

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Erster Abschnitt. Wasserläufe und Wasserkräfte

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

## ERSTER ABSCHNITT.

### Wasserläufe und Wasserkräfte.

#### Entstehung und Beschaffenheit der Wasserläufe.

**Entstehung der Wasserläufe.** Das Wasser ist durch die Wirkungen der Erdschwere und der Sonnenwärme einem kontinuierlichen Kreislauf unterworfen. Es verdunstet durch die Sonnenwärme, steigt als Dunst oder Dampf in die Atmosphäre auf bis es eine Höhe erreicht, wo die Luft so leicht ist als der Dunst, sammelt sich daselbst, verweilt in dieser Höhe bis kalte Luftströmungen herbeieilen, die dem Dunst seine Wärme entziehen und je nach Umständen zu Schnee, Eis oder Wasser kondensiren. Allein in jeder dieser Formen ist das Wasser schwerer als die Luft, fällt daher gegen die Erde nieder, und es treten die Erscheinungen des Regens, des Hagels oder des Schneefalles ein. Der Ablauf des Regenwassers und des aus dem Schnee und Hagel durch Schmelzung entstehenden Wassers richtet sich theils nach den Witterungsverhältnissen, theils nach den Terrainverhältnissen, theils nach den Jahreszeiten, theils noch nach besonderen Umständen. Wir stellen uns nun die Aufgabe, diesen ganzen Vorgang des Wasserablaufes von den höchsten Terrainpunkten an bis in die tiefsten Niederungen hinab zu verfolgen.

**Quantität der Niederschläge.** Die Quantität der Niederschläge richtet sich theils nach den Jahreszeiten, theils nach der Terrainhöhe, theils nach dem Charakter der Witterung, theils endlich nach lokalen Umständen. Diese Quantitäten sind im Allgemeinen im Spätherbst und Frühjahrsanfang am grössten, im Sommer am kleinsten und haben in der Mitte des Winters einen mittleren Werth. Diese Quantitäten sind ferner im Allgemeinen in Gebirgsgegenden grösser als im Flachland. Die Regenniederschläge sind insbesondere sehr

reichlich da, wo Hochgebirge und Flachland ohne Vermittlung eines Hügelterrains unmittelbar aneinanderstossen, wie dies z. B. am Rande der nördlichen Tyroler Kalkalpen der Fall ist. Die nachfolgende Tabelle enthält die mittleren Werthe der jährlichen Niederschläge, ausgedrückt in Wassersäulenhöhen an verschiedenen Orten.

*Niederschläge von Regen und Schnee.*

Ortsnamen.	Jährliche Niederschläge.
	Centimeter.
Ebene des Po-Thales . . . . .	78
Südabhang der Alpen . . . . .	146
Unterer Lauf der Rhone . . . . .	63
Oberer Lauf der Rhone . . . . .	93
Westküste von Frankreich . . . . .	89
Nordgrenze von Frankreich . . . . .	78
Irland . . . . .	86
Südküste von England . . . . .	78
Ostküste von England . . . . .	49
Cumberland und Westmoreland . . . . .	242
Belgien . . . . .	76
Städte in der Schweiz, Tyrol und Salzburg . . . . .	109
Deutsches Rheinthal . . . . .	62
Schwaben . . . . .	64
Bayern . . . . .	62
Westphalen . . . . .	67
Thüringen, Harz und norddeutsches Flachland . . . . .	76
Sachsen, Schlesien, Polen . . . . .	50
Preussen . . . . .	52
Böhmen . . . . .	69
Oesterreich (Städte) . . . . .	60

Bevor wir das Abfließen des Regenwassers und des aus den Schnee- und Eisniederschlägen durch Schmelzung entstehenden Wassers beschreiben können, ist es nothwendig, vorerst der Gletscher, der Seen und der Quellen zu gedenken.

**Die Gletscher.** In den Niederungen und im Hügellande bleibt der im Winter fallende Schnee in der Regel nicht lange liegen,

indem zwischen den mit reichlichem Schneefall begleiteten Kälteperioden gewöhnlich Regenwetter oder überhaupt mildere Temperatur eintreten, die den Schnee zum Schmelzen bringen. Was der Winter liegen lässt beseitigt die Frühlingssonne und während des Sommers sind diese Gegenden frei von Schnee.

Anders ist der Vorgang im Hochgebirge beschaffen, dort ist die Schneemasse, welche während des Winters niederfällt, ungemein gross, und bleibt grösstentheils während des Winters liegen, indem in diesen Höhen die Wintertemperatur fast immer unter Null Grad ist. Die Schneemassen häufen sich daher während des Winters fort und fort an, stürzen zum Theil in die Hochthalschluchten und füllen dieselben aus. So wie im Frühling die mildere Witterung eintritt, beginnen diese Schneemassen an der Oberfläche zu schmelzen, aber nicht überall in gleicher Menge. In den höchsten Theilen der Gebirge nur wenig, etwas mehr in den mittleren Höhen, reichlich in den unteren Theilen der Hochthalschluchten. Dabei dringt das Wasser in die Schneemassen ein und friert mit denselben zu Eis von eigenthümlicher körniger Struktur zusammen, und diese Eismassen, welche man Gletscher nennt, schmelzen erst im Sommer, aber nur theilweise zusammen und bilden die sogenannten Gletscherbäche. Diese während des ganzen Sommers fortdauernde Abschmelzung der Gletscher hat zur Folge, dass der Wasserabfluss aus den Hochgebirgen nach den Niederungen im Laufe des Jahres in einer Weise erfolgt, die jener entgegengesetzt ist, die aus den Regenniederschlägen entsteht, denn ein Wasserabfluss aus den Gletschern ist im Winter und sonst bei kalter Luft nur sehr gering, wird immer stärker und stärker so wie die Luft wärmer wird und erreicht im hohen Sommer bei anhaltend trockener und heisser Witterung die grösste Menge. Dieser Wasserabfluss aus den Gletschern bewirkt daher, dass die Wassermengen in den Flüssen zu verschiedenen Jahreszeiten nicht so veränderlich sind als sie es wären, wenn in den Flüssen nur Regenwasser abflösse. Die Wassermenge in den Flüssen wird am kleinsten, wenn sowohl im Hochgebirge als auch im Hügel- und Flachland anhaltend trockene und kalte Witterung gleichzeitig vorhanden ist, sie wird dagegen am grössten, wenn im Hochgebirge wie im Hügel- und Flachland reichlich und andauernd warmer Regen niederfällt. Denn insbesondere warme Regen bringen rasche Schnee- und Eisschmelzungen hervor. Auch der warme Südwind, „Föhn“ genannt, bringt, wenn er über die Hochalpen zieht, reiche und rasche Schmelzung hervor.

Eine umfasslichere Besprechung der Erscheinungen, welche in den Gletschern vorkommen, ist für unsere Zwecke nicht nothwendig,

für diese genügt es, zu wissen, zu welchen Zeiten und unter welchen Umständen die Schnee- und Eisschmelzungen stark oder schwach sind, und dass dadurch im Allgemeinen der Wasserabfluss in den grossen Flüssen (welche ihre Hauptzuflüsse aus dem Hochgebirge erhalten) regulirt wird.

**Seen.** Am südlichen wie am nördlichen Abhang der Schweizeralpen liegen bekanntlich viele grössere und kleinere Seen. Tirol hat im Lande selbst nur wenige und nur kleine Seen (der Zellersee im Pinzgau), dagegen liegt an der südlichen Grenze der grosse Gardasee und liegen auf der bayerischen Hochebene längs der Kalkalpenkette hin viel grössere und kleinere Seen. Das österreichische Salzkammergut, das nach verschiedenen Richtungen von Kalkgebirgsketten durchzogen ist, ist mit vielen grösseren und kleineren Seen geschmückt.

