

Biblioteka Główna | OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100212756

I B 555

L 1908

m

V/784048 L/A

297.

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

Dr. G. Hagen,

Geheimem Ober-Baurath und Mitglied der Academie der Wissenschaften
in Berlin.

Zweiter Theil:

D i e S t r ö m e .

Erster Band mit 17 Kupfertafeln.

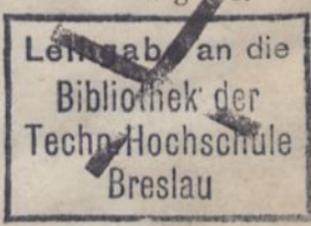


Königsberg in Preussen

bei den Gebrüdern Bornträger.

1844.

1933. A 1033





349048L/A

№. 2/1907

Wrocław

Leipzig
Bibliotek
Technische
Universität

Inhalts-Verzeichniss

vom ersten Bande des zweiten Theiles.

Abschnitt VI. Uferschälungen	Seite 1
§. 49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde	„ 3
§. 50. Festigkeit der Mauern	„ 40
§. 51. Stabilität der Futtermauern	„ 54
§. 52. Ausführung des Mauerwerks	„ 66
§. 53. Trockne Mauern	„ 92
§. 54. Bohlwerke	„ 98
Abschnitt VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme	„ 131
§. 55. Das Strombett	„ 133
§. 56. Die Ufer	„ 151
§. 57. Verschiedene Wasserstände	„ 172
Abschnitt VIII. Hydrometrische Arbeiten	„ 199
§. 58. Aufnahme der Stromcharten	„ 201
§. 59. Nivellement des Stroms	„ 212
§. 60. Tiefenmessungen	„ 217
§. 61. Wasserstands-Beobachtungen	„ 234
§. 62. Geschwindigkeits-Messungen	„ 243
Abschnitt IX. Bewegung des Wassers in Strömen	„ 269
§. 63. Ursache der Bewegung	„ 271
§. 64. Mittlere Geschwindigkeit	„ 279
§. 65. Gleichförmige Bewegung	„ 293
§. 66. Ungleichförmige Bewegung	„ 311

Abschnitt X. Regulirung der Ströme . . .		Seite 333
§. 67.	Zweck der Stromregulirung	335
§. 68.	Wirksamkeit der Strömung	355
§. 69.	Uferdeckungen	377
§. 70.	Parallelwerke	384
§. 71.	Einbaue	391
§. 72.	Seitenzufflüsse und Stromspaltungen	420
§. 73.	Anordnung der Strombauten	441
§. 74.	Stein-Constructions	491

Inhalts-Verzeichniss

des ersten Bandes des zweiten Theiles



333	Abschnitt X. Regulirung der Ströme	333
335	§. 67. Zweck der Stromregulirung	335
355	§. 68. Wirksamkeit der Strömung	355
377	§. 69. Uferdeckungen	377
384	§. 70. Parallelwerke	384
391	§. 71. Einbaue	391
420	§. 72. Seitenzufflüsse und Stromspaltungen	420
441	§. 73. Anordnung der Strombauten	441
491	§. 74. Stein-Constructions	491
500	Abschnitt XI. Bewegung des Wassers in	500
501	Stromen	501
502	§. 65. Ursache der Bewegung	502
503	§. 66. Ursache Geschwindigkeit	503
504	§. 67. Gleichmäßige Bewegung	504
505	§. 68. Ungleichmäßige Bewegung	505
506	Abschnitt XII. Hydraulische Arbeiten	506
507	§. 69. Aufgabe der Hydrauliken	507
508	§. 70. Eintheilung der Hydrauliken	508
509	§. 71. Wasserkrafts-Regelungen	509
510	§. 72. Geschwindigkeit-Bewegung	510

Sechster Abschnitt.

U f e r s c h ä l u n g e n .

Inhalts-Verzeichniss

Abtheilung I. A. Uebersicht der Geschichte	1
1. Uebersicht der Geschichte der Medicin	1
2. Uebersicht der Geschichte der Naturgeschichte	1
3. Uebersicht der Geschichte der Philosophie	1
4. Uebersicht der Geschichte der Kunst	1
5. Uebersicht der Geschichte der Wissenschaften	1
6. Uebersicht der Geschichte der Religion	1
7. Uebersicht der Geschichte der Politik	1
8. Uebersicht der Geschichte der Moral	1
9. Uebersicht der Geschichte der Jurisprudenz	1
10. Uebersicht der Geschichte der Poesie	1
11. Uebersicht der Geschichte der Musik	1
12. Uebersicht der Geschichte der Schönen Künste	1
13. Uebersicht der Geschichte der Handwerke	1
14. Uebersicht der Geschichte der Gewerbe	1
15. Uebersicht der Geschichte der Industrie	1
16. Uebersicht der Geschichte der Landwirthschaft	1
17. Uebersicht der Geschichte der Forstwirthschaft	1
18. Uebersicht der Geschichte der Fischwirthschaft	1
19. Uebersicht der Geschichte der Jagdwirthschaft	1
20. Uebersicht der Geschichte der Viehwirthschaft	1
21. Uebersicht der Geschichte der Pflanzwirthschaft	1
22. Uebersicht der Geschichte der Gärtnerey	1
23. Uebersicht der Geschichte der Baukunst	1
24. Uebersicht der Geschichte der Bergbaukunst	1
25. Uebersicht der Geschichte der Hüttenkunst	1
26. Uebersicht der Geschichte der Metallkunde	1
27. Uebersicht der Geschichte der Mineralogie	1
28. Uebersicht der Geschichte der Geologie	1
29. Uebersicht der Geschichte der Astronomie	1
30. Uebersicht der Geschichte der Mathematik	1
31. Uebersicht der Geschichte der Physik	1
32. Uebersicht der Geschichte der Chemie	1
33. Uebersicht der Geschichte der Medicin	1
34. Uebersicht der Geschichte der Naturgeschichte	1
35. Uebersicht der Geschichte der Philosophie	1
36. Uebersicht der Geschichte der Kunst	1
37. Uebersicht der Geschichte der Wissenschaften	1
38. Uebersicht der Geschichte der Religion	1
39. Uebersicht der Geschichte der Politik	1
40. Uebersicht der Geschichte der Moral	1
41. Uebersicht der Geschichte der Jurisprudenz	1
42. Uebersicht der Geschichte der Poesie	1
43. Uebersicht der Geschichte der Musik	1
44. Uebersicht der Geschichte der Schönen Künste	1
45. Uebersicht der Geschichte der Handwerke	1
46. Uebersicht der Geschichte der Gewerbe	1
47. Uebersicht der Geschichte der Industrie	1
48. Uebersicht der Geschichte der Landwirthschaft	1
49. Uebersicht der Geschichte der Forstwirthschaft	1
50. Uebersicht der Geschichte der Fischwirthschaft	1
51. Uebersicht der Geschichte der Jagdwirthschaft	1
52. Uebersicht der Geschichte der Viehwirthschaft	1
53. Uebersicht der Geschichte der Pflanzwirthschaft	1
54. Uebersicht der Geschichte der Gärtnerey	1
55. Uebersicht der Geschichte der Baukunst	1
56. Uebersicht der Geschichte der Bergbaukunst	1
57. Uebersicht der Geschichte der Hüttenkunst	1
58. Uebersicht der Geschichte der Metallkunde	1
59. Uebersicht der Geschichte der Mineralogie	1
60. Uebersicht der Geschichte der Geologie	1
61. Uebersicht der Geschichte der Astronomie	1
62. Uebersicht der Geschichte der Mathematik	1
63. Uebersicht der Geschichte der Physik	1
64. Uebersicht der Geschichte der Chemie	1
65. Uebersicht der Geschichte der Medicin	1
66. Uebersicht der Geschichte der Naturgeschichte	1
67. Uebersicht der Geschichte der Philosophie	1
68. Uebersicht der Geschichte der Kunst	1
69. Uebersicht der Geschichte der Wissenschaften	1
70. Uebersicht der Geschichte der Religion	1
71. Uebersicht der Geschichte der Politik	1
72. Uebersicht der Geschichte der Moral	1
73. Uebersicht der Geschichte der Jurisprudenz	1
74. Uebersicht der Geschichte der Poesie	1
75. Uebersicht der Geschichte der Musik	1
76. Uebersicht der Geschichte der Schönen Künste	1
77. Uebersicht der Geschichte der Handwerke	1
78. Uebersicht der Geschichte der Gewerbe	1
79. Uebersicht der Geschichte der Industrie	1
80. Uebersicht der Geschichte der Landwirthschaft	1
81. Uebersicht der Geschichte der Forstwirthschaft	1
82. Uebersicht der Geschichte der Fischwirthschaft	1
83. Uebersicht der Geschichte der Jagdwirthschaft	1
84. Uebersicht der Geschichte der Viehwirthschaft	1
85. Uebersicht der Geschichte der Pflanzwirthschaft	1
86. Uebersicht der Geschichte der Gärtnerey	1
87. Uebersicht der Geschichte der Baukunst	1
88. Uebersicht der Geschichte der Bergbaukunst	1
89. Uebersicht der Geschichte der Hüttenkunst	1
90. Uebersicht der Geschichte der Metallkunde	1
91. Uebersicht der Geschichte der Mineralogie	1
92. Uebersicht der Geschichte der Geologie	1
93. Uebersicht der Geschichte der Astronomie	1
94. Uebersicht der Geschichte der Mathematik	1
95. Uebersicht der Geschichte der Physik	1
96. Uebersicht der Geschichte der Chemie	1
97. Uebersicht der Geschichte der Medicin	1
98. Uebersicht der Geschichte der Naturgeschichte	1
99. Uebersicht der Geschichte der Philosophie	1
100. Uebersicht der Geschichte der Kunst	1

Sechster Abschnitt.

U e r s c h l u s s

§. 49.

Bestimmung des Seitendrucks der Erde.

Die Ablagerungen des aufgeschwemmten Bodens, und zwar eben sowohl die natürlichen, wie die künstlichen, befinden sich nur im Gleichgewichte, wenn ihre Seitenflächen mit einer hinreichend sanften Neigung sich gegen die angrenzenden Vertiefungen senken. Wollte man eine Erdmasse ohne künstliche Einfassung entweder ganz senkrecht oder doch sehr steil aufschütten oder abstechen, so könnte sie sich freilich unter gewissen Umständen, die früher (§. 43) angeführt sind, noch einige Zeit hindurch halten, doch würde dieses für die Dauer nicht der Fall sein, und bei den meisten Erdarten, namentlich wenn die Höhe schon mehrere Fusse beträgt, würde die Masse sogleich in gewissen Bruchflächen sich trennen, und herabstürzen, bis diejenige Neigung sich darstellt, welche der Natur der Erde entspricht. Wenn es daher die Absicht ist, eine natürliche Anhöhe dieser Art oder eine künstliche Anschüttung senkrecht oder doch sehr steil zu begrenzen; so kann dieses nur geschehen, indem man eine Einfassung davor ausführt, gegen welche der Boden sich sicher stützen kann, und dadurch am Herabfallen verhindert wird.

Bestehen solche Einfassungen aus Mauerwerk, so heissen sie Futtermauern, wenn sie dagegen aus Holz erbaut sind, so nennt man sie Bohlwerke. Doch kommen auch eiserne Bohlwerke vor, und wenn die Neigungen flacher werden, so genügen zuweilen schon Zäune, Pflanzungen und Rasenbekleidungen. Beim Wasserbau finden sich die erwähnten Constructions vorzugsweise an den Ufern der Flüsse und überhaupt neben grösseren Gewässern, man nennt sie alsdann im Allgemeinen Uferschaltungen, sie heissen aber Kaimauern, wenn sie massiv sind, und ein Kai oder einen Anlegeplatz für Schiffe darstellen.

Um die Dimensionen und die sonstige Anordnung der Uferschälungen zu bestimmen, muss man den Seitendruck kennen, welchen die dahinter liegende Erde darauf ausübt.

Bélidor*) hat zuerst die Grösse dieses Drucks zu ermitteln versucht; er geht dabei aber von Voraussetzungen aus, die sehr willkürlich gewählt, und in der That ganz unbegründet sind. Ich will dieselben indessen hier kurz bezeichnen, da man in manchen Fällen noch immer Bélidor's Regeln und Tabellen zur Bestimmung der Stärke der Futtermauern zu benutzen pflegt. Diese Voraussetzungen sind: die Hinterfüllungserde zerspaltet gleichzeitig in eine grosse Anzahl dünner Schichten, und zwar sind diese sämmtlich durch Bruchebenen begrenzt, die unter einem Winkel von 45 Graden den Horizont treffen. Eine jede derselben drückt in der Art auf die Futtermauer, dass der horizontale Druck immer dem Gewichte der Schicht gleich sein würde, wenn keine Cohäsion zwischen den Schichten statt fände. Letztere consumirt die Hälfte des Gewichtes, und sonach ist der Horizontaldruck nur dem halben Gewichte der Schicht gleich. Auf solche Art ergeben sich die verschiedenen Pressungen, die auf die einzelnen horizontalen Schichten der Mauer wirken und unter Voraussetzung eines unzerstörbaren Zusammenhanges der Mauer, bestimmt sich wieder die nöthige Stabilität derselben, welche allen diesen Pressungen das Gleichgewicht hält. Die Unrichtigkeit dieser Voraussetzungen ist grösstentheils an sich klar, zum Theil wird sie sich noch aus dem Folgenden ergeben.

Coulomb**) betrachtete den Druck der Erde zuerst unter einem richtigeren Gesichtspunkte. Nach ihm darf man nicht annehmen, dass die hinter der Wand befindliche Erde auf einmal in einer grossen Menge von Bruchflächen spaltet, sondern ihr horizontaler Druck wird jedesmal nur durch ein einzelnes abbrechendes Prisma bestimmt, welches längs der Bruchfläche herabzugleiten strebt. Für alle solche Prismen, die sich möglicher Weise lösen können, ist der entsprechende Druck gegen die Wand keineswegs gleich; es gibt vielmehr ein gewisses Prisma, welches den grössten Druck ausübt, und dieses ist es gerade, welches man

*) *La Science des Ingénieurs*. 1729. Liv. I. §. 32.

**) In den *Mémoires des savans étrangers*. 1773.

untersuchen muss, denn sobald die Wand stabil genügt ist, um diesem zu widerstehen, so widersteht sie auch allen übrigen. Die Resultate, zu denen Coulomb auf diese Art gelangt, stimmen mit den spätern Untersuchungen von Prony, Woltmann, Eytelwein und Navier sehr genau überein: ich will sie daher in der einfachsten und bequemsten Form vortragen, welche Prony*) dafür angegeben hat.

In Fig. 1. auf Taf. XXII. sei AB die bewegliche senkrechte Wand, wogegen die Erdmasse CAB sich lehnt, und zwar sei letztere in ihrer Oberfläche horizontal abgeglichen. Die Länge der Wand oder der Erdschüttung sei gleich b und die Höhe der Erdschüttung über dem untern Rande der Wand gleich h . Von der Bruchfläche wird vorausgesetzt, dass sie immer eine Ebene sei, und es ergibt sich ohne weitem Beweis, dass dieselbe den Fuss der Wand treffen muss, weil der Druck, der alsdann gegen die Wand ausgeübt wird, grösser ausfällt, als wenn die Bruchebene höher läge. Für diese Ebene wird eine noch näher zu ermittelnde Neigung gegen das Loth, nämlich φ angenommen, und es bezeichne f den Reibungs-Coefficienten zwischen den Erdtheilen, c ihre Cohäsion auf 1 Quadratfuss Oberfläche und γ das Gewicht von 1 Cubikfuss Erde.

Durch den Bruch in der Richtung BC löst sich ein Erd-Prisma, das bei seiner ersten Bewegung, und indem es eben den gesuchten Druck ausübt, nicht weiter zerfällt, daher während dieser Zeit, als ein zusammenhängender Körper betrachtet werden darf. Sein Gewicht ist gleich

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . \operatorname{tgt} \varphi$$

folglich der Druck desselben, der zur Bruchebene parallel gerichtet ist

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . \sin \varphi$$

und der Normaldruck gegen die Bruchebene

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . \sin \varphi . \operatorname{tgt} \varphi$$

daher die Reibung

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma f . \sin \varphi . \operatorname{tgt} \varphi$$

*) *Recherches sur la poussée des terres.* Paris 1802.

der Effect der Cohäsion ist aber $b c h \text{ Sec } \varphi$
 der ganze Druck, den das Prisma parallel zur Bruchebene ausübt, ist demnach

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \cdot \text{Sin } \varphi (1 - f \text{ tgt } \varphi) - b c h \cdot \text{Sec } \varphi$$

Um die Wirkung desselben aufzuheben, muss die Wand einen entsprechenden Gegendruck veranlassen, und wenn derselbe horizontal gedacht wird, so wirkt nur ein Theil von ihm unmittelbar dem letzteren entgegen, während der andere Theil die Bruchebene normal trifft, die Reibung vermehrt, und dadurch mittelbar gleichfalls das Herabgleiten des Sandprismas verhindert. Dieser gesuchte Horizontaldruck der Wand, den ich H nenne, verhindert die schräge abwärts gerichtete Bewegung des Prismas mit einer Kraft

$$H (\text{Sin } \varphi + f \text{ Cos } \varphi)$$

letztere muss dem in gleicher Richtung ausgeübten Drucke des Prismas das Gleichgewicht halten, folglich

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \cdot \text{Sin } \varphi (1 - f \text{ tgt } \varphi) - b c h \text{ Sec } \varphi = H (\text{Sin } \varphi + f \text{ Cos } \varphi)$$

Setzt man nun

$$f = \text{Cotg } \psi$$

so vereinfacht sich der vorstehende Ausdruck, und man erhält

$$H = \frac{1}{2} b h^2 \gamma \text{ tgt } \varphi \cdot \text{tgt } (\psi - \varphi) - b c h \frac{\text{Sin } \psi}{\text{Cos } \varphi \cdot \text{Cos } (\psi - \varphi)}$$

indem nun aber $\psi = (\psi - \varphi) + \varphi$, so ist

$$\begin{aligned} \frac{\text{Sin } \psi}{\text{Cos } \varphi \cdot \text{Cos } (\psi - \varphi)} &= \text{tgt } (\psi - \varphi) + \text{tgt } \varphi \\ &= \text{tgt } \psi - \text{tgt } \psi \cdot \text{tgt } \varphi \cdot \text{tgt } (\psi - \varphi) \end{aligned}$$

dieses substituirt, giebt

$$H = \left(\frac{1}{2} b h^2 \gamma + b c h \cdot \text{tgt } \psi \right) \text{tgt } \varphi \cdot \text{tgt } (\psi - \varphi) - b c h \cdot \text{tgt } \psi$$

Der Winkel φ unter welchem der Bruch erfolgt, war bisher willkürlich angenommen, es ist aber schon bemerkt worden, dass hier nur derjenige Bruch untersucht werden darf, wobei der Druck gegen die Wand, oder H ein Maximum wird. Man muss also den Ausdruck, oder H in Beziehung auf φ differenziren, und man bemerkt sogleich, dass es nur darauf ankommt, das Product

$$\text{tgt } \varphi \cdot \text{tgt } (\psi - \varphi)$$

zu einem Maximum zu machen. Dieses geschieht, wenn

$$\psi - \varphi = \varphi$$

$$\text{oder } \varphi = \frac{1}{2} \psi$$

wird, dadurch verändert sich der Werth für H in

$$H = \frac{1}{2} b h^2 \gamma \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi^2 - b c h \cdot \operatorname{tgt} \psi \left(1 - \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi^2 \right)$$

$$\text{aber } 1 - \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi^2 = 2 \frac{\operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi}{\operatorname{tgt} \psi}$$

daraus ergibt sich endlich

$$H = b h \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi \left(\frac{1}{2} h \gamma \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi - 2 c \right)$$

In diesem Ausdruck kommen drei Constanten vor, die eine, nämlich γ bezeichnet das Gewicht von einem Cubikfuss Erde, und ist durch unmittelbares Wiegen leicht zu bestimmen: dagegen scheint die Ermittlung des Reibungs-Coefficienten, wovon der Winkel ψ abhängt, und des der Cohäsion, oder c , nicht so nahe zu liegen. Es lassen sich indessen auch für diese Grössen die Werthe durch sehr einfache Beobachtungen auffinden, von denen es nur zu bedauern ist, dass sie keine grosse Schärfe gestatten.

Um den Winkel ψ zu bestimmen, gab schon Coulomb das folgende Verfahren an: man schütte die Erde, die man zur Hinterfüllung der Futtermauer benutzen will, auf einen Haufen, und beobachte die steilste Dossirung, welche sie auf eine grössere Länge in der Seite noch anzunehmen im Stande ist. Nennt man den Winkel, welchen diese Seite mit dem Lothe macht, α ; so wird eine in der Oberfläche liegende kleine Quantität Erde q herabzugleiten streben mit einer Kraft gleich

$$q \cdot \operatorname{Cos} \alpha$$

der Normaldruck, den sie gegen die Böschung ausübt, ist aber gleich

$$q \operatorname{Sin} \alpha$$

folglich die Reibung, die sie erleidet

$$f q \cdot \operatorname{Sin} \alpha$$

Indem nun aber die Böschung nach der Annahme schon so steil ist, dass die Erde sich nur eben noch erhält, d. h. dass die Reibung nicht stärker ist, als der schräge abwärts gerichtete Druck, so folgt, dass

$q \cos \alpha = f q \cdot \sin \alpha$
 oder $f = \cotg \alpha = \cotg \psi$ sein muss.

Man bestimmt also den Winkel ψ , oder den Reibungs-
 Winkel, indem man die Neigung der steilsten Böschung gegen
 das Loth misst.

Zur Bestimmung des Werthes von c hat Prony ein Verfahren
 angegeben, welches unmittelbar aus dem letzten Ausdrucke für H
 hervorgeht. Man untersucht nämlich, bis zu welcher Höhe die
 Erde sich noch senkrecht abstecken lässt: das Maximum dieser
 Höhe sei h^1 , so wird für diesen Fall der Horizontaldruck oder
 $H = 0$ sein, (und man hat

$$0 = \frac{1}{2} h^1 \gamma \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi - 2c$$

$$\text{oder } c = \frac{1}{4} \gamma \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi \cdot h^1$$

Substituirt man diesen Werth von c in den obigen Ausdruck
 für H , so erhält man endlich

$$H = \frac{1}{2} b h \gamma \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi^2 (h - h^1)$$

Diese einfache und elegante Formel, welche Prony schon vor
 vierzig Jahren bekannt machte, ist für die Rechnung überaus be-
 quem, und dieses auch aus dem Grunde, weil darin die Reibung
 und Cohäsion gerade durch diejenigen Grössen ausgedrückt sind,
 welche die Beobachtungen unmittelbar ergeben.

Ich bemerke noch, dass die Betrachtung der verschiedenen
 Kräfte, welche auf den Schwerpunkt des abgleitenden Prismas
 wirken, zu einem gleichen Resultate führt. Diese Kräfte sind
 nämlich, wenn man $b = 1$ setzt:

- 1) das Gewicht des Prismas, oder $Q = \frac{1}{2} h^2 \gamma \cdot \operatorname{tgt} \varphi$: dasselbe
 wirkt vertical abwärts.
- 2) der gesuchte Horizontaldruck H
- 3) der Normaldruck N , den das Prisma von der darunter be-
 findlichen Erdmasse erfährt, und
- 4) der Widerstand R , der sich dem Herabgleiten des Prismas
 entgegensetzt. Dieser umfasst sowohl die Reibung als die
 Cohäsion, und man hat daher

$$R = N \cdot \cotg \psi + c h \cdot \operatorname{Sec} \varphi$$

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 9

Die benannten vier Kräfte sind im Gleichgewichte, wenn die Summen ihrer virtuellen Momente sowohl in horizontaler, als in verticaler Richtung gleich Null sind. Man erhält daher die beiden Bedingungs-Gleichungen

$$H + R \cdot \sin \varphi - N \cdot \cos \varphi = 0$$

$$Q - R \cdot \cos \varphi - N \cdot \sin \varphi = 0$$

und wenn man für Q und R die angegebenen Werthe einführt, und N eliminirt, so findet man unmittelbar wie oben

$$H = \frac{1}{2} h^2 \gamma \cdot \operatorname{tgt} \varphi \cdot \operatorname{tgt} (\psi - \varphi) - c h [\operatorname{tgt} (\psi - \varphi) + \operatorname{tgt} \varphi]$$

Es bleibt noch übrig, die Höhe zu bestimmen, in welcher der Horizontaldruck gegen die Wand vereinigt gedacht werden kann. nach der letzten Auseinandersetzung sollte man meinen, dass diese Höhe mit der Höhe des Schwerpunktes vom Prisma übereinstimmen, oder der Mittelpunkt dieses Druckes in einer Höhe, die gleich $\frac{2}{3} h$ ist, über dem untern Rande der beweglichen Wand liegen müsste. Prony und ebenso die übrigen Schriftsteller finden aber andere Resultate, die zwar nicht ganz genau untereinander übereinstimmen, aber doch keine grosse Verschiedenheiten zeigen. Ich werde wieder Prony folgen.

