



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Der Wasserbau an den Binnenwasserstrassen**

**Mylius, Bernhard**

**Berlin, 1906**

A. Allgemeines über Flüsse

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-82111](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-82111)

## Abschnitt 20.

### Strombau.

Unter Strombau wird hier verstanden der Ausbau der Ströme und Flüsse zum Zwecke der Schiffbarmachung, sowie ihre Unterhaltung im ausgebauten Zustande.<sup>1)</sup>

Eine bestimmte Grenze zwischen den Begriffen Strom und Fluß ist nicht zu ziehen; die allgemeinere Bezeichnung ist „Fluß“. Strom ist ein großer Fluß und besonders der schiffbare Hauptfluß eines Flußgebietes. In der Regel bezeichnet man mit „Strom“ die Hauptströme Weichsel, Oder, Elbe, Weser, Rhein. Bezüglich der gemeinsamen Eigenschaften der größeren fließenden Gewässer wird im folgenden in der Regel die Bezeichnung „Fluß“ angewendet.

#### A. Allgemeines über Flüsse.

**1. Flußgebiet** (Stromgebiet). Ein Fluß (Strom) wird hauptsächlich gespeist durch seinen Oberlauf und seine Nebenflüsse. Der Oberlauf und die Nebenflüsse werden gespeist durch Zuflüsse (kleinere Flüsse, Quellbäche, Fließe).

Die Speisung der Zuflüsse geschieht:

a) durch Quellen und Grundwasser. Grundwasser ist das in das Erdreich eingedrungene Niederschlagswasser (Regen- oder Tauwasser). Quillt Grundwasser an einer bestimmten Stelle beständig heraus, so nennt man das heraustretende Wasser eine Quelle; fließt es dagegen unterirdisch weiter, so spricht man von Grundwasser schlechthin (Grundwasserstrom).

<sup>1)</sup> Strombau oder Stromausbau bedeutet hier dasselbe, was gemeinhin mit Stromregelung (Stromregulierung, Stromkorrektion) bezeichnet wird. Unter Flußbau versteht man dagegen in der Regel den Ausbau (die Regelung) der nicht-schiffbaren Flüsse.

Anm. Der Fluß und die Nebenflüsse werden auch in ihrem Hauptlauf an einzelnen Stellen öfters durch Grundwasser oder Quellen unmittelbar gespeist.

b) Mehr vorübergehend werden die Flüsse (Hauptlauf, Nebenflüsse und Zuflüsse) außerdem gespeist durch offen abfließendes Niederschlagswasser (Oberflächenwasser). Der andere Teil des Niederschlagswassers dringt in das Erdreich ein und bildet, wie vorerwähnt, das Grund- und Quellwasser zu a; ein weiterer Teil verdunstet. Das Oberflächenwasser, sowie das Grund- und Quellwasser läuft dem Flusse nur aus einem bestimmt abgegrenzten Gebiete zu. Dies Gebiet nennt man das Flußgebiet (Stromgebiet), auch Niederschlagsgebiet. Das Flußgebiet ist gegen benachbarte Flußgebiete abgegrenzt durch Wasserscheiden, das sind Bodenerhebungen, die das ganze Flußgebiet umgeben. Von einer Wasserscheide fließt das Wasser immer nach zwei Richtungen, nämlich nach zwei verschiedenen Flußgebieten hin.

Auch jeder Nebenfluß hat sein besonderes Niederschlags- oder Flußgebiet und seine besonderen Wasserscheiden gegen die benachbarten Nebenfluß- oder Flußgebiete.

Die bildlich dargestellte Verästelung eines Flusses in alle seine Nebenflüsse und Zuflüsse nennt man das Flußnetz (Stromnetz).

Die Wassermenge, die in einem Flusse fließt, ist abhängig von der Größe seines Niederschlagsgebietes, von der Bodenbeschaffenheit dieses Gebietes und der Neigung des Geländes in ihm, sowie von der Größe, Häufigkeit und Dauer der Niederschläge. In durchlässigem Boden (Erde, Moor, Sand, Kies, Geröll) versinkt ein großer Teil des Niederschlagswassers und macht sich als Grund- oder Quellwasser erst geraume Zeit nach den gefallenen Niederschlägen als Zufluß geltend. Undurchlässiger Boden (Lehm, Ton, Fels) läßt die Niederschläge fast unvermindert abfließen und zwar um so schneller, je mehr das Gelände geneigt ist. Daraus ergibt sich, daß Flüsse, deren Niederschlagsgebiet größtenteils in gebirgigen Gegenden liegt, schnell anschwellen, aber auch schnell fallen, Flüsse, deren Niederschlagsgebiet dagegen größtenteils in der Ebene liegt, langsam anschwellen und langsam fallen. Ferner folgt daraus, daß zwei Flüsse, die ein annähernd gleich großes und gleich geneigtes Niederschlagsgebiet bei annähernd gleichartiger Bodenbeschaffenheit haben, bei annähernd gleich großen Niederschlägen die gleiche Wassermenge führen (z. B. Mosel und Main).

**2. Flußbett. Überschwemmungsgebiet.** Das Gerinne, in welchem das Wasser eines Flusses sich für gewöhnlich bewegt, nennt man sein Bett. Der mittlere, untere Teil des Bettes heißt die Sohle, die seitlichen oberen Teile die Ufer. Die oberste Uferkante heißt der Bord. Ist das Bett ganz mit Wasser gefüllt, so sagt man der Fluß ist bordvoll. Steigt der Fluß, so daß das Wasser über die

Borde geht, so treten Ausuferungen, und bei weiterem Steigen Überschwemmungen ein. Das Gebiet, das zu beiden Seiten eines Flusses zwischen dem Bord und der äußersten Überschwemmungsgrenze liegt, heißt das Überschwemmungsgebiet.<sup>1)</sup>

Das Land, das auch bei dem höchsten Hochwasser nicht überschwemmt wird, heißt hochwasserfrei.

Legt man einen Querschnitt durch den Fluß und sein Überschwemmungsgebiet, so heißt der Querschnittsteil, der durch die Flußborde begrenzt wird, der Flußquerschnitt, der ganze Querschnitt aber zwischen den beiderseitigen Überschwemmungsgrenzen der Hochwasserquerschnitt.

Bewegt sich auch der Hochwasserstrom in einem erkennbaren geschlossenen Bette, so spricht man von einem Hochwasserbett. Die sichtbaren Grenzen dieses Hochwasserbettes nennt man die Hochufer.

Im Überschwemmungsgebiet ist nicht immer alles Hochwasser fließend. Zwischen großen dichten Ortslagen, zwischen dichtem Buschwerk, in tiefen Einbuchtungen usw. steht das Hochwasser oft nahezu still. Dieses stillstehende Wasser nennt man Stau- oder totes Wasser. Man nennt dann denjenigen Teil des Hochwassergebietes, in dem das Hochwasser tatsächlich fließt, das Hochwasser-Abflußgebiet und die Breite dieses Gebietes, besonders soweit es von Abflußhindernissen freigehalten werden muß, die Hochwasser-Abflußbreite.