Fast alle Schweizerflüsse ergiessen sich zunächst in die Seen, und verlassen dieselben oftmals mit verändertem Namen. Die Rhone ergiesst sich in den Genfersee, der Tessin in den Langensee, die Adda in den Cominersee, der Rhein in den Bodensee, die Linth in den Wallenstädtersee, die Limath in den Zürcher See, die Reuss in den Vierwaldstädtersee, die Aar in den Briener- und Thunsee. Aehnlich ist es auch mit den Flüssen des Salzkammergutes, wo z. B. die Traun durch mehrere Seen geht. Anders verhält es sich mit den Flüssen, die in Tyrol entspringen. Diese gehen in der Regel nicht durch Seen, sondern weichen denselben aus. Der Lech, die Isar, die Mangfall, der Inn fliessen der Donau zu, ohne Seen zu bilden und weichen den in ihrer Nähe liegenden Seen aus, ebenso ist es auch mit der Etsch, die neben dem Gardasee hinfliesst und bei Verona in die lombardische Ebene tritt. Die vielen an den Grenzen von Tyrol liegenden Seen, der Würmsee, Staffelsee, Stahrenbergersee, Tegernsee, Schliersee, Chimsee, so wie auch der grosse südliche Gardasee haben nur schwache Zu- und Abflüsse und werden wahrscheinlich durch aufquellendes Wasser reichlich gespeist.

Die Gebirgsflüsse, welche nicht durch Seen gehen, haben bei Regenwetter oder Schneeschmelzung der Gletscher einen stürmischen Wasserablauf; ihr Wasser ist dann trübe und mit Sand und Schlamm gemengt. Die Schluchten und Thäler der Gebirge haben stets ein ziemlich starkes Gefälle und die Wasser eilen und stürzen mit grösster Hast an den steilen Bergabhängen und Felswänden herab. Bei Regenwetter und Schneeschmelzung müssen daher diese Gebirgsflüsse rasch anschwellen und ihre Wirkung auf die Fluss-

ette und Ufer ist daher stets eine zerstörende. Auch führen diese Flüsse stets viel Gerölle ab, das dann in den Thalfächern und Niederungen abgelagert wird.

Aehnlich wie oben beschrieben wurde, verhalten sich auch die durch Seen gehenden Gebirgsflüsse bis zu ihrem Eintritt in die Seen. Dagegen erfolgt der Abfluss aus den Seen in sehr geregelter und mehr gleichförmiger Weise. Auch ist das Wasser der Seeabflüsse stets von ausgezeichneter Schönheit und Reinheit, indem die Flüsse bei ihrem Eintritt in die Seen allen Kies und Sand ablagern, sogenannte Flussdelta und Seeböden bilden, wodurch das Wasser geklärt wird. Die Seen wirken daher als Regulatoren für den Wasserabfluss, daher kommt es, dass der deutsche Rhein, welcher seinen Hauptzufluss aus Schweizerflüssen erhält, die durch Seen gehen, einen viel geregelteren Wasserabfluss zeigt, als die Donau, welche ihre Hauptzuflüsse durch Tyroler Flüsse erhält, die in der Regel nicht durch Seen gehen. Diese Zählung des Wasserablaufes durch die Seen ist für die Bodenkultur der Flussniederungen von grosser Wichtigkeit, und diesem Umstande ist es wesentlich zuzuschreiben, dass die Bodenkulturverhältnisse des ganzen deutschen Rheinthales viel günstiger sind, als jene des Donaufussgebietes, wo namentlich ein grosser Theil der bayerischen Hochebene mit Flutssgeschieben und Gerölle bedeckt ist.

**Quellen.** Das Wasser der Niederschläge fliesst nicht alles ins Meer ab; ein grosser Theil, etwa ein Drittheil, verdunstet, und ein anderer sehr grosser Theil, ungefähr ebenfalls ein Drittheil der Niederschläge, dringt in die Erde ein, versickert und bildet dann einen innern Wasserablauf, wodurch die Quellen und Brunnen (auch die artesischen) entstehen. In Bezug auf den Wasserablauf besteht das Innere der Erde aus zweierlei Schichten, aus solchen, die das Wasser durchlassen und aus solchen, die es nicht durchlassen. Die ersteren bestehen aus Erde, Sand, Kies, zerklüftetem Gestein, die letzteren aus Lehm, Thon und unzerklüftetem Gestein und Felswerk. Diese wasserdichten Schichten liegen in der Regel tiefer, als die wasserdurchlassenden, und so kommt es, dass die Wasser der Niederschläge durch die obern Schichten ins Innere der Erde eindringen, bis sie wasserdichte Schichten erreichen, und dann an denselben oder auf denselben fortfliessen, bis sie entweder die Flüsse erreichen, oder, im gebirgigen Terrain, an gewissen Stellen der Gebirgsabhänge ans Tageslicht treten und die Erscheinung der Quellen hervorbringen. Das Wasser erleidet bei diesem innern Abfluss mancherlei Veränderungen, daher es kommt, dass das Quellwasser von

dem Regen- oder Schneewasser immer mehr oder weniger verschieden ist. Alle Niederschläge liefern zunächst beinahe chemisch reines, nur sehr wenig Kohlensäure enthaltendes Wasser, und seine Temperatur stimmt nahe mit jener der Luft überein. Die Quellen dagegen sind wenigstens immer reich an Kohlensäure und enthalten öfters sehr verschiedene chemische Bestandtheile: Erden, Salze, Metalle. Auch ist die Temperatur der Quellen sehr verschieden; zuweilen konstant kälter als die Temperatur der Luft, zuweilen konstant wärmer, zuweilen ungefähr mit der Temperatur der äussern Luft veränderlich und ungefähr so hoch, als diese selbst. Man kann sich von den verschiedenen möglichen Arten von Quellen eine Vorstellung bilden, wenn man das Wasserquantum, die Art des Wasserablaufes, die Temperatur und die chemische Beschaffenheit des Wassers berücksichtigt.

Hinsichtlich des Wasserquantums kann man die Quelle nennen: 1) wasserreich, 2) wasserarm, 3) mittlere Menge.

In Betreff des Wasserablaufes, so kann dieser sein: 1) gleichförmig, 2) periodisch veränderlich, 3) nach der Witterung veränderlich, 4) intermittirend.

Die Temperatur der Quelle ist entweder 1) konstant kalt, oder 2) warm, 3) mit der Lufttemperatur veränderlich.

Die Beschaffenheit des Wassers ist entweder 1) chemisch rein, 2) mehr oder weniger reich an Kohlensäure, 3) mehr oder weniger reich an mineralischen Bestandtheilen (Mineralquellen).

Es ist für unsere Zwecke angemessen, die Bedingungen zu bezeichnen, unter welchen einige dieser logischen Möglichkeiten entstehen.

Quellen, welche eine mit der Witterung übereinstimmende Wassermenge geben und deren Temperatur mit jener der Luft nahe übereinstimmt, entstehen in Hügelländern oder in mässig hohen Bergen, wenn die wasserdurchlassenden Schichten mit der Oberfläche des Terrains ungefähr parallel sind, so dass das Wasser nirgends tief in die Erde eindringen kann. Das Wasser dieser Quellen wird in der Regel nicht sehr rein sein, weil es bei seinem Durchgang durch die obersten erdigen Schichten Erde auflöst und mit sich fortführt. Ist die Oberfläche des Terrains Moorboden, so nimmt es von dem Boden Substanzen auf und erscheint in der Quelle mehr oder weniger grün oder braun gefärbt.

Die konstant kalten Quellen kommen vorzugsweise nur in Hochgebirgen vor und erhalten ihre Wasser hauptsächlich von den Niederschlägen der Höhen. Ihr Wasser ist meistens rein und ent-

hält gewöhnlich wenig Kohlensäure und wenig mineralische Substanzen.

Warme Quellen können natürlich nur entstehen, wenn die Wasser tief eindringen und an Orte gelangen, wo aus irgend einem Grunde eine hohe Temperatur herrscht, oder Wärmeentwicklungen stattfinden. Ist die Temperatur der Quelle nur wenig höher als die der Luft, so kann dieselbe von der höheren Temperatur des Erdinnern herrühren. Die hohe Temperatur von sehr warmen Quellen kann natürlich nur von chemischen Prozessen oder von theilweisen langsamen Verbrennungsakten herrühren, die zuweilen an gewissen Orten im Innern der Erde vor sich gehen.

Die Mineralquellen verdanken ihren Gehalt an mineralischen Substanzen den mancherlei chemischen Prozessen, die im Innern der Erde bei gewisser Beschaffenheit des Schichtungsmaterials veranlasst werden.