Wenn die bewegliche Wand schon im Punkte F ihren untern Rand hätte, und $AF = z$ wäre, so würde man den entsprechenden Horizontaldruck finden

$$H = k (z^2 - h^1 z)$$

wo k der Abkürzung wegen das Product aus den constanten Factoren des obigen Ausdrucks bezeichnet. Vergrößert sich nun die Höhe der Wand, um dz , so vermehrt sich auch der Horizontaldruck um

$$dH = k (2z dz - h^1 dz)$$

Alsdann wird die Voraussetzung gemacht, dass bei der eintretenden Vergrößerung der Wand der Druck auf den obern Theil oder auf z sich nicht verändert, und daher die Vermehrung des Druckes oder dH , allein den Theil dz trifft. Das Moment dieses Druckes in Bezug auf den untern Rand der Wand, ist sonach

$$(h - z) dH = k (h - z) (2z - h^1) dz$$

Integrirt man diesen Ausdruck, und zwar innerhalb der Grenzen

Die bekannten vier Kräfte $z = h^1$ bis $z = h$ (weil nämlich bei einer Höhe der Wand, die gleich h^1 ist, der Druck erst anfängt) so findet man das Moment aller horizontalen Pressungen, und dieses dividirt durch die Summe derselben Pressungen, oder durch den ganzen Horizontaldruck giebt endlich den gesuchten Abstand des Mittelpunktes des Druckes vom untern Rande der Wand, oder

$$r = \frac{(h - h^1) \left(h + \frac{1}{2} h^1 \right)}{3h}$$

Für den Fall, dass keine Cohäsion statt findet, oder $h^1 = 0$ ist, wird

$$r = \frac{1}{3} h$$

und $H = \frac{1}{2} b h^2 \gamma \cdot \operatorname{tgt} \frac{1}{2} \psi^2$

In der vorstehenden Untersuchung über die Grösse des Erddruckes gegen verticale Wände, sind einige Voraussetzungen gemacht worden, die man zwar als richtig anzusehen pflegt, die aber dennoch an sich keineswegs klar sind, und daher eine nähere Prüfung verdienen. Hierher gehört zuerst die Annahme, dass die Bruchfläche, in welcher sich das Prisma des stärksten Druckes von der übrigen Erdmasse trennt, eine Ebene sei. Gewiss wird die Fläche so gestaltet sein, dass sie dem ganzen abgebrochenen Prisma eine bestimmte und gemeinsame Bewegung anzunehmen erlaubt, und indem die späteren Trennungen einzelner Theile hier gar nicht berücksichtigt werden, weil nur die erste Bewegung in Betracht kommt, so kann das Prisma nur auf zwei Arten sich verschieben, nämlich entweder rückt es ohne Drehung von seiner Stelle, oder es dreht sich um eine gewisse horizontale Axe. Im ersten Falle ist die Bruchfläche eine Ebene und im zweiten eine cylindrische Fläche. Auch könnten beide Bewegungen gleichzeitig eintreten, ein dritter Fall ist nicht denkbar. Die beiden erwähnten Fälle treffen aber in so fern zusammen, als man die Ebene auch als eine cylindrische Fläche ansehen kann, für welche der Radius unendlich gross geworden ist. Wenn es sich also ganz allgemein beweisen liesse, dass bei allen cylindrischen Bruchflächen, die sich hier bilden können, der Horizontaldruck des da-

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. II

durch getrennten Prismas mit der Grösse des Radius zunimmt, und er sein Maximum erreicht, sobald der letztere unendlich gross wird; alsdann wäre der Beweis für die Richtigkeit der Annahme geführt. Es tritt indessen hierbei die grosse Schwierigkeit ein, dass die Reibung nicht mehr in der ganzen Bruchfläche gleich gross bleibt, und dadurch wird die Rechnung ausserordentlich complicirt: es ist mir auch nicht geglückt, das angedeutete Resultat darzustellen. Auch Coulomb gelang es nicht, den Beweis, den er freilich auf eine andere Art zu führen versuchte, zu Ende zu bringen *) und soviel mir bekannt, hat Prony gleichfalls diesen Punkt nicht aufgeklärt, obwohl er in dem citirten Mémoire die ausführliche Untersuchung über die Form der Bruchfläche später zu geben verspricht.

Nach meinem Dafürhalten darf man auch nicht erwarten, dass die Bruchfläche unter allen Umständen eine Ebene sein wird, und namentlich wird sie bei partiellen Belastungen der Erdschüttung sich als eine stark gekrümmte cylindrische Fläche darstellen müssen. Wenn man nämlich von dem Gesichtspunkte ausgeht, dass jedesmal diejenige Bewegung eintritt, wobei der Schwerpunkt der ganzen getrennten Masse sich am tiefsten senkt, so ist es wahrscheinlich, dass bei einer Belastung, die ohnfern der Grenze der Bruchfläche liegt, die letztere abwärts gekrümmt sein wird, und sie wird aufwärts gekrümmt sein, wenn die Belastung nahe an der Wand angebracht ist. Finden dagegen solche partielle Belastungen nicht statt, so scheint es, dass die Bruchfläche eine Ebene sein muss: ich werde den Beweis dafür zu geben versuchen, nachdem ich eine zweite Voraussetzung in der obigen Untersuchung näher geprüft habe, die mit diesem Beweise im Widerspruch steht.

Diese Voraussetzung betrifft die Art, wie man sich die Kraft H angebracht denkt. In der vorstehenden Auseinandersetzung ist H so gross angenommen, dass ein Theil davon dem Herabgleiten des Prismas sich widersetzt, und ein anderer Theil den Druck auf die Bruchfläche und sonach die Reibung vermehrt. Wenn die bewegliche Wand durch nichts weiter, als durch diese horizontale

*) *Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'Architecture.* Dieser Aufsatz ist in der neuern Ausgabe von Coulomb's *Théorie des machines simples.* Paris 1821 mit abgedruckt.

Kraft gehalten wird, so ist eine solche Annahme allerdings gegründet, wie sich dieses auch aus den obigen Bedingungs- gleichungen für das Gleichgewicht derjenigen Kräfte ergibt, die sämmtlich auf den Schwerpunkt des Prismas wirken. Anders verhält es sich aber, wenn die Wand auf einem festen Fundamente steht, und beim Ausweichen wohl umgeworfen oder fortgeschoben werden kann, aber doch in ihrem Fusse nicht herabsinkt. Alsdann wird die Wand ihre Stellung schon behalten, sobald sie nur stabil genug ist, um dem horizontalen Theile derjenigen Kraft widerstehen zu können, womit das Prisma schräge herabzugleiten strebt. Dieses H ist aber viel kleiner, als jenes, das eben gefunden wurde. Woltmann hat in seiner Abhandlung über den Druck der Erde*) diese Verschiedenheit schon zur Sprache gebracht, und er führt eine Mittheilung von Kästner an, worin gerade diejenige Zerlegung der Kräfte gewählt wird, deren ich eben erwähnt habe. Diese Annahme stimmt auch mit den Beobachtungen, die Woltmann anstellte, gut überein, während die erste zu Resultaten führt, die von den beobachteten Werthen sehr weit abweichen. Woltmann entscheidet sich indessen doch für jene erste Annahme, und er wird in seiner Meinung noch durch einen Brief von Brünings bestärkt, der das von Kästner gewählte Verfahren für einen „Verstoss gegen die ganze Mathematik von Archimedes bis zu de la Grange“ erklärt. Nichts desto weniger ist dieses Verfahren den Verhältnissen, wie sie wirklich vorkommen, ganz angemessen, und die Beobachtungen bestätigen es auch.

Indem ich mit Rücksicht auf diese Abänderung die Untersuchung durchführe, will ich zugleich die Aufgabe allgemein stellen, und weder voraussetzen, dass die Wand vertical stehe, noch auch, dass die Hinterfüllungserde horizontal abgeglichen sei. Nichts desto weniger muss die Bedingung beibehalten werden, dass die Oberfläche der Hinterfüllungserde eine Ebene bildet, und keine partielle Belastung darauf vorkommt, weil nur in diesem Falle die Annahme einer Bruchebene sich rechtfertigen lässt. Man hat auch sonst schon den Druck von schrägen Erdschüttungen gegen schräge Wände untersucht, da jedoch in diesen

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur: Band III. und IV. Göttingen 1794 und 1799.

Rechnungen immer die unpassende Zerlegung des Horizontaldruckes eingeführt worden ist; so war es überflüssig, sie zu wiederholen, und ich habe mich begnügt, sie nur für den einfachsten Fall mitzutheilen.

Wenn keine partiellen Belastungen der Hinterfüllungserde vorkommen, so wird der Druck, den das abbrechende Prisma ABC Fig. 2 normal gegen die Wand AB ausübt, sich aus den Pressungen zusammensetzen, welche seine einzelnen Theile in derselben Richtung äussern, und die Pressung eines jeden Theiles, der die Wand nicht unmittelbar berührt, überträgt sich ungeschwächt durch die dazwischen liegende Erdmasse, weil das ganze Prisma sich bei der ersten Bewegung nicht weiter trennt, und es daher während dieser Zeit als fester Körper wirkt. Betrachte ich nun eine Scheidungsebene DE , welche mit der Wand AB parallel ist, so wird der ganze Druck gegen die letztere gleich sein der Summe der Pressungen der beiden Prismen $ABDE$ und DEC . Der erste Theil ist durch die Krümmung der Bruchfläche BE bedingt, und sonach als constant anzusehen, wogegen der letzte noch variabel bleibt, wenn man zweifelhaft ist, in welcher Richtung die Bruchfläche von E ab, sich aufwärts fortsetzen wird. Man untersucht hier denjenigen Fall, wobei die Normalpressung gegen die Wand ein Maximum ist: es muss also auch die in gleicher Richtung ausgeübte Pressung des kleinen Prismas gegen DE ein Maximum sein. Wenn man nun von der Cohäsion ganz abstrahirt, so überzeugt man sich leicht, dass der Querschnitt des kleinen Prismas DEC , dem des grossen ABC ähnlich sein muss, damit er ebenso wie dieses das Maximum der Pressung darstellt. Eine solche Aehnlichkeit zwischen dem ganzen Bogen BEC und jedem beliebigen Theile desselben EC findet aber nur statt, wenn BEC eine gerade Linie wird. Die Bruchfläche ist sonach unter diesen Umständen eine Ebene.

Auf die Cohäsion werde ich im Folgenden nicht Rücksicht nehmen, wie dieses auch gemeinhin geschieht, indem dieselbe zu sehr von zufälligen Umständen abhängt, und ihr Werth bei einer frisch aufgeschütteten Erde überhaupt sehr geringe ist. Dazu kommt noch, dass der Sand ebensowohl im ganz trockenen, als im sehr nassen Zustande keine Cohäsion hat.

Dass ich den gegen die Wand normal gerichteten Druck betrachte, und nicht etwa den, welcher horizontal dagegen ausgeübt wird, wie dieses Prony thut, rechtfertigt sich schon dadurch, dass der erstere beim Drehen der Wand um eine gewisse horizontale Axe auf eine einfachere Art in Rechnung gestellt werden kann, als der letztere: und dieses ist gerade der Fall, der immer vorkommt, denn es giebt wohl kein Beispiel dafür, dass eine Mauer ohne Aenderung ihrer Neigung durch den Erddruck fortgeschoben wäre. Dazu kommt noch der Umstand, dass der Einfluss der Reibung zwischen der Wand und der zunächst dahinter liegenden Erde sich auf diese Art ganz vernachlässigen lässt. Sobald die Wand nämlich ihre Stellung noch nicht verändert hat, so befindet sich die Erde neben ihr auch noch in Ruhe, und die erste Bewegung, welche erfolgen kann, und die hier gerade untersucht werden soll, zeigt sich darin, dass der erwähnte Normaldruck, der von dieser Reibung ganz unabhängig ist, die Wand fortstösst: erst wenn dieses geschehen ist, fängt die Erde an zu sinken, und der Einfluss der Reibung giebt sich alsdann zu erkennen.

Es bilde nach Fig. 3. die Wand AB den Winkel α gegen das Loth, und die Oberfläche der Hinterfüllungserde AC den Winkel β gegen den Horizont. Ausserdem sei die in schräger Richtung gemessene Höhe der Wand, oder AB wieder gleich h und γ das Gewicht von einem Cubikfuss der Hinterfüllungserde, und endlich die Breite der Wand und des Erdprismas gleich 1. Alsdann wirken gegen den Schwerpunkt vier Kräfte, nämlich:

- 1) Q oder das Gewicht des Prismas. Dieses ist, wenn man die Neigung der Bruchebene gegen das Loth wieder gleich φ setzt

$$Q = \frac{1}{2} h^2 \gamma \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta)} \cos(\alpha + \beta)$$

- 2) der zunächst zu ermittelnde Druck P der zur Bruchebene parallel gerichtet ist,
- 3) der Normaldruck gegen die Bruchebene N , und
- 4) die Reibung $R = f N = N \cotg \psi$, welche in derselben Richtung wie P wirkt.

Diese Kräfte stehen untereinander im Gleichgewichte, wenn den folgenden beiden Gleichungen genügt wird, nämlich:

$0 = P + R - Q \cos \varphi$
 und $0 = N - Q \sin \varphi$
 es ergibt sich daraus

$$P = Q \frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi}$$

Diese Kraft P wirkt parallel zur Bruchebene, und trifft bei ihrer geradlinigen Uebertragung die Wand in einem Abstände von dem untern Rande derselben, der gleich $\frac{1}{3} h$ ist. Der Winkel aber, den P mit der Wand macht, ist gleich $\varphi - \alpha$, daher ist der gegen die Wand normal geäußerte Druck, oder

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{Q \sin(\varphi - \alpha) \sin(\psi - \varphi)}{\sin \psi} \\
 &= \frac{1}{2} h^2 \gamma \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin \psi} \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)^2 \cdot \sin(\psi - \varphi)}{\cos(\varphi + \beta)}
 \end{aligned}$$

In diesem Ausdrücke ist der letzte Coefficient allein von dem noch unbekanntem Winkel φ abhängig, und man wird das Maximum des Werthes für H finden, wenn man

$$d \left(\frac{\sin(\varphi - \alpha)^2 \cdot \sin(\psi - \varphi)}{\cos(\varphi + \beta)} \right) = 0$$

setzt. Die einfachste Form, in welcher sich dieser Ausdruck darstellt, ist

$$\sin(\alpha + \beta + \psi - \varphi) = \cos(\varphi - \alpha) \cdot \sin(2\varphi + \beta - \psi)$$

Man kann hiernach den Werth von φ nicht direct berechnen, man muss vielmehr durch willkürliche Annahmen, und durch Probiren denselben auffinden. Ist auf solche Art die Neigung der Bruchebene ermittelt, so ergibt sich der Werth von H , und derselbe trifft die Wand in dem Abstände $\frac{1}{3} h$ von dem untern Rande derselben.

Für den Fall, dass die Wand senkrecht steht, und die Hinterfüllungserde horizontal abgeglichen ist, hat man

$$\alpha = 0 \text{ und } \beta = 0$$

es lassen sich alsdann die Gleichungen sehr bedeutend vereinfachen. Man erhält nämlich

$$H = \frac{h^2 \gamma}{2 \sin \psi} \cdot \sin \varphi \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin(\psi - \varphi)$$

und wenn man das Product der letzten drei Factoren, welche das

noch unbekannte φ enthalten, differenziert und alsdann gleich Null setzt, so folgt

$$\operatorname{tgt} \varphi^3 + 3 \operatorname{tgt} \varphi - 2 \operatorname{tgt} \psi = 0$$

woraus sich nach der Cardanischen Regel der Werth von $\operatorname{tgt} \varphi$ unmittelbar berechnen lässt, nämlich:

$$\operatorname{tgt} \varphi = \sqrt[3]{(\operatorname{Sec} \psi + \operatorname{tgt} \psi)} - \sqrt[3]{(\operatorname{Sec} \psi - \operatorname{tgt} \psi)}$$

Wenn man diesen Ausdruck, so wie auch den für H benutzt, so ist die Rechnung etwas mühsamer, als nach der ersten Methode, sie wird aber sehr einfach, sobald man die am Schlusse dieses Paragraphen mitgetheilte Tabelle nachschlägt, worin für jeden Reibungswinkel ψ unmittelbar die Neigung der Bruchebene oder φ und ausserdem der Werth von H angegeben ist.

Es kommt nunmehr darauf an die Resultate der Rechnung mit denen der Beobachtung zu vergleichen. Alle hierher gehörigen Messungen erlauben indessen keine grosse Schärfe, wie sich dieses aus den folgenden Mittheilungen ergeben wird, und die Resultate sind augenscheinlich immer um so weniger genau, je mehr sie von fremdartigen Einwirkungen abhängig waren.

Ich mache mit der Beschreibung meiner eignen Beobachtungen den Anfang. Fig. 4 *a* und *b* zeigt in der Ansicht von vorn und von der Seite den Apparat, dessen ich mich bediente. Er unterscheidet sich von den sonst üblichen besonders dadurch, dass das Hinterfüllungsmaterial sich nicht in einem Kasten befindet, sondern es vielmehr auf einer Tafel frei aufgeschüttet ist. Bei dieser Anordnung verschwindet die Reibung gegen die Seitenwände ganz, welche sonst immer einen merklichen Einfluss auf das Resultat behält, ohne dass man ihren Werth bestimmt bezeichnen konnte. Die bewegliche Wand, welche durch den Seitendruck fortgedrängt wird, muss senkrecht aufgestellt sein und sie darf der ersten Bewegung keinen andern Widerstand entgegensetzen, als denjenigen, welchen man durch die Spannung des Fadens misst, ausserdem muss sie auch die nöthige Steifigkeit besitzen, um nicht etwa seitwärts oder unten ausgebogen zu werden. Sie bestand in einem leichten Bretchen *AB*, das an einer Latte *DA* befestigt war. Um der letzten die nöthige Steifigkeit zu geben, dienten die beiden rückwärts aufgeleimten hochkantigen Leisten *F* und *G*. Die erwähnte Latte war an einer metallenen Axe *C*

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 17

befestigt, die sich auf zwei Stahlspitzen mit sehr geringer Reibung drehte. Endlich trug die Latte oben noch einen horizontalen Arm, worauf das Gegengewicht *H* steckte. Das letzte wurde vor dem Beginne der Beobachtungen so weit verschoben, bis die pendelartig aufgehängte Wand eine lothrechte Stellung annahm. Nuncmehr stellte man sie fest, indem die Schraube *K*, welche gerade dem Faden gegenüber angebracht war, sanft dagegen bewegt wurde. Der Boden *LM*, der die Schüttung aufnehmen sollte, und der an der Seite, wo er die Wand berührte, in eine scharfe Schneide auslief, wurde sodann dagegen geschoben, und theils nach einem Niveau, theils aber auch nach den Bezeichnungen an der Wand in seine gehörige Lage gebracht. Die Aufschüttung erfolgte möglichst leise, und zwar in der Art, dass das Material niemals tief herabfiel. Zur Darstellung des regelmässigen Haufens bediente ich mich zwar einer Chablone, doch durfte die Masse damit nicht förmlich abgestrichen werden, weil dieses eine zu feste und unregelmässige Ablagerung des Sandes veranlasste, die sich sogleich durch bedeutende Abweichungen im Resultate zu erkennen gab. Geringe Unebenheiten in der Oberfläche der Schüttung zeigten sich dagegen viel weniger nachtheilig.

Endlich wurde der Faden *AP* um die Rolle *N* geschlungen und die Wagschale *Q* angehängt. Die Rolle *N* lief wieder zwischen Stahlspitzen, woher die Reibung, die sie veranlasste, sich als ganz geringfügig herausstellte, und das Gewicht des Fadens, der in einem starken Seidenfaden bestand, konnte gleichfalls unbeachtet bleiben. Der Druck der Schüttung ergab sich nun, indem die hinreichend mit Gewichten beschwerte Schale nach und nach erleichtert wurde, während die Schraube *K* um einige Windungen zurückgedreht war. Eine sehr sanfte Verminderung des Gewichtes auf der Schale erfolgte, wenn ich ein Gefäss mit feinem trockenen Sande darauf stellte, und den Inhalt desselben langsam ausfliessen liess; doch konnten die Gewichte auch sehr sicher gewechselt werden, wenn dabei jedesmal die Wand entweder durch die Schraube *K* oder auch wohl durch die vorgehaltene Hand gestützt wurde. Die Beobachtung liess in sofern eine grosse Schärfe erwarten, als die Wand jedesmal plötzlich in Bewegung kam, und sie nicht unmerklich auszuweichen anfang, wie dieses bei der gewöhnlichen Einrichtung des Apparats geschieht.

Der trapezförmige Querschnitt der Schüttung ist Fig. 4. *a* angedeutet, und es liess sich aus den Beobachtungen leicht der Druck einer Schüttung mit senkrechten Seitenwänden $\alpha\beta\gamma\delta$ finden, wenn man von dem Drucke, den die Schüttung $\varepsilon\alpha\beta\zeta$ ausübte, denjenigen der Schüttung $\vartheta\eta\lambda$ abzog. Ich versuchte dieses Verfahren anzuwenden, fand aber, dass die Beobachtung im letzten Falle besonders unsicher wurde, zog es daher vor, nur die erste Beobachtung mit der Rechnung zu vergleichen. Ich lege hierbei den Ausdruck

$$H = \frac{1}{2} h^2 b \gamma A$$

zum Grunde, wobei es noch unbestimmt sein mag, ob *A* den in der nachstehenden Tabelle angegebenen Werth hat, oder es nach Prony gleich $\text{tgt} \frac{1}{2} \psi^2$ ist. Bei allen Beobachtungen, die ich anstellte, wählte ich ein Material, das augenscheinlich, von jeder Cohäsion frei war, dieselbe hat demnach gar keinen Einfluss auf die nachstehenden Resultate.

Setzt man den verticalen Abstand der Drehungsaxe von der Basis der Schüttung, oder $CL = l$
den verticalen Abstand der Drehungsachse von dem Faden, oder $CA = \lambda$

die Höhe der Schüttung, oder $\eta L = h$

ihre obere Breite, oder $\alpha\beta = b$

ihre untere Breite, oder $\varepsilon\zeta = b + 2c$

folglich die Basis der Seitenböschung, oder $\varepsilon\gamma = c$

so ist das Moment von dem mittlern Theile der Schüttung, oder von $\alpha\beta\gamma\delta$ gleich

$$\frac{1}{2} h^2 b \gamma \left(l - \frac{1}{3} h \right) A$$

Wenn man aber die Böschungen in sehr schmale verticale Schichten zerlegt denkt, und für jede derselben das Moment des Druckes in Bezug auf die Drehungsachse sucht; so ist das Integrale davon, oder das Moment des Druckes von einer Böschung

$$= \frac{1}{6} h^2 c \gamma \left(l - \frac{1}{4} h \right) A$$

das Moment der ganzen Schüttung ergibt sich sonach

$$\frac{1}{2} h^2 \gamma \left[b \left(l - \frac{1}{3} h \right) + \frac{2}{3} c \left(l - \frac{1}{4} h \right) \right] A$$

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 19

und dieses ist gleich dem Momente des angehängten Gewichtes P , also

$$= \lambda P$$

woraus sich der Werth für A berechnen lässt.

