weil das Wasser, nachdem die Einmündungsschleuse geschlossen worden ist, seine Bewegung im Kanale vermöge der Trägheit noch weiter 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 Flusskrümmung sei zwischen zwei Punkten A und B, Fig. 9, Tafel I., deren Horizontalabstand 1500 Meter beträgt, ein natürliches Gefälle von 3 Metern vorhanden. Man beabsichtigt daselbst eine Fabrik anzulegen, die zu ihrem Betrieb einen absoluten Effekt von 80 Pferdekräften erfordert. Die Terrainverhältnisse seien so beschaffen, dass das concave Ufer steil und hoch, das convexe Ufer dagegen flach ist und circa zwei Meter über dem Spiegel des Flusses liegt. Die Kanäle können und dürfen in gerader Linie auf dem flachen convexen Ufer angelegt werden. Die Wassermenge im Fluss beträgt im Minimum 4, im Maximum 5 Kubikmeter. Es sei erlaubt, bei A eine Stauung von 1.5 Meter zu bewirken.

Wenn das natürliche Gefälle von 3 Metern konzentriert werden könnte, wäre eine Wassermenge von  $\frac{75 \times 80}{1000 \times 3} = 2$  Kubikmeter notwendig. Diese Quantität liefert zwar der Fluss auch beim Minimum der Wassermenge, allein für eine Kraft von 80 Pferden ist nach der Seite 21 gegebenen Erläuterung ein Gefälle von 3 Metern nicht günstig, und da der Voraussetzung zufolge eine Stauung von circa 1.5 Kubikmeter gestattet ist, so wird es angemessen sein, nebst dem Kanal auch ein Wehr anzulegen und dieses so einzurichten, dass ein nutzbares Gefälle von  $3 + 1.5 = 4.5$  Meter gewonnen wird.

In diesem Falle beträgt die der Fabrik zuzuleitende Wassermenge per 1 Sekunde  $\frac{75 \times 80}{4.5 \times 1000} = 1.33$  Kubikmeter.

Nehmen wir für das Wasser im Kanal eine mittlere Geschwindigkeit von  $u = 0.4$  Meter an, so erhalten wir vermittelst der für eine Kanalanlage aufgestellten Regeln:

Querschnitt des Wasserkörpers im Kanal:

$$\Omega = \frac{Q}{u} = \frac{1.33}{0.4} \dots \dots \dots = 3.32 \text{ Quadratmeter}$$

Verhältniss zwischen Breite und Tiefe:

$$\frac{b}{t} = 2.7 + 0.9 \Omega \dots \dots \dots = 5.69$$

Tiefe des Wassers:

$$t = \sqrt{\left( \frac{\Omega}{\frac{b}{t} + \cotg \alpha} \right)} \dots (\alpha = 45^\circ) \dots = 0.70 \text{ Meter}$$

Breite des Kanals:

$$b = \left( \frac{b}{t} \right) t \dots \dots \dots = 4.00 \text{ Meter}$$

Der benetzte Theil des Umfangs:

$$S = b + \frac{2 t}{\sin \alpha} \dots \dots \dots = 6.00 \text{ Meter}$$

Totalgefälle des Kanals:

$$G = L \frac{S}{Q} (\alpha u + \beta u^2) \dots \dots \dots = 0.18 \text{ Meter}$$

Um den Eintritt des Wassers in den Kanal zu erleichtern, wollen wir den Wasserspiegel an der Einlassschleuse um 0.2 Meter tiefer legen als im Flusse, und um das Abfließen des Wassers aus dem Abflusskanal zu befördern und die Rückstauung zu schwächen, wollen wir den Wasserspiegel am Ende des Abflusskanals um 0.2 Meter höher annehmen als im Fluss. Unter dieser Voraussetzung muss der Kanal so angelegt werden, dass der Wasserspiegel im Flusse oberhalb des Wehres um  $0.20 + 0.18 + 0.20 + 4.5 = 5.08$  Meter höher steht als im Fluss an der Ausmündung des Abflusskanals. Nun ist das natürliche vorhandene Gefälle 3 Meter; durch das Wehr muss also eine Stauung von  $5.08 - 3 = 2.08$  Meter hervor gebracht werden. Es ist klar, dass ein Ueberfallwehr angelegt werden muss, und dass dieses für die geringste Wassermenge im Fluss zu berechnen ist. Die Wassermenge, welche bei der geringsten Menge über das Wehr abfließt, beträgt  $4 - 1.33 = 2.67$  Kubikmeter, die Wehrbreite sei 16 Meter, dann ist die Tiefe  $x$  der Wehrkrone unter dem gestauten Wasserspiegel

$$x = \left( \frac{2.67}{0.57 \times 16 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots = 0.163 \text{ Meter}$$

Beträgt die Wassertiefe im Fluss vor dem Einbau des Wehres 0.4 Meter, so ist die Wehrhöhe  $0.4 + 2.08 - 0.163 = 2.317$  Meter.

Fig. 3, Tafel II. zeigt das Längenprofil des Kanales mit allen Gefällverlusten.

### Leitung des Wassers in Röhren.

Bei der Leitung des Wassers in Röhren kommen jederzeit Widerstände vor, zu deren Ueberwindung ein Theil des Gefälles aufgeopfert werden muss, so dass die Erfolge, welche durch die Leitung hervorgehen, kleiner und schwächer ausfallen, als wenn diese Widerstände nicht vorhanden wären. Die Berechnung dieser Gefällverluste soll in Folgendem gezeigt werden.

#### Adhäsion des Wassers an den Röhrenwänden. Röhrenwiderstände.

Wenn in einer Röhre Wasser fließt, entsteht zwischen den längs