**Bäche.** Bäche werden kleinere Wasserläufe bis zu ungefähr  $\frac{1}{2}$  Kubikmeter Wassermenge pro 1 Sekunde genannt. Sie erhalten ihr Wasser theils durch oberflächlich abfließende Regen- oder Schneewasser, theils durch Quellen, die theilweise auch von Thau und Nebel genährt werden. Zur Uebersicht ist es gut, wenn wir die Bäche in mehrere Klassen eintheilen.

Wir nennen Regenbäche solche Bäche, welche ihr Wasser vorzugsweise den Regenniederschlägen verdanken. Die Wassermengen dieser Bäche sind ganz mit der Witterung veränderlich, bei Regenwetter erhalten sie viel Wasser, bei anhaltend trockener Witterung wenig oder gar keins.

Gletscherbäche nennen wir solche Bäche, welche ihr Wasser grösstentheils der Schmelzung des Gletschereises verdanken. Sie kommen nur im begletscherten Hochgebirge vor, haben bei trockener kalter Witterung wenig, bei warmem Wind, warmem Regen oder im Sommer bei warmem Sonnenschein sehr viel Wasser, das mit Steinmehl gemengt ist und daher undurchsichtig weissgrau aussieht.

Quellenbäche nennen wir solche Bäche, welche reichlich durch Quellen genährt werden und da diese in der Regel ziemlich gleichförmig Wasser liefern, so ist die Wassermenge der Quellenbäche nicht sehr veränderlich.

Wildbäche werden überhaupt Gebirgsbäche mit starkem Gefälle und felsigem oder grobsteinigem Bett genannt. Der Wasserabfluss in denselben ist sehr veränderlich und wegen des starken Gefälles und rauhen Bodens gewaltsam tumultuarisch. Ihr Wasser ist undurchsichtig und fast grau, wenn sie durch Gletscher genährt



werden, und je nach der Witterung abwechselnd rein oder trübe, wenn sie vorzugsweise durch Regenwasser gespeist werden.

Flüsse entstehen durch Vereinigung der Bäche, sind also Wasserläufe mit grossen Wasserquantitäten. Je länger ihr Lauf, desto grösser wird ihre Wassermenge. Im Gebirge haben die Flüsse starke und ungleichförmige Gefälle, es kommen dort Stromschnellen und Stürze vor; in den Niederungen ist dagegen ihr Gefälle schwach und gleichförmig, daher der Abfluss des Wassers regelmässig und mehr gleichförmig, insbesondere, wenn sie durch Seen gegangen sind, die, wie wir gesehen haben, den Wasserabfluss reguliren. In den Gebirgen ist das Wasser zwar oftmals durch Steinmehl, Erde, Sand mechanisch verunreinigt, aber chemisch nicht merklich verändert. In den Niederungen dagegen ist das Wasser der Flüsse nicht nur durch Sand und Schlamm mehr oder weniger verunreinigt, sondern auch durch Vermischung von Pflanzen, so wie durch die Abgänge aus Wohnungen und Städten chemisch verändert und unrein.

#### Das Wasser in technischer Hinsicht.

**Nützlichkei und Schädlichkeit des Wassers.** Das Wasser ist für die verschiedenen Zwecke der Menschen bald nützlich, bald schädlich, oder wenigstens hinderlich. Es ist nützlich 1) zum Maschinenbetrieb, 2) zur Kesselspeisung und Kondensation, 3) zum Trinken, 4) zu mannigfaltigen Reinigungen, 5) zur Bewässerung der Wiesen, 6) zum Feuerlöschen etc. Das Wasser ist dagegen schädlich 1) wenn es in Wildbächen und Bergströmen oder sonst in Flüssen zerstörend auf die Ufer wirkt, 2) in den Baugruben und Bergwerken etc.

**Das Wasser zum Maschinenbetrieb.** Das Wasser besitzt als Substanz keine motorische Kraft. Es wirkt nur motorisch durch seine lebendige Kraft, mit der es in Bächen oder Flüssen fortläuft oder wenn es von einem höher gelegenen nach einem tiefer liegenden Ort niederfließt. Es gibt also Wasserkräfte mit und ohne Gefälle. Die letzteren werden selten zum Maschinenbetrieb benutzt, indem bei der gewöhnlich stattfindenden Geschwindigkeit des Wassers in den Bächen oder Flüssen ungemein grosse Quantitäten in Wirksamkeit gebracht werden müssen, um erhebliche Leistungen hervorbringen zu können.

Die Leistungsfähigkeit einer Wasserkraft mit Gefälle ist nach dem Produkt aus der in jeder Sekunde durch einen bestimmten

Querschnitt des Wasserlaufes fließenden Wassermenge und der Grösse des Gefälles, das zwischen zwei Punkten des Wasserlaufes vorhanden ist, zu beurtheilen. Nennt man  $Q$  diese Wassermenge in Kubikmetern per 1 Sekunde,  $H$  das Gefälle, so ist die in Kilogrammmetern ausgedrückte Wirkungsfähigkeit des Wassers gleich  $1000 Q H = E_a$  und die in Pferdekräften ausgedrückte Leistungsfähigkeit  $\frac{1000 Q H}{75} = N_a$ , das Gefälle ist also hinsichtlich der Leistungsfähigkeit äquivalent mit der Wassermenge. Eine kleine Wassermenge kann bei grossem Gefälle eine eben so grosse Leistung hervorbringen, wie eine grosse Wassermenge bei kleinem Gefälle.

Weder im Hochgebirge noch in den Ebenen der Flussniederungen sind die für einen Fabrikbetrieb günstigen Umstände und Bedingungen vorhanden. An Betriebskraft fehlt es in den Hochgebirgen nicht. Wasser ist überall vorhanden und die Gefälle sind so gross, als man sie nur haben will, allein diese Gletscher- und Wildbäche sind nur schwer und nur mit grossen Kosten zu zähmen. Die Thalschluchten, durch welche sie niederstürzen, sind enge, die Bevölkerung ist dünn gesäet und für eine Fabrikarbeit nicht geneigt, die Verkehrsanstalten fehlen entweder ganz oder sind mangelhaft, und wenn sie auch in gutem Zustande vorhanden sind, so ist doch dieser weite Bergauf-, Bergab-Transport der Materialien zu kostspielig. Auch fehlt es in diesen Gebirgstälern an den vielfältigen für einen Fabrikbetrieb nothwendigen Hilfsgewerben; man muss entweder alles selbst machen oder aus grossen Fernen herbeischaffen. Es gilt überhaupt die allgemeine Regel, dass Fabriken in Gegenden, wo im Allgemeinen wenig Kultur vorhanden ist, nicht mit Vortheil betrieben werden können. In den Flussniederungen sind wohl viele von den für einen Fabrikbetrieb günstigen Umständen vorhanden, allein die Gefälle sind daselbst so klein, dass ungemein grosse Wassermengen erforderlich sind, um eine bedeutende Betriebskraft zu gewinnen, und die Einrichtungen, welche erforderlich sind, um solche Wasserkräfte mit kleinem Gefälle und grossen Wassermassen nutzbar zu machen, fallen sehr weitläufig und kostspielig aus und im Winter hat man stets mit grossen Eismassen zu kämpfen.

Im Allgemeinen bieten die Hügelländer und nicht zu hohen Gebirgsländer die für einen Fabrikbetrieb angemessensten Wasserkräfte dar, und auch die sonstigen Umstände sind daselbst ziemlich günstig. In diesen Terrains trifft man in der Regel viele und grössere Bäche und kleinere Flüsse mit Gefälle von 2 bis 10 Meter Höhe. Diese Bäche sind nicht so wild wie im Hochgebirge und

ein grosser Theil ihres Wassers stammt von Quellen her, die im Winter eine Temperatur haben, die höher ist als jene der äussern Luft, grössere Eismassen können sich daher nicht bilden.