Die Abmessungen des Apparates, dessen ich mich bediente, waren in Zollen

$$l = 39,22$$

$$\lambda = 33,22$$

$$b + 2c = 17,6$$

folglich für $a = 1$ ist $b = 14,4$ und $2c = 3,2$

$$= 2 \quad = 11,2 \quad = 6,4$$

$$= 3 \quad = 8,0 \quad = 9,6$$

$$= 4 \quad = 4,8 \quad = 12,8$$

$$= 5 \quad = 1,6 \quad = 16,0$$

Die Beobachtungen stellte ich theils mit dem feinen staubartigen Sande an, wie er bei Berlin gewöhnlich vorkommt, theils aber mit schwarzem Streusande, beides in vollkommen trockenem Zustande, und endlich auch mit Schrot. Die Beobachtungen mit dem Streusande sind am häufigsten wiederholt, und daher als die sichersten zu betrachten, ich will sie hier vollständig mittheilen. Dieser Sand besteht aus Körnchen von ziemlich gleicher Grösse, die durch einen schwachen Wellenschlag von andern Sandkörnern und allem Staube gereinigt sind: ihr Durchmesser hält im Maximum etwa $\frac{1}{7}$ Linie. Der Cubikzoll wiegt in trockenem Zustande bei einer möglichst lockern Aufschüttung 2,82 Loth: dieses ist also der Werth von γ .

Die Zahlen der folgenden Tabelle zeigen diejenige Belastung der Schale in Lothen an, wobei die Wand in Bewegung kam;

$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$
3,9	18,3	36,5	54,0	70,0
3,7	18,3	38,5	59,5	66,5
3,9	20,7	38,2	57,0	67,5
4,0	18,5	39,5	55,5	68,5
4,8	19,9	38,5	59,5	72,5
4,3	18,7	40,5	61,0	72,0
4,2	19,2	37,7	59,5	72,5
3,9	19,6	38,5	60,5	73,5
4,4	20,2	41,0	59,5	70,0
4,2	18,5	38,8	58,6	71,5
4,3			60,0	

als mittlere Werthe ergeben sich

für $h = 1$	4,14	und $P = 6,39$
$h = 2$	19,19	21,44
$h = 3$	38,77	41,02
$h = 4$	58,60	60,85
$h = 5$	70,50	72,75

In dem Werthe von P ist das Gewicht der Wagschale hinzugesetzt. Berechnet man hieraus nach der vorstehenden Formel die Grösse von A , so folgt

für $h = 1$	$A = 0,2503$
$h = 2$	$= 0,2455$
$h = 3$	$= 0,2504$
$h = 4$	$= 0,2598$
$h = 5$	$= 0,2610$
im Mittel	$A = 0,2534.$

Aus diesem Werthe von A ergibt sich nach der mitgetheilten Tabelle der Reibungswinkel gleich $63^\circ 44'$; nach der Prony'schen Formel dagegen gleich $53^\circ 26'$.

Es entsteht die Frage, auf welche Art man diesen Winkel unmittelbar messen kann, denn seine Grösse stellt sich sehr verschieden dar. Schüttet man nämlich diesen Sand in einen Kasten, dem die eine Seitenwand fehlt, so dass sich hier die Böschung darstellt, und man lässt vorsichtig längere Zeit hindurch kleine Sandmassen darüber fließen, so finden die einzelnen Körnchen noch immer Unebenheiten, in welche sie gerade passen, und indem sie hier liegen bleiben, so wird die Böschung merklich steiler und sie nimmt eine Neigung von 58, auch wohl von 57 Graden gegen das Loth an, man kann sie auch noch steiler machen, wenn man eine Platte darauf legt, und fest andrückt, und alsdann den Kasten noch leise neigt. In diesem Falle ist die Ablagerung der Körnchen aber keineswegs zufällig, wie sie es bei der Aufschüttung in den beschriebenen Versuchen war, sondern man hat künstlich eine recht dichte und geschlossene Oberfläche erzeugt. Wenn man andererseits den Kasten mit einer beweglichen Wand versieht, und letztere nach der Füllung fortnimmt, so stürzt keineswegs die ganze Sandmasse, die sich über der Dossirung befindet, plötzlich und mit grosser Erschütterung heraus. Dieses

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 21

geschieht nur mit demjenigen Prisma, welches den stärksten Druck übt: ihm folgen minder schnell andere Sandmassen, und zuletzt rieseln die Körnchen wieder leise herab, und lagern sich wieder sehr steil übereinander. Der untere Theil der Böschung, über den mehr Sand herüberfließt, als über den obern, nimmt jedesmal eine steilere Neigung an, als der letzte. Der obere Theil, der am meisten noch die natürliche Ablagerung der Körnchen beibehält, zeigt schon eine Neigung von 60 Graden, oder eine noch grössere, besonders wenn die Aufschüttung eben so sanft, und ohne allen Druck der Erschütterung gemacht war, wie dieses bei den Versuchen über den Seitendruck wirklich geschah. Es ist indessen auch in diesem Falle die Oberfläche schon verändert worden: ich schüttete daher den Sand noch sehr vorsichtig in ein Gefäss, und bemühte mich, dasselbe möglichst gleichmässig bis zum Rande zu füllen, worauf ich es sehr leise abstrich, und dadurch eine horizontale Oberfläche der Schüttung darstellte, nunmehr neigte ich das Gefäss, auf einem passenden Gestelle, nach einer Seite und beobachtete die Oberfläche. Die Körnchen hatten sich offenbar ursprünglich in der Art übereinander gelagert, dass sie sich in der Richtung nach unten gehörig stützten, bei der veränderten Stellung des Gefässes trat indessen die Tendenz zu einer seitwärts gerichteten Bewegung ein, gegen welche keine vollständige Unterstützung stattfand: und so geschah es gewöhnlich, dass bei einer Neigung von 65 Graden gegen das Loth sich schon eine kleine stossweise Bewegung zeigte, die aber jedesmal spätestens bei 63 Graden eintrat. Diese erste sehr kleine Bewegung war es aber, die bei den Versuchen über den Seitendruck des Sandes schon die Wand fortstiess, und sie muss daher auch bei der Bestimmung der Reibung berücksichtigt werden.

Ich versuchte es demnächst, noch die Grösse der Reibung bei diesem Sande auf andere Art zu bestimmen, nämlich durch Messung des Zuges, der erforderlich ist, um eine gewisse Sandmasse über der andern fortzuschieben. Dieser Weg ist auch sonst schon versucht worden, doch hat er, so viel bekannt, zu keinem Resultate geführt, indem fremdartige Umstände dabei einen zu bedeutenden Einfluss behalten. Man füllte nämlich einen Kasten mit Sand, und legte auf selbigen einen eben so grossen, oder wenigstens eben so breiten Kasten, der jedoch weder oben

noch unten einen Boden hatte. Nachdem der letztere gleichfalls mit Sand angefüllt war, so versuchte man ihn fortzuziehen, oder man liess ihn von selbst herabgleiten, indem der untere Kasten seitwärts geneigt wurde. Es drückte indessen die Füllung des obern Kastens keineswegs mit ihrem ganzen Gewichte auf die des untern, vielmehr wurde sie zum Theil auch von den Wänden des obern getragen, und sonach mass man nicht die Reibung zwischen Sand und Sand, sondern grossentheils die zwischen Holz und Holz.

Ich änderte den Apparat in der Art ab, dass ich dem beweglichen Kasten nur eine sehr geringe Höhe gab, und ihn alsdann mit einem losen Boden bedeckte, auf dem Gewichte aufgestellt waren. Die letzteren übten in Verbindung mit der dünnen Sandschicht den Druck gegen die untere Sandfläche aus, und nur ein sehr kleiner Theil dieses Druckes konnte bei der geringen Höhe der obern Wände sich auf diese übertragen. Ferner berührte der obere Kasten den untern gar nicht, sondern ruhte vorn und hinten auf Walzen, wodurch jede merkliche fremdartige Reibung entfernt wurde. An dem beweglichen Kasten war ein Seidenfaden befestigt, der über eine Rolle lief, und die Wagschale trug; in die letztere floss feiner Sand hinein, der die Vermehrung des Zuges bewirkte. Der Wagen nahm jedesmal zuerst eine unmerkliche Bewegung an, deren Eintritt man nicht genau wahrnehmen konnte, und wodurch er etwa um $\frac{1}{4}$ Linie sich fortbewegte, alsdann aber zeigten sich einige plötzliche Stösse. Bei dem ersten derselben sperrte ich den Sandzufluss in die Schale ab und wog dieselbe nebst ihrem Inhalte.

Der bewegliche Kasten hatte eine Grundfläche von 9 Quadratzoll und eine Höhe von 2 Linien, doch wurde er nur $1\frac{1}{2}$ Linien hoch mit Sand angefüllt, und über dem Deckel abwechselnd mit 1, $1\frac{1}{2}$ und 2 Pfund beschwert.

Es ergab sich der Reibungs-Coefficient
 bei der Belastung von 1 Pfund gleich 0,470
 - - - - - $1\frac{1}{2}$ - - - - - 0,442
 - - - - - 2 - - - - - 0,493

und zwar sind dieses jedesmal die Mittelwerthe aus je drei Beobachtungen. Der Reibungswinkel ergibt sich hiernach gleich

64° 50'

66° 9'

und 63° 45'

im Mittel 64° 55'

was wieder mit dem aus der Grösse A hergeleiteten ersten Werthe von ψ bis auf einen Grad übereinstimmt.

Von den Beobachtungen, die mit dem feinen staubartigen weissen Sande angestellt wurden, der gleichfalls vollkommen trocken war, will ich nur die Endresultate anführen: die einzelnen Messungen zeigen unter sich etwas grössere Abweichungen, als die obigen, und dieses rührt daher, dass dieser Sand, sobald er auch nur in geringer Höhe aufgeschüttet wird, aller Vorsicht unerachtet, merklich zusammen sinkt, und alsdann eine grössere Dichtigkeit annimmt. Dieser Umstand beeinträchtigte allerdings die Schärfe der Beobachtungen, indem er eine verschiedenartige Ablagerung bedingt, nichts desto weniger treten dabei ganz ähnliche Verhältnisse ein, wie sie bei denjenigen Schüttungen vorkommen, an welchen man die steifste Dossirung misst, und sonach lässt sich in diesem Falle die Vergleichung des Reibungswinkels viel unmittelbarer anstellen, ohne dass man auf die ersten kleinen Bewegungen Rücksicht zu nehmen braucht, die hier in der That fast unmerklich sind.

Bei diesem Sande ergab sich γ gleich 1,87 Loth und der Reibungswinkel beim plötzlichen Entfernen der Wand, oder auch wenn man kleine Massen leise darüber fließen liess, zwischen 54 und 59 Graden.

Aus 14 Beobachtungen folgte

für $h = 2$ $A = 0,177$

= 3 = 0,191

= 4 = 0,187

Die Beobachtungen wurden bei der Schüttung von 5 Zoll Höhe nicht angestellt, weil alsdann ein zu starkes Setzen des Sandes eintrat, was der Bestimmung des Werthes von γ nicht mehr entsprach, und für die Höhe von 1 Zoll fiel der Seitendruck zu unbedeutend aus, als dass er noch sicher hätte beobachtet werden können.

Der mittlere Werth von A ist sonach 0,185 und diesem entspricht der Reibungswinkel $\psi = 56^\circ 39'$, was mit der unmittel-

baren Beobachtung nahe genug übereinstimmt. Nach der Herleitung, die Prony wählt, würde aus der beobachteten Grösse von A der Reibungswinkel $46^{\circ} 33'$ folgen. Es verdient noch bemerkt zu werden, dass ich mittelst des beschriebenen Apparats auch für diesen Sand den Reibungs-Coefficienten zu bestimmen versuchte. Anfangs trat auch hierbei die unmerkliche Bewegung ein, doch war der alsdann erfolgende Stoss viel kräftiger und schob den Wagen gemeinhin so weit vor, dass die Schale auf den Tisch aufstiess. Der mittlere Werth der Reibung war 0,632, woraus der Reibungswinkel sich gleich $57^{\circ} 39'$ ergibt.

Endlich sind noch die mit dem Schrote angestellten Beobachtungen anzuführen. Die einzelnen Körner hatten nahe eine Linie im Durchmesser und der Cubikzoll wog 8,245 Loth. Bei der Bestimmung des Reibungswinkels traf ich wieder auf dieselben Schwierigkeiten, wie bei dem grobkörnigen Streusande. Wenn ein Gefäss damit angefüllt und in horizontaler Lage abgestrichen war, so kamen einzelne Körnchen schon bei geringer Neigung in Bewegung: etwa bei 69 Graden gegen das Loth geneigt, rückte die ganze Masse etwas vor, aber noch bei 63 Graden hielt sich die Böschung, und erst wenn sie noch steiler wurde, trat die allgemeine Bewegung ein. Man konnte indessen, nachdem eine solche eingetreten war, die Neigung noch um mehrere Grade steiler machen, indem man einzelne Körnchen oben aufbrachte. Dieselben fingen an, herabzurollen, keines erreichte aber anfangs den Fuss der Böschung, indem sie alle auf ihrem Wege hier oder dort eine Lücke fanden, in welcher sie liegen blieben. Es ergibt sich hieraus deutlich, dass die steilste Neigung, die man auf die letzte Art darstellt, keineswegs diejenige ist, welche der Reibung im Innern der Masse bei einer ganz zufälligen Ablagerung entspricht; vielmehr ist dieses diejenige Neigung, wobei sich die erste Bewegung zeigt. Der Versuch, die Reibung durch den Widerstand des beweglichen Kastens zu bestimmen, führte bei diesem Materiale zu keinem Resultate, denn die Bewegung trat sehr bald doch unmerklich ein, und es zeigte sich, dass die einzelnen Kügelchen, die nur in wenig Schichten den obern Kasten füllten, eine rotirende Bewegung annahmen, und deshalb ihr Widerstand sehr klein war.

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 25

Bei der Messung des Seitendrucks beschränkte die geringe Neigung, welche den Seitenflächen der Schüttung gegeben werden konnte, sehr merklich ihre Höhe. Ich erhielt aus dreizehn einzelnen Beobachtungen

für $h = 1$ Zoll	$A = 0,278$
$= 1,5$ -	$= 0,298$
$= 2$ -	$= 0,305$
$= 2,5$ -	$= 0,301.$

Der mittlere Werth ist sonach $A = 0,295$, und hieraus ergibt sich der Reibungswinkel gleich $67^\circ 14'$: nach Prony's Rechnung müsste derselbe $57^\circ 1'$ sein.

Durch die vorstehende Auseinandersetzung meiner Beobachtungen hoffe ich nicht nur die von mir gewählte Zerlegung der Kräfte bestätigt, sondern ausserdem auch darauf aufmerksam gemacht zu haben, dass der Reibungswinkel keineswegs durch die steilste Böschung bestimmt wird, die man einem gewissen Hinterfüllungsmaterial irgend zu geben vermag.

Unter den sonst angestellten Beobachtungen über den Seitendruck der Erde sind zunächst die von Woltman zu erwähnen. *) Ein Kasten von 6 Fuss Länge 4 Fuss Breite und 4 Fuss Höhe war an einer seiner schmalen Seiten mit einer beweglichen Wand versehen, die sich um eine horizontale Axe drehen liess. Diese Drehungsaxe konnte man aber ebensowohl in dem obern, wie in dem untern Rande der Wand anbringen. Von demjenigen Rande, welcher der Axe gegenüber stand, ging eine Schnur entweder über oder unter dem Kasten rückwärts über eine Rolle und trug am untern Ende eine Scheibe, worauf die Gewichte standen, durch deren allmähliche Verminderung der Erddruck bestimmt wurde. Auf solche Art liess sich in den Beobachtungen einige Abwechslung hervorbringen, und man konnte auch ermitteln, ob der Mittelpunkt des Druckes wirklich auf den dritten Theil der Höhe von der Erdschüttung traf. Bezeichnet man nämlich mit k den beobachteten Zug, den die Schnur ausüben muss, wenn sie im obern Rande der Wand befestigt ist, während die Drehungsaxe sich unten befindet, und durch k' den Zug, wenn die Schnur unten und die Axe oben liegt; ferner durch P den gesuchten Druck der Erde,

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur. Band III. Seite 175.

durch h die ganze Höhe der Wand, und durch hn die Höhe des Mittelpunktes des Druckes oder desjenigen Punktes, den P trifft, so hat man

$$kh = Phn$$

$$\text{und } k'h = Ph(1 - n)$$

woraus sich ergibt $P = k + k'$

$$\text{und } n = \frac{k}{k + k'}$$

Die Beobachtungen zeigten wirklich, dass n jedesmal sehr nahe ein Drittel war: ich werde daher bei der Mittheilung der Beobachtungen die gefundenen Gewichte (k und k') gleich auf den Angriffspunkt reduciren, oder die Werthe von P angeben, welche mit der früher durch H bezeichneten Grösse übereinstimmen sollen.

Woltman hat ausserdem noch die Correctionen berechnet, die wegen der Reibung der Rolle und wegen des Gewichtes der Scheibe anzubringen sind. Für den Versuch Nro. IX habe ich dieses in derselben Art gethan. Der Kasten wurde nicht immer ganz angefüllt, zuweilen betrug die Höhe der Schüttung oder h nur 2 Fuss. Die Breite der Schüttung oder b war jederzeit 4 Fuss. Die steilsten Böschungen, welche das Hinterfüllungsmaterial annahm, oder den Winkel ψ hat Woltman theils früher*), theils bei der Beschreibung der Versuche angegeben, und ebenso auch γ oder das Gewicht von einem Cubikfusse eines jeden Materials. In der folgenden Zusammenstellung bezeichnet H den beobachteten Erddruck nach Anbringung der erwähnten Correction und der Reduction, H' den berechneten Erddruck nach der Pronyschen Formel, nämlich

$$H' = \frac{1}{2} h^2 b \gamma \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \psi^2$$

Im Wesentlichen stimmt hiermit der von Woltman hergeleitete Ausdruck überein. H'' ist endlich der Werth nach der von mir gegebenen Formel, oder

$$H'' = \frac{1}{2} h^2 b \gamma \cdot A$$

Alle Angaben beziehen sich auf Hamburger Maass und Gewicht.

*) Beiträge etc. Band III. Seite 167.

	h	γ	ψ	H	H'	H''
I. trockner Flugsand	4 Fuss	73,5 Pf.	58°	393,9	722,6	462,6
II. desgl.	2 "	— "	—	97,2	180,7	115,6
III. desgl.	4 "	— "	—	345,1	722,6	462,6
IV. desgl.	2 "	— "	—	91,8	180,7	115,6
V. feuchte Ackererde	4 "	62 "	45°	238,5	340,4	210,1
VI. desgl.	2 "	— "	—	52,5	85,1	52,5
VII. desgl.	4 "	— "	—	196,2	340,4	210,1
VIII. desgl.	2 "	— "	—	47,4	85,1	52,5
IX. a) Kiesel	4 "	79 "	54°	198,4	656,3	414,6
b) desgl.	2 "	— "	—	65,1	164,1	103,6
X. Rappssaar	4 "	34½ "	65°	227,4	444,8	293,3
XI. desgl.	4 "	— "	—	241,5	444,8	293,3
XII. Roggen	4 "	35,5 "	65°	205,2	461,1	304,0
XIII. desgl.	4 "	— "	—	182,4	461,1	304,0

Es ergibt sich aus dieser Zusammenstellung, dass beide Berechnungsarten nicht die beobachteten Resultate darstellen, dass aber die erste jedesmal viel stärker abweicht, als die zweite: diese schliesst sich sogar an die Beobachtungen V bis VIII recht gut an. Man bemerkt aber sogleich, dass auf die Beobachtungen noch die Reibung zwischen dem Füllungsmaterial und den feststehenden Seitenwänden einen grossen Einfluss haben muss, der um so bedeutender wird, jemebr die Bruchebene gegen das Loth geneigt ist; aus diesem Grunde wird in den vier letzten Beobachtungen die bedeutendste Verminderung von H erfolgen und in den Beobachtungen V bis VIII die geringste. Auch Woltman ist auf diesen Umstand aufmerksam geworden, und er äussert, dass die bewegliche Wand wenigstens zehnmal so lang, als hoch hätte sein müssen, damit diese Reibung nicht einen so starken Einfluss auf das Resultat behielte.

Wenn man indessen den Coefficienten für die Reibung zwischen dem Hinterfüllungsmaterial und der Wandfläche kennt; so ist man im Stande, ihren Einfluss auf das Resultat zu berechnen. Nimmt man nämlich an, dass auch in diesem Falle der Bruch des am stärksten drückenden Prismas noch in einer Ebene erfolgt, so

wird diese eine andere und wahrscheinlich eine geringere Neigung gegen das Loth annehmen, als sie sonst haben würde. Es sei diese Neigung gleich λ , so kann man beide Grundflächen des Prisma's, die oben gegen die festen Seitenwände drücken, so betrachten, als beständen sie aus einer grossen Anzahl sehr schmaler, senkrecht stehender Rechtecke; und der Druck, den jedes derselben auf die Wand ausübt, ist nach dem obigen Ausdrücke für H zu berechnen. Summirt man endlich diese Pressungen, so ergibt sich der Druck gegen eine Wand gleich

$$\frac{1}{6} h^3 \gamma A \cdot \operatorname{tgt} \lambda$$

Nennt man den Coefficienten der Reibung zwischen der Erde und der Wand ν , so findet man die Reibung, welche das abbrechende Prisma an seinen beiden Grundflächen erfährt

$$\frac{1}{3} \nu h^3 \gamma A \cdot \operatorname{tgt} \lambda$$

Daraus lässt sich der ganze Druck, mit welchem das Prisma schräge herabzugleiten strebt, und aus diesem wieder der horizontale Druck gegen die Wand berechnen, nämlich

$$H = \left[\frac{1}{2} h^2 b \gamma \frac{\operatorname{Sin}(\psi - \lambda)}{\operatorname{Sin} \psi} - \frac{1}{3} \nu h^3 \gamma A \right] \operatorname{tgt} \lambda \cdot \operatorname{Sin} \lambda$$

Die Höhe, in welcher dieser Druck ausgeübt wird, ist nach Woltman's Versuchen wieder sehr nahe dem dritten Theile von der Höhe der ganzen Erdschüttung gleich.

Um den Reibungs-Coefficienten ν zu bestimmen, stellte ich Prismen oder Cylinder von verschiedenem Material in einem Gefässe senkrecht auf und beschüttete sie bis zu einer bestimmten Höhe ringsum mit Sand: der Druck, den der letztere gegen sie ausübte, konnte nach dem Vorstehenden leicht berechnet werden, die Reibung aber liess sich unmittelbar beobachten, indem ich die Kraft maass, die erforderlich war, um die Körper herauszuziehen. Es ergab sich hieraus der jedesmalige Werth von ν , und zwar betrug derselbe bei glatten, jedoch nicht polirten Holzflächen ungefähr $\frac{2}{3}$. Er ist also sehr nahe übereinstimmend mit der Reibung zwischen Sand und Sand. *) Ich bemerke aber noch, dass, wenn

*) Die Zusammenstellung dieser Resultate habe ich in Poggendorff's Annalen Band 28, Seite 312 mitgetheilt.

man statt des trocknen Sandes eine feuchte Ackererde wählt, die Reibung sehr unbedeutend wird, woher die hiermit angestellten Beobachtungen gegen die frühere Rechnung keine starken Abweichungen zeigen.

Nachdem man den Werth für ν in die vorstehende Gleichung eingeführt hat; so wäre es eigentlich noch erforderlich, durch Differentiation in Beziehung auf λ diejenige Neigung der Bruchfläche zu ermitteln, welche dem grössten Horizontaldrucke entspricht. Man kommt dabei indessen auf eine Gleichung des vierten Grades, und es ist bequemer, ein indirectes Verfahren zu wählen, nämlich verschiedene Werthe von λ einzuführen und durch Probiren das grösste H zu bestimmen. Eine grosse Genauigkeit in der Rechnung ist hierbei nicht erforderlich: man gelangt daher jedesmal mit wenig Mühe zu dem gesuchten Resultate, und es ergibt sich, dass λ um einige Grade kleiner ist, als dasjenige φ , welches die obige Tabelle für jedes ψ nachweist.

Berechnet man auf solche Art die vier ersten Beobachtungen, bei welchen trockner Sand angewendet wurde, so findet man

$$\text{für I und III: } A = 357,7$$

$$\text{und für II und IV: } A = 101,9$$

Diese Werthe schliessen sich mit Rücksicht auf die Abweichungen der beobachteten Resultate unter sich, ganz befriedigend an diese an. Dasselbe findet auch mit den Beobachtungen statt, die sich auf Rappssaat und Roggen beziehen, wenn man dabei $\nu = \frac{1}{3}$ setzt, was wahrscheinlich nahe richtig sein dürfte, worüber ich jedoch keine Messungen angestellt habe. Die Nummern V bis VIII zeigen schon nach der ersten Berechnung eine gute Uebereinstimmung, und sonach schliesst sich die Formel

$$H = \frac{1}{2} a^2 \gamma A$$

an die sämmtlichen Beobachtungen Woltman's an; es macht dabei nur die neunte Beobachtung eine Ausnahme, welche Woltman selbst schon ausgeschlossen und gar nicht berechnet hat. Die andere Zerlegung der Kräfte, die man ganz allgemein zu wählen pflegt, zeigt dagegen jedesmal sehr grosse Abweichungen und stellt den Druck immer zu gross dar, und zwar durchschnittlich nahe um 100 Prozent.