**3. Wasserstände.** Die Wasserstände werden an den Hauptpegeln regelmäßig abgelesen und in den Wasserstandslisten dauernd aufgezeichnet. Man unterscheidet im Flusse gewisse Hauptwasserstände, deren Kenntnis für die Beurteilung seiner Wasserführung überhaupt, für seine Schiffbarkeit, für Bauten am Flußufer und im Überschwemmungsgebiete, sowie für die Entscheidung von Eigentums- und landwirtschaftlichen Fragen von besonderer Bedeutung sind.

Allgemein unterscheidet man a) Niedrigwasserstände, b) mittlere Wasserstände und c) Hochwasserstände. Man denkt dabei an eisfreie Wasserstände; wenigstens sind diese im folgenden gemeint. (Von Wasserständen bei Frost, Eistreiben, Eisversetzungen und Eisgang ist unter Ziffer 10 besonders die Rede.)

#### *a) Niedrigwasserstände.*

1. N. W. oder besser N. N. W.<sup>2)</sup> ist der niedrigste Wasserstand in einer längeren Reihe von Jahren. Seine Kenntnis ist für den Stromausbau und für die Schifffahrt sehr wichtig. Jedoch rechnet man

<sup>1)</sup> Vergl. auch I. Teil, S. 78, betreffend die Grenze des engeren Stromgebietes gegen das Überschwemmungsgebiet.

<sup>2)</sup> Bisweilen wird nämlich unter N. W. niedriger Wasserstand schlechthin verstanden.

in der Regel nicht darauf, daß bei diesem Wasser die Schiffe noch mit ganz voller Ladung fahren können. Der niedrigste Wasserstand (N. N. W.), durch eine bestimmte Pegelzahl ausgedrückt, hat übrigens nur für eine gewisse Reihe von Jahren dieselbe Bedeutung; denn die Flußsohle verändert sich im Laufe der Zeit in manchen Strecken, und mit ihr senkt oder hebt sich der Wasserspiegel. Richtiger ist es daher, den niedrigsten Wasserstand als denjenigen zu bezeichnen, bei dem der Fluß in der fraglichen Strecke die kleinste Wassermenge abführt.

2. M. N. W. ist der gemittelte niedrigste Wasserstand, meistens kurz Mittelniedrigwasser genannt. Er ist gemittelt entweder aus den niedrigsten Wasserständen einer Reihe von Jahren oder aus den niedrigsten Sommerwasserständen dieser Jahre oder aus den niedrigsten Sommerwasserständen einzelner besonders trockener Jahre einer Jahresreihe (etwa während 10 bis 20 Jahren).

Bisweilen wird ein solcher Wasserstand auch mit R. W. (das ist Regulierungs-Wasserstand) bezeichnet. Das Ziel des Stromausbaues ist in der Regel, bei dem Wasserstande M. N. W. oder R. W. eine bestimmte Mindestfahrtiefe in genügender Breite zu erzeugen, so daß alsdann Schiffe von maßgebender Größe und Tauchtiefe möglichst noch mit voller Ladung fahren können.

#### *b) Mittlere Wasserstände.*

3. M. W., Mittelwasser, der gemittelte (mittlere) Wasserstand ist aus sämtlichen Wasserstandsbeobachtungen einer Reihe von Jahren gemittelt (10, 20, 30, auch mehr Jahre). Er wird bei den meisten Flüssen für die Anordnung und Wirkung der Strombauwerke in erster Linie zugrunde gelegt. Ihre Krone liegt in der Regel auf M. W.

4. M. S. W., der mittlere Sommerwasserstand ist gemittelt aus den Sommerwasserständen einer Reihe von Jahren (Sommermonate sind hier Mai bis Oktober). Er liegt meistens tiefer als der Wasserstand zu 3. Bezüglich des Flußausbaues wird er an manchen Flüssen anstatt des Mittelwassers M. W. verwendet.

5. G. W., der gewöhnliche Wasserstand ist der Stand, der während eines Jahres bzw. während einer Reihe von Jahren, ebenso oft überschritten wie nicht erreicht worden ist. Er liegt in der Regel ebenfalls tiefer als M. W. Bezüglich des Ausbaues wird er bei manchen Flüssen anstatt der Wasserstände zu 3. und 4. zugrunde gelegt. Außerdem ist er wichtig für Eigentumsfragen (vergl. I. Teil dieses Buches S. 9, Anm. zu § 56 des Allgem. Landr., II. Teil, Tit. 15 bezüglich der Grenze zwischen Flußbett und Ufer). Dieser Wasserstand bildet in der Regel auch die Pflanzenwuchsgrenze (Vegetationsgrenze) am Ufer, manchmal trifft dies aber eher zu für den Wasserstand zu 4.

## c) Hochwasserstände.

6. M. H. W., Mittelhochwasser ist der Wasserstand, der aus den höchsten Wasserständen einer Reihe von Jahren gemittelt ist. Er ist von Bedeutung z. B. für die Anlage mancher Ladestellen und anderer Uferwerke, von nicht hochwasserfreien Deichen usw.

7. H. Sch. W. ist der höchste schiffbare Wasserstand. Er ist an jeder Wasserstraße nach besonderen Erfahrungen bestimmt. Er richtet sich z. B. nach der Höhenlage vorhandener Brücken, die bei diesem Wasserstande noch eben durchfahren werden können, ferner, falls Treidelbetrieb stattfindet, nach der Höhe der Leinpfade, endlich nach den bei höheren Wasserständen eintretenden schwierigen Strömungen und dergl.

8. H. H. W., der höchste Hochwasserstand ist der überhaupt bekannte höchste (eisfreie) Wasserstand. Dieser wird bei der Anlage von Brücken, Uferstraßen, Deichen, Ladestellen, Hafendämmen, von hochwasserfreien Wohnstätten und dergl. besonders berücksichtigt.

**4. Gefälle.** Die Strömung im Flusse beruht auf dem Gefälle. Unter Gefälle versteht man das Gefälle des Wasserspiegels (Spiegelgefälle; seltener spricht man von dem Gefälle der Flußsohle, Sohlengefälle).

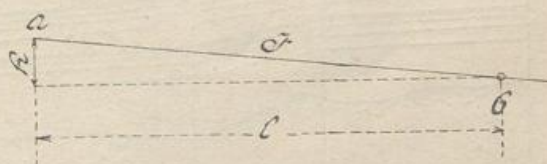


Abb. 215.

Man kann unter Gefälle zweierlei verstehen (Abb. 215):

a) entweder die Gefällhöhe ( $h$ ), die angibt, wieviel ein Punkt ( $a$ ) des Wasserspiegels höher liegt als ein Punkt ( $b$ ) desselben, der um eine Strecke ( $l$ ) stromabwärts liegt.

Z. B.  $a$  liege  $0,32$  m höher als der  $1050$  m stromab gelegene Punkt  $b$ . Dann sagt man, das Gefälle (die Gefällhöhe) von  $a$  nach  $b$  beträgt  $0,32$  m.

b) oder man versteht unter Gefälle das Gefällverhältnis ( $J$ ), das die Neigung des Wasserspiegels ausdrückt; allgemein schreibt man dafür  $J = \frac{h}{l}$  oder  $h : l$ ; d. h. das Gefällverhältnis ist = der Gefällhöhe, geteilt durch die betreffende Flußlänge.