Aber nebstdem, dass die Wasserläufe dieser Hügel- und Bergländer reiche und bequem benutzbare Wasserkräfte darbieten, sind auch anderweitige Verhältnisse und Umstände für einen Fabrikbetrieb daselbst ziemlich günstig. Diese Lokalitäten sind in der Regel von grossen Städten und überhaupt von den Mittelpunkten der Kultur nicht entfernt. Wege, Strassen und Kommunikationsmittel aller Art sind daselbst vorhanden oder lassen sich mit nicht zu grossen Kosten herstellen. Kapitalkraft liefern die benachbarten Städte, und die Bevölkerung solcher Gegenden ist meistens arbeitsam, thätig, sparsam und nach Erwerb strebend. Der badische Schwarzwald mit seinen vielen wasserreichen nach dem Rheinthale mündenden Thälern, mit seinen vielen vortrefflichen Strassen, die nach der Weltverkehrs-Eisenbahn des Rheinthales führen, mit seiner verständigen, ausdauernden, sparsamen und nach Erwerb strebenden Bevölkerung, mit seinem für Feldbau und Viehzucht nicht besonders ergiebigen Boden ist eine für den Fabrikbetrieb sehr geeignete Lokalität, und es unterliegt kaum einem Zweifel, dass die Industrie des Schwarzwaldes noch weit bedeutender wäre als sie es bereits ist, wenn das badische Land grössere Dimensionen hätte, wenn es ein Grossstaat wäre, in welchem Falle auch die für die Entwicklung aller geistigen Kräfte günstigen freien verfassungsmässigen Staatseinrichtungen durchgreifendere Wirkungen hervorzubringen vermöchten.

**Wasser zur Kesselspeisung, zur Kondensation des Dampfes, zur Bedienung der Fabriken.** Der Wasserdampf besteht jederzeit aus reinem Wasser. Wird Wasser verdampft, das kalk- und salzhaltig ist oder sonstige mineralische Substanzen enthält, so trennen sich diese Stoffe von dem verdampfenden Wasser, fallen zu Boden und bilden mit der Zeit am Boden des Gefässes eine steinfeste Kruste, den sogenannten Kesselstein, was für den Betrieb der Dampfkessel nachtheilig, störend und gefährlich werden kann. Zur Speisung der Dampfkessel ist daher chemisch reines oder solches Wasser, das nur sehr wenig mineralische Bestandtheile enthält, vorzugsweise geeignet. Flusswasser, dessen sich die Flussdampfschiffe bedienen müssen, bildet bereits in der Regel sehr viel Pfannenstein, und das Meerwasser, mit welchem die Kessel der Meerdampfschiffe gespeist werden, ist eine für die Meerdampfschiffahrt sehr ungeeignete Substanz. Man hilft sich in der Regel dadurch, dass man alle zwei Stunden das

am Boden der Kessel befindliche Wasser von circa 6 bis 10 Zoll Dicke ablaufen lässt und dafür den Kessel wiederum mit Meerwasser auffüllt.

Auch für die Kondensation des Dampfes ist möglichst reines, keine oder nur wenig mineralische Substanzen enthaltendes Wasser vortheilhaft, denn die Kalkablagerungen sind für das freie Spiel der Luftpumpenventile sehr hinderlich. Wasser ist überhaupt in den Fabriken, namentlich in Papierfabriken, Kattundruckereien, Bleichereien und in den chemischen Fabriken sehr nothwendig, und je reiner es ist, desto besser entspricht es diesen Zwecken. Die Gewinnung von reinem oder doch brauchbar reinem Wasser ist oftmals für derlei Fabrikanten eine nicht leicht zu beseitigende Schwierigkeit.

**Trinkwasser.** Wasser, das zum Trinken oder für häusliche Zwecke verwendet werden soll, muss gewisse chemische Eigenschaften besitzen. Ob, wie viel und welche Stoffe dem chemisch reinen Wasser beigemischt sein müssen, um als Trinkwasser und zur Bereitung der Speisen gut verwendet werden zu können, ist eine bis jetzt noch nicht genau beantwortete Frage. Gewöhnlich unterscheidet man die Trinkwasser in harte und weiche Wasser. Weiche Wasser werden solche Wasser genannt, die keine oder nur sehr wenig unorganische Bestandtheile enthalten, die demnach beim Verdampfen keinen oder nur wenig Rückstand geben. Hartes Wasser ist dagegen solches, das eine grössere Menge von unorganischen Stoffen enthält, daher beim Verdampfen eine beträchtliche Menge Rückstand gibt. Die Flüsse der Gebirge haben bald weiches, bald hartes Wasser. Die Flüsse der Niederungen haben meistens weiches Wasser, das aber mancherlei organische (Humusstoffe und Verwesungsstoffe etc.) enthält. Das Wasser der Seen ist in der Regel weich. Das Wasser der Quellen ist ungemein verschieden. Es gibt Quellwasser (z. B. die Quellen von Gastein, Pfeffers), die man bisher für ganz chemisch rein gehalten hat. Die höchst empfindlichen Untersuchungsmethoden von Bunsen vermittelst des Lichtspektrums werden aber wohl in der Folge Stoffe entdecken lassen. Gewöhnlich enthalten die Quellen eine nicht unbeträchtliche Menge von Kohlensäure und kohlensaurem Kalk, aber wenig oder keine organischen Substanzen, und diese Quellwasser scheinen zum Trinken und zur Speisebereitung am besten zu sein. Andere Quellen haben hartes Wasser und enthalten grosse Mengen von unorganischen Stoffen. Insbesondere gilt dies von den Mineralquellen. Regen- und Schneewasser enthält beinahe keine unorganischen Be-

standtheile, ist nahezu reines, daher weiches Wasser, ist aber zum Trinken nicht gut; ist fade, nicht erfrischend, aber vielleicht doch gesund. Die Beschaffenheit des Brunnenwassers ist je nach Umständen sehr verschieden. Das Regenwasser kommt im chemisch reinen Zustande tropfenweise auf die Oberfläche der Erde. Indem es die obern Erdschichten, in welchen die Pflanzen und Bäume wurzeln, durchdringt, nimmt es mancherlei organische humusartige Stoffe auf, gibt aber diese wiederum beim Durchgang durch die tiefer liegenden Sand- und Kiesschichten ab und nimmt dafür aus diesen mehrerlei unorganische in Wasser lösliche Stoffe auf. Diese Stoffe sind:

Kohlensaurer Kalk . . . . .	} hartmachende Stoffe.
Kohlensaure Magnesia . . . . .	
Eisenoxyd . . . . .	
Schwefelsaurer Kalk . . . . .	
Chlormagnesia . . . . .	} indifferent wirkende Stoffe.
Schwefelsaures Natron . . . . .	
Chlornatrium . . . . .	
Kieselsäure . . . . .	

Erreicht es in diesem Zustande eine wasserdichte Schichte und wird bis zu dieser herab ein Brunnen gegraben, so sammelt es sich in demselben und hat im Allgemeinen die Beschaffenheit von Quellwasser, vorausgesetzt, dass sich der Brunnen an einem Orte befindet, in dessen Umgebung keine das Wasser verunreinigende Ursachen vorkommen. Allein den Haus- und Stadtbrunnen werden gewöhnlich mancherlei organische Stoffe zugeführt, daher ist das Wasser dieser Brunnen zum Trinken nie so gut, als das der Qellen. Brunnen können jedoch ganz gutes gesundes Wasser liefern, wenn sie gegen Verunreinigungen aller Art gut geschützt, und daher in einer beträchtlichen Entfernung von denjenigen Orten angelegt werden, wo die Abgänge aller Art in die Erde geleitet werden. Man hat sich daher insbesondere von den Senkgruben ferne zu halten.

**Filtrirung des Wassers.** Für den Gesundheitszustand wie für die Annehmlichkeit des Lebens in grossen Städten ist ein grosses Reichthum von gutem Trinkwasser und Reinigungswasser von der grössten Wichtigkeit. Pumpbrunnen können in Städten nicht die erforderlichen Quantitäten liefern, und das Wasser derselben kann in grossen Städten nie den Grad von Reinheit haben, welche für die Gesundheit erforderlich ist. Man wird daher gezwungen, entweder Quell-

wasser herbeizuleiten oder Flusswasser zu benützen. Ersteres geschieht durch Röhrenleitungen mit oder ohne Pumpwerke, von welcher Einrichtung in der Folge ausführlicher gehandelt werden wird. Wenn Flusswasser benutzt werden soll, muss es in der Regel zuerst filtrirt werden, denn in der Nähe der Städte ist das Flusswasser jederzeit durch organische Substanzen von Pflanzen und Thieren so sehr verunreinigt, dass es oftmals kaum zur Reinigung, viel weniger zum Trinken verwendet werden kann. Auch über die Anlage dieser Filter wird in der Folge gehandelt werden. Einstweilen begnüge ich mich, den Wasserverbrauch in verschiedenen Städten und die erfahrungsmässigen Leistungen der Filter anzugeben.