Uebereinstimmend mit den folgenden Rechnungen will ich endlich noch diese Beobachtungen in der Art benutzen, dass ich aus dem gemessenen Seitendrucke den Reibungswinkel herleite: doch nehme ich hierbei auf die Reibung gegen die Seitenwände gar nicht Rücksicht, indem dieselbe grösstentheils unbekannt ist, und selbst für den Sand musste ich voraussetzen, dass er mit dem von mir benutzten übereinstimmte. Es ergibt sich durchschnittlich

für trocknen Flugsand ψ gleich	53° 20'
- feuchte Ackererde	44° 41'
- Kiesel	41° 56'
- Rappssaat	59° 53'
- Roggen	54° 52'

Demnächst sind die Beobachtungen zu erwähnen, welche in dem Jahre 1827 durch das Ingenieur-Corps in Wien angestellt wurden*): der Apparat bestand in einem Kasten, dessen eine schmale Seite beweglich war, und in ihrem untern Rande die Drehungsaxe hatte. Die Breite des Kastens war im Vergleich zur Höhe sehr geringe, sie betrug nämlich nur 3 Fuss, während die Höhe 6 Fuss maass: die Länge des Kastens war gleich 9 Fuss. Die bewegliche Wand wurde in dem dritten Theile ihrer Höhe, also an der Stelle, wo der Erddruck vereinigt gedacht werden muss, gegen einen Schlitten abgesteift, der auf einer hölzernen Bahn hin und her bewegt werden konnte, und dieser bildete durch die Reibung, die er erfuhr, das Gegengewicht, das die Wand unterstützte. Indem die Reibung aber von der Belastung des Schlittens abhing, und man jede Erschütterung vermeiden wollte, die bei dem Abheben und Verwecheln der Gewichtsstücke leicht eingetreten wäre, so war die Anordnung getroffen, dass das Gewicht zum Theil aus einem Kasten von $3\frac{1}{2}$ Cubikfuss Inhalt bestand, der mit Schrot gefüllt wurde. Durch eine Röhre aus dem Boden desselben erfolgte ein langsamer Abfluss des Schrotes, wodurch die sanfte Verminderung der Last und sonach auch die der Reibung eingeführt wurde, bis die Wand den Schlitten zurückstieß. In ähnlicher Art hatte Mayniel schon früher bei einer genau übereinstimmenden Einrichtung des ganzen Apparates zu gleichem

*) Versuche über den Seitendruck der Erde u. s. w. von C. M. de Köszezh. Wien 1828.

Zwecke statt des Schrotes das Wasser benutzt. Bei den in Rede stehenden Beobachtungen wurde nun, sobald die Bewegung eintrat, durch einen Schieber die Röhre geschlossen, und man verband den Schlitten, nachdem er zuvor von der Wand getrennt war, mit einer Wagschale, die nach und nach beschwert wurde, bis sie endlich den Schlitten aufs Neue fortschob. Auf solche Art durfte man nicht den Druck der Erde aus dem sehr veränderlichen Reibungs-Coefficienten herleiten, sondern man maass diese Reibung jedesmal auf directem Wege. Nichts desto weniger ist es immer sehr zweifelhaft, ob die Reibung in dem einen und dem andern Falle sich gleich blieb, denn besonders bei hölzernen Bahnen pflegt die Reibung auf unbedeutende Entfernungen oft sehr stark sich zu verändern, ohne dass man die Ursache davon bemerken kann.

Die angestellten Beobachtungen beziehen sich zuerst auf lockere Dammerde, und zwar war dieselbe

- 1) in einem natürlich feuchten Zustande,
- 2) trocken wie Staub und
- 3) mit Wasser gesättigt; es waren nämlich in 1 Cubikfuss Erde 23,7 Pfd. Wasser enthalten.

Alsdann wurde dieselbe Dammerde nicht mehr locker angewendet, sondern in dünnen Lagen festgestampft; hierbei zeigte sie jedoch weder in trockenem, noch in feuchtem Zustande einen Druck, und dieses selbst alsdann nicht, wenn man sie 18 Fuss hoch gegen eine Mauer lehnte; man konnte nämlich, nachdem die Hinterfüllung gemacht war, die Mauer abtragen, ohne dass die Erde gleich nachgefallen wäre.

Ferner wurde der Sand untersucht und zwar

- 4) in einem natürlich feuchten Zustande,
- 5) mit Wasser gesättigt, wobei der Cubikfuss 16 Pfd. Wasser aufgenommen hatte, und
- 6) vollkommen trocken.

Die nächsten Beobachtungen beziehen sich auf geschlemmten Lehm, der wieder

- 7) vollkommen trocken,
- 8) etwas angefeuchtet und
- 9) mit Wasser gesättigt war, wobei der Cubikfuss 27 Pfund Wasser verschluckt hatte.

Endlich wurde auch

- 10) grober Kies (Schotter) von der Grösse einer Haselnuss bis zu einem Taubenei angewendet.

Ausserdem kommen noch einige Beobachtungen vor, die sich auf den Fall beziehen, dass die Hinterfüllungserde nicht horizontal abgeglichen ist, sondern sich mit einiger Böschung gegen die Wand lehnt; auch sind zuweilen besondere Gewichte auf den Erdkörper gestellt, um den Einfluss partieller Belastungen zu ermitteln. Ich übergehe diese sämmtlich, indem ich mich nur auf die einfachste Form der Erscheinung beschränke. Endlich enthält die Beobachtungsreihe einen im Grossen ausgeführten Versuch über den Umsturz einer Futtermauer, der jedoch wenig beweist, indem die Bewegung ganz allmählig eintrat und man während der Bewegung der Mauer die Hinterfüllung erhöhte, bis sie endlich umstürzte.

Die vorstehend benannten zehn Beobachtungsreihen sind in der folgenden Zusammenstellung mit der Formel

$$H = \frac{1}{2} h^2 b \gamma \cdot A$$

verglichen, und zwar habe ich die Werthe für γ und den Reibungswinkel ψ aus den Angaben von Köszegh unverändert eingeführt. So oft aber verschiedene Angaben gemacht sind, die denselben Fall betreffen, habe ich das arithmetische Mittel daraus genommen.

Schwieriger war es, den beobachteten Druck auf die Wand zu bestimmen, indem hierbei eine Correction wegen der Reibung der Rolle vorkommt, die in einigen Fällen bei der Angabe des Gewichtes, wodurch der Schlitten fortgerückt wurde, schon vom Verfasser eingeführt wird, grossentheils aber unerwähnt bleibt. Aus den Berechnungen, welche auf die Beschreibung der Versuche folgen, ergiebt es sich, dass die Correction wirklich früher noch nicht vorgenommen ist, und ich habe daher jedesmal, wo es beim Versuche nicht ausdrücklich erwähnt wird, die Reibung noch in Betracht gezogen, indem ich den zehnten Theil des auf der Wagschale ruhenden Gewichtes davon in Abzug brachte. Auf Seite 173 des angeführten Werkes wird freilich ein etwas abweichender Werth für die Reibung angegeben, da jedoch derselbe nicht klar, auch der Coefficient $\frac{1}{3}$ ganz willkürlich gewählt und jedenfalls sehr

49. Bestimmung des Seitendrucks der Erde. 33

unsicher ist, so wird sich diese Vereinfachung rechtfertigen. Aus den auf solche Art corrigirten Werthen des Druckes ist jedesmal wieder das Mittel genommen, welches die nachfolgende Tabelle in der letzten Columne enthält.

N u m m e r d e r		γ Pfund.	ψ Grade.	Grösse des Druckes nach der	
Beobachtungs- reihe.	Beobachtungen.			Rechnung.	Beobachtung.
No. 1	No. 2	77	47½	494	286
No. 2	No. 3 bis 9 und No. 11 bis 16	80	51	778	656
No. 3	No. 24	104	55½	988	1693
No. 4	No. 27, 35 u. 36	94	50	692	1013
No. 5	No. 37	110	48½	742	940
No. 6	No. 38 bis 41	99	53	833	1287
No. 7	No. 29 u. 30	85	50½	633	691
No. 8	No. 31 bis 33	78	50¼	576	680
No. 9	No. 34	112	51½	877	568
No. 10	No. 45 bis 48	95	49½	679	979

Die Rechnung führt also zu Resultaten, welche von den beobachteten sehr merklich abweichen, und zwar fallen sie gewöhnlich zu klein aus, während man wegen der nicht in Betracht gezogenen Reibung der Erde gegen die Seitenwände des Kastens gerade das Gegentheil vermuthen sollte. Die von Kőszegh angestellten Rechnungen stimmen dagegen wunderbar genau mit den Beobachtungen überein, doch sind sehr viele Beobachtungen hierbei ausgelassen, ohne dass man erfährt, weshalb dieses geschehen ist. Es fehlen nämlich

in der Reihe Nr. 1 die Beobachtung Nr. 2					
-	-	2	-	-	3, 13 u. 16
-	-	3	-	-	24
-	-	4	-	-	27, 35 u. 36
-	-	5	-	-	37
-	-	7	-	-	29 u. 30
-	-	8	-	-	31 bis 33
-	-	10	-	-	45 bis 48.

Der Verfasser hat also von den 10 Beobachtungsreihen nur zwei vollständig berechnet, dagegen sieben ganz unbeachtet gelassen und in einer drei einzelne Beobachtungen ausgeschlossen. Diese Rechnung ist übrigens nach der Pronyschen Formel, jedoch mit der von Français *) eingeführten Abänderung gemacht worden, dass man den Werth der Cohäsion nicht aus der senkrechten Höhe bestimmt, in welcher die Erde sich noch ohne Unterstützung trägt, sondern vielmehr aus der Höhe einer sehr steilen Dossirung. Wenn man nämlich die zu untersuchende Erde noch steiler, als unter dem Reibungswinkel abstechen lässt, so ist die Abwesenheit des Seitendruckes in diesem Falle nur durch die Cohäsion zu erklären, und der Werth der letztern ergiebt sich in ähnlicher Art, wie früher, wenn man beobachtet, welches die steilste Neigung ist, in der sich ein Erdkörper von einer bestimmten Höhe noch ohne Unterstützung erhält. In den erwähnten Beobachtungen wurde nun die horizontale Projection der Breite von dem bei jedem Versuche abbrechenden und herabfallenden Erdprisma gemessen, welche durch die constante Höhe des Kastens dividirt, die Tangente des gesuchten Neigungswinkels darstellt. Dabei trat aber der Uebelstand ein, dass diese Breite sich oft sehr schnell vergrösserte, und es zweifelhaft sein musste, welchen Werth man für sie wählen sollte. Bei Untersuchung der Rechnungen in dem angeführten Werke bleibt man auch zweifelhaft, nach welchen Regeln hierbei verfahren sein mag, denn nicht immer ist das schmalste und zuerst abfallende Prisma gewählt worden. Der Reibungswinkel oder ψ ist endlich dadurch bestimmt, dass man in einen Kasten von 3 Fuss Höhe, dem die eine Seite fehlte, die zu untersuchende Erde hineinwarf und alsdann zusah, welchen Winkel die Böschung gegen das Loth bildete. Diese Messung ist, wie bereits erwähnt, sehr schwierig, und man darf keineswegs durch sehr behutsames Aufschütten sie möglichst steil zu machen suchen. Endlich muss ich noch darauf aufmerksam machen, wie die grosse Uebereinstimmung zwischen der Rechnung und Beobachtung hier keinen Beweis für die Richtigkeit der erstern liefert: betrachtet man z. B. die vier Beobachtungen No. 8, 9, 11 und 12, die Seite 176 des genannten

*) Die Uebersetzung dieses Aufsatzes aus dem *Mémorial de l'officier du Génie* wird in dem Werke von Köszezh vollständig mitgetheilt.

Werkes zusammengestellt sind, so ergiebt sich aus der Abweichung der einzelnen Resultate von dem mittleren Werthe der wahrscheinliche Beobachtungsfehler gleich $68\frac{1}{2}$ Pfunde, und der wahrscheinliche Fehler des arithmetischen Mittels aus den vier Werthen beträgt daher $34\frac{1}{4}$ Pfunde. Wenn nun aber das berechnete Moment bis auf 12, oder der berechnete Druck bis auf 6 Pfunde hiermit übereinstimmt, so zeigt sich darin freilich ein seltenes Zusammentreffen; man darf daraus aber nicht schliessen, dass die zum Grunde gelegte Theorie sich dadurch in solichem Maasse wirklich bestätigt: denn das Resultat der Beobachtung ist wahrscheinlich mit einem viel grössern Fehler behaftet. Dieses Zusammentreffen ist, wenn es zufällig war, eben so auffallend, als wenn Jemand, nur durch den Zufall geleitet, uns unter eilf Charten grade diejenige zeigt, die wir meinen, und wenn solche Glücksfälle sich fortwährend wiederholen, was bei den in Rede stehenden Berechnungen wirklich geschieht, so muss man aus der Erscheinung auf ihre Ursache schliessen, und man sucht letztere nicht mehr im Zufalle, sondern in einer absichtlichen Einwirkung.

Die Beobachtungen über den Druck der Erde, über den Reibungswinkel und alle sonstigen Umstände, die hierbei in Betracht kommen, sind an sich sehr unsicher und lassen sich leicht beliebig modificiren; man findet also unter den verschiedenen Resultaten, zu welchen man gelangt, gewiss jedesmal auch solche, die eine beliebige Theorie zu bestätigen scheinen. Die Uebereinstimmung mit dieser Theorie verliert daher ihre ganze Beweiskraft, sobald der Verdacht angeregt ist, dass man eben in solcher Absicht eine besondere Auswahl unter den Beobachtungen getroffen und besondere Gruppierungen darin gemacht hat.

Endlich will ich es noch versuchen, aus diesen Beobachtungen rückwärts auf die Reibung der verschiedenen, hier benutzten Erdarten zu schliessen. Der Einfluss der Cohäsion wird sich freilich dabei auch noch zu erkennen geben, jedenfalls wird er aber durch Zufälligkeiten in höherem Maasse bedingt, als die Reibung, und wenn man in jeder Reihe von Beobachtungen diejenige aussucht, wo der Druck der Erde am grössten gefunden wurde, so kann man überzeugt sein, dass man auch diejenige gewählt hat, wobei die Cohäsion am unbedeutendsten einwirkte. Ich habe diese Beobachtungen demnach in der Art untersucht, als ob gar keine

Cohäsion statt fände, und durch Einführung der Werthe des beobachteten stärksten Erddruckes und des Gewichtes der Erde, die Grösse des Factors A bestimmt, woraus sich nach der obigen Tabelle der Reibungswinkel ψ oder die Neigung der steilsten Böschung gegen das Loth finden lässt. Die folgende Zusammenstellung enthält diese Resultate, und es ist dabei jedesmal die Nummer derjenigen Beobachtung bemerkt, welche den grössten Druck ergeben hatte und welche daher benutzt werden musste.

trockne Dammerde No. 12	$\psi = 62^\circ$
feuchte - - - - - 2	$= 41^\circ$
sehr nasse - - - - - 24	$= 73^\circ$
trockner Sand - - - - - 38	$= 69^\circ$
feuchter - - - - - 28	$= 65^\circ$
sehr nasser - - - - - 37	$= 58^\circ$
trockner Lehm - - - - - 29	$= 59^\circ$
feuchter - - - - - 32	$= 59^\circ$
sehr nasser - - - - - 34	$= 47^\circ$
Kies 47	$= 63^\circ$

Ferner sind die Beobachtungen zu erwähnen, welche Mayniel in den Jahren 1806 und 1807 angestellt hat. *) Der dabei benutzte Apparat stimmt sehr genau mit demjenigen überein, der später in Wien benutzt wurde und der bereits beschrieben ist: beide unterschieden sich nur insofern von einander, als hier der Kasten $1\frac{1}{2}$ Meter hoch, eben so breit und 3 Meter lang war. Die bewegliche Wand befand sich wieder an der schmalen Seite, und der beobachtete Druck erfolgte auf einer Fläche von $2\frac{1}{4}$ Quadratmeter oder $22\frac{3}{4}$ Preuss. Fuss. Die Verminderung der Belastung des Schlittens geschah dabei, wie bereits bemerkt worden, indem man aus einem darauf stehenden Reservoir Wasser ausfliessen liess. Gewöhnlich war eine solche Einrichtung getroffen, dass die Erdschüttung noch über den Kasten pyramidenförmig erhoben war, und nur in neun Beobachtungen hatte man die Erde in der Höhe der Wände abgeglichen. Ich werde diese letztere hier allein berücksichtigen: die Beobachtung No. 1 ist mit feuchtem Sande

*) *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres, par Mayniel. Paris 1808.*

angestellt, No. 2, 6, 9, 11 und 19 mit einer gut durchgearbeiteten und gesiebten vegetabilischen Erde, die gleichfalls etwas feucht war und lose eingeworfen wurde, endlich No. 13, 16 und 18 mit derselben Erde, wenn sie in dem Kasten lagenweise festgestampft war.

Eine unmittelbare Vergleichung der beobachteten Resultate mit der obigen Formel war nicht möglich, indem Mayniel den Reibungswinkel gar nicht gemessen hat, der nach seiner Ansicht die Reibung auch nicht allgemein bezeichnen soll. Ich begnüge mich daher auch hier in derselben Art, wie bei den Wiener Beobachtungen so eben geschehen ist, aus dem grössten gemessenen Drucke von jeder Erdart, und ihrem specifischen Gewichte den Werth von A und sonach den Reibungswinkel unter der Voraussetzung zu berechnen, dass keine Cohäsion stattfindet.

Es ergibt sich

für den feuchten gelben Sand (Beob. No. 1) . . . $\psi = 63^\circ$

- feuchte vegetabilische Erde, locker eingeworfen

(No. 11) $\psi = 62\frac{1}{2}^\circ$

- dieselbe Erde gestampft (No. 16) $\psi = 24^\circ$

- desgl., nachdem sie 18 Stunden vorher gestampft

war (No. 18) $\psi = 16^\circ$

Die von Mayniel aufgestellte Theorie über den Erddruck übergehe ich, da dieselbe ganz unpassend erscheint und bereits in deutschen, wie in französischen Werken widerlegt ist.

Die bisher angestellten Beobachtungen über den Seitendruck der Erde, welche ich im Vorstehenden, soweit sie mir bekannt geworden sind, möglichst vollständig mitgetheilt habe, bestätigen in allen Fällen, wo eine Vergleichung möglich war, weit mehr die von mir vorgeschlagene Berechnungsart, als die sonst übliche, und sie weichen von derselben in der That so wenig ab, dass die Uebereinstimmung der Schärfe der Beobachtung entspricht.

Für die Reibungswinkel dürften nach diesen Beobachtungen die folgenden Werthe zu wählen sein:

bei Dammerde oder Lehm im trocknen Zustande ist $\psi = 60^\circ$

- desgl. feucht $= 45^\circ$

- desgl. ganz mit Wasser durchzogen $= 73^\circ$

- desgl. festgestampft $= 24^\circ - 16^\circ$

bei feinem und trockenem Staubsande	$\psi = 63^\circ$
- reinem Sande, Grand und feinem Kiese	$= 64^\circ$
- desgl. in feuchtem Zustande	$= 58^\circ$
- unregelmässigen Kieselsteinen	$= 45^\circ$
- abgerundetem Kiesel, wie bei Schrot	$= 67^\circ$
- Getreide und andern Saamen, nach der Glätte der Körner	$= 60^\circ - 55^\circ$

Wenn die Erdmasse, welche den Druck ausübt, zwischen zwei Wänden liegt, deren Abstand so geringe ist, dass das Prisma des stärksten Druckes sich in seiner ganzen Ausdehnung nicht darstellen kann; so sollte man vermuthen, dass der Seitendruck gegen jede Wand geringer, als früher ausfallen müsste. Die Versuche, welche ich hierüber angestellt habe, gaben indessen keine entsprechende Verminderung des Druckes zu erkennen, und selbst in dem Falle geschah dieses nicht, wenn die Wände sehr nahe neben einander standen. Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung ist darin zu suchen, dass z. B. in Fig. 5 keineswegs nur das vierseitige Prisma $ABCD$ um eine Quantität, welche der Bewegung der Wand AB entspricht, herabsinkt, sondern es treten gleichzeitig noch andere Bewegungen ein, die sehr genau der Bewegung des vollständig ausgebildeten dreiseitigen Prisma's gleichkommen. Beim Herabgleiten von $ABCD$ bildet sich nämlich längs der hintern Wand zwischen D und C ein freier Raum, der sogleich Veranlassung giebt, dass wieder das dreiseitige Prisma FDC rückwärts gleitet. Letzteres macht also eine doppelte Bewegung, indem es einmal mit der darunter befindlichen Masse links abwärts gegen die Wand AB und demnächst wieder rechts abwärts gegen die Wand CD vorrückt. Beide Seitenbewegungen heben einander auf, aber senkrecht abwärts fällt es doppelt so tief, als das Prisma $ABCF$, daher drückt es auch vor dem Eintritte der Bewegung auf die Wand doppelt so stark, als wenn es ein Theil des Prisma's ABC in Fig. 1 wäre.

Rücken die Wände AB und DE noch näher zusammen, so kann es geschehen, dass einzelne Theile der dazwischen liegenden Erdmasse auch den dreifachen, vierfachen oder einen noch stärkeren Druck ausüben. Der Gesamtdruck vermindert sich hiernach nicht wesentlich, wenn auch die ganze Erdmasse viel kleiner wird. Bei eintretender Bewegung der Wand sinken die einzelnen Prismen

aber um so tiefer herab, und hierbei, sowie in allen ähnlichen Fällen, ist der Druck allein von der Senkung der Schwerpunkte abhängig.

Nichts desto weniger ergeben die Messungen bei einer solchen Zusammenstellung des Apparates doch eine geringe Verminderung des Druckes gegen die Wand zu erkennen *), und selbige erklärt sich dadurch, dass jedes folgende Prisma längs einer senkrechten Wand herabsinkt und daher an derselben eine gewisse Reibung eintritt, die einigermassen die Bewegung hemmt und sonach den Druck vermindert. Wenn ich in der Rechnung hierauf Rücksicht nahm, so stellten die Resultate der Messung sich ganz befriedigend dar.

Ich habe dieses Falles hier erwähnt, damit man nicht etwa annehmen möge, der Druck der Hinterfüllungserde vermindere sich wesentlich, wenn dieselbe zwischen zwei nahe neben einander liegenden Futtermauern, wie etwa zwischen den Flügelmauern einer Brücke eingeschlossen ist.

Schliesslich füge ich zur Erleichterung der Rechnung nach der vorgeschlagenen Methode noch eine Tabelle bei, aus welcher man für jeden gegebenen Reibungswinkel des Hinterfüllungsmaterials, der mit ψ bezeichnet ist und gegen die Richtung des Lothes gemessen wird, unmittelbar die Neigung der Bruchebene gegen das Loth oder φ und zugleich die Grösse A entnehmen kann. Dabei sind die oben hergeleiteten Ausdrücke

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \sqrt[3]{(\operatorname{Sec} \psi + \operatorname{tg} \psi)} - \sqrt[3]{(\operatorname{Sec} \psi - \operatorname{tg} \psi)} \\ \text{und } A &= \frac{\operatorname{Sin} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{Sin}(\psi - \varphi)}{\operatorname{Sin} \psi} \end{aligned}$$

zum Grunde gelegt, und man findet den gesuchten Seitendruck oder H nach der Formel

$$H = \frac{1}{2} h^2 b \gamma \cdot A$$

*) Die nähere Beschreibung dieser Versuche habe ich in Poggen-dorf's Annalen Band 28 mitgetheilt.