Bei dem vorbezeichneten Zahlenbeispiel ist das Gefällverhältnis:  $J = \frac{0,32}{1050}$  oder  $\frac{1}{3281}$  oder  $1 : 3281$ . Man sagt also hier: [das Gefälle von  $a$  bis  $b$  ist  $\frac{1}{3281}$  oder  $1 : 3281$ . Man kann den Bruch auch in einen Dezimalbruch verwandeln und sagt dann in diesem Falle, das Gefälle ist =  $0,0003048$  oder rund  $0,3$  mm aufs Tausend (meist geschrieben:  $0,3$  ‰).

Damit in den Höhenplänen die Gefällneigungen deutlicher sichtbar werden, wählt man den Höhenmaßstab 20 bis 100 mal größer als den Längenmaßstab (sog. verzerrter Maßstab).

Im folgenden ist unter Gefälle immer das Gefällverhältnis gemeint. (Die diesem zugrunde liegende Gefällhöhe und Länge sind im Stromstrich gemessen zu denken; vergl. Ziff. 7.)

Bezüglich des Gefälles in einer Flußstrecke unterscheidet man einerseits das Durchschnittsgefälle, das vom Anfang bis zum Endpunkte dieser Strecke gemeint ist und andererseits die Einzelgefälle, die in verschiedenen Teilen dieser Flußstrecke sich vorfinden und oft größer oder kleiner als das Durchschnittsgefälle sind, so daß die Wasserspiegellinie im Höhenplan dann sehr unregelmäßig aussieht. Bei niedrigen Wasserständen sind diese Unregelmäßigkeiten immer am größten (Abb. 216). Die Ursachen hierfür bestehen in vorkommenden Sand- und Kiesbänken, Steinriffen und Felsen, die die Flußsohle durchsetzen, oder in übermäßigen künstlichen oder natürlichen Einengungen des Flußbettes. Im Höhenplan sieht die Wasserspiegellinie dann oft

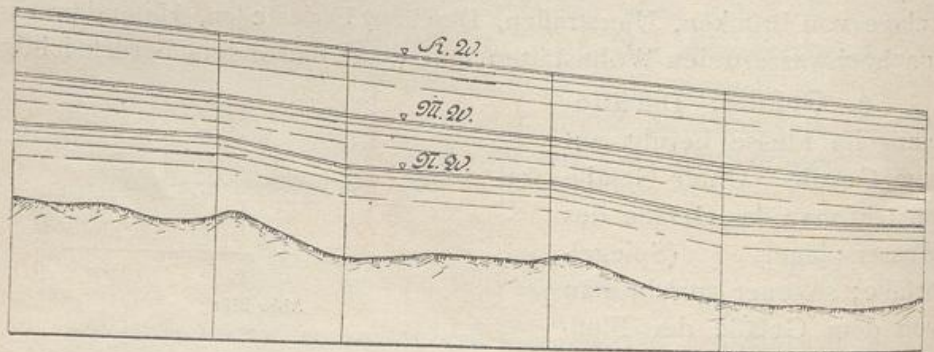


Abb. 216.

fast treppenartig aus. Bei mittleren Wasserständen verschwinden diese Treppen mehr und mehr oder, wie man sagt, das Gefälle gleicht sich aus; bei hohen Wasserständen bildet die Wasserspiegellinie der betreffenden Strecke annähernd eine gerade Linie, die dem Durchschnittsgefälle nahekommt (Abb. 216).

Bisweilen kommen kürzere Flußstrecken mit sehr starkem Gefälle vor, das auch bei mittleren und höheren Wasserständen bemerkbar bleibt; solche nennt man Stromschnellen. Diese sind für die Schifffahrt sehr hinderlich.

Je nachdem man das Gefälle einer Flußstrecke bei niedrigem, mittlerem oder hohem Wasserstande meint, spricht man vom Niedrigwassergefälle, Mittelwassergefälle oder Hochwassergefälle dieser Strecke.

Die Durchschnittsgefälle nehmen in fast allen Flüssen von der Quelle nach der Mündung hin erheblich ab. Die Abnahme findet meistens allmählich statt.

**5. Flußlauf. Flußquerschnitt. Talweg.** Jeder Fluß schlängelt sich; die Krümmungen überwiegen, gerade Flußstrecken sind seltener und nicht lang. Bei einer Flußkrümmung nennt man das eine Ufer

das einbuchtende (konkave) Ufer oder die Einbuchtung (Konkave)<sup>1)</sup>, das gegenüberliegende das vorspringende (konvexe) Ufer oder den Vorsprung (Konvexe). Flüsse, die nicht ausgebaut sind, also im natürlichen Zustande sich befinden, ändern ihren Lauf allmählich dadurch, daß das einbuchtende Ufer abbricht und das vorspringende Ufer anwächst; dadurch werden manche Flußkrümmungen mit der Zeit immer stärker bis zu dem Grade, daß eine Flußschleife entsteht, zwischen welcher nur eine schmale Zunge verbleibt. Der Fluß durchbricht alsdann bei höherem Wasserstande bisweilen die Zunge und schafft sich einen neuen Lauf. Man durchbricht die Zunge auch künstlich mittels eines Durchstiches (Abb. 217 a bis c). Die seitlich von dem Durchbruche oder Durchstiche liegenden Krümmungen heißen Altwasser (Schlenken, Lachen). Die Bodenmassen, die aus den Abbrüchen stammen, lagern sich im Flußbett ab und bilden Kies- und Sandbänke; auch verstärken sie die Anwüchse der vorspringenden Ufer. Die Sandbänke im Flußbett erhöhen sich mit der Zeit auf und werden dann zu Inseln; dadurch entstehen

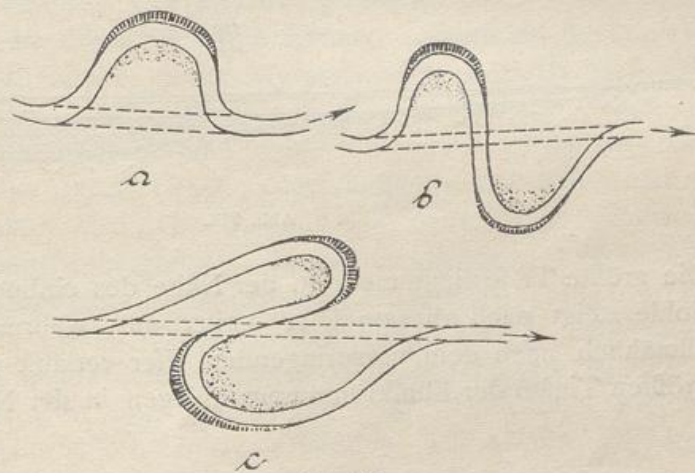


Abb. 217.