In den Publications industrielles Année X. Nr. III., Seite 318 findet man folgende Angaben über die Wassermenge in Litern für einen Einwohner in einem Tage in verschiedenen Städten:

	Litre
Rom . . . . .	= 940
Carcassane . . . . .	= 300 bis 400
Dijon . . . . .	= 198 — 678
Genua . . . . .	= 100 — 120
Glasgow . . . . .	= 100
London . . . . .	= 95
Narbonne . . . . .	= 80 — 85
Genf . . . . .	= 74
Toulouse . . . . .	= 62 — 78
Philadelphia . . . . .	= 60 — 70
Grenoble . . . . .	= 60 — 65
Vienne (Isere) . . . . .	= 60 — 65
Paris . . . . .	= 50 — 60
Montpelier . . . . .	= 50 — 60
Clermont . . . . .	= 50 — 55
Edinburg . . . . .	= 50
Manchester . . . . .	= 44
Le Havre . . . . .	= 40 — 45
Gray . . . . .	= 40 — 45
Lons le Saulnier . . . . .	= 40 — 45
Angouleme . . . . .	= 35 — 40
St. Etienne . . . . .	= 20 — 25
Metz . . . . .	= 20 — 25
Dale . . . . .	= 15 — 20

Nach den Beobachtungen von *Telford* über die Wasserwerke zu Chelsea in London und jenen von *Genieis* über die Wasserwerke

von Boule rouge zu Paris liefert 1 Quadratmeter Filterfläche bei 3 Meter Dicke des Filterbettes und 0.6 Meter Wasserstand über dem Filtermaterial in 24 Stunden 2.89 Kubikmeter gereinigtes Wasser. Rechnet man für einen Einwohner 40 Liter Wasser in 24 Stunden, so muss ein Filter für  $\frac{2890}{40} = 72$  Einwohner 1 Quadratmeter Oberfläche haben.

**Reinigungswasser.** Wenn von der Reinigung durch Wasser die Rede ist, kommen dreierlei Sorten von Wasser in Betrachtung. 1) Unreines, d. h. solches Wasser, welches mancherlei organische Bestandtheile enthält, 2) reines weiches Wasser, 3) reines hartes Wasser, wobei unter „rein“ zu verstehen ist, dass das Wasser keine organischen Bestandtheile enthält. Unreines Wasser kann natürlich nur für die grössten Reinigungen, z. B. Strassenreinigung gebraucht werden. Wenn eine sehr vollkommene Reinigung ohne Anwendung von Seife geschehen soll, ist reines hartes oder reines weiches Wasser in der Regel gleich gut. Geschieht aber die Reinigung durch Anwendung von Seife, so ist reines weiches Wasser dem harten entschieden vorzuziehen, denn wenn das Wasser hart ist, also erdige Bestandtheile enthält, vereinigen sich diese mit der Seife zu unlöslichen Verbindungen, die in der Form von Flocken zu Boden fallen und eine reinigende Wirkung nicht hervorbringen. Dieser Theil des Seifenaufwandes geht also für den Zweck ganz verloren, daher der Seifenaufwand bei hartem Wasser grösser ist, als bei weichem. Zur Reinigung der Wäsche wird bekanntlich das Regenwasser und Schneewasser mit Vortheil benutzt.

**Bewässerung.** Gärten werden jederzeit, Wiesen zuweilen einer künstlichen Bewässerung unterworfen. Im Allgemeinen ist zu diesem Zweck jedes Wasser, reines wie unreines, hartes wie weiches brauchbar. Sollen durch die Bewässerung ganz spezielle Wirkungen erzielt werden, so ist die Wahl des Wassers nicht gleichgiltig. Im Allgemeinen wird die Vegetation durch unreines Wasser und selbst durch Jauche und Unrathwasser mehr gefördert, als durch reines Wasser. Es kann aber auch sein, dass unter Umständen reines Quellwasser die beste Wirkung hervorbringt, so z. B. moorartige Wiesen, die viel organische Säure enthalten; diese werden durch Anwendung von reinem Quellwasser weggeschwemmt, wodurch der Boden entsäuert, daher verbessert wird.

**Grubenwasser.** Die Baugruben erreichen oftmals eine Tiefe, dass sich in dieselben Horizontalwasser eindrängt und bis zu einer ge-

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  $\Omega$  und multipliziert denselben mit der mittleren Geschwindigkeit  $u$ , so erhält man durch das Produkt  $\Omega u$  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

Wasser vor demselben, bis der Spiegel nahezu eine horizontale Ebene B, C, bildet und es entsteht dann bei C ein künstlicher Wasserfall, dessen Höhe gleich ist dem natürlichen Gefälle, welches vor der Errichtung des Baues zwischen den Punkten B, und C, vorhanden war. Dieses Gefälle wird mithin vermittelt des Wehres konzentriert.

Beantwortung der Frage, unter welchen Umständen die Erbauung eines Wehres zweckmäßig oder nothwendig ist. Die Erbauung eines Wehres ist nur dann möglich, wenn der Wasserspiegel eines Flusses auf eine längere Strecke über seinen natürlichen Stand gehoben werden darf. Die Erbauung eines Wehres ist zweckmässig oder nothwendig, 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 erhöht werden soll. 3) Wenn in einem Fluss oder Bach auf einer kurzen Strecke ein starkes Gefälle vorhanden ist, das auf einen Punkt konzentriert werden soll. 4) Wenn die natürlichen Veränderungen des Wasserstandes vermindert oder aufgehoben werden sollen. 5) Wenn das durch die Stauung hervorzubringende Gefälle nicht mehr als 2·5 Meter beträgt. 6) Wenn zwei oder mehrere von den so eben angegebenen Umständen gleichzeitig vorhanden sind.

Einige dieser Sätze bedürfen einer Erklärung. Durch die Erbauung eines Wehres wird der Wasserspiegel vom Wehr an bis auf eine gewisse Strecke stromaufwärts gehoben. Befindet sich auf dieser Strecke bereits ein Wasserwerk, z. B. eine unterschlächtige Mühle, so wird diese durch die Stauung mehr oder weniger unter Wasser gesetzt, so dass die Wirkung des unterschlächtigen Rades geschwächt oder ganz aufgehoben werden kann. Der Besitzer der Mühle wird also die Erbauung eines solchen Wehres nicht gestatten.

Wenn die Ufer des Flusses niedrig und Wiesen oder Felder daran liegen, müssen diese durch Uferdämme gegen Ueberschwemmungen, die die Stauung hervorbringen würde, geschützt werden; aber dessen ungeachtet können diese Grundstücke Schaden leiden, indem sie durch Horizontalwasser durchnässt werden. Die Eigenthümer dieser Grundstücke werden daher die Erbauung eines Wehres oftmals nicht zugeben.

Hieraus ist zu ersehen, dass die Eigenthumsverhältnisse oftmals die Errichtung eines Wehres nicht gestatten werden. Die Sätze 1, 2, 3 bedürfen keiner Erläuterung, wohl aber die Sätze 4 und 5. Zum Verständniss des Satzes 4 ist zu sagen, dass sich



bei Veränderung der Wassermenge die Höhe des durch ein Wehr gehobenen Wasserspiegels viel weniger verändert, als der Wasserspiegel des Flusses selbst. Durch die Anlage eines Wehres wird also stets die für den Betrieb von Wasserrädern und von Turbinen nützliche Wirkung hervorgebracht, dass sich der Wasserspiegel im Zuflusskanal bei veränderlichem Wasserzfluss nur wenig ändert. Die Richtigkeit des fünften Satzes wird man erkennen, wenn man bedenkt, dass eine hohe Stauung nicht nur ein hohes Wehr, sondern auch oftmals hohe und ausgedehnte Uferschutzbauten erfordert, dass demnach eine hohe Stauung kostspielige Bauten erfordert.

**Eintheilung der Wehre und Anwendbarkeit derselben.** Die Wehre können in Grundwehre, Ueberfallwehre, Schleusenwehre und Ueberfall-Schleusenwehre eingetheilt werden. Ein Grundwehr ist ein Wehr, dessen Krone nicht bis an die ursprüngliche Oberfläche des Wassers im Fluss reicht. Fig. 2, Tafel I., A B C die Oberfläche des Wassers vor dem Einbau, D die Krone des Wehres, sie reicht nicht bis B. Grundwehre werden angelegt, wenn die Wassermenge des Flusses nicht sehr veränderlich und die hervorzubringende Stauung nicht gross ist.