ψ	φ	A	ψ	φ	A
40°	27° 12,4	0,08097	65°	46° 18,8	0,26763
41	27 55,1	08559	66	47 10,0	27952
42	28 38,0	09039	67	48 1,9	29192
43	29 21,1	09537	68	48 54,6	30486
44	30 4,4	10054	69	49 48,1	31838
45°	30° 47,9	0,10589	70°	50° 42,5	0,33253
46	31 31,6	11145	71	51 38,0	34735
47	32 15,5	11721	72	52 34,7	36289
48	32 59,6	12319	73	53 32,6	37921
49	33 43,9	12938	74	54 31,8	39635
50°	34° 28,5	0,13580	75°	55° 32,4	0,41440
51	35 13,4	14247	76	56 34,7	43344
52	35 58,6	14938	77	57 38,8	45355
53	36 44,1	15655	78	58 44,8	47486
54	37 29,9	16398	79	59 52,9	49748
55°	38° 16,0	0,17171	80°	61° 3,7	0,52161
56	39 2,4	17972	81	62 17,8	54740
57	39 49,1	18804	82	63 35,8	57516
58	40 36,2	19669	83	64 58,8	60510
59	41 23,7	20567	84	66 28,0	63771
60°	42° 11,6	0,21500	85°	68° 5,2	0,67352
61	42 59,9	22472	86	69 53,9	71339
62	43 48,7	23480	87	71 57,5	75862
63	44 38,2	24529	88	74 28,1	81165
64	45 28,2	25622	89	77 51,7	87824
			90°	90° 0,0	1,00000

§. 50.

Festigkeit der Mauern.

Wenn eine Mauer in allen Theilen dieselbe Festigkeit besäße, so dass nicht nur die Bausteine, sondern auch der Mörtel, der sich mit diesen innig verbunden hat, einen ganz gleichen Widerstand jedem Bruche und jeder Trennung entgegensetzen, so würde eine solche Masse unter einem starken Drucke in ähnlicher Weise, wie eine Erdschüttung brechen; der Unterschied zwischen beiden Fällen würde vorzugsweise auf der stärkern Cohäsion der Mauer

beruhen. Es müsste sonach auch in der Mauer die Bruchfläche sich wieder in derjenigen Höhe und unter derjenigen Neigung gegen den Horizont bilden, wobei mit Rücksicht auf Reibung und Cohäsion der schräge abwärts gerichtete Druck des abgebrochenen Prisma's ein Maximum wird. Die Erfahrung bestätigt dieses auch soweit, als die Sicherheit der Beobachtungen hierüber ein Urtheil gestattet, und zwar ebensowohl bei den Versuchen, die im Kleinen über das Zerdrücken der Steine angestellt sind, wie auch bei dem Erscheinen von Rissen in grösseren Mauer-massen. In beiden Fällen bilden sich die schräge gegen den Druck gerichteten Bruchflächen, und übereinstimmend mit dem Verhalten der Erde und des Sandes schiebt sich das abgebrochne Steinprisma über die schräge Oberfläche des noch stehenden Theiles fort.

Das Mauerwerk besteht indessen, einige sehr seltene Fälle ausgenommen, nicht aus einem einzelnen Steine, sondern es ist fast immer aus einer grossen Menge von Bausteinen zusammengesetzt, die neben und übereinander gelegt und durch Mörtel verbunden sind. Die Festigkeit des Mörtels ist aber gewöhnlich viel geringer, als die der Steine, und noch weniger ist derselbe mit diesen innig verbunden. So geschieht es, dass bei zunehmendem Drucke die Bruchfläche, welche sich endlich bildet, nicht überall neu entstehen darf, sondern schon eine Menge von Fugen antrifft, die in ihrer Richtung liegen, und welche sonach ihre Darstellung sehr erleichtern. Eine Fuge, die normal gegen den Druck gerichtet ist, kommt aber der Bildung der Bruchfläche nur insofern zu Hülfe, als die Kanten der Steine wegen der unvermeidlichen Ungleichmässigkeit in der Unterstützung leichter abbrechen, daher sind diese Fugen am wenigsten schädlich. In weit höherem Grade sind es diejenigen, welche parallel zur Richtung des Druckes liegen. Den letzteren folgt wenigstens theilweise die Bruchfläche jedesmal, und wenn in der erwähnten Richtung Fuge auf Fuge trifft, so spaltet die Mauer. Solche Spalten sind für die Festigkeit der Mauer sehr nachtheilig, und zwar in dreifacher Beziehung: erstens wird die rückwirkende Festigkeit, wenn man auch nur eine sehr geringe Elasticität annimmt, in hohem Grade dadurch vermindert, dass sie der dritten Potenz von der Breite des Prisma's proportional ist. Spaltet

sonach eine Mauer in ihrer Mitte und zwar nach der Längsrichtung und vertical, so ist die rückwirkende Festigkeit von jeder Hälfte nur dem achten Theile der früheren gleich, oder sie ist im Ganzen auf den vierten Theil reducirt. Zweitens ist die Stabilität dem Quadrate der Breite proportional, dieselbe vermindert sich also im Ganzen auf die Hälfte. Endlich drittens giebt diese Längenspalte Veranlassung, dass die Bruchfläche sich mit Leichtigkeit durch die schwächsten Stellen, die zufällig auf der einen und der andern Seite liegen, hindurch ziehen kann, und sonach zu ihrer vollständigen Bildung nur eine geringe äussere Kraft erfordert. Der letzte Grund dürfte in den meisten Fällen wohl der wichtigste sein, und eine Spaltung der Mauer auch nur für geringe Höhen schon sehr nachtheilig erscheinen lassen. Es war bisher nur von den Fugen die Rede, die normal gegen den Druck, oder parallel zu demselben gerichtet sind, sie können indessen auch schräge angelegt werden, und sind alsdann besonders schädlich und zwar um so mehr, je näher sie mit der Neigung derjenigen Bruchfläche zusammenfallen, welche mit Rücksicht auf die Reibung dem Herabgleiten des abgebrochenen Theiles am günstigsten ist.

Bei dem Mauerwerke wird im Allgemeinen nur die rückwirkende Festigkeit, oder diejenige, welche dem Zerdrücken widersteht, in Anspruch genommen; die respective Festigkeit, welche das Abbrechen verhindert, kommt nur selten in Betracht, wie z. B. bei ungleichmässig belasteten Fundirungen *). In diesen Fällen muss man aber auf die Festigkeit gegen das Zerreißen, oder die absolute Festigkeit zurückgehen, welche an sich wohl selten beim Mauerwerke berücksichtigt werden darf. Das Abbrechen einzelner Mauer Massen, wie z. B. des Widerlagers eines Gewölbes, pflegt man gewöhnlich dadurch zu verhindern, dass man jedem Theile, der sich lösen könnte, schon durch seine eigene Masse oder durch besondere Belastung die nöthige Stabilität giebt, um dem Seitendrucke zu widerstehen. Für die einzelnen Bausteine muss man aber in der vollen Mauer Masse die respective Festigkeit nie in Anspruch nehmen, und dafür sorgen, dass jeder Stein möglichst gleichmässig unterstützt wird, und er

*) Vergleiche Theil I. Seite 788.

bei dem eintretenden Setzen der Mauer auch gleichmässig unterstützt bleibt. Die Gefahr eines Bruches wird in dieser Beziehung um so grösser, je länger und breiter die Steine im Verhältniss zu ihrer Höhe sind.

Aus den vorstehenden Bemerkungen lassen sich unmittelbar die Hauptregeln für die Ausführung des vollen Mauerwerks herleiten. Um die Arbeit in einer gewissen Ordnung vorzunehmen, und um zugleich die Fugen so anzuordnen, dass sie einen Bruch am wenigsten begünstigen; so wird die Mauer schichtenweise ausgeführt. Die Stärke der Schichten entspricht der Dicke der Bausteine, und jede einzelne Schicht wird regelmässig in einer Ebene abgeglichen, welche normal gegen den Druck gerichtet ist. Ist die Mauer keinem Seitendrucke ausgesetzt, was gewöhnlich der Fall ist, so findet nur ein Verticaldruck statt, und die Fugen zwischen den einzelnen Schichten, oder die Lagerfugen, bilden Horizontal-Ebenen. Wenn dagegen ein Horizontaldruck statt findet, so muss man aus diesem und dem fast nie fehlenden Verticaldrucke die Richtung des aus beiden zusammengesetzten Druckes ermitteln und die Lagerfugen so anordnen, dass sie vom letztern senkrecht getroffen werden. Abweichungen von einigen Graden kommen hierbei wohl nie in Betracht, in sofern die Bruchfläche immer unter einem viel grösseren Winkel die Normalebene schneidet. Bei Gewölben pflegt man ziemlich allgemein die angegebene Regel zu befolgen, und eine Ausnahme davon findet nur in sofern statt, als man die Richtung des zusammengesetzten Druckes nicht immer gehörig beurtheilt, oder man das Verhauen der Backsteine vermeiden will. Bei andern Mauer Massen, die einem starken Horizontaldruck ausgesetzt sind, wie bei Widerlagern der Gewölbe und bei Futtermauern, pflegt man gewöhnlich die Lagerfugen im Widerspruche mit der angeführten Regel noch horizontal anzuordnen: in England geschieht dieses in neuerer Zeit jedoch nicht mehr, wie bereits bei Gelegenheit der Fundirungen erwähnt worden*). Der Grund, weshalb man die horizontalen Schichten in diesen Fällen noch beibehält, ist aber darin zu suchen, dass man dadurch das Verhauen von gleich hohen Mauersteinen vermeidet und die Arbeit des Mauerns

*) Theil I. Seite 510 und Fig. 143 auf Taf. XIII.

überdies beim unmittelbaren Gebrauch der Setzwage etwas bequemer ist, als wenn die Lagerfugen nach einer Seite unter einem gewissen Winkel geneigt sein sollen, der überdies für die verschiedenen Lagerfugen sich nicht gleich bleibt. Dieses Verfahren rechtfertigt sich auch noch, so lange der zusammengesetzte Druck nicht bedeutend von der Richtung des Lothes abweicht: sobald der Unterschied zwischen beiden aber etwa 15 Grade oder mehr beträgt, und es überhaupt die Absicht ist, mit dem geringsten Materialbedarf oder mit den geringsten Kosten die erforderliche Solidität zu erreichen, so begründen die erwähnten Rücksichten nicht mehr eine solche Abweichung von der allgemeinen Regel. Endlich vermeidet man die schräge Richtung der Lagerfugen zuweilen auch aus dem Grunde, weil alsdann das Wasser sich mit grösserer Leichtigkeit hineinziehen und den Mörtel verderben könnte. Diese Rücksicht kommt indessen nur für das Regenwasser in Betracht, keineswegs aber für das Wasser, welches vor der Mauer steht, oder wie in den Schleusenkammern abwechselnd davor tritt. In diesen beiden Fällen wird es nämlich durch den hydrostatischen Druck eben so gut in die schräge, wie in die horizontale Fuge hineingedrängt.

In den einzelnen Schichten müssen die Bausteine recht genau schliessend an einander gesetzt werden, damit die tragende Fläche, die durch ihre rückwirkende Festigkeit dem Drucke widerstehen soll, möglichst gross wird; auf den Mörtel ist hierbei aber nicht Rücksicht zu nehmen, da derselbe wenigstens im Anfange eine weit geringere Festigkeit, als die Bausteine zu haben pflegt.

Die Steine müssen ferner nicht nur oben und unten parallele Flächen haben, oder lagerhaft sein, sondern soviel es geschehen kann, muss man auch darauf achten, dass ihre Seitenflächen, womit sie sich berühren, gegen die Lagerfugen senkrecht stehen; im entgegengesetzten Falle wäre es nicht zu vermeiden, dass die Bildung einer Bruchfläche durch vielfache schräge Fugen sehr erleichtert würde. Wenn man rohe Bausteine zum Bau benutzt, so lässt sich die letzte Regel nicht mehr in aller Schärfe beachten, und man ist daher gezwungen, durch grössere Stärke der Mauer, den Mangel zu ersetzen. Bei sorgfältiger Bearbeitung der Bausteine ist indessen diese Verstärkung nicht nöthig, und es kommt darauf an, durch Vergleichung der Kosten für das

Material mit Einschluss des Transportes, gegen das Arbeitslohn, denjenigen Grad der Schärfe der Bearbeitung der Steine zu ermitteln, wobei die Gesamtkosten ein Minimum werden. Es muss hierbei bemerkt werden, dass für Maurerarbeiten das Material gewöhnlich viel theurer als die Arbeit ist, und je unregelmässiger die Steine sind, um so stärker wird der Verbrauch an Mörtel, der wieder theurer ist, als die Steine. Hiernach dürfte im Allgemeinen eine grössere Sorgfalt in der Zurichtung der Bruchsteine wohl zu empfehlen sein, indem dadurch die Kosten mit Rücksicht auf gleiche Stärke des Werkes sich merklich vermindern; dabei wäre es aber nöthig, dass die Bearbeitung bereits im Steinbruche erfolgt, damit nur diejenigen Massen transportirt werden dürfen, welche wirklich verbraucht werden.

Diejenigen Fugen, welche mit dem Drucke parallel gerichtet sind, oder die Stossfugen, das heisst die Fugen zwischen den Steinen in den einzelnen Schichten, dürfen keineswegs willkürlich angeordnet werden, vielmehr müssen sie so liegen, dass sie sich nicht durch zwei oder mehrere auf einander folgende Schichten fortsetzen, wodurch das erwähnte Spalten der Mauer befördert wird; sie müssen daher, soviel es geschehen kann, immer auf die Mitte der darüber und darunter liegenden Steine treffen. Diese Abwechslung der Stossfugen nennt man den Verband. Zur gehörigen Darstellung desselben müssen die Bausteine nicht sämmtlich in derselben Richtung liegen, sondern ihre Längenrichtung oder ihre grösste Axe muss theils in die Richtung der Mauer, und theils normal dagegen treffen. Im ersten Falle nennt man sie Läufer oder Strecker, im letzten Binder. Haben die sämmtlichen Bausteine, die man in derselben Schicht verwendet, ungefähr gleiche Dimensionen, so lässt sich ein guter Verband am einfachsten dadurch erreichen, dass die einzelnen Schichten abwechselnd nur aus Läufern und nur aus Bindern bestehen. Bei sehr starken Mauern, und namentlich wenn sie aus Backsteinen ausgeführt werden, bringt man eine wesentliche Abwechslung in den Fugen auch noch dadurch hervor, dass man in einzelnen Mauerschichten die Steine weder als Läufer, noch als Binder, sondern in einer Richtung legt, die beide benannten unter einem Winkel von 45 Graden schneidet. Um Schichten dieser Art oder die sogenannten Schmiege-

schichten an die äussern Mauerflächen gehörig anzuschliessen, braucht man besonders geformte Steine, bei denen zwei Seiten unter einem Winkel von 45 Graden gegen einander geneigt sind; dieses sind die Spitz- oder Schmiege-Ziegel.

Damit die einzelne Bausteine nicht brechen, so müssen sie gleichmässig unterstützt und gleichmässig belastet sein. Der Mörtel muss sonach die ganze Lagerfuge gehörig füllen, und alle Ungleichheiten aufheben, so dass die ganze Oberfläche eines Steines gleichmässig trägt. Beim Versetzen der Werkstücke wird häufig hierauf nicht gehörig Rücksicht genommen, und man führt eine Ungleichmässigkeit in der Unterstützung derselben oft dadurch ein, dass man eine besondere Vorsicht auf den äussern Theil der Fuge verwendet. Der Erfolg ist alsdann der, dass der Stein in der Mitte und auch wohl im Innern der Mauer hohl liegt, und unter einem starken Drucke bricht, sobald seine respective Festigkeit diesem nicht mehr angemessen ist. Die respective Festigkeit hängt aber von dem Verhältnisse der Dicke des Steines zu seiner Breite oder Länge ab, daher ist eine geringe Ungleichmässigkeit in der Ausfüllung der Fuge weit weniger bei höheren Steinen, als bei dünnen Steinplatten nachtheilig.

Das Brechen eines Steines erfolgt besonders leicht, wenn derselbe zwei aus verschiedenartigem Materiale ausgeführte Mauern, die auch ein verschiedenes Setzen erfahren, mit einander verbinden soll. Hierher gehört besonders der Fall, wenn eine Mauer aus gebrannten Steinen oder aus Bruchsteinen durch Werkstücke auf einer Seite verkleidet wird; die geringe Anzahl und die geringe Höhe der in der Verkleidung vorkommenden Lagerfugen veranlasst ein weit unbedeutenderes Setzen als in der Hintermauerung, und es brechen gewöhnlich die Binder, welche in letztere eingreifen, so dass beide Theile der Mauer sich vollständig von einander trennen. Bei Gelegenheit der Ausführung des Mauerwerks wird die Rede davon sein, wie man diesem Uebelstande zu begegnen versucht hat; hier wäre nur zu bemerken, dass, so weit es möglich ist, die Fugen in der Hintermauerung nicht gar zu verschieden von denen in der Verkleidung ausfallen dürfen. Dabei kommt indessen auch das Schwinden des Mörtels sehr in Betracht, und die Besorgniss wird um so geringer, je stärker der Mörtel hydraulisch ist, und je weniger

er daher beim Erhärten eine Verminderung des Volums erfährt. Welche Nachtheile durch eine solche Spaltung der Mauer veranlasst werden, ist schon angeführt worden; man bemerkt sie aber häufig bei älteren Mauern, die mit Werkstücken von aussen verkleidet sind, und es zeigt sich dabei gewöhnlich ein starkes Ausbauchen der Mauer in verticaler Richtung. Dieses rührt davon her, dass die Verkleidung oben an der Hintermauerung befestigt ist, und indem letztere wegen des Schwindens des Mörtels in den Fugen an Höhe verliert, so kann jene, bei der eine ähnliche Verkürzung nicht möglich ist, nur folgen, indem sie sich biegt, und ihre äussere Oberfläche sich in eine gekrümmte Fläche verwandelt.

In der obern Schicht der Mauer lässt eine ungleichförmige Belastung sich gewöhnlich nicht vermeiden, und um hier den Bruch der am meisten und vielleicht nur vorübergehend belasteten Steine zu verhindern, deckt man die Mauer mit besonders festen Steinplatten, oder den sogenannten Deckplatten ab. Wenn man aber in dieser Schicht dasselbe kleine Material, wie im Innern der Mauer verwendet, so pflegt man dieses hier auf die hohe Kante zu stellen, oder eine Rollschicht daraus zu bilden; wenigstens mauert man eine solche längs dem äussern Rande, indem hier die Gefahr eines Abbrechens wegen der fehlenden Haltung von einer Seite immer am grössten ist.

Die Werkstücke und grössere Bruchsteine pflegt man in derselben Lage gegen den Horizont zu verwenden, die sie im Steinbruche hatten, und man schreibt ihnen alsdann eine grössere Haltbarkeit zu, als wenn sie anders geneigt werden. Es kommt indessen hierbei die horizontale Richtung nicht in Betracht, und die Bedingung ist vielmehr diese, dass die Schichtung des einzelnen Steines eben so wie die der ganzen Mauer normal gegen den Druck gerichtet sein muss. Der Grund dafür stimmt auch mit dem bereits erwähnten genau überein, denn in der Schichtung des Gesteins kommen gleichfalls minder feste Stellen vor, die dem Mörtel entsprechen, und welche bei einer schrägen Richtung oder wenn sie parallel zum Drucke gestellt werden, leicht die Bildung der Bruchfläche oder der Spaltungsebene befördern, wogegen sie als Lagerfugen keine so nachtheilige Wirkung äussern.

Die Stärke, welche man einer Mauer geben muss, hängt grossentheils von der rückwirkenden Festigkeit des Materials ab, zum Theil aber, und besonders bei Futtermauern, auch von dem Seitendrucke, dem die Mauer ausgesetzt wird, und dem sie vermöge ihrer Stabilität das Gleichgewicht halten muss. Der letzte Umstand soll später untersucht werden, gewöhnlich beugt man demselben aber schon dadurch vor, dass man verschiedene Mauern mit einander verbindet, und auf solche Art nicht nur das Umwerfen einer einzelnen verhindert, sondern gleichzeitig auch das Biegen unter besonders starker Belastung unmöglich macht. Hier darf sonach nur von der rückwirkenden Festigkeit des Mauermaterials die Rede sein, wodurch dem Zerdrücken desselben entgegengewirkt wird.

Die rückwirkende Festigkeit der verschiedenen Mauermaterialien ist wiederholentlich beobachtet worden, und zwar vorzugsweise durch Rondelet, Rennie und Vicat. Die Resultate dieser Beobachtungen sollen hier nur in runden Zahlen mitgetheilt werden. Eine grosse Schärfe ist durch die Messungen dieser Art nicht zu erreichen und sie wäre auch ganz überflüssig, indem das gefundene Resultat immer nur gerade für das bei den Beobachtungen benutzte Stück, aber keineswegs allgemein für die ganze Steingattung gilt, wobei sich jederzeit sehr grosse Verschiedenheiten zeigen. Bei den Beobachtungen über die Festigkeit der Materialien kommt es aber nicht sowohl darauf an, den mittleren Werth derselben anzugeben, als vielmehr denjenigen geringsten Werth, der, so lange man keine schadhafte Stellen im Aeussern bemerkt, noch mit hinreichender Sicherheit vorausgesetzt werden darf. Man muss sonach zu den Versuchen keineswegs besonders gute Stücke aussuchen, auch eine künstliche Form oder Zubereitung der Steine vermeiden, denn eine solche lässt sich vielleicht von den Stücken aus den weicheren und schlechteren Schichten in demselben Bruche, obgleich diese zu Bausteinen noch ganz brauchbar sind, gar nicht geben. Man würde in diesem Falle den Beobachtungen nur die festesten Steine zum Grunde legen und dadurch Resultate erhalten, die keine allgemeine Gültigkeit haben, und die selbst für die Steine des untersuchten Bruches zu günstig ausfallen.

Rondelet stellte die Beobachtungen mit Würfeln von 5 Centimeter (23 Linien) Seite an, Rennie dagegen wählte Würfel, die nur $1\frac{1}{2}$ Zoll Englisch ($17\frac{1}{2}$ Linie Preussisch) in der Seite massen, und Vicat benutzte Würfel und andere regelmässige Körper von verschiedenen Dimensionen. Weichere Steine, die dem Drucke unterworfen werden, spalten nach Rondelet's Beobachtung zunächst in sechs Pyramiden, von denen jede einzelne eine Seite des Würfels zur Basis hat und deren Spitzen sämmtlich in den Mittelpunkt des Würfels fallen. Vicat fand dagegen, dass wohl die Ecken zuerst abbrechen, dass gemeinhin aber der ganze Körper in Staub zerfiel; wenn aber einzelne zusammenhängende Stücke übrig blieben, so hatten diese mindestens den vierten Theil ihrer Festigkeit verloren*). Es ergab sich aber aus allen Beobachtungen, dass der Bruch nicht momentan eintrat, und vielmehr eine gewisse Zeit zu seiner Bildung erforderlich war. Nach Vicat's Beobachtungen vergingen oft Monate, bis die Proben unter dem unveränderten Druck brachen, und dieses stimmt auch mit den Erfahrungen im Grossen überein; im Pantheon zu Paris bildeten sich die bedenklichen Risse erst in einem Zeitraum von 17 Jahren aus. Dieser Umstand macht die Resultate oder Versuche in hohem Grade unsicher, denn der Druck, welchem der Stein während einer kurzen Dauer noch widersteht, fängt vielleicht schon an, die innere Verbindung zu lösen und würde, wenn er länger dauerte, schon die Zerquetschung des Steines bewirken. Im Allgemeinen ist die Festigkeit bei gleichartigen Steinen dem Querschnitte proportional, doch ist sie nach Vicat um so grösser, je niedriger der Stein ist. Rondelet nimmt dagegen an, dass die Festigkeit sich als ein Maximum herausstellt, wenn die Höhe des Prismas der Seite seiner Basis gleich ist. Endlich bemerkt Rondelet auch noch, und hiermit stimmt Vicat gleichfalls überein, dass die Form des Querschnittes oder der Basis nicht gleichgültig ist, und zwar ist die Festigkeit des Körpers um so grösser, je geringer der Umfang seines Querschnittes ist. Aus diesem

*) Vicat, *recherches expérimentales sur les phénomènes physiques qui précèdent et accompagnent la rupture ou l'affaissement d'une certaine classe de solides. Annales des ponts et chaussées* 1833. II. p. 201.

Grunde zeigt ein Cylinder eine etwas grössere Festigkeit, als ein gleich grosses und gleich hohes Parallelepipedium.

Die Resultate der erwähnten Beobachtungen sind in der nachstehenden Tabelle enthalten, worin die Zahlen die Anzahl von Pfunden bezeichnen, die zum Zerdrücken eines Steines von 1 Quadratzoll Querschnitt erforderlich sind.