Flußspaltungen; d. h. der Fluß teilt sich in zwei Arme. Jeder Arm führt dann nur einen Teil des Wassers ab und ist daher schmaler oder seichter als der Hauptflußlauf. In einem so verwilderten Flusse kann sich eine gleichmäßige und bequeme Schifffahrtsrinne nicht ausbilden. Eine Hauptmaßnahme des Strombaues ist daher die Regelung und dauernde Festlegung des Flußlaufes.

Sowohl in den natürlichen, wie in den ausgebauten Flüssen zeigen die Flußquerschnitte zwei Hauptformen (Abb. 218)<sup>2)</sup>, die eine in den geraden Strecken (II), die andere in den Krümmungen (I u. III). In einer ordnungsmäßigen (nicht verwilderten) geraden Strecke ist

<sup>1)</sup> Die ostdeutschen Schiffer sagen für einbuchtendes Ufer Grube; die rheinischen Schiffer nennen die zwischen zwei Krümmungen liegende gerade Strecke das offene Reck.

<sup>2)</sup> Selbstverständlich sehen die gepeilten Querschnitte nie so regelmäßig aus als die hier dargestellten, am allerwenigsten in nicht ausgebauten Flüssen.

die Sohle des Flußbettes schalenförmig gekrümmt, d. h. die größte Tiefe liegt annähernd in der Mitte; nach den Ufern steigt die Flußsohle in flacher Krümmung gleichmäßig an (s. II). In den Krümmungen dagegen ist das Flußbett im Querschnitt mehr birnenförmig gestaltet.

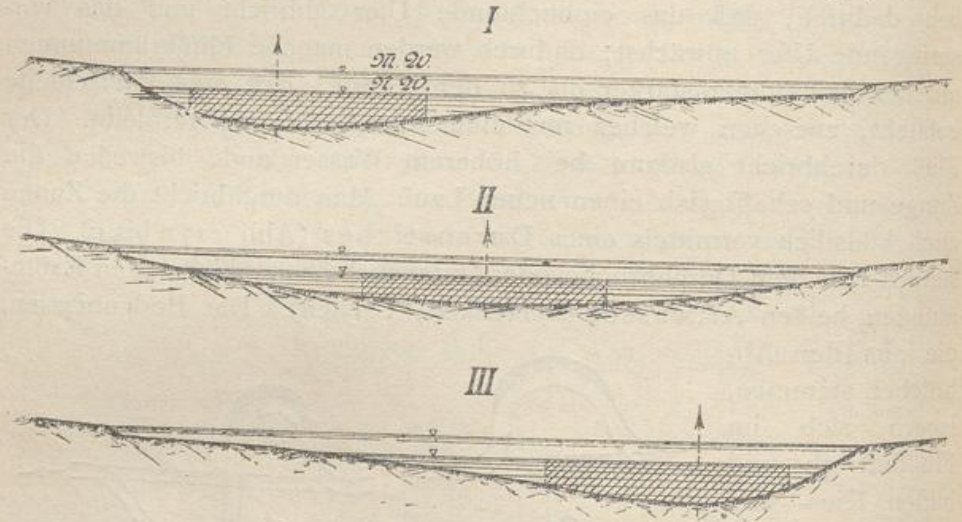


Abb. 218.

Die größte Tiefe liegt mehr in der Nähe des einbuchtenden Ufers; die Sohle steigt nach diesem Ufer steiler auf, während sie flacher und allmählich nach dem vorspringenden Ufer verläuft (s. I und III). Die größten Tiefen der Flußkrümmungen liegen in der Nähe des Scheitels

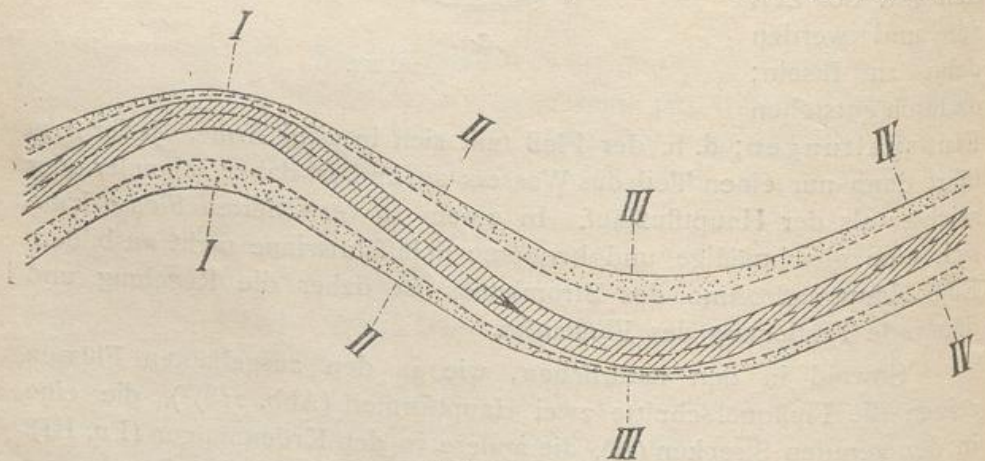


Abb. 219.

der Krümmungen und sind immer größer als die größten Tiefen in den anschließenden geraden Strecken.

Bei wechselnden Krümmungen des Flusses (Abb. 219) wechselt die Linie der größten Tiefen demnach von einem Ufer zum anderen hinüber, während sie in der Übergangsstrecke zwischen zwei Krümmungen

annähernd in der Flußmitte liegt. Der Querschnitt II in Abb. 218 gehört zu den in Abb. 219 mit II und IV bezeichneten Übergangsggeraden, die Querschnitte I und III liegen an den Krümmungsscheiteln.

Die Linie der größten Tiefen, die sich in dem Flußlauf hinzieht, nennt man den Talweg (in Abb. 218 und 219 strichpunktiert mit Pfeil), die Rinne im Flußlauf, die eine für die Schifffahrt hinreichende Tiefe hat, heißt die Fahrrinne oder die Fahrt (in Abb. 218 und 219 gestrichelt.) In Abb. 218 und 219 ist ferner die Begrenzung des Mittelwasser- und des Niedrigwasserbettes zur Anschauung gebracht. Der Talweg ist die Richtlinie für die Fahrrinne und liegt innerhalb derselben. Er wird in die Stromkarten in der Regel als blaupunktierte Linie eingetragen.

Zur genaueren Darstellung des Flußbettes in der Stromkarte ist die Eintragung weiterer Tiefenlinien zweckmäßig. Diese ergeben sich, wenn man das Flußbett durch Ebenen geschnitten denkt, die in bestimmten Tiefen unter einem Wasserspiegel, z. B. N. W., gleichlaufend mit diesem, gelegt werden (z. B. 0,50, 1,0, 1,50, 2,0 m usw. unter N. W.). Solche Tiefenlinien bilden übrigens auch die Begrenzung der Fahrrinne, die durch Legung der Ebene in der Mindestfahrtiefe unter N. W. erhalten wird (Abb. 218 und 219). Die Tiefenlinien werden aus den Querschnitten hergeleitet, indem in diesen unter der N. W.-Linie in den bestimmten Tiefenabständen Wagerechte gezogen werden. Die Schnittpunkte dieser Wagerechten mit dem Umriß des Flußbettes werden aus den Querschnitten maßstäblich an gehöriger Stelle in die Stromkarte übertragen und die zusammengehörigen Punkte gleicher Tiefen werden dann durch Linien verbunden. Diese Linienzüge geben ein fast körperliches Bild des Flußschlauches.