Ein Ueberfallwehr ist ein Wehr, dessen Krone höher liegt, als der ursprüngliche Wasserspiegel. Fig. 1, Tafel I., A, B, C, D, der ursprüngliche Wasserspiegel vor Errichtung des Wehres, D die Wehrkrone, sie liegt höher als C. Ein solches Wehr wird angelegt, wenn die hervorzubringende Stauung gross und die Wassermenge des Flusses nicht viel veränderlich ist.

Ein Schleusenwehr ist ein Einbau, dessen stauende Wirkung jederzeit ganz beseitigt werden kann. Es besteht in der Regel aus einer oder aus mehreren Schleusen, die durch Aufzugsvorrichtungen in die Höhe gezogen werden können. Fig. 3, Tafel I. Derlei Wehre werden gewählt, wenn die Lokalverhältnisse bei reichem Wasserabfluss eine Stauung nicht erlauben.

Ein Ueberfall-Schleusenwehr ist ein Einbau, welcher theils aus einem Ueberfallwehr, theils aus Schleusen besteht. [Fig. 4, Tafel I., B C Ueberfall, A B Schleuse.] Ein solches Wehr wird angelegt, wenn bei sehr veränderlichem Wasserzfluss der Wasserstand oberhalb des Wehres stets auf gleicher Höhe erhalten werden soll. Diese Forderung wird insbesondere gestellt, wenn mehrere Wasserwerke hinter einander in dem Fluss errichtet werden.

**Horizontale Trace des Wehres.** Hat man sich entschieden, dass ein Wehr gebaut werden soll, und von welcher Art es sein soll, so muss noch die Trace (die Richtung und Form des Wehrzuges)

und dessen Höhe bestimmt werden. Hinsichtlich der Trace sind verschiedene Anordnungen, Fig. 5, Tafel I., möglich, die wir einer Betrachtung unterwerfen wollen, um die praktische Brauchbarkeit kennen zu lernen.

Dabei ist zu beachten, dass die Veränderungen des Wasserstandes unter sonst gleichen Umständen um so kleiner sein werden, je grösser die Ausdehnung der Wehrkrone ist. Für ein Ueberfallwehr ist z. B.:

$$Q = k b h \sqrt{2 g h}$$

wobei  $Q$  die in einer Sekunde abfliessende Wassermenge,  $b$  die Breite des Wehres,  $h$  die Dicke der Wasserschicht und  $k$  einen Coefficienten bedeutet. Differenzirt man diesen Ausdruck, indem man  $Q$  und  $h$  als veränderlich,  $b$  als konstant betrachtet, so findet man

$$d h = \frac{d Q}{\frac{3}{2} b k \sqrt{2 g h}}$$

Dieser Ausdruck für  $d h$  gibt an, um wie viel sich der Wasserstand im Zuflusskanal ändert, wenn die Wassermenge um  $d Q$  wächst und wie man sieht, ist diese Aenderung des Wasserstandes der Breite  $b$  des Wehres verkehrt proportional.

Das Wehr A, Fig. 5, ist das einfachste, hat aber eine Krone von geringer Ausdehnung; die Veränderungen des Wasserstandes bei veränderlichem Wasserzuzfluss können demnach ziemlich gross ausfallen; es ist daher nur dann anwendbar und zweckentsprechend, wenn die Wassermengen des Flusses wenig veränderlich sind oder wenn sich die Wasserstände oberhalb des Wehres ziemlich stark ändern dürfen.

Das Wehr B ist nur wenig länger als A, ist schwieriger herzustellen und kostspieliger, leitet das Wasser an das rechte Ufer, greift es an und wühlt daselbst den Boden auf, ist also offenbar nicht zu empfehlen.

Die Wehre C, D, E, F sind ebenfalls von wenig oder keinem Werth, die Ausdehnung der Wehrkrone ist nicht merklich grösser als bei A. Diese Wehre sind schwieriger herzustellen als A, daher auch kostspieliger und das Wasser wird bei C und F an die Ufer, bei D und E nach der Mitte des Stromes geleitet, wodurch das Bett ungleich angegriffen wird.

Das Wehr G zeichnet sich aus durch die Grösse und Ausdehnung seiner Wehrkrone; selbst wenn es ganz als Ueberfallwehr gebaut wird, bewirkt es eine beinahe unveränderliche Höhe des Wasserstandes im Zuflusskanal; versieht man noch überdies

einzelne Theile, z. B.  $b c$  des Wehres mit Schleusen, so kann man selbst bei einem sehr veränderlichen Wasserzufluss einen konstanten Wasserstand hervorbringen. Es ist diese Anordnung insbesondere auch ganz zweckmässig, wenn zwei Fabriken bei  $a b$  und  $c d$  angelegt werden, so dass überhaupt in dem mittleren Theil des Flusses Raum für ein Wehr übrig bleibt, und da  $b c$  im Allgemeinen beliebig lang gehalten werden kann, so ist es möglich, mit dieser Anordnung der Anforderung eines konstanten Wasserstandes sehr wohl und in sehr vielen Fällen zu entsprechen. Allerdings ist der Bau eines solchen Wehres kostspielig und deshalb nur zu empfehlen, wenn man mit der Anordnung  $A$  nicht ausreichen kann. Das Ergebniss dieser Untersuchung ist also, dass wir die Anordnungen  $B, C, D, E, F$  verwerfen und nur  $A$  oder  $G$  zur Ausführung empfehlen.

Genauere Entscheidung der Frage, ob ein Grundwehr oder ob ein Ueberfallwehr erbaut werden soll. Hat man sich dahin entschieden, dass kein Schleusenwehr, sondern entweder ein Grundwehr oder ein Ueberfallwehr erbaut werden soll, so kann die Wahl zwischen diesen zwei Arten von Wehren in dem Falle zweifelhaft werden, wenn die hervorzubringende Stauung weder sehr gross noch sehr klein ist. Die Entscheidung kann in einem solchen Falle auf folgende Art geschehen. Nennt man:

$h$  die Stauung, welche durch das Wehr hervorgebracht werden soll,  
 $b$  die Breite des Wehres, die in der Regel mit dem Flussbett übereinstimmt und jedenfalls durch die Trace bekannt ist,  
 $Q$  die Wassermenge, welche in der Regel, und namentlich dann, wenn die Stauung die Höhe  $h$  haben soll, über das Wehr abfließt,

so ist annähernd  $0.57 b h \sqrt{2 g h}$  die Wassermenge, welche über das Wehr abfließen würde, wenn die Wehrkrone bis an den ursprünglichen Wasserspiegel reichen würde.

Je nachdem nun der Werth von  $0.57 b h \sqrt{2 g h}$  gleich  $Q$ , grösser als  $Q$  oder kleiner als  $Q$  ausfällt, ist im ersten Falle ein Wehr zu bauen, dessen Krone bis an den Wasserspiegel reicht, im zweiten Falle aber ein Ueberfallwehr und im dritten ein Grundwehr.

Der Coefficient  $0.57$  bezieht sich auf Wehre mit abgerundeter oder wenigstens mit nicht scharfkantiger Krone.

Höhe eines Ueberfallwehres. Hat diese eben erklärte Regel für die Errichtung eines vollkommenen Ueberfallwehres entschieden, so findet man dessen Höhe auf folgende Weise.

Nennt man, Fig. 1, Tafel I.:

$h = C_1 C_2$  die Stauhöhe,  $b$  die Wehrbreite,  $Q$  die in jeder Sekunde abfließende Wassermenge,  $t = C C_1$  die Tiefe des Wassers vor der Errichtung des Wehres,  $D C_2 = x$  die Tiefe der Wehrkrone unter dem gestauten Wasserspiegel, so ist wegen  $Q = 0.57 b x \sqrt{2 g x}$

$$x = \left( \frac{Q}{0.57 b \sqrt{2 g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

und dann ist die Wehrhöhe  $C D = t + h - x$ .