Basalt	30000
Granit	6000 bis 10000
Sandstein	13000
Marmor	4000 bis 9000
weiche Kalksteine	1000 bis 2000
gute Ziegel	1000 bis 1700
ordinaire Ziegel	500
guter Mörtel	600
ordinaier Mörtel	400

Man darf bei der Anordnung von Bauwerken auch nicht entfernt eine Belastung eintreten lassen, welche der vorstehend angegebenen Festigkeit entspräche; die Gefahr eines Bruches tritt schon ein, sobald der Druck etwa dem zehnten Theile desjenigen Druckes gleich kommt, den die Versuche bezeichnen, und als Maximum der Belastung, wobei schon ein vorzüglich gutes Material und besonders sorgfältige Bearbeitung vorausgesetzt wird, darf man wohl nur den Druck von 300 Pfunden auf den Quadratzoll oder von 40 bis 50 Tausend Pfunden auf den Quadratfuss ansehen*). Rondelet theilt eine Tabelle über den Druck von denjenigen Pfeilern und Säulen mit, die man als die kühnsten zu betrachten pflegt; ich lasse sie hier folgen, nachdem die Angabe in Preussisches Maass und Gewicht verwandelt ist. Der Quadratzoll Querschnitt erleidet nämlich eine Pressung, gleich der bestehenden Anzahl von Pfunden, in den

Pfeilern im Dom des Invalidenhauses zu Paris	216
Pfeilern des Domes St. Peter zu Rom	239
Pfeilern des Domes St. Paul zu London	283
Säulen in der Kirche St. Paul bei Rom	289
Pfeilern des Thurms der Kirche zu St. Mery	430

*) Navier, *résumé des leçons etc.* Paris 1826 I. Partie. pag. 1 bis 82.

Pfeilern des Domes vom Pantheon zu Paris . 431

Säulen der Kirche aller Heiligen zu Angers . 648

Bei der Brücke zu Neuilly, die schon sehr kühn angeordnet ist, tragen die Pfeiler in den untern Schichten nichts mehr, als 25 Pfund auf den Quadratzoll.

Sehr wichtig ist endlich noch die Rücksicht, dass die Festigkeit, welche dem Material ursprünglich eigen war, mit der Zeit verschwindet und dadurch der Ruin des Gebäudes herbeigeführt wird. Eine Veränderung in dieser Beziehung wird, sobald keine zufälligen Beschädigungen vorkommen, durch klimatische Einflüsse herbeigeführt und namentlich ist es die Nässe und der Frost, welche besonders in ihrer Verbindung so nachtheilig wirken. Die Nässe kann sich entweder durch die Fugen, und besonders wenn dieselben nach aussen ansteigen, in das Innere des Mauerwerks hineinziehen, oder sie dringt auch geradezu in die Steine. Das Erste ist minder schädlich, indem jeder Bau so angeordnet werden sollte, dass eine starke Cohäsion des Mörtels nicht nothwendig ist, und Letzterer nur dazu dienen darf, eine gleichmässige Unterstützung der Bausteine zu veranlassen. Man kann indessen in den meisten Fällen die Fugen von aussen mit wasserdichtem Cemente schliessen, und hierdurch der erwähnten nachtheiligen Einwirkung vorbeugen, wobei es freilich nöthig ist, dass man von Zeit zu Zeit die Fugen untersucht und sie stellenweise aufs Neue dichtet.

Viel bedenklicher ist es, wenn die Bausteine selbst sich in ihrer Oberfläche verändern, indem sie verwittern oder ausfrieren: bei gewöhnlichen Gebäuden, die keinem starken Andrang des Wassers ausgesetzt sind, kann man wohl durch Verputzen oder durch Oelanstrich die eigentliche Mauer, und wenn sie auch aus wenig haltbarem Materiale bestehen sollte, vollständig sichern. Für grössere Bauwerke sind jedoch diese Mittel nicht ausreichend, und man muss alsdann dafür sorgen, dass die Bausteine weder verwittern, noch vom Froste leiden. Das Verwittern ist die Folge der chemischen Einwirkung des Wassers auf das Gestein oder auf einzelne Theile desselben: die Frostbeständigkeit hängt dagegen von der Textur des Steines ab, und lässt sich sonach durch die chemische Untersuchung nicht erkennen. Die einfache Probe, ob der Stein einen Winter hindurch Nässe und

Frost aushält, ohne zu zerfallen und ohne abzublättern, giebt noch keinen sichern Beweis für seine Frostbeständigkeit, obwohl gemeinhin die Gefahr des Ausfrierens am grössten ist, so lange die Bergfeuchtigkeit sich noch im Steine befindet. Dieses Ausfrieren, welches sowohl bei natürlichen, wie bei künstlichen Steinen sich zeigt, besteht darin, dass an der Oberfläche die Körnchen ihren Zusammenhang verlieren und in der Form von dünnen Schichten oder Blättchen sich lösen und herabfallen, worauf beim nächsten Froste wieder derjenige Theil leidet, der nunmehr an der Oberfläche liegt. Oft sind es auch einzelne Schichten unter der Oberfläche, welche ihren Zusammenhang verlieren, und der obere Theil des Steines, der dadurch getrennt wird, zeigt zuweilen noch seine frühere Härte. Besonders auffallend ist die Erscheinung, welche Vicat anführt, dass nämlich bei der Brücke zu Souillac diese Risse sich ganz regelmässig durch die Stossfugen hindurch fortsetzen, als ob die neben einander liegenden Werkstücke nur einen einzelnen Stein ausmachten. Die Ursache des Ausfrierens kann man jedenfalls nur darin suchen, dass der Stein entweder überall oder vielleicht auch nur in einzelnen besonders porösen Schichten Wasser einsaugt, und beim Gefrieren desselben sich trennt; es lässt sich hiernach auch erklären, dass einzelne Schichten einen so starken Seitendruck ausüben, dass sie die Mörtelfuge und den dahinter liegenden Stein spalten. Nichts desto weniger ist die Erscheinung in allen ihren Eigenthümlichkeiten noch nicht aufgeklärt, und wenigstens muss man wohl annehmen, dass der am meisten der Zerstörung ausgesetzte Stein eine besondere Verwandtschaft zum Wasser hat, denn die Porosität allein, oder das Wasserquantum, welches der Stein beim Benetzen aufnimmt, giebt noch keinen Maassstab für seine Frostbeständigkeit. So saugt z. B. der Sandstein, woraus der Strassburger Münster erbaut ist, zwanzig Procent Wasser ein, und nichts desto weniger leidet er beim Froste gar nicht; eben so zeigen sich auch manche Schieferarten, die sehr locker sind und grosse Quantitäten Wasser verschlucken, als sehr frostbeständig, und dasselbe gilt auch vom Trass, woraus eine Menge Kirchen im nordwestlichen Deutschlande erbaut sind.

Wenn man sonach ein Material benutzen muss, dass man in dieser Beziehung noch nicht durch langjährige Erfahrung kennen

gelernt hat, so setzt man den Bau einer nicht geringen Gefahr aus, und besonders lässt sich diese bei gebrannten Steinen nie ganz vermeiden, indem dieselben immer einige Verschiedenheit zeigen. Sehr wichtig wäre daher eine Probe, welche die mehrjährige Erfahrung entbehrlich machte. Der französische Mineraloge Brard, der die sehr starke Ausdehnung des Glaubersalzes beim Krystallisiren wahrnahm, glaubte hierin ein Mittel entdeckt zu haben, wodurch die Wirkungen des gefrierenden Wassers sich nachahmen liessen, und er benutzte es zur Prüfung der Frostbeständigkeit der Steine. Leider missglückte die erste Anwendung, die Brard selbst in einem sehr wichtigen Falle von seiner Methode machte. Es sollte nämlich die Brücke zu Souillac gebaut werden, und es kam darauf an zu entscheiden, ob der in der Nähe brechende Stein, der im Uebrigen sehr brauchbar war, frostbeständig sei oder nicht. Brard unterzog sich der Untersuchung und kam zum Resultate, dass der Stein vom Froste nicht leiden würde. Dieses war während zehn Wintern auch wirklich der Fall, als aber im Februar 1830 eine Kälte von 22 Graden eintrat, so froh der Stein aus*).

Ganz sicher möchte sonach die Probe wohl nicht sein, aber nichts desto weniger scheint sie doch einen Vergleich zwischen verschiedenen Steinen mit einiger Wahrscheinlichkeit zu gestatten. Héricard de Thury giebt folgendes Verfahren an: man soll die zu vergleichenden Steine in Würfel von 5 Centimeter (23 Preuss. Linien) Seite zersägen lassen; beim Zuhauen würde die Oberfläche leicht leiden. Man kocht sie eine halbe Stunde lang in einer Auflösung von Glaubersalz, die vor dem Kochen sich in gesättigtem Zustande befand. Sodann hängt man die Würfel über dieser Auflösung auf, und wie die Krystalle sich daran zu bilden anfangen, so taucht man sie während fünf bis sechs Tagen abwechselnd immer von Neuem ein, indem eine Temperatur von 12 bis 15 Graden im Zimmer stattfinden muss. Hierbei lösen sich nun eine Menge Theilchen von den Würfeln, und aus der Vergleichung des Angriffes, den jeder derselben erfahren hat, kann man auf die mindere und grössere Frostbeständigkeit schliessen**).

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. I. p. 376. ff.

**) *Sganzin programme. Tome I. Paris 1839. pag. 12.*

Vicat fand dagegen, dass man schon zu brauchbaren Resultaten gelangt, wenn man 1 Theil Kochsalz in 2 Theilen Wasser auflöst, und die Würfel, ohne sie zu kochen, hierin nur kalt eintaucht. Ich habe dieses Verfahren an einigen Sorten von Mauersteinen versucht, und es zeigte sich in der That, dass diejenigen Steine, deren Frostbeständigkeit schon anderweit bekannt war, eine festere Oberfläche behielten, als die minder dauerhaften, von denen einzelne Brocken bald abfielen. Es lösten sich von den letztern auch hin und wieder dünne Blättchen ab, wie dieses beim Ausfrieren der Steine zu geschehen pflegt; überhaupt hatte die Erscheinung in beiden Fällen eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit, nur wäre zu wünschen, dass man durch Vervollkommnung der Methode dahin gelangen möchte, bei der Probe eben so starke und auffallende Veränderungen zu bewirken, wie solche während eines starken Frostes sich zu zeigen pflegen.

§. 51.

Stabilität der Futtermauern.

Der Druck, welchen die Hinterfüllungserde gegen die Futtermauer ausübt, ist in der obigen Auseinandersetzung für diejenige Richtung ermittelt worden, in welcher er senkrecht gegen die innere Oberfläche der Mauer wirkt. Man erreicht dadurch den Vortheil, dass man bei Betrachtung der ersten, hier eintretenden Bewegung die Reibung zwischen der Erde und der Mauer gar nicht berücksichtigen darf. Der erwähnte Druck ist aber auch ganz unabhängig von dem Umstande, ob die Mauer bei der ersten Bewegung parallel zu ihrer früheren Lage fortgeschoben, oder um die äussere Kante ihrer Basis gedreht wird; im weitern Verfolge dieser Bewegungen können sich freilich sehr verschiedenartige Verhältnisse herausstellen, die den Seitendruck der Erde wesentlich verändern. Hier ist jedoch nur davon die Rede, dass der Anfang der Bewegung verhindert werden soll, und sonach kommen die späteren Modificationen gar nicht in Betracht. Das Fortschieben der Mauer über dem Fundamente oder dem Roste oder vielleicht über dem gewachsenen festen Boden kommt in der Wirklichkeit wohl nie vor; es verbietet sich auch durch die starke Reibung, welche zwischen Stein und Stein, oder zwischen Stein

und fester Erde statt findet. Nur in dem Falle würde man das Eintreten einer solchen Bewegung besorgen müssen, wenn der Mörtel in den Lagerfugen noch nicht erhärtet ist, und er sonach vielleicht wie eine Schmiere wirken könnte. Ausserdem aber kann die Lagerfuge unter gewissen Umständen auch mit der Richtung desjenigen Druckes ungefähr übereinstimmen, der sich aus dem Seitendrucke der Erde und dem Gewichte der Mauer zusammensetzt, und alsdann würde die Gefahr sehr nahe liegen, dass die Bruchfläche sich in der Lagerfuge bilden kann. Gewöhnlich ist das Gewicht der Mauer überwiegend, und der zusammengesetzte Druck bleibt daher von der horizontalen Richtung noch weit entfernt, doch ist es jedenfalls sicherer, wenn man, wie bereits erwähnt worden, die Lagerfugen rückwärts und zwar normal gegen diesen Druck neigt. Besonders muss man sich aber hüten, eine Futtermauer auf ein nach vorn geneigtes Gestein zu stellen, denn die Quellen, welche zwischen dem gewachsenen Boden und dem Mauerwerke sich gemeinhin hindurch ziehen, vermindern die Reibung, und sonach vereinigen sich in diesem Falle beide Ursachen, um die Mauer fortzuschieben.

Weit grösser ist die Gefahr, dass die Mauer sich um die äussere Kante ihrer Basis drehen möchte; dieses ist auch der Fall, der in der Wirklichkeit ausschliesslich vorzukommen pflegt, wenn Futtermauern nicht stabil genug ausgeführt sind. Wenn man den Reibungswinkel der Hinterfüllungserde kennt, so ist es leicht, die Stabilität der Mauer mit dem Drucke der Erde zu vergleichen. Man darf dabei aber die Drehungsaxe nicht unmittelbar in dem äussern Rande der Mauer annehmen, vielmehr liegt sie immer etwas rückwärts; dieses geschieht schon in dem Falle, wenn die Mauer auf einer durchaus festen Fundirung aufsteht, denn indem die erwähnte Bewegung eintritt, so ruht das ganze Gewicht der Mauer auf der äussern Kante, und diese wird, je nachdem das Material eine grössere oder mindere Festigkeit hat, auch mehr oder weniger zerdrückt, und sonach liegt die wirkliche Drehungsaxe schon etwas weiter rückwärts. Noch übler ist es aber, wenn man die Mauer unmittelbar oder mittelst eines liegenden Rostes auf aufgeschwemmtem Boden fundirt. Alsdann drückt die Mauer keineswegs gleichmässig die darunter befindliche Erde, sondern der Druck trifft am stärksten die äussere Kante, und

indem hier die Erde ausweicht oder comprimirt wird, so entfernt sich die Axe, um welche die Mauer sich dreht, leicht um einen halben, auch wohl einen ganzen Fuss von dem äussern Rande und in gleichem Maasse vermindert sich natürlich der Abstand, in welchem das Gewicht der Mauer wirkt. Diesen Uebelstand vermeidet man, oder man macht ihn doch weniger nachtheilig, wenn man den Fuss der Mauer auswärts mit einem starken Banquet versieht, oder den liegenden Rost vortreten lässt. Ausserdem muss man durch sorgfältige Befestigung des Grundes besonders unter dem äussern Rande der Mauer ein Senken möglichst zu verhindern suchen. Endlich gehört hierher aber auch noch die Vorsicht, dass das festeste Material, welches man irgend benutzen kann, in den äussern Lagen der untern Schichten verwendet wird, und ein starkes Schwinden des Mörtels hier gleichfalls nicht stattfinden darf.

Die Bestimmung des Reibungswinkels für die Hinterfüllungserde ist in so fern besonders schwierig, als der verschiedene Feuchtigkeitszustand einen wesentlichen Einfluss hierauf ausübt, und man muss, um ganz sicher zu sein, den ungünstigsten Fall voraussetzen, der nach der Localität überhaupt eintreten kann. Dieser ungünstigste Fall ist häufig der, dass die Erde vollständig mit Wasser durchzogen ist, und vielleicht sogar der hydrostatische Druck in Wirksamkeit tritt, d. h. dass der Reibungswinkel gleich 90 Graden wird. Wenn dieses stattfinden kann, so muss die Mauer ganz ungewöhnliche Dimensionen erhalten: es geschieht aber vorzugsweise da, wo die Futtermauer eine Kaimauer bildet, und das Hochwasser des Flusses über sie herüber tritt, und sich in die Hinterfüllungserde hineinzieht. So lange das Hochwasser anhält, so existirt für die Mauer keine Gefahr, indem der Druck auf beiden Seiten gleich gross ist, sobald aber das Wasser im Strome fällt, und namentlich wenn es recht schnell fällt, so pflegt die Mauer, die für diesen Druck zu schwach profilirt war, gleich einzustürzen. So fiel die Kaimauer in Nymwegen im Frühjahr 1823 grade in der Zeit ein, als die Whaal sich schnell senkte und in ihr gewöhnliches Bette zurück trat und in ähnlicher Art hat sich dieselbe Erscheinung auch sonst wiederholt. Man kann in solchem Falle für die schleunige Austrocknung der Hinterfüllungserde wohl sorgen, wenn dieselbe aus grobem Kiese besteht,

und das zweckmässigste Mittel möchte es alsdann sein, eine Abzugsröhre durch die Mauer selbst hindurchzuführen; indessen gerade beim Kiesboden findet eine solche Besorgniss am wenigsten statt, indem selbiger auch unter der Mauer, und vielleicht sogar unter dem liegenden oder dem Pfahlroste mit hinreichenden Oeffnungen versehen ist, um das Wasser abzuführen. Bei schlammigem Boden dagegen, auf den sich eben alle Beispiele dieser Art beziehen, ist die Darstellung von freien Oeffnungen in so fern bedenklich, als man wohl besorgen muss, grosse Massen der aufgeweichten Erde dadurch gleichzeitig heraus zu spülen, jedenfalls wäre es also nothwendig, die Rinnen mit Steinen auszufüllen, um eine Art von Sickergräben darzustellen.

Die Abzüge dürfen nicht fehlen, wenn die Quellen von der innern Seite an die Mauer treten, und vor ihr kein Wasser steht. Man erreicht durch solche Oeffnungen gleichzeitig noch den Vortheil, dass sie das schnelle Austrocknen der Mauer sehr befördern. Ein Beispiel hiervon giebt die Einfassung des bereits früher erwähnten *) Durchstiches bei Blisworth auf der London-Birminghamer Eisenbahn. Der Klauboden, der sich unter der jüngeren Kalkformation befindet, ist in der obern Schicht stark mit Wasser durchzogen; um dieses Wasser aber nicht in die tieferen Lagen treten zu lassen, wodurch der Druck gegen die Futtermauern zu sehr vermehrt werden würde, sind seitwärts die Sickergräben in einem Thonschlage und mit Steinfüllung angeordnet, wie dieses auf Tafel XXII. Fig. 10 *a* und *b* dargestellt ist**).

Das Wasser übt zuweilen noch in anderer Beziehung einen sehr nachtheiligen Einfluss gegen die Futtermauern aus, der darin besteht, dass es sich mit Leichtigkeit zwischen die Mauer und die Hinterfüllungserde hineinzieht und hier entweder die nächste Thonlage stark durchnässt, und sonach Veranlassung giebt, dass dieselbe quillt oder aber es gefriert hier selbst, und vergrössert alsdann sein Volumen. In beiden Fällen wird die Mauer etwas herüber gedrängt, sobald aber nach einiger Zeit wieder die Verminderung des Volumens eintritt, so nimmt die senkrechte Futter-

*) Theil I. Seite 435.

***) *Public works of Great Britain I. p. 39* und *Brees, railway practice I. p. 58.*

mauer nicht wieder ihre frühere Lage ein, und es füllt sich der leere Zwischenraum dadurch an, dass die Erde von oben nachsinkt. Es stellen sich sonach die früheren Verhältnisse von selbst wieder her, und bei der nächsten Veranlassung rückt die Mauer von Neuem vor. In solcher Art werden die Futtermauern nicht selten schadhaft. Es ist mir ein Fall vorgekommen, dass eine Mauer, die ursprünglich eine bedeutende äussere Böschung hatte, in jedem Frühjahr um einige Zolle in dem obern Theile herausgedrängt wurde, worauf alsdann die dahinter liegende Strasse sich senkte; nach acht Jahren hing die Mauer schon so weit über, dass ihre theilweise Abtragung und Erneuerung nothwendig geworden war. Wahrscheinlich kamen hier noch andere Umstände hinzu, die den Ruin der Mauer beförderten, jedenfalls darf man aber die erwähnte Wirkung des Wassers nicht unbeachtet lassen, und man muss durch Vergrösserung der Masse der Mauer und namentlich durch eine ansehnliche Verstärkung in ihrem obern Theile ihr die nöthige Festigkeit geben und zugleich verhindern, dass der Frost nicht zu leicht hindurch dringt. Hierdurch begründet sich die Regel, dass Futtermauern niemals bis zu einer sehr geringen Breite oben geschwächt werden dürfen, was mit Rücksicht auf den Erddruck allerdings zulässig erscheint. Ihre geringste Stärke in der Oberfläche muss wohl etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss betragen, unter ungünstigen Umständen oder wenn ein Material benutzt wird, das nicht besonders lagerhaft ist, muss sie aber über 3 Fuss messen.

Bei der Berechnung des Erddruckes wird vorausgesetzt, dass in der Bruchebene diejenige Reibung eintritt, welche der Erdart entspricht; zuweilen vermindern indessen die Quellen diese Reibung, und alsdann wird der Druck sehr viel stärker. Dieses ist namentlich der Fall, wenn die Hinterfüllungserde auf einen steilen Bergabhang unmittelbar aufgeschüttet wird, und eine augenscheinliche Gefahr würde man einführen, wenn man auf ein geschichtetes Gebirge, dessen Schichten gegen die Mauern abfallen, die Erde aufbringen wollte. Die Bruchebene würde unter solchen Umständen schon bei der Anlage vollständig dargestellt und indem das Wasser, welches über dem Gestein hinfließt, die zunächst darauf liegende Erde erweicht, die sich dadurch förmlich in eine Schmiere verwandelt, so verschwände die Reibung beinahe ganz

und die keilförmige Masse müsste allein von der Mauer getragen werden. Bei Anlagen dieser Art ist es daher nöthig, den Abhang zuerst treppenförmig einzuschneiden, und dabei muss man sich noch überzeugen, dass die einzelnen Schichten des Gebirges gehörig gestützt sind, und nicht etwa herabgleiten können.

Man kann die Stabilität einer Futtermauer wesentlich vermehren, sobald man ihre äussere Fläche nicht senkrecht auführt, sondern dieselbe etwas gegen das Loth neigt, oder sie mit einer äussern Böschung versieht. Es ist bereits erwähnt worden, dass man anderweitig und namentlich in England dieses gewöhnlich thut: so zeigt Fig. 144 auf Taf. XIII. das Profil der Kaimauer in der Verbindungsdocke zu Hull, Fig. 154 auf Taf. XIV. die Kaimauer der Humberdocke ebendasselbst und Fig. 155 die Umschliessungsmauer der Georgesdocke zu Liverpool. In diesen Fällen ist die horizontale Projection oder die Basis der dossirten Fläche durchschnittlich dem sechsten bis fünften Theile der Höhe gleich, man wählt aber in neuerer Zeit zu diesen schrägen Flächen nicht Ebenen, sondern vielmehr cylindrische Flächen, welche oben in Verticalebenen übergehen. Auf solche Art liegt der stark dossirte Theil der Mauer so tief, dass er entweder immer unter Wasser bleibt, oder doch bei jeder Fluth vom Wasser bedeckt wird, und es kann sonach die Neigung der Lagerfugen nicht so leicht Veranlassung zur Beschädigung der Mauer geben. Nichts desto weniger wählt man dieselbe Profilirung zuweilen auch da, wo kein Wasserstand vor der Mauer stattfindet, und es muss alsdann durch sorgfältige Unterhaltung der Fugen dem Eindringen des Regenwassers vorgebeugt werden. Allgemein geschieht es aber in England, dass die Mauer in ihrem untern Theile nicht viel stärker als oben ist, und sie sonach im Ganzen sich bedeutend zurücklehnt; sie verwandelt sich also in eine schräge Futtermauer, wie man solche immer zu wählen pflegt, sobald man Mauern ohne Mörtel oder trockne Mauern ausführt. Der Widerstand gegen den Erddruck wird bei gleicher Mauermaße in diesem Falle sehr viel grösser, dagegen liegt die Mauer auf der Hinterfüllungserde auf, und sie ist daher nicht ganz sicher unterstützt, wodurch leicht die Gefahr eines Bruches herbeigeführt wird. Bei den erwähnten Futtermauern wird dieses Aufliegen auf der Hinterfüllungserde dadurch vermieden, dass in geringen

Abständen Strebepfeiler an der hintern Fläche der Mauer angebracht sind, welche senkrecht herauf gehen, und sonach unten eine viel grössere Länge, wie oben haben. Diese tragen an sich die Mauer, und wenn man auch sehr sorgfältig die Hinterfüllung anzustampfen pflegt, so hängt die Stabilität doch keineswegs von dieser Unterstützung allein ab. Was die sonstigen Dimensionen betrifft, die man in England den Futtermauern zu geben pflegt, so beträgt die Stärke derselben, welche häufig von unten nach oben in einigen Banquets um geringe Quantitäten sich vermindert, durchschnittlich nur den fünften bis sechsten Theil der Höhe; die Lagerfugen sind jederzeit normal gegen die äussere Fläche gerichtet. In Abständen von 12 bis 18 Fuss von Mitte zu Mitte sind hinter der Mauer die Strebepfeiler angebracht, deren Stärke durchschnittlich mit der der Mauer selbst übereinkommt, und nicht leicht über 4 Fuss beträgt. Die Länge der Pfeiler endlich ist so gewählt, dass sie oben wieder ungefähr mit der Stärke der Mauer übereinstimmt, und unten um so viel grösser ist, als die Mauer sich zurück lehnt. Auf diese Art wird die Mauer im Ganzen geringer, als bei lothrechten Mauern ohne Strebepfeiler; dabei muss aber eine sehr sorgfältige Arbeit, so wie auch gutes Material vorausgesetzt werden.