Aus dem vorigen ergibt sich, daß der Talweg meistens noch gewundener ist als der Flußlauf selbst; besonders ist dies der Fall in natürlichen, unausgebauten Flüssen. In diesen schlängelt er sich, selbst auch in geraden Strecken, zwischen Sand- und Kiesbänken oder spaltet sich streckenweise in zwei Talwege, zwischen denen ein sog. Mittelberg liegt; ferner zeigt er anstatt ausgerundeter Krümmungen oft scharfe Knicke. Es ist ein Ziel des Strombaues, den Talweg auszurunden und zu strecken, auch in den Krümmungen etwas mehr vom Ufer ab zu verlegen, die Spaltungen des Talweges zu beseitigen und ihn möglichst dauernd in bestimmter Lage zu erhalten.

Die Stelle, wo der Talweg, von einem Ufer zum anderen hinüberwechselnd, die Flußmitte kreuzt, nennt man den Übergang oder Überschlag (Abb. 219, II und IV). In jeder längeren Flußstrecke gibt es eine Anzahl Übergänge. Die Übergänge sind immer die flachsten Stellen (Schwellen) im Talwege. Es ist ein weiteres Ziel des Stromausbaues, die Fahrtiefen, namentlich in den Übergängen, zu vergrößern.

**6. Sinkstoffe.** Die Bodenteile, die durch die Strömung fortbewegt werden, an ruhigeren Stellen sich aber absetzen, nennt man Sinkstoffe (Geschiebe). Sie können in verschiedenen Flüssen und Flußstrecken von verschiedener Beschaffenheit sein. Nach dem Grade ihrer Feinheit unterscheidet man Schlick, Sand (feinen und groben Sand), Kies (feinen und groben Kies) und Geröll (gewöhnliches und grobes Geröll). Geröll (d. s. mäßige und größere Steine) kann natürlich nur durch sehr starken Strom fortbewegt werden. Es kommt in den Gebirgsflüssen und im obersten Laufe der Ströme vor. Kies wird durch lebhaftere Strömungen fortbewegt. Er herrscht im unteren Lauf der Gebirgsflüsse und im Mittellauf der Ströme vor. Sand wird schon von mäßigem Strome fortbewegt. Er bildet hauptsächlich das Bett der Niederungsflüsse und des Unterlaufes der Ströme. Kies und Sand können natürlich auch zwischen Geröll, und Sand auch zwischen Kies vorkommen. Schlick oder Schlamm führen fast alle Flüsse und Ströme bei höheren Wasserständen; d. s. ganz feine Erd- auch Pflanzenteile, die von den Uferländern und aus Abbrüchen abgespült werden, zum Teil noch vermehrt durch Zerreibung von weichen Gesteinen. Setzen sich Sinkstoffe in Bänken ab, so spricht man je nachdem von Schlick-, Sand-, Kies- und Geröllbänken. In einem ausgebauten Flusse sollen die Sinkstoffe regelmäßig abgeführt werden, ohne störende Bänke zu bilden; sie sollen sich nur da absetzen, wo eine Verlandung beabsichtigt wird, z. B. zwischen Strombauwerken, in Altwassern usw.

**7. Wassergeschwindigkeit. Stromstrich.** Die Geschwindigkeit des fließenden Wassers in einer Flußstrecke ist abhängig von dem Gefälle, ferner von der Beschaffenheit des Flußbettes (z. B. je nachdem dieses aus Sand, Kies, Geröll, Felsboden usw. besteht) und von der mittleren Tiefe der Querschnitte. In einem und demselben Flußquerschnitt ist die Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten verschieden. Sie ist im allgemeinen am größten am Wasserspiegel und am kleinsten an der Sohle; sie nimmt also in jeder Senkrechten des Querschnittes von der Sohle nach dem Wasserspiegel zu. Da nun die Geschwindigkeit an der Sohle (Sohlengeschwindigkeit) überall sehr klein ist, so folgt daraus, daß die Geschwindigkeit im Wasserspiegel (Oberflächengeschwindigkeit) dort in der Regel am größten ist, wo sich die größte Tiefe befindet und andererseits, daß die Oberflächengeschwindigkeit von der Stelle der größten Tiefe nach den Ufern abnimmt, weil die Tiefen dorthin abnehmen.

Die Längslinie der größten Geschwindigkeit oder Strömung im Flusse nennt man den Stromstrich. Aus dem Vorigen leuchtet ein, daß der Stromstrich — wenigstens bei niedrigen Wasserständen — mit dem Talwege (der Linie der größten Tiefen) im allgemeinen zu-

sammenfällt. Bei mittleren Wasserständen dagegen verlegt sich der Stromstrich, auch in den Krümmungen, etwas mehr nach der Flußmitte, weil wegen der größeren Weite des Querschnittes die stärkere Strömung alsdann auch über flachere Stellen, infolge ihrer Beharrung, hinübergleitet. Der Stromstrich ist dann also weniger gewunden und infolgedessen kürzer als bei Niedrigwasser. Noch weniger gewunden und kürzer ist der Stromstrich bei höheren Wasserständen, weil die starke Strömung dann auch über vorspringende Ufer hinübergleitet. Das Flußgefälle wird ermittelt aus der Gefällhöhe und der Flußlänge im Stromstrich.<sup>1)</sup> Da nun die Gefällhöhe einer längeren Flußstrecke bei Niedrig-, bei Mittel- und bei Hochwasser im allgemeinen wenig verschieden ist, aber die Länge des Stromstriches bei diesen Wasserständen verschieden ist, nämlich kürzer wird mit steigendem Wasser, so folgt daraus, daß das Gefälle (Gefällverhältnis) mit steigendem Wasser größer wird, und zwar bei hohen Wasserständen am größten; daher ist bei Hochwasser auch die Strömung besonders stark (abgesehen von den größeren Tiefen, die alsdann auch vorhanden sind und auf Vergrößerung der Geschwindigkeit hinwirken).

**8. Wassermenge. Mittlere Geschwindigkeit. Vertiefung durch Einschränkung der Breite.** In einer Flußstrecke fließt bei demselben Pegelstande immer dieselbe Wassermenge ab (wenn nicht Zuflüsse hinzukommen). Unter Wassermenge an einer bestimmten Flußstelle versteht man die Wassermasse in cbm, die den Flußquerschnitt in einer Sekunde durchfließt. Sie wird berechnet aus der Fläche des mit Wasser angefüllten Querschnittes =  $F^2)$  und der mittleren Wassergeschwindigkeit im Querschnitte =  $v$ . Wird die Wassermenge mit  $Q$  bezeichnet, so ist

$$Q = F \cdot v.$$

Die Wassermenge ist also das Produkt aus der Querschnittsfläche und der mittleren Geschwindigkeit (vergl. auch Abschn. Meßkunde Ziff. 8).