**Höhe eines Grundwehres.** Fig. 2, Tafel I. Eine genaue Berechnung der über ein Grundwehr abfließenden Wassermenge ist mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden; man muss sich mit einer rohen Annäherung begnügen, indem man annimmt, dass der Wasserabfluss in dem Theile  $B E$  des Wasserquerschnitts wie bei einem vollkommenen Ueberfall, durch den Theil  $B D$  hingegen wie bei zwei kommunizirenden Gefäßen erfolgt, wenn in einem derselben der Spiegel um  $B E$  höher steht, als im andern. Unter dieser Voraussetzung ist

$$Q = 0.57 b h \sqrt{2 g h} + 0.62 b x \sqrt{2 g h}$$

wobei die Coeffizienten 0.57 und 0.62 nur als Schätzung zu betrachten sind. Hieraus folgt:

$$x = \frac{Q}{0.62 b \sqrt{2 g h}} - 0.92 h$$

**Stauweite.** Die Stauweite ist die Entfernung  $C_2 B_1$ , Fig. 1, Tafel I., vom Wehr an stromaufwärts gemessen, bis zu welcher sich die stauende Wirkung des Wehres erstreckt. Die Oberfläche des Wassers oberhalb des Wehres bildet streng genommen keine horizontale Ebene, sondern ist eine gewisse krumme Fläche, deren Gestalt *Navier* und *Belanger* zu bestimmen gesucht haben. Allein da die Bestimmungen dieser Flächen mit weitläufigen, mit der Wichtigkeit des Zweckes in keinem Verhältniss stehenden Rechnungen verbunden sind, und gewöhnlich die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser dem Wehr zufließt, nur einen kleinen Werth hat, so kann man sich mit der Annahme begnügen, dass die Oberfläche eine vollkommene horizontale Ebene sei. Nennt man unter dieser Voraussetzung  $h$  die Stauhöhe,  $\alpha$  den Winkel, unter welchem die Wasserfläche vor der Errichtung des Wehres gegen den Horizont geneigt ist, so hat man für die Stauweite den Ausdruck

$$C_2 B_1 = h \cotg \alpha$$

**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 Kanals 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, welchen 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 Kanals.** 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

der Wand fließenden Theilchen und der Wand selbst eine Wechselwirkung, ein Adhäsions- oder Reibungswiderstand, welcher der Bewegung des Wassers entgegenwirkt. *Eitelwein, Prony* und in neuerer Zeit *St. Venant* haben Versuche angestellt, um das Gesetz dieses Widerstandes zu ermitteln. Man hat gefunden, dass dieser Widerstand 1) von dem Material, aus welchem die Röhre besteht, nicht abhängt, 2) der Dichte der Flüssigkeit proportional ist, 3) der Berührungsfläche proportional zu setzen ist, 4) von der Geschwindigkeit  $u$  des Wassers in der Röhre abhängt, und annähernd ausgedrückt werden kann durch

$$\gamma C L (\alpha u + \beta u^2)$$

wobei  $\gamma$  das Gewicht von 1 Kubikmeter Flüssigkeit,  $C$  den Umfang der Röhre,  $L$  die Länge der Röhre,  $u$  die Geschwindigkeit des Wassers und  $\alpha, \beta$  zwei Erfahrungscoefficienten bedeuten. Nach den Versuchen von *Prony* ist

$$\alpha = 0.00001733$$

$$\beta = 0.0003483$$

Nennt man  $z$  die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche durch ihr Gewicht im Stande ist, den Reibungswiderstand zu überwinden,  $\Omega$  den Querschnitt der Röhre, so ist  $\gamma \Omega z$  das Gewicht dieser Flüssigkeitssäule, man hat daher

$$\gamma \Omega z = \gamma C L (\alpha u + \beta u^2)$$

daher

$$z = L \frac{C}{\Omega} (\alpha u + \beta u^2) \dots \dots \dots (1)$$

Für eine cylindrische Röhre vom Durchmesser  $D$  ist  $C = D \pi$ ,  $\Omega = \frac{D^2 \pi}{4}$ , demnach wird

$$z = L \frac{4}{D} (\alpha u + \beta u^2) \dots \dots \dots (2)$$

Die Werthe von  $\alpha u + \beta u^2$  für verschiedene Werthe von  $u$  sind in der Tabelle Seite 131 der Resultate zusammengestellt, und zwar sind es die von *Prony* gefundenen Werthe.

Diese Widerstandshöhe oder dieser Gefällverlust ist, wie Gleichung (2) zeigt, der Länge der Röhrenleitung direkt, ihrem Durchmesser aber verkehrt proportional. Ist  $u$  klein, z. B. 0.3, so kann das Glied  $\beta u^2$  gegen  $\alpha u$  vernachlässigt werden. Für kleine Geschwindigkeiten ist demnach der Reibungswiderstand beinahe der

ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional. Ist dagegen  $u$  ziemlich gross, z. B. 0.6 bis 1, 2, 3 Meter, so ist im Gegentheil  $\alpha u$  gegen  $\beta u^2$  eine kleine zu vernachlässigende Grösse. Für grosse Geschwindigkeiten ist daher der Widerstand nahe dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional.

In den meisten Fällen ist der Werth von  $z$  im Vergleich zu dem vorhandenen Gefälle nur dann von Belang, wenn die Länge der Leitung sehr beträchtlich ist, z. B. mehr als 100 Meter beträgt. Es ist selten der Fall, dass das zum Betrieb einer Maschine bestimmte Wasser aus sehr grossen Entfernungen in Röhren herbeigeleitet wird, degegen kommt es oft vor, dass Trinkwasser aus Entfernungen von 2000 bis 4000 Meter und mehr in Röhren fortgeleitet werden muss, und dann kann der Werth von  $z$  sehr beträchtlich ausfallen, insbesondere, wenn kleine Wasserquantitäten mit ziemlich grosser Geschwindigkeit geleitet werden sollen. Zur Erläuterung des so eben Gesagten mögen folgende Beispiele dienen.

In einer Röhrenleitung soll in jeder Sekunde  $Q = 0.8$  Kubikmeter Wasser einer Turbine zugeleitet werden. Die Länge der Leitung sei  $L = 100$  Meter, die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre 1 Meter, dann hat man:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.8}{3.14 \times 1}} = 1 \text{ Meter (nahe)}$$

und wird vermöge (2) und Tafel Seite 131 der Resultate

$$z = \frac{100 \times 4}{1} 0.0003656 = 0.146 \text{ Meter}$$

Der durch die Reibung entstehende Gefällverlust beträgt also nur nahe 15 Centimeter.

Auf eine Entfernung von  $L = 4000$  Meter soll in jeder Sekunde 0.4 Kubikmeter Trinkwasser mit einer Geschwindigkeit von 0.8 Meter fortgeleitet werden. Dann ist:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.4}{3.14 \times 0.8}} = 0.69, \quad z = \frac{4000 \times 4}{0.69} 0.0002368 = 5.6 \text{ Meter}$$

Auf eine Entfernung von 4000 Meter sollen in jeder Sekunde 0.03 Kubikmeter Trinkwasser mit 1.3 Meter Geschwindigkeit fortgeleitet werden. In diesem Falle wird:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.03}{3.14 \times 1.3}} = 0.172, \quad z = 4000 \frac{4}{0.172} \times 0.0006111 = 55.5 \text{ Meter}$$

Der Gefällverlust oder die Widerstandshöhe beträgt also in diesem dritten Beispiele 55·5 Meter.

**Eckige und abgerundete Knieröhrenstücke.** Bei jeder raschen Ablenkung des Wassers aus seiner geregelten Bahn entstehen nothwendig Wellenbewegungen oder Wirbelungen, so wie Erschütterungen an den Röhrenwänden, wodurch die lebendige Kraft der Fortschrittsbewegung des Wassers geschwächt wird. Die hierdurch entstehenden Gefällverluste lassen sich selbstverständlich genau nicht berechnen, denn alle derlei Vorgänge sind viel zu komplizirt, als dass sie durch eine korrekte Rechnung verfolgt werden könnten. Die nachfolgenden Regeln beruhen auf Versuchen.

*Weisbach* hat durch Versuche gefunden, dass ein winkliges Kniestück, Fig. 4, Tafel II., einen Gefällverlust verursacht, der durch folgenden Ausdruck berechnet werden kann:

$$z = \frac{u^2}{2g} (0.9457 \sin \delta^2 + 2.047 \sin^4 \delta)$$

wobei  $u$  die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre  $\delta = \widehat{CBE} = \widehat{EBD} = \frac{1}{2} \widehat{CBD}$  die Hälfte des Ablenkungswinkels bedeutet.