Dass man die äussern Flächen der Mauern schräge anlegt, geschieht auch in Deutschland und Frankreich sehr häufig und namentlich ist es bei Festungsbauten ganz allgemein üblich, wo man mehr oder weniger sich noch immer an die von Vauban angegebenen Regeln für Revetementsmauern zu halten pflegt. Nach letzterm beträgt die obere Stärke der Mauer mit Rücksicht auf die Güte des Mauerwerks $4\frac{1}{2}$ bis $5\frac{1}{2}$ Fuss, also durchschnittlich 5 Fuss. An der innern Seite ist die Mauer lothrecht aufgeführt, an der äussern dagegen stark geneigt, so dass die horizontale Anlage dem fünften Theile der Höhe gleich kommt. In Abständen von 15 oder 18 Fuss von Mitte zu Mitte sind Strebepfeiler an der innern oder lothrechten Mauerfläche angebracht, die gleichfalls lothrecht aufgeführt sind, ihre Länge beträgt 3 Fuss weniger als die untere Stärke der Mauer, die Breite misst dagegen an der Seite, wo sie sich an die Mauer anschliesst, die Hälfte von der um einen Fuss verminderten untern Stärke der Mauer, an der entgegengesetzten Seite oder am Ende der Strebepfeiler beträgt

ihre Breite den dritten Theil von der um einen Fuss verminderten untern Stärke der Mauer *). Diese Dimensionen sind augenscheinlich sehr gross, und viel grösser, als sie bei Futtermauern im Civilbau vorzukommen pflegen; man darf aber nicht vergessen, dass es sich hierbei nicht allein um dem Erddruck, sondern auch um den gehörigen Widerstand gegen die Wirkung des Geschützes handelt.

Man pflegt bei den letzterwähnten Profilen nicht leicht die Lagerfugen in ihrer ganzen Breite schräge durch die Mauern hindurchzuführen, wohl aber giebt man ihnen gewöhnlich zunächst der äussern Mauerfläche eine normal dagegen gerichtete Lage, und bricht sie alsdann in einiger Entfernung, so dass sie in die Horizontale übergehen und die Hauptmasse der Mauer mit horizontalen Fugen aufgeführt ist. Auf solche Art entsteht eine Verblendung, die mit der Mauer nicht gehörig verbunden ist, und wenn man gewöhnlichen Mörtel anwendet, so zieht sich das Wasser leicht in die schräge abwärts geneigten Fugen hinein. Solche Verblendungen sind daher sehr häufigen Reparaturen unterworfen, die den Verband noch mehr zu trennen pflegen, als es ursprünglich der Fall war. Hiernach rechtfertigt sich die Methode, die man bei schrägen Futtermauern in neuer Zeit oft anwendet; man macht nämlich durchweg horizontale Fugen. Bei Werkstücken hat dieses keinen merklichen Uebelstand, indem man dieselben in der äussern Fläche schräge behauen kann; bei Ziegelmauern darf man aber eine solche Abschrägung der einzelnen Steine nicht vornehmen, ohne die Steine einem schnellen Verderben auszusetzen. Dieselben sind nämlich in der drossirten Fläche, wo sie vom Regen getroffen werden, schon weniger dauerhaft, als in senkrechten Mauern, wenn man sie aber durch die Bearbeitung des Kopfes noch der festen Brandkruste beraubt und sie ausserdem noch durch die Hammerschläge mürbe macht, wodurch zum Entstehen von vielfachen Rissen Veranlassung gegeben wird, so leiden sie durch Forst und Nässe noch um so viel mehr. Es bleibt also nichts anderes übrig, als eine Lage gegen die andere zurücktreten zu lassen, was bei der geringen Höhe der Steine

*) *Bétidor, la science des Ingénieurs.* Ausgabe von 1813. Seite 81.

kaum nachtheilig sein kann. Wenn die Anlage der Mauer, wie bei dem Vauban'schen Profile ein Fünftheil beträgt, so tritt jede Schicht etwa um einen halben Zoll zurück, bei ein Zehntel aber nur um einen Viertel Zoll, was wohl nicht mehr als Uebelstand betrachtet werden kann. Dass die Steine auch in diesem Falle noch immer mehr von der Witterung leiden, als bei senkrechten Mauern, ist nicht in Abrede zu stellen: nichts desto weniger ist dieses die natürliche Folge der schrägen Mauerfläche, und es lässt sich, so lange man die letztere beibehält, nur durch vorzügliches Material und sorgfältige Unterhaltung vermeiden.

Bei den massiven Uferschälungen in Holland, die aus gebrannten Steinen ausgeführt sind, sieht man häufig sehr starke äussere Dossirungen, und man pflegt alsdann die Verkleidung, welche mit schrägen Fugen gemauert ist, durch Abtreppungen von dem eigentlichen Mauerkörper vollständig zu trennen, wie Fig. 48 auf Tafel XXVII. zeigt. Die Güte des Materials, sowohl in Bezug auf die Steine als den Mörtel und nicht minder die sorgfältige Unterhaltung trägt gewiss viel zur Dauer dieser Bauwerke bei. Wenn aber in der Verkleidung Beschädigungen vorkommen, so lassen sie sich leicht wieder herstellen, ohne dass man den Verband der innern Mauer berühren darf, auch wird bei dieser Anordnung dem tiefern Eindringen des Wassers vorgebeugt, falls einige schräge Fugen sich stark öffnen sollten. Die mitgetheilte Figur stellt eine Ufereinfassung von Rotterdam an der Maas dar.

Von den Strebepfeilern ist bereits die Rede gewesen; sie bilden eine vorzügliche Stütze für die Mauer, wenn sie mit derselben innig verbunden sind, und wenn der zwischen zwei Pfeilern liegende Theil der Mauer sich gleichfalls nicht trennen kann. Diese Bedingungen finden indess keineswegs immer statt, und sonach möchte es im Allgemeinen wohl vortheilhafter sein, die Anordnung so zu wählen, dass jeder Theil der Mauer schon an sich die nöthige Stabilität besitzt. Wenn in einer Mauer, die mit Strebepfeilern versehen ist, mit der Zeit der Verband sich zu lösen anfängt, so bemerkt man, wie die zwischen liegenden Theile in horizontalen Bögen sich ausbauchen, während da, wo die Strebepfeiler stehen, die Mauer ihre frühere Stellung beibehält. Nicht selten erfolgt auch eine förmliche Trennung der Mauer von den Strebepfeilern und dieses geschieht um so leichter, je schmaler

die Verbindungsfläche zwischen beiden ist. Man hat es zuweilen versucht, die Pfeiler in der Wurzel, oder an der Seite, wo sie aus der Mauer treten, schmaler zu machen, als an der hintern Seite, so dass sie einen schwalbenschwanzförmigen Querschnitt zeigen: dadurch wirkt ihre Masse zwar um so kräftiger auf die Stabilität der Mauer, aber alsdann wird auch die ebenerwähnte Gefahr um so grösser, und sie können leicht ihre ganze Wirksamkeit verlieren. Sehr angemessen ist daher die von Vauban gewählte Anordnung, wobei grade in entgegengesetzter Art die Wurzel eine grössere Breite erhält, als der übrige Theil des Pfeilers.

Die Erde, welche zwischen den Strebepfeilern sich befindet, wird durch die Reibung gegen die Seitenflächen derselben gehalten, und sie trägt also schon wesentlich zur Vermehrung der Stabilität bei; man hat es indessen verschiedentlich versucht, ihr Gewicht vollständig auf die Pfeiler übertragen. Auf solche Art sind zuweilen Schälungsmauern gebildet, welche wegen der geringen Mauermaße auffallen. Ein Beispiel dieser Art zeigt die in Fig 7 Taf. XXII. dargestellte Construction, welche in Bremen an der Weser einigemal vorkommt. Das Material ist der sehr feste Obernkirchner Sandstein, und diese Mauern haben etwa eine Höhe von 12 Fuss und ruhen auf einem Pfahlroste. Es wechseln dabei Läufer- und Binderschichten mit einander ab; die Binder füllen aber keineswegs die ganze Schicht, sondern es sind dazwischen Tafeln eingesetzt, welche das Durchfallen der Erde verhindern. Die Binder, welche die Pfeiler darstellen, sind länger als die Läufer breit sind, daher wird ihr hinteres Ende noch durch kurze Steinstücke gestützt. Die Masse ergeben sich aus der Figur 1, *b* stellt die Ansicht von vorn dar, *a* den Querschnitt durch die erwähnten Füllungen, und *c* desgleichen durch die Binder. Man bemerkt in *a*, wie die Hinterfüllungserde die Mauer belastet, und dadurch ihre Stabilität sichert. Eine andere Anordnung, die einen gleichen Zweck hat, wählte Gauthey bei Erbauung einer Kaimauer zu Châlons an der Saone; sie ist Fig. 8, *a* in der Ansicht von hinten und *b* im Querschnitte dargestellt*). Es sind nämlich zwischen je zwei Pfeilern drei Bögen übereinander ein-

*) Gauthey, traité de la construction des ponts. I. pag. 381.

gespannt, welche durch die Hinterfüllungserde belastet werden. Gauthey erwähnt, dass er hierbei mehr als ein Drittel der Mauer-
masse erspart habe und dass überdies hierdurch noch in dem
Pfahlroste eine beträchtliche Ermässigung der Kosten eingeführt sei.

Bei dieser Gelegenheit wären auch die niedrigen Uferein-
fassungen zu erwähnen, welche man in Holland häufig neben den
Kanälen vor den Gärten sieht: sie bestehen aus Dachpfannen, die
seitwärts in derselben Art, wie auf dem Dache, übereinander
greifen und von denen eine Reihe senkrecht über der andern
liegt. Die Stärke der Mauer kommt sonach mit der Länge der
Dachpfanne überein, ihre Höhe beträgt aber ein bis zwei Fuss
und die Erde, welche sich in die horizontalen Fugen hineinzieht,
gibt eben diesem Bau die nöthige Stabilität.

Wenn eine Futtermauer rückwärts überhängt und sie sonach
von den Strebepfeilern gestützt werden muss, so kann noch die
Besorgniss entstehen, dass der zwischenliegende Theil der Mauer
durchbiegen und sich rückwärts senken möchte. Bei der Ein-
fassung der Georgesdocke zu Liverpool (Taf. XIV. Fig. 155)
hat man in dieser Beziehung ein horizontales Gewölbe von einem
Strebepfeiler zum andern gespannt, dessen Anfang in der Figur
durch die punktirte Linie angedeutet ist. Einiger Maassen ähnlich
ist auch die Kaimauer in Sherness angeordnet: der Boden war
hier so locker, dass man selbst auf den Pfahlrost keine volle
Mauer zu stellen wagte. Man gab daher der Mauer im Innern
sehr bedeutende hohle Räume, die sowohl unten als auch vorn
und hinten durch Gewölbe eingeschlossen wurden. Fig. 9 *a* zeigt
den Querdurchschnitt, *b* den Längendurchschnitt und *c* den Grund-
riss, die Ausführung geschah mittelst der Taucherglocke, und die
erwähnten hohlen Räume waren rings mit wasserdichtem Mauer-
werke umgeben: man füllte sie nachher mit einem besonders leich-
ten kreideartigen Kalksteine aus*).

Es ist bisher nur davon die Rede gewesen, dass die Strebe-
pfeiler auf der innern Seite der Mauer angebracht sind, so dass
sie von der Hinterfüllungserde verdeckt werden; es leuchtet in-
dessen ein, dass sie zur Vermehrung der Stabilität in höherem

*) Dupin, *voyages dans la Grande Bretagne. Force Navale.*
Paris 1824, II. p. 244.

Grade beitragen, wenn sie auf der äussern Seite stehen, und dieses aus dem Grunde, weil bei einer eintretenden Drehung um ihren äussern Rand die ganze volle Mauer sich heben müsste. Eine Anordnung dieser Art vermeidet man gewöhnlich, weil die äussere Fläche der Mauer alsdann die grade Flucht verliert, nichts desto weniger kommen doch zuweilen Fälle dieser Art, und ein Beispiel davon giebt wieder die Einfassungsmauer in dem Einschnitte bei Blisworth auf der London-Birminghamer Eisenbahn, welcher Fig. 10 *a* und *b* dargestellt ist. *a* bezeichnet einen Querschnitt, und zwar auf der rechten Seite der Figur ist derselbe durch einen Pfeiler und auf der linken durch die Mitte der Mauer zwischen zwei Pfeiler gezogen; *b* dagegen ist die Seitenansicht einer Mauer von der Mitte des Einschnittes aus gesehen. Die oben erwähnten Sickergräben, sowie auch die Ableitung des darin gesammelten Wassers durch den überwölbten Kanal in der Axe des Einschnittes ergibt sich ohne weitere Erklärung aus der Figur und es wäre hier nur zu erinnern, dass hier das Mauerwerk übereinstimmend mit der von Brees gegebenen Zeichnung*) mitgetheilt ist, dass aber die dargestellte Lage der Mauerschichten eine Verbindung der Mauer mit den Strebepfeilern unmöglich macht: eine Anordnung, die gewiss nicht Nachahmung verdient.

Hölzerne Uferschälungen werden durch Erdanker gegen den Seitendruck der Erde gesichert, bei Futtermauern muss eine Verankerung dieser Art aber als unpassend angesehen werden, indem sie weniger dauerhaft ist, als die Mauer selbst. Die von De Cessart ausgeführte Kaimauer zu Rouen (Fig. 156, Taf. XIV.) erhielt zwar auch hölzerne Erdanker, doch sollten diese nur so lange wirksam sein, bis die Erdschüttungen sich gehörig gesetzt haben würden; andererseits erhält man zuweilen baufällige Mauern noch einige Zeit durch Erdanker, wie ich dieses z. B. bei Briel gesehen habe, und es verdient erwähnt zu werden, dass man eiserne Verankerungen, die jedoch gleichfalls von hölzernen Ankerpfählen ausgehen, in England nicht selten an den Umfassungsmauern der Docks vorfindet, doch dienen sie häufig nicht zur Stütze für die Mauern selbst, sondern sie stehn vielmehr mit den Schiffsringen in Verbindung, so dass sie den von den letztern

*) *Railway practice* I. Taf. XXIII. *) etnoq zch zolauk. (*)

ausgehenden Zug auf das feste Erdreich hinter der Mauer übertragen. Nach der vorstehenden Auseinandersetzung erscheint eine solche Anordnung der Futtermauer am solidesten, wobei das Profil an jeder Stelle hinreichend stark gewählt ist, um dem Erddrucke zu widerstehen: Strebpfeiler, sowie jede sonstige Befestigung werden dadurch entbehrlich. Ausserdem ist im Allgemeinen gewiss die lothrechte Aufführung der äussern Mauerfläche einer Dossirung vorzuziehn. Dagegen kann man ohne Nachtheil die innere Fläche dossiren, oder noch besser, sie mit Banketen versehen, wodurch eine starke Belastung der Mauer durch die Hinterfüllungs Erde veranlasst wird, welche wesentlich zur Vergrösserung der Stabilität beiträgt. Fig. 6 zeigt ein solches Profil, und dieses ist dasselbe, wonach man bei uns die Futtermauern aufzuführen pflegt. Die mittlere Stärke der Mauer beträgt gewöhnlich zwischen ein Viertel und ein Drittel, also durchschnittlich etwa zwei Siebentheile der Höhe. Je mehr das Hinterfüllungsmaterial zu Zeiten erweicht werden kann, um so grösser muss die Stärke angenommen werden. Dabei verdient noch Erwähnung, dass die Futtermauern in den Französischen Häfen nach der von Gayant gegebenen Zusammenstellung*), obnerachtet sie nach aussen dossirt sind, dennoch über den dritten Theil und zuweilen nahe die Hälfte der Höhe zur mittleren Stärke erhalten haben.

§. 32.

Ausführung des Mauerwerks.

Bei Untersuchung der Festigkeit der Mauern (§. 50) sind bereits die Hauptregeln für die Darstellung eines guten Verbandes entwickelt und zugleich gezeigt worden, wie wichtig es sei, dass die verwendeten Steine ungefähr gleiche Dicke haben, wodurch die Veranlassung zum Entstehen von besonders schwachen Stellen in der Mauer sich am sichersten vermeiden lässt. Wenn jedoch eine Mauer aus Bruchsteinen oder Ziegeln mit Werkstücken verkleidet wird, so tritt die Besorgniss ein, dass unmittelbar hinter der Verkleidung, wo in allen Schichten Fuge auf Fuge trifft,

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1831. II. pag. 62.

eine Spaltung der ganzen Mauer erfolgen kann; es ist bereits erwähnt worden, wie man durch eine sorgfältige Auswahl der Steine und Anwendung eines guten Mörtels, so wie auch durch genaue Arbeit das ungleichmässige Setzen in diesem Falle vermindern kann. Nichts desto weniger pflegt man noch eine besondere Vorsicht anzuwenden, um die einzelnen Werkstücke mit einander zu verbinden, damit sie bei einem entstehenden Brüche nicht zu weit von ihrer Stelle rücken können, und dasselbe wird auch nöthig, wenn die ganze Mauer zwar aus Werkstücken besteht, jedoch ihre geringe Breite oder besonders heftige Stösse durch Wellenschlag oder Eis eine Trennung besorgen lassen.

Am einfachsten erfolgt eine solche Verbindung, wenn man die Binder, die eine mehr gesicherte Lage haben, in ihren Köpfen flach-schwabenschwanzförmig bearbeitet, wie Fig. 11 zeigt. Es werden dadurch die zwischenliegenden Läufer am Herausfallen gehindert. Die Fuge darf indessen nicht bis zur äussern Fläche schräge geführt werden, weil sonst eine scharfe Kante entstehen würde, die leicht ausbrechen könnte. Andererseits wendet man hierbei auch häufig metallne Klammern oder Anker an, und zwar gewöhnlich eiserne, indem das Kupfer viel zu kostbar ist. Beim Eisen muss jedoch die Veranlassung zum Rosten durchaus vermieden werden, denn dadurch vergrössert es sein Volum und sprengt den Stein, wie dieses häufig bemerkt werden kann. Man pflegt die Oberfläche des Eisens mit einem für das Wasser undurchdringlichen Ueberzuge zu versehen, und zwar geschieht dieses gewöhnlich, indem man es heiss mit Theer oder Leinöl bestreicht; ausserdem aber muss noch das Eisen im Steine vergossen werden, was schon deshalb nöthig ist, um allen Spielraum zu entfernen und selbst die kleinern Bewegungen unmöglich zu machen. Man bedient sich hierzu am vortheilhaftesten des Bleies, welches beim Erkalten sich zusammenzieht und dadurch das Eisen fest einschliesst. Dasselbe wirkt überdies durchaus nicht nachtheilig auf das Eisen ein, was der Schwefel thut, womit man gleichfalls zuweilen die Anker im Steine vergiesst. Wenn das Wasser im letzten Falle mit dem Eisen in Berührung treten kann, so befördert der Schwefel noch die Oxydation, und der erwähnte Bruch der Steine erfolgt um so schneller. Fig. 12 zeigt die gewöhnliche Steinklammer und Fig. 13 eine Verankerung, welche

wohl insofern den Vorzug verdient, als man dadurch den Stein mehr in der Mitte fassen, und eine weit vollständigere Verbindung bewirken kann. Man legt die Eisenschienen, welche die Verankerung bilden sollen, in vertiefte Rinnen, und bohrt an den Stellen, wo die Löcher für die Splinte angebracht sind, im Steine die passenden Oeffnungen ein; alsdann stellt man die Splinte auf und vergießt sie. Indem derselbe Splint zwei Anker umfasst und er ausserdem durch zwei Steinschichten reichen kann, so wird es durch dieses Mittel möglich, ganze Steinschichten unter sich und mit den nächsten Schichten zu verbinden. Es ist indessen die Veranlassung zu einer solchen Verankerung selten vorhanden, und da ein Stein, der in ein gehörig zugerichtetes Mörtelbette gesetzt wird, nicht leicht herausgerissen werden kann, so ist diese erwähnte künstliche Verbindung gemeinhin unnöthig. Die Anwendung des Schmiedeeisens in der Mauer ist aber insofern noch schädlich, als beide Materialien sich sehr verschiedenartig bei eintretender Erwärmung ausdehnen. Vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers dehnt sich das Schmiedeeisen um $\frac{1}{800}$ aus, während Granite und manche Sandsteine sich nur um $\frac{1}{1300}$ und Ziegel sogar nur um $\frac{1}{2000}$ ausdehnen. Hiernach kann der eiserne Anker, auch wenn es nicht rostet, leicht einen Bruch der Mauer veranlassen, statt denselben zu verhindern.

In der obern Steinschicht, oder den Deckplatten, ist dagegen die Veranlassung zur Trennung einzelner Steine viel häufiger, und namentlich ist sie kaum zu vermeiden, wenn ein starker Verkehr darauf stattfindet, wie auf Kaimauern und Schleusenmauern. Die Gefahr vermehrt sich aber noch, wenn man wirkliche Platten benutzt, deren Gewicht geringe ausfällt, das sonach keine grosse Sicherheit bedingt. In diesem Falle muss man die Deckplatten durch einen künstlichen Fugenschnitt in einander greifen lassen, damit ein Stein, der vielleicht lose geworden ist, noch immer durch die beiden nächsten in seiner Stellung gehalten wird. Fig. 14, Taf. XXIII, zeigt die gewöhnlichste Verbindung dieser Art, doch kommen sehr häufig auch Steindübel hier vor, die man zwischen je zwei Deckplatten einsetzt.

Unter ganz besondern Umständen kann es nöthig werden, auch einigen Verband zwischen den einzelnen Steinschichten darzustellen, damit dieselben nicht übereinander fortgleiten; es ist

schon früher die Rede davon gewesen, dass man beim Bau des Leuchthürmes auf Bell-Rock steinerne Würfel, in je zwei Schichten zu diesem Zwecke eingreifen liess (Theil I. Seite 477), und dasselbe Verfahren wendet man auch zuweilen bei Brückenpfeilern an, wenn man besorgt, dass durch das Gegentreiben von grossen Eisschollen einzelne Steinschichten in Bewegung gesetzt werden möchten. Beim Bau des Widerlagers zur Neuen London-Brücke (Fig. 143, Taf. XIII.) liess man zu gleichem Zwecke einzelne Kopfsteine durch 2 Schichten hindurehgreifen. Es geschieht aber auch, dass man jede einzelne Schicht an der äussern Fläche mit einer vortretenden Brüstung versieht, wogegen die folgende Schicht sich lehnt, und letztere ist auf gleiche Art wieder mit der nächsten verbunden. Fig. 16, Taf. XXIII. zeigt diese Anordnung, die man namentlich in den französischen Seehäfen zu wählen pflegt, wenn die Mauern einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind.