Die Querschnittsfläche  $F$  kann aus dem durch Peilung aufgenommenen Flußquerschnitte leicht berechnet werden. Die Geschwindigkeit eines Wasserteilchens ist der Weg, den dieses in einer Sekunde zurücklegt. Da die Geschwindigkeit gemäß Ziff. 7 an den verschiedenen Stellen des Querschnittes verschieden ist, so wird der Kürze wegen für die Einzelgeschwindigkeiten im Flußquerschnitte die mittlere Geschwindigkeit  $v$  eingesetzt.  $v$  kann ermittelt werden aus Geschwindig-

<sup>1)</sup> Hierzu wird bemerkt, daß der Wasserspiegel in einem Flußquerschnitte nicht immer genau wagerecht ist, in scharfen Krümmungen ist er an der einbuchtenden Seite in der Regel etwas höher als an der vorspringenden Seite; im Stromstriche hat er etwa die Mittellage.

<sup>2)</sup> Man sagt für den mit Wasser angefüllten Querschnitt auch „benetzter Querschnitt“.

keiten, die in verschiedenen Senkrechten des Flußquerschnittes, je an der Sohle, im Wasserspiegel, sowie zwischen diesen, mit besonderen Instrumenten gemessen werden (vergl. Meßkunde S. 14), oder  $v$  kann nach besonderen Formeln berechnet werden (für diese Formeln muß das Spiegelgefälle, die benetzte Querschnittsfläche, die mittlere Tiefe  $t$  und der Rauigkeitsgrad der Flußsohle bekannt oder ermittelt sein).

Für die Querschnittsfläche  $F$  kann man setzen

$$F = B \cdot t;$$

dabei ist  $B$  die Breite des Wasserspiegels und  $t$  die mittlere Tiefe; dann ist:

$$Q = B \cdot t \cdot v.$$

Da nun in einer Flußstrecke bei demselben Pegelstande die Wassermenge  $Q$  immer gleich groß ist, so ergibt sich aus  $Q = B \cdot t \cdot v$  folgendes:

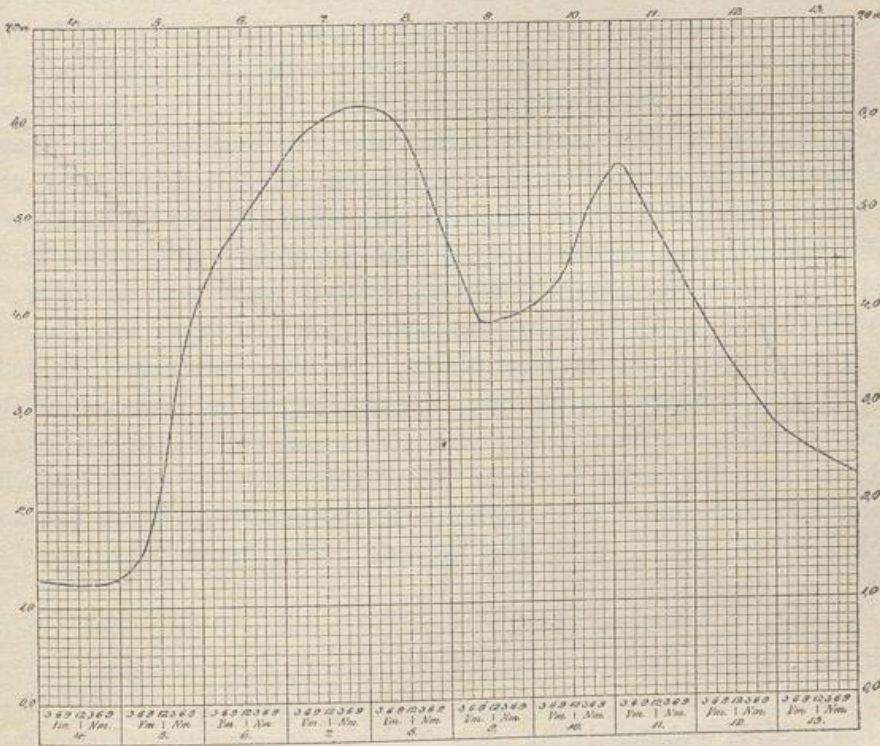
Schränkt man die Breite  $B$  künstlich ein, z. B. durch Buhnen, so muß offenbar  $t \cdot v$  dadurch größer werden, d. h. die Tiefe muß zunehmen oder die Geschwindigkeit  $v$ , oder beide zusammen. Ist nun die Flußsohle nachgiebig, z. B. wenn sie aus Sand besteht, so wird die Geschwindigkeit  $v$  zunächst zunehmen, den Sand fortspülen, so daß eine Vertiefung erzeugt wird und sich alsdann wieder etwas ermäßigen. Die Einschränkung der Flußbreite wird also in diesem Falle schließlich eine Vertiefung der Flußsohle herbeiführen. Es ist ein Hauptziel des Flußausbaues, durch Einschränkung zu großer Breiten und infolgedessen vermehrte Spülung eine Vertiefung zu erzeugen und dauernd zu erhalten. Ist die Flußsohle nicht nachgiebig genug, z. B. wenn sie aus grobem Kies, Geröll oder Fels besteht, so reicht die durch Einschränkung vermehrte Spülkraft nicht aus; alsdann muß durch Baggern oder Sprengen nachgeholfen werden. In einer gut ausgebauten Flußstrecke muß die Einschränkung so bemessen und müssen die Einschränkungswerke so angelegt sein, daß bei allen Wasserständen vom Mittel- bis zum Niedrigwasser die vorhandene Wassermenge im Flußquerschnitt überall eine genügende Spülkraft zur Fortbewegung der Sinkstoffe entwickelt, so daß Ablagerungen in der Fahrinne verhindert werden.

**9. Hochwasser.** Hochwasser im Flusse entsteht durch bedeutende Niederschläge, nämlich erstens durch anhaltenden Regen, auch durch sog. Wolkenbrüche (d. s. ganz ungewöhnlich starke Regengüsse, die plötzlich, wenn auch mit kürzerer Dauer, fallen), zweitens durch schnelles Auftauen großer Schneemassen. Das Hochwasser wird um so stärker, je weniger Wasser in den Erdboden einziehen kann. Dies trifft z. B. zu, wenn vor einem starken Regen schon eine längere Regenzeit vorübergegangen ist, so daß der Erdboden mit Feuchtigkeit vollständig gesättigt ist, ferner, wenn Tauwetter nach starkem Frost sehr plötzlich eintritt, so daß der Schnee schnell

schmilzt, während der Erdboden noch gefroren und übereist ist. Die stärksten Hochwasser ergeben sich unter diesen Umständen, wenn plötzliches Tauwetter und starker Regen zusammentreffen.

Bei manchen Flüssen finden die größten Hochwasser um die Zeit der Schneeschmelze statt (Winter- und Frühjahrshochwasser), bei anderen treten sie gerade im Sommer ein, besonders in den Monaten Juni bis August, wenn starke Regen und Wolkenbrüche sich ereignen,

*Wasserstandslinie für ein Hochwasser am Pegel zu P.*



1. März 1885.

Abb. 220.

z. B. an der Oder und ihren vom Gebirge kommenden Nebenflüssen (Sommerhochwasser).