Für  $\delta = 10^\circ \quad 20^\circ \quad 30^\circ \quad 40^\circ \quad 50^\circ \quad 60^\circ$

$$\text{wird } \frac{z}{\frac{u^2}{2g}} = 0.046 \quad 0.139 \quad 0.364 \quad 0.740 \quad 1.260 \quad 1.861$$

Für  $\delta = 45^\circ$  wird nahezu  $0.9457 \sin \delta + 2.047 \sin^4 \delta = 1$  und  $z = \frac{u^2}{2g}$ , d. h. wenn der Ablenkungswinkel  $90^\circ$  beträgt, geht die lebendige Kraft verloren, die der Geschwindigkeit  $u$  entspricht.

Für abgerundete Kniestücke, Fig. 5, Tafel II., hat *Navier* aus Versuchen folgende Formel abgeleitet:

$$z = \frac{u^2}{2g} (0.0039 + 0.0186 r) \frac{s}{r^2}$$

wobei  $u$  die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre,  $r$  den Krümmungshalbmesser des Kniestückes und  $s$  die Länge  $AB$  des gekrümmten Theils des Kniestückes bezeichnet.

**Verengungen und Erweiterungen der Röhren.** Allmälige, stetige und sanft in einander übergehende Querschnittsänderungen verursachen keinen merklichen Kraftverlust. Plötzliche Querschnittsänderungen verursachen dagegen plötzliche Geschwindigkeitsände-

rungen und Wirbelungen, und verursachen nothwendig Kraftverluste, die mittelst des *Carnot'schen* Prinzipes annähernd in nachstehender Weise berechnet werden können.

Nennt man für eine Verengung, Fig. 6, Tafel II.,  $\Omega$  den Querschnitt der Röhre zu beiden Seiten der Verengung,  $\Omega_1$  den Querschnitt der Verengung,  $k_1$  den Contraktionscoefficienten,  $u$  die Geschwindigkeit des Wassers in dem Querschnitt  $\Omega$ ,  $u_1$  die Geschwindigkeit im Querschnitt  $\Omega_1$ ,  $Q$  die Wassermenge, welche per 1 Sekunde durch die Röhre fließt, so hat man

$$Q = \Omega u = \Omega_1 k_1 u_1 \quad \dots \quad (1)$$

Da nun das Wasser plötzlich aus der Geschwindigkeit  $u$ , in die Geschwindigkeit  $u_1$  übergeht, demnach plötzlich eine Geschwindigkeit  $u - u_1$  verliert, so entsteht ähnlich, wie bei dem Stoss unelastischer Körper ein Verlust an lebendiger Kraft, welcher der in jeder Sekunde stossenden Masse  $1000 \frac{Q}{2g}$  und dem Quadrat  $(u - u_1)^2$  der verlorenen Geschwindigkeit entspricht (Prinzipien Seite 98), die daher durch

$$1000 \frac{Q}{2g} (u - u_1)^2$$

ausgedrückt werden kann. Nennt man  $z$  den Gefällverlust, welcher diesem Verlust an lebendiger Kraft entspricht, so hat man

$$1000 Q z = 1000 \frac{Q}{2g} (u - u_1)^2 \quad \dots \quad (2)$$

Setzt man für  $u_1$  seinen aus (1) folgenden Werth  $u \frac{\Omega}{\Omega_1 k_1}$ , so erhält man aus (2)

$$z = \frac{u^2}{2g} \left( \frac{\Omega}{\Omega_1 k_1} - 1 \right)^2 \quad \dots \quad (3)$$

Es seien ferner für eine röhrenförmige Verengung, Fig. 7, Tafel II.,  $\Omega$ ,  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  die Querschnitte der Röhrentheile,  $u$ ,  $u_1$ ,  $u_2$  die Geschwindigkeiten des Wassers in diesen Querschnitten,  $k_1$  der Contraktionscoefficient für den Uebergang aus  $\Omega$  in  $\Omega_1$ ,  $x$  die Geschwindigkeit des Wassers im Querschnitt  $\Omega_1$ ,  $k_2$ , so hat man zunächst:

$$Q = \Omega u = \Omega_1 u_1 = \Omega_2 u_2 = \Omega_1 k_1 x$$

demnach

$$u_1 = \frac{\Omega}{\Omega_1} u, \quad u_2 = \frac{\Omega}{\Omega_2} u, \quad x = \frac{\Omega}{\Omega_1 k_1} u \quad \dots \quad (4)$$



Nun verliert das Wasser zuerst die Geschwindigkeit  $x - u$ , und hierauf  $u_1 - u_2$ , der totale Verlust an lebendiger Kraft ist demnach

$$1000 \frac{Q}{2g} \left[ (x - u)^2 + (u_1 - u_2)^2 \right]$$

oder mit Berücksichtigung von (1):

$$1000 \frac{Q}{2g} u^2 \left[ \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2 \left( \frac{1}{k_1} - 1 \right)^2 + \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} - \frac{\Omega}{\Omega_2} \right)^2 \right]$$

Dieser Verlust ist aber auch gleich  $1000 Q z$ , wenn  $z$  den Gefällverlust bezeichnet, daher hat man:

$$z = \frac{u^2}{2g} \left[ \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2 \left( \frac{1}{k_1} - 1 \right)^2 + \left( \frac{\Omega}{\Omega_1} - \frac{\Omega}{\Omega_2} \right)^2 \right] \dots (5)$$

Eine Röhrenerweiterung, Fig. 8, Tafel II., verursacht, wie eine Röhrenverengung an zwei Stellen Verluste an lebendiger Kraft. Es ist in diesem Falle zunächst

$$Q = \Omega u = \Omega_1 u_1 = \Omega_2 u_2 = \Omega_2 k_2 x$$

demnach

$$u_1 = \frac{\Omega}{\Omega_1} u, \quad u_2 = \frac{\Omega}{\Omega_2} u, \quad x = \frac{\Omega}{\Omega_2 k_2} u \dots (6)$$

Man erhält demnach in diesem Falle:

$$1000 Q z = 1000 \frac{Q}{2g} [(u - u_1)^2 + (x - u_2)^2]$$

oder wegen (6):

$$z = \frac{u^2}{2g} \left[ \left( 1 - \frac{\Omega}{\Omega_1} \right)^2 + \left( \frac{\Omega}{\Omega_2} \right)^2 \left( \frac{1}{k_2} - 1 \right)^2 \right]$$

Alle diese Gefällverluste, welche Eckstücke, Kniestücke und Röhrenerweiterungen oder Verengungen verursachen, sind nur dann von Belang, wenn sie sich in ausgedehnten Leitungen oftmals wiederholen, was z. B. der Fall ist, wenn die Verbindungen der Röhrenstücke, aus welchen eine lange Leitung besteht, nicht sorgfältig hergestellt werden. Sehr beträchtlich kann auch dieser Widerstand werden, wenn sich an den Röhrenwänden unregelmässig geformte Krusten ansetzen, wodurch in der ganzen Leitung rasch aufeinander folgende plötzliche Querschnittsänderungen entstehen. Man sieht hieraus, wie wichtig es ist, dass eine Wasserleitung sorgfältig ausgeführt und unterhalten wird.

Nennt man  $\Sigma z$  die Summe aller Gefällverluste, welche eine Röhrenleitung wegen Reibungen, Krümmungen und Querschnittsänderungen verursacht,  $H$  das wirklich vorhandene Gefälle, so muss man, um den wirklichen Erfolg zu berechnen,  $\pm H \pm \Sigma z$  in Rechnung bringen, nämlich:

- +  $H + \Sigma z$  wenn Wasser gehoben werden soll, d. h. wenn die Ausflussmündung höher liegt als die Einmündung,
- $H + \Sigma z$  wenn Wasser fortgetrieben werden soll, aber die Ausflussmündung tiefer liegt als die Einmündung,
- +  $H - \Sigma z$  wenn die Ausflussöffnung um  $H$  tiefer liegt, als die Einmündung und entweder die Ausflussgeschwindigkeit oder der Druck berechnet werden soll, den das Wasser an der Ausflussöffnung hervorzubringen vermag.