Das Steigen und Fallen des Hochwassers wird an den Pegeln beobachtet. Man nennt an einem Pegel oder an einer sonst bestimmten Stelle des Flußlaufes das ganze Steigen des Hochwassers und das Fallen (etwa bis zum bisherigen Stande) eine Hochwasserwelle, den höchsten Stand des Hochwassers an dieser Stelle den Wellenscheitel oder einfach den Scheitel. Diese Bezeichnung stammt von dem Bilde her, welches die Aufzeichnung der verschiedenen, an einem Pegel abgelesenen Wasserstände während einer Anschwellung, fortschreitend nach der Zeit ihrer Ablesung, bietet. Abb. 220 z. B. zeigt die Aufzeichnungen der Wasserstandsbeobachtungen am Pegel zu P.,

die S. 116 im I. Teil dieses Buches für die Hochwasserwelle vom 4. bis zum 14. März 1895 in einer Liste abgedruckt sind. (Der 14. März ist in der Zeichnung der Raumerparnis wegen fortgelassen.) Das Papier für die Auftragung ist quadriert. In wagerechter Richtung zählt man die Tage und Stunden (fortschreitend in je drei Stunden), in senkrechter Richtung die Pegelablesungen in m und dm. Die ganzen Meter sind durch starke wagerechte, die ganzen Tage durch starke senkrechte Linien hervorgehoben, die halben Tage durch strichpunktierte Linien. Im vorliegenden Falle besteht die Hochwasserwelle aus zwei Sonderwellen; denn auf das Fallen der ersten Welle folgt am 9. März 12 Uhr mittags wieder ein Steigen bis zum 11. März 4 Uhr vormittags (vergl. die Liste S. 116 im I. Teil).

Besonders wichtig sind während des Hochwassers die Wasserstandsbeobachtungen an den Hauptpegeln, die an dem Flusse oder Strome in gewissen Entfernungen verteilt sich vorfinden. Die Wasserstandsbeobachtungen werden, sobald eine Anschwellung eintritt, in der Regel häufiger vorgenommen als sonst und zwar um so öfter, je höher das Wasser steigt, nämlich dreimal täglich bis sogar alle Stunden, unter Umständen auch in der Nacht. Darüber bestehen für jedes Stromgebiet besondere Vorschriften. Der höchste Hochwasserstand (der Scheitel) schreitet stromabwärts von Pegel zu Pegel fort. Die Zeit, in welcher der Scheitel von einem Pegel zum anderen eintreffen wird, ist, ungefähr wenigstens, nach früheren Hochwassern meistens bekannt; jedoch ergeben sich je nach der Art und Höhe des Hochwassers gewisse Unterschiede.

Wenn bei großem Hochwasser von einem Pegel des oberen Flußlaufes bereits Fallen gemeldet ist, kann dies an den unteren Pegeln natürlich nicht beruhigen, da hier der Scheitel, d. h. das Hochwasser in seiner größten Höhe und Stärke, erst erwartet werden muß. Oft ist im oberen Lauf des Stromes das ganze Hochwasser schon vorüber und alles wieder friedlich, während im Unterlauf zu derselben Zeit die größten Verwüstungen vor sich gehen. Von großer Bedeutung ist natürlich noch der Umstand, ob und zu welcher Zeit auch die Nebenflüsse Hochwasser führen und demnach das Hochwasser des Hauptflusses entweder hervorrufen oder es verstärken. Das Wasser der Flüsse ist bei Hochwasser getrübt infolge der von den Uferländereien usw. mitgeführten, meistens schon aus den Zuflüssen stammenden feinen Schlickteile (vergl. Ziff. 6). Je schneller das Steigen vor sich geht, desto stärker ist die Trübung. Bei länger anstehendem Hochwasser und beim Fallen läßt die Trübung nach. Stark getrübt Hochwasser lagert an ruhigen Stellen Schlick ab, z. B. in stillen Buchten, Hafemündungen, auch auf breiten Vorländern, besonders wenn sie bewachsen sind. Die Schlickablagerung führt zur allmählichen Aufhöhung der Vorländer.

Diese wird im übrigen auch bewirkt durch Ablagerung von treibendem Sand.

Die Stromrichtung des Hochwassers fällt meistens nicht mit der Stromrichtung des Niedrig- und Mittelwassers zusammen (vergl. Ziff. 7). Wenn der Hochwasserstrom das Flußbett schief- oder rechtwinklig kreuzt, lagert er in ihm häufig Sand und andere Sinkstoffe ab, die für die Schifffahrt störend sind und weggebaggert werden müssen. In manchen Flüssen muß daher auch nach jedem Hochwasser eine neue Aussteckung des Fahrwassers stattfinden.

**10. Eisverhältnisse.** a) Eisbildung. In stehenden und in sehr langsam fließenden Gewässern bildet sich das Eis auf dem Wasserspiegel (Oberflächeneis). Es entsteht dann schon bei mäßigem Frost eine zusammenhängende Eisdecke (Kerneis). Anders ist dies bei den lebhafter fließenden Flüssen und Strömen. Bei diesen bildet sich das Eis zumeist auf dem Grunde und heißt dann Grundeis. Schwimmt das Grundeis auf und treibt flußabwärts, so heißt es Treibeis. Nur an den Uferrändern, zumal in stillen Buchten, in den Altwassern und zwischen den Strombauwerken bildet sich Oberflächeneis. Dieses Eis wird an den Uferrändern Randeis genannt.

Die Grund- und Treibeisbildung geht folgendermaßen vor sich. Hat schon einige Zeit Frostwetter geherrscht, welches das Wasser stark abgekühlt hat, so sinkt beim Eintritt stärkeren Frostes die Temperatur des Wassers äußerst schnell auf 0 Grad C. (= Gefrierpunkt). Dann findet eine sehr schnelle Ausscheidung ungeheurer Mengen feiner Eisnadeln (Eiskristalle) statt, besonders auf der rauhen Flußsohle und an den Uferrändern. Die sich auf dem Grunde festsetzenden und zusammenballenden flockigen Eisklumpen schwimmen auf und treiben flußabwärts; oft sieht man ihnen Sand-, Schlick- und andere Geschiebeteile anhaften, die sie vom Grunde mit heraufbringen. Während des Treibens bildet das von den Flocken des Grundeises eingeschlossene Wasser stille Teiche, die dann glatt als Kerneis zufrieren, eine feste Scholle bildend. Diese Grundeissschollen wachsen durch den Anschluß von weiteren Eisnadeln und Grundeisballen zu größeren Schollen. Bei zunehmender Kälte ist bald der ganze Fluß mit Treibeissschollen bedeckt.

An manchen engen Stellen des Flusses schieben sich die Treibeissschollen dichter zusammen, verlieren dadurch an Geschwindigkeit und kommen schließlich zum Stillstand (Stockung), so daß Eisstand entsteht. Der Eisstand pflanzt sich durch die nachtreibenden Schollen weiter nach oberhalb fort. Die Schollen frieren dann zu einer festen Eisdecke zusammen. Wenn sich der Flußquerschnitt an der Stockungsstelle auch in tieferen Schichten mit Eis versetzt, so spricht man von einer Eisversetzung (Eisverschlag, Eisstopfung).<sup>1)</sup> Dann bildet sich oberhalb der Stockungsstelle zugleich ein Stau, der schließlich so erheblich wird, daß sich das Eis dadurch wieder in Bewegung setzt. Der Stau

<sup>1)</sup> Manche nennen Eisstopfung eine stärkere Eisversetzung; ein bestimmter Unterschied läßt sich aber nicht aufrecht erhalten.

wird um so größer, je dichter die Eisversetzung ist und je tiefer sie hinabreicht. Übrigens geht unter der festen Eisdecke die Entwicklung des Grundeises noch weiter vor sich; es treibt unter der Decke als sog. Schlammeis abwärts und kommt vor Eisversetzungsstellen zum Stillstande. Dort findet man unter der Eisdecke oft tiefe Lagen Schlammeis. Eisversetzungen, die ziemlich bis auf den Grund reichen, nennt man Grundversetzungen.

Diejenigen Stockungsstellen, die bei der Eisbildung zu vorzeitigem Eisstande und zu Eisversetzungen neigen, verursachen oft noch größere Versetzungen beim Eisgange.

Die Beschaffenheit solcher Stockungsstellen ist zwar verschieden; fast immer aber ist die Wasserspiegelbreite dort gering, dabei das Gefälle schwach. Die Vorbedingungen für einen Aufstau bei eintretender Stockung sind aber zunächst nicht gegeben; denn entweder sind im Flußquerschnitte solcher Stellen ungewöhnlich große Tiefen vorhanden (z. B. bei der Loreley am Rhein und an mehreren Stellen der Mosel) oder von dem eigentlichen Flußquerschnitte gehen oberhalb Seitenrinnen ab. Das Wasser kann dann bei eintretender Stockung im ersten Falle hinlanglich unter der Eisdecke hindurch-, im zweiten Falle an ihr vorbeifließen, ohne die nötige Stauwirkung auf den Eispfropfen ausüben zu können. Erheblicherer Stau entsteht dann in der Regel erst, wenn sich die Eisversetzung weiter nach oberhalb fortpflanzt.

Die Wasserflächen, die beim Eintritt des Eisstandes offen bleiben, nennt man Blänken. Sie finden sich z. B. unterhalb einer Versetzungsstelle in der Regel in großer Breite, weil von dort ab das Treibeis ganz frei hat abschwimmen können, ohne Nachschub von oben. Oberhalb der Versetzungsstellen finden sie sich in geringerer Breite. Kleinere Blänken frieren bei anhaltender Kälte allmählich zu.

Frühzeitiger Eisstand ist ein großes Schiffahrtshindernis. Im unteren Laufe mancher Ströme wird daher die Fahrstraße möglichst lange mit Eisbrechdampfern offen gehalten (vergl. Abschn. 21, Ziff. 1).

b) Eisgang. Starke Niederschläge im Oberlauf der Flüsse und Nebenflüsse beschleunigen die Schneeschmelze und führen Anschwellungen herbei. Die Anschwellung bewirkt den Eisauflauf, indem sie die Eisdecke von den Ufern abhebt. Der Eisauflauf schreitet mit der Anschwellung flußabwärts fort. Sobald der Eisauflauf geschieht, geht der Eisgang vor sich. Nach dem Eisauflauf steigt in der Regel das Wasser schnell weiter. Der Eisgang findet daher unter Umständen auch bei Hochwasser statt. Bisweilen ist die Anschwellung, die den Eisauflauf hervorruft, aber gering. Dieser Zustand ist oft der schlimmere. An den Stellen, die Stockungen begünstigen, treten dann oft gefährliche Eisversetzungen ein, die in äußerst kurzer Zeit das Wasser oberhalb zu bedeutender Höhe anstauen, bisweilen über die sonst bekannten höchsten Wasserstände hinaus. Dadurch werden dann Deiche und Wohnstätten stark bedroht.

Der durch den Stau entstehende Schub setzt die Eismasse schließlich wieder in Bewegung, so daß das Wasser alsdann wieder überraschend schnell fällt.<sup>1)</sup> Solche Eisversetzungen treten an den dazu geeigneten Stellen entweder dadurch ein, daß die feste Eisdecke nicht weichen will oder dadurch, daß die schon in Bewegung geratene Eisdecke sich wieder stellt. Wo bereits der Eisstand solche Versetzungen vermuten läßt, werden in manchen Flüssen beim Beginn des Tauwetters Eisbrech- oder Eissprengungsarbeiten vorgenommen (darüber vergl. Abschn. 21, Ziff. 1 und 2), manchmal auch bei schon geschehener Eisversetzung zu ihrer Beseitigung.

c) Wasserstände bei Frost- und Eisbewegung. Tritt im ganzen Flußgebiet starker Frost ein, so beginnt der Fluß schnell zu fallen, da sämtliche Zuflüsse vermindert werden. Bei lange anhaltendem, starkem Frost können Niedrigwasserstände eintreten, die niedriger sind als der bekannte niedrigste eisfreie Wasserstand. Diese niedrigsten Frostwasserstände finden beim Stromausbau keine Berücksichtigung. (Sie werden aber bisweilen bei der Tiefe von Winterhäfen berücksichtigt, wenn vermieden werden soll, daß die Schiffe bei starkem Frost trocken fallen.)

Bei Eisstand entsprechen die Wasserstände an einer Flußstelle nicht immer den Angaben der benachbarten Pegel, da in der betreffenden Strecke stellenweise Stau stattfindet. Bei Eistreiben und Eisgang ist dies noch mehr der Fall, da, wie aus dem unter a) und b) gesagten hervorgeht, örtliche Stockungen und Eisversetzungen mitunter sehr erheblichen Stau hervorrufen.

## B. Der Ausbau der schiffbaren Flüsse.

11. Der Zweck des Ausbaues ist die Beförderung der Schiffbarkeit und ihre dauernde Erhaltung.<sup>2)</sup>

Ein Haupterfordernis für die Schiffbarkeit ist die Herstellung eines möglichst gleichmäßigen, hinreichend tiefen Fahrwassers mit genügender Breite ohne zu starke Krümmungen; wünschenswert ist ferner oft der Ausgleich ungleichmäßiger Gefälle. Zur Erreichung dieser Ziele dienen folgende Hauptmaßnahmen:

<sup>1)</sup> Die Dauer derartiger Versetzungen ist sehr verschieden; sie kann wenige Stunden, aber auch mehrere Tage und Wochen währen, falls nicht ein künstlicher Aufbruch herbeigeführt wird. Eintretender starker Frost verlängert die Dauer noch besonders.

<sup>2)</sup> Außerdem werden dadurch auch Vorteile für die Uferländer erreicht, nämlich: Verbesserung der Vorflut, dauernde Festlegung des Stromlaufes und dadurch Sicherung des Ufereigentumes.