Wenn eine Schälungsmauer, wie dieses gewöhnlich geschieht, aus gebrannten oder aus Bruchsteinen ausgeführt wird, und man verkleidet sie auf der äussern Fläche mit Werkstücken, um ihr theils ein besseres Ansehen zu geben, und theils auch, um der atmosphärischen Einwirkung oder andern Angriffen ein festeres Material entgegenzusetzen, so können die Binder, wie bereits erwähnt worden, beim Eintreten eines ungleichen Setzens der Mauer abbrechen, was in vielen Fällen wirklich geschehen ist. Es kommt aber auch vor, dass die hintern Theile der Binder, die eben in das fremde Mauerwerk eingreifen, mit diesem gemeinschaftlich sich senken, und dadurch die Werksteinschichten an der äussern Fläche heben, so dass die Lagerfugen sich hier öffnen. Fig. 15 stellt diesen Fall dar: es ereignet sich dieses vorzugsweise, wenn der Mörtel an sich schlecht war, oder äussere Umstände und vielleicht starke Erschütterungen seine Cohäsion aufhoben. Emy empfiehlt, um diesem Uebelstande vorzubeugen, eine vollständige Unterstützung der hintern Theile der Binder durch Werkstücke, die ganz übereinstimmend mit denjenigen bearbeitet und versetzt sind, welche die Verkleidung bilden. Fig. 16 zeigt diese Anordnung*), die auch schon in der leichten Kaimauer

*) *Sganzin programme*. II. p. 288.

Fig. 7 beschrieben ist. Es ist nicht zu bezweifeln, dass die Mauer hierdurch verstärkt wird, denn wenn auch eine Trennung zwischen beiden Mauer Massen noch erfolgen sollte, so ist die äussere oder die Werksteinmauer mit vollständigen Strebepfeilern versehen, und sie wird daher nicht so leicht, wie früher einstürzen oder sich ausbauchen können.

Ferner ist es nothwendig, dass man den Werkstücken und zwar den Läufern ebensowohl wie den Bindern passende Dimensionen giebt, damit sie bei einer etwanigen ungleichmässigen Unterstüzung, die sich nicht immer vermeiden lässt, nicht gleich brechen. Hiernach muss die Breite und noch mehr die Länge nicht unverhältnissmässig gross gegen die Höhe des Steines gewählt werden; Sganzin empfiehlt in dieser Hinsicht, den Werkstücken, wenn sie aus einer weichen Steinart bestehen, zur Länge nur die dreimalige und zur Breite nur die zweimalige Höhe zu geben, und selbst bei den festesten Steinen die Länge nie grösser als die fünfmalige Höhe, und ebenso die Breite nie grösser, als die dreimalige Höhe anzunehmen.

Der Grund, weshalb die Werkstücke der Gefahr eines Bruches viel mehr ausgesetzt sind, als die gebrannten Steine oder die Bruchsteine, ist allein darin zu suchen, dass bei ihnen die Fugen und namentlich die Lagerfugen viel weniger gleichmässig mit Mörtel angefüllt werden, als bei jenen. Dieses rührt theils daher, dass ihre Grösse ein leichtes und sicheres Manöver beim Versetzen unmöglich macht, zum Theil aber geschieht es auch, weil man gemeinhin eine ganz besondere Vorsicht anwendet und oft anwenden muss, um ihnen eine bestimmte Höhenlage und Richtung zu geben. Der letzte Umstand hat häufig auf die Haltbarkeit von Werksteinmauern sehr nachtheilig eingewirkt, und er ist Veranlassung gewesen, dass man oft Methoden zum Versetzen wählt, die sich nur da rechtfertigen lassen, wo die Steine wenig belastet sind, oder ein Bruch gar nicht zu besorgen wäre, selbst wenn die Unterstüzung nur einen kleinen Theil der Grundfläche treffen sollte. Hieher gehört namentlich das Vergiessen der Fugen; man bringt nämlich den Stein, ehe man den Mörtel anwendet, schon in die Lage, die er erhalten soll, und unterstüzt ihn dabei durch hölzerne oder auch wohl durch eiserne Keile. Um nun den Mörtel in die Fugen zu bringen, ohne den Stein zu

entfernen, so verstopft man rings die Lager- und Stossfugen mit Werg, und giesst alsdann den dünnen Mörtel hinein. Ob die Fugen dabei vollständig gefüllt werden, ist gemeinhin nicht mit Sicherheit wahrzunehmen, jedenfalls ist aber der dünnflüssige Mörtel, den man hierbei anwenden muss, einem besonders starken Schwinden beim Erhärten ausgesetzt, und wenn derselbe sich daher auch wirklich über die ganze Ausdehnung der Lagerfuge verbreitet, so trifft der Druck doch vorzugsweise immer nur die Punkte, die ursprünglich durch die Keile unterstützt waren. Wenn alsdann die Mauer höher heraufgeführt wird, und dadurch die Belastung zunimmt, so wird der Stein an denjenigen Stellen, wo er grade aufliegt, zerdrückt und es zeigen sich Risse im Bau. Häufig giebt man den Steinen auch dadurch eine sehr ungleichmässige Unterstützung, dass man sich bemüht, die Fugen von aussen möglichst fein erscheinen zu lassen, weshalb man nicht die ganze tragende Fläche, und (ebenso auch alle übrigen Flächen, welche eine der sichtbaren Fugen begrenzen) gleichmässig bearbeitet; vielmehr erstreckt sich die sorgfältige Bearbeitung nur 2 bis 4 Zolle weit von der äussern Fläche, und der ganze innere Theil ist viel roher gehalten, und mitunter sogar absichtlich hohl gemacht worden, um zu verhindern, dass hier keine Berührung stattfinde, weil dadurch der genaue Schluss der äussern Fuge leiden könnte. Wenn unter diesen Umständen der Mörtel eingegossen wird, und derselbe auch wirklich von Anfang die ganze Höhlung der Fuge in der Mitte des Steines füllen sollte, so wird doch nach dem Erhärten desselben wenigstens keine gleichmässige Vertheilung des Druckes eintreten können, und der Stein ist sonach der Gefahr ausgesetzt, an den äussern Kanten zu brechen, denn hier besitzt er an sich die geringste Festigkeit und gleichzeitig wird er daselbst am stärksten gepresst. Die vielen Risse, welche sich im Pantheon zu Paris zeigten, sind allein durch diese Art des Versetzens der Steine veranlasst.

Viel zweckmässiger, jedoch noch immer einigermaassen ähnlich, ist die folgende Methode, welche in Frankreich nicht ungewöhnlich ist. Der Stein wird nämlich auf hölzernen Keilen und mit ziemlich weiten Fugen versetzt; alsdann streicht man den steifen Mörtel, und zwar hydraulischen Mörtel, mit einer 2 Fuss langen Kelle ein, die an beiden schmalen Seiten mit langen und

grossen Zähnen, wie eine recht grobe Holzsäge versehen ist. Indem diese Zähne nach vorn gerichtet sind, so schieben sie den Mörtel vor sich in die Fuge hinein und man bemerkt sogar, wie derselbe auf der entgegengesetzten Seite herausquillt. Ist auf solche Art die Fuge vollständig gefüllt, so sucht man die Keile herauszuziehen, damit der Stein nur auf dem Mörtelbette ruht. Die erwähnte Kelle ist Fig. 17 dargestellt.

Man muss die Gleichmässigkeit der Unterstützung als den wichtigsten Zweck des Mörtels im Mauerwerke ansehen; bei den schlechteren Sorten der gebrannten Steine kann man häufig kaum 20 bis 30 Stück unmittelbar übereinander legen, ohne dass die unteren brechen, sobald aber die Fugen mit Mörtel gefüllt sind, ist das Gewicht von mehreren hundert Steinen nicht im Stande, die untern zu zerbrechen. Die Cohäsion des Mörtels ist im Allgemeinen von geringerer Bedeutung, und man sollte wohl jeden Bau so anordnen, dass seine Stabilität hiervon nicht abhängt. Die Anwendung des Mörtels wird sonach ziemlich zwecklos, wenn sie nicht in der Art erfolgt, dass eine möglichst gleichmässige Unterstützung wirklich erreicht wird: kann man letztere auf anderem Wege darstellen, so ist der Mörtel sehr entbehrlich. Beispiele liefern manche Ruinen aus dem Alterthume und namentlich aus der Kaiserzeit: so sind die Werkstücke im Amphitheater bei Trier mit der grössten Genauigkeit in den Lagerfugen und ebenso auch in den Stossfugen abgeschliffen, und sie berühren sich so scharf, dass die Fugen ganz geschlossen sind und kein Mörtel darin eingebracht werden durfte. In neuerer Zeit hat man zuweilen die Unebenheiten in der Oberfläche der Steine durch zwischengelegte Bleiplatten oder Bleikugeln auszufüllen gesucht: diese Methode erscheint insofern passend, als das Blei unter dem Drucke ausweicht und es sich in der Art vertheilt, dass es wirklich eine gleichmässige Unterstützung an allen Punkten darstellt. Es kann sich aber auch ereignen, dass es an einer Seite stärker herausgedrängt wird, als an der andern, wodurch die Fuge nicht gleiche Dicke behält und der obere Theil des Baues seitwärts ausweicht. Jedenfalls ist es als ein grosser Uebelstand zu betrachten, dass bei der spätern Zunahme des Druckes das Blei auch von Neuem in Bewegung kommt, und es wahrscheinlich selbst unter constantem Drucke eine sehr lange Zeit gebraucht, bevor es sich vollständig

ins Gleichgewicht gesetzt hat. Hiernach sind im Allgemeinen gewiss die gewöhnlichen Mörtelarten vorzuziehen, die in Kurzem erhärten und dadurch den darauf ruhenden Werkstücken eine unveränderte Lage sichern.

Die erwähnte gleichmässige Vertheilung des Druckes auf die ganze Basis des Steines lässt sich viel vollständiger erreichen, wenn man schon vor dem Versetzen das Mörtelbette in der Fuge darstellt: es geschieht dieses gewöhnlich, indem man zuerst den Stein auf sein Lager einpasst und durch untergesteckte Keile ihm diejenige Stellung giebt, die er erhalten soll. Alsdann hebt man ihn sorgfältig ab, ohne die Keile zu verrücken, und bereitet das Mörtelbette in derjenigen Höhe vor, welche durch die Keile bezeichnet wird. Die zu versetzenden Steine müssen, wie sich dieses von selbst versteht, gereinigt und benetzt sein, und für die Stossfugen wird der Mörtel gleichfalls an die senkrechte Seitenfläche der bereits versetzten Steine aufgetragen. Nunmehr wird der Stein wieder in das Lager gebracht, indem man ihn entweder von der Seite herüberkantet, wie dieses gewöhnlich geschieht, oder man setzt ihn durch ein Hebezeug sanft und regelmässig an seine Stelle. Das Letzte ist vorzuziehen, indem das Mörtelbette dabei am wenigsten in Unordnung kommt. Wie vorsichtig man indessen auch immer in der Bereitung des Mörtelbettes gewesen ist, so darf man doch nicht voraussetzen, dass dieses sich gleich von selbst in allen Theilen an den Stein anschliesst, und es bleibt sonach immer sehr vortheilhaft, dass man noch eine Operation vornimmt, die mit dem Eindrücken oder Einschlagen der gebrannten Steine übereinkommt, wodurch eben die vollständige Umschliessung mit Mörtel erreicht wird. Es lässt sich dieses bei Werkstücken gleichfalls bewirken, und es geschieht auch in der That nicht selten, doch ist es schwer, dabei noch immer ganz sicher die beabsichtigte Lage zu erhalten, oder man muss sich darauf gefasst machen, dass man vielleicht den Stein nochmals abheben und das Mörtelbette verändern muss. Am besten ist es, den Mörtel in einer etwas grössern Stärke aufzutragen, als die Keile bezeichnen, und nachdem der Stein versetzt ist und die Keile herausgenommen sind, durch hölzerne Schlägel oder durch Handrammen den Stein soweit herabzutreiben, bis die Fuge sich auf die beabsichtigte Stärke reducirt hat.

Wenn der Bau nur eine einfache Mauerfläche bilden soll, wie dieses bei Wasserbauwerken und namentlich bei Kaimauern der gewöhnliche Fall ist, so kommt es gar nicht darauf an, dass die einzelnen Werkstücke eine vorher bestimmte Lage ganz genau einnehmen, und man kann sie in das Mörtelbette so weit einreiben, bis der Mörtel reichlich von den Seiten herausquillt und sie recht fest darin gelagert sind. Alsdann ist die Anwendung der Keile auch überflüssig und es lässt sich noch immer ein regelmässiges Werk darstellen, wenn man die Steine auf der vordern oder äussern und ebenso auch auf ihrer obern Fläche erst nach dem Versetzen vollständig bearbeitet. Man darf sonach auf kleine Abweichungen von der äussern Flucht der Mauer und von der bestimmten Höhe der Steinschicht gar nicht Rücksicht nehmen, sobald aber mehrere Steine einer Schicht auf die beschriebene Art versetzt sind und sie eine recht feste und gehörig unterstützte Lage angenommen haben, alsdann behaut und ebnet man erst im Zusammenhange ihre äussere Fläche und ebenso auch die obere, worauf sich die Lagerfuge für die nächste Schicht bildet. Dieses Verfahren ist in neuerer Zeit in Frankreich für die grösseren Wasserbauwerke allgemein eingeführt *), und es ist nicht zu bezweifeln, dass dadurch die Werkstücke ebenso sicher versetzt werden können, wie gebrannte Steine oder kleinere lagerhafte Bruchsteine. Eine Verzapfung oder ein künstlicher Fugenschnitt ist alsdann eben so wenig erforderlich, wie eine Verankerung, um das Herausfallen der Steine zu verhindern. Man giebt dabei dem Mörtelbette eine Stärke von etwa 8 Linien, die sich beim Einrammen oder Einschlagen der Steine auf einen halben Zoll zu reduciren pflegt: es muss aber bemerkt werden, dass man die Schläge so führt, dass auch die Stossfugen einigermaassen comprimirt werden.

Es ergibt sich aus der vorstehenden Beschreibung, dass das Versetzen der Werkstücke im Mörtelbette sich am sichersten ausführen lässt, wenn die Steine möglichst frei liegen, und dass es dagegen bei einer vollen Mauer mit grössern Schwierigkeiten verbunden ist, wo man die Lagerfuge nicht von mehreren Seiten

*) *Sganzin programme I. p. 114.*

beobachten kann. Hierdurch begründet es sich, dass grosse Mauer Massen keineswegs eine Tragfähigkeit besitzen, die ihrem Querschnitte entspricht, und sonach wird die Mauer auch nicht geschwächt, wenn man sie durch hohle Räume unterbricht, und eben dadurch die Gelegenheit herbeiführt, dass jeder einzelne Stein mit aller möglichen Sorgfalt versetzt werden kann. Dieses Verfahren kommt bei Kaimauern zwar nicht vor, wo die grosse Masse nothwendig ist, damit der Seitendruck der Erde aufgehoben wird, dagegen hat man es bei andern Constructionen und namentlich bei der Uebermauerung und Hintermauerung der Brückenbögen, auch wohl bei Brückenpfeilern in der neuesten Zeit in England sehr vielfach angewendet. Vorzüglich war Telford bemüht, die grossen Mauer Massen zu vermeiden, und unter seinen Werken zeichnet sich in dieser Beziehung der Brückenkanal bei Pont-y-cysylte aus, wo die 121 Fuss hohen Pfeiler nur aus einer 2 Fuss starken Schale bestehen und im Innern hohl gelassen sind. Zur Darstellung eines guten Mauerwerks ist es nach Telford's Ansicht nothwendig, dass nicht nur der Maurer, sondern auch der Bauaufseher die Fuge von allen Seiten genau untersuchen kann, und nur diejenigen Steine hielt er für fest gebettet, bei denen dieses möglich war. Die Ausfüllung im Innern lässt keine so gute Arbeit und noch weniger eine genaue Controlle zu, man kann sich daher keineswegs auf sie verlassen.

Wenn man die Werkstücke mittelst Brechstangen von der Seite auf das vorbereitete Mörtelbette hebt, oder sie durch Ueberkanten darauf bringt, so kann es nicht fehlen, dass dieses Bette dadurch in Unordnung kommt, und ausserdem ist ein solches Verfahren auch mühsam, und wenn die Steine bereits vollständig bearbeitet sind, für diese leicht nachtheilig. Weit zweckmässiger ist es, die Steine mit einem Hebezeuge zu fassen und sie gleich in der Richtung und Lage, die sie behalten sollen, an ihre Stelle zu versetzen: man vermeidet dadurch, dass nicht einzelne Theile des Bettes unverhältnissmässig stark gepresst werden und auf solche Art die nöthige Stärke verlieren, und überdiess wird die ganze Arbeit dadurch viel leichter und lässt sich mit grösserer Sorgfalt ausführen. Es sind hierbei zwei verschiedene Gegenstände zu betrachten, nämlich einmal die Vorrichtung zum Fassen des Steines, und sodann das eigentliche Hebezeug.

Jeder bearbeitete Baustein lässt sich durch Tauen so fassen, dass er in jeder beliebigen Richtung schwebt: am einfachsten dient dazu die sogenannte Stroppe oder das Kranztau, welches in der Art umgeschlungen wird, wie Fig. 22 zeigt. Diese Vorrichtung ist es, womit Perronet die Werkstücke bei seinen Brückenbauten versetzen liess. Beim Gebrauche derselben tritt indessen der Uebelstand ein, dass der Stein auf dem Tau stehen bleibt, und man muss ihn daher, nachdem er vom Hebezeuge gelöst ist, noch durch Brechstangen etwas lüften, damit dieses Tau herausgezogen werden kann. Vortheilhafter sind solche Einrichtungen, welche es erlauben, die ganze Operation mit dem Hebezeuge zu vollenden und den Stein ohne anderweitige Nachhülfe unmittelbar auf das Mörtelbette zu versetzen. Dieses geschieht zum Theil schon mittelst Zangen, doch wird dabei vorausgesetzt, dass zwei gegenüberstehende Seitenflächen des Steines freibleiben müssen, was nicht immer der Fall ist. Ueberdiess ist die Zange bei grossen Steinen wegen ihres eigenen Gewichtes sehr unbequem und sie wird daher gewöhnlich nur zum Heben von rohen Steinen, wie solche etwa bei Steinschüttungen vorkommen, gebraucht. Es wird sonach ihre Beschreibung erst später die passende Stelle finden. Zum Versetzen von Werkstücken eignet sich dagegen ganz besonders die Steinklaue, auch der Wolf genannt: dieselbe fasst den Stein nur in seiner Oberfläche, sie hindert daher nicht die unmittelbare Berührung desselben in der Lagerfuge, noch auch in den sämtlichen Stossfugen ringsumher. Damit sie aber den Stein gehörig hält und derselbe diejenige Lage annimmt, worin er versetzt werden soll, so muss sie an der passenden Stelle angebracht sein, denn der Stein wird immer so schweben, dass die Verbindungslinie zwischen dem Aufhängepunkte und dem Schwerpunkte die Richtung des Lothes darstellt. Häufig und namentlich bei grossen Steinen wendet man gleichzeitig mehrere Steinklauen an: beträgt die Anzahl derselben aber drei, so ist es besonders leicht, die passende Neigung dem Steine zu geben, und man hat nur dafür zu sorgen, dass die Vertikale durch den Schwerpunkt zwischen die drei Aufhängepunkte trifft. Die Löcher, in welche die Steinklaue eingreift, sind bei kleinen Steinen nur wenige Zolle tief, bei schweren und bei spröden Steinen muss man ihnen aber Tiefe von 6 bis 9 Zoll geben, weil sonst die Ränder zu leicht

ausspringen. Die schrägen Flächen in dem Loche, wogegen die Backen der Klaue sich lehnen, müssen aus demselben Grunde möglichst eben oder cylindrisch geformt sein, jenachdem die Krampe ebene oder cylindrische Backenstücke hat. Finden sich dabei Unebenheiten vor, oder ist der Stein sehr spröde, so lässt sich das Ausspringen noch dadurch vermeiden, dass man, nachdem die Klaue eingesetzt ist, feinen und zwar ganz trocknen Sand hineinstreut, wodurch alle Zwischenräume angefüllt werden, so dass nunmehr die vollen Flächen zum Tragen kommen.

Fig. 18 zeigt eine sehr einfache Steinklaue, die man nicht selten anwendet: sie besteht aus 2 Stücken, nämlich einem keilförmigen und einem prismatischen. Das erste, welches nach der Figur an einer Kette hängt und mit dem Hebezeuge verbunden ist, setzt man zuerst in das Loch, alsdann schiebt man daneben das prismatische Stück oder den Schlüssel ein. Bei dem eintretenden verticalen Zuge der Kette lehnt sich der Keil scharf gegen die schräge Fläche des Loches, so dass der Stein auf diese Art gehoben werden kann. Ist der Stein aber auf der passenden Stelle versetzt worden, so darf man nur den Schlüssel herausziehen, alsdann lässt sich auch der Keil leicht entfernen. Mittelt dieser Klaue versetzte Telford bei dem Hafendamme von Inverness die Werkstücke unter Wasser, und indem an dem Schlüssel eine Leine befestigt war, wie die Figur zeigt, so wurde es möglich, den Keil von oben zu lösen.*)

Sehr ähnlich ist die in Fig. 19 dargestellte Steinklaue. Diese wird noch häufiger als jene angewendet, und sie verdient vor ihr auch insofern den Vorzug, als der Druck sich gleichmässiger auf beide gegenüberstehende schräge Flächen des Loches vertheilt. Ihre Zusammensetzung geht aus der Zeichnung hervor: *a* zeigt sie in ihrer Verbindung von der Seite, *b* von vorn, *c* ist die vordere Ansicht eines der beiden Keile oder Backenstücke und *d* die des Schlüssels, der zwischen beide Keile gesteckt wird. Nachdem diese drei Theile eingestellt sind, legt man den Bügel darüber, woran die Kette des Hebezeuges befestigt wird, und endlich verbindet man Alles mit einem Durchsteckbolzen, welcher der Sicherheit wegen noch mit einem Splinte versehen wird.

*) *Theorie, practice and architecture of Bridges.* Heft IV, p. 18.

Fig. 21 ist eine Steinklaue, die man zuweilen in England anwendet: sie besteht aus zwei Armen, die zuweilen durch eine Axe zu einer vollständigen Scheere verbunden sind, oder sie werden, wie hier angegeben ist, nur lose nebeneinander eingestellt. Sobald man die obern Arme zusammenbringt und die Schleife am Tau des Hebezuges anzieht, so können die untern Arme sich aus dem Loche im Steine nicht lösen und letzterer wird daran gehoben. Hiermit stimmt auch im Wesentlichen die Fig. 20 gezeichnete Klaue überein, welche J. Neville angegeben hat. Die beiden Arme sind hier bogenförmig gestaltet, und indem sie in dem Stege stecken, den Fig. 20 *d* in der Ansicht von oben zeigt, so werden sie im obern Theile während des Zuges zusammengedrückt, und sonach pressen sie unten seitwärts gegen den Stein (Fig. *b*), sobald man aber den Bügel zurückschlägt und den einen Arm an der daran befestigten Leine heraufzieht, wie dies Fig. *c* zeigt, so wird die Klaue frei. Auf solche Art soll man damit auch unter Wasser Steine versetzen können. *)

Bei Anwendung aller hier beschriebenen Steinklauen ist man gezwungen, in der Oberfläche des Steines das Loch zum Einsetzen der Krampe einzuhauen. Dieser Umstand ist in Bezug auf die Festigkeit des Mauerwerks ohne Nachtheil, indem die tragenden Flächen dabei nur unmerklich verkleinert werden. Dieses Loch gewährt auch noch den Vortheil, dass man die fliegenden leichten Gerüste zum Ausfügen und vielleicht zum Nacharbeiten der äussern Mauerfläche mit Leichtigkeit und voller Sicherheit überall befestigen kann. Fig. 49 Taf. XXVII. zeigt die Anordnung, die zu diesem Zwecke beim Bau der Kaimauer am Mersey unterhalb Liverpool getroffen war. Ein starker eiserner Dorn, etwa einen Fuss lang und oben mit einem Querarme versehen, den man bei *a* von vorn sieht, wird in das Loch der Steinklaue eingesetzt und mit Holzkeilen befestigt, und hieran bindet man die Taus oder Ketten des fliegenden Gerüsts.

In der obern Steinschicht oder der Deckschicht mag man indessen des bessern Ansehns wegen die Anbringung der Löcher gern vermeiden, die, wenn sie auch mit Mörtel gefüllt werden, sich doch immer unangenehm zu erkennen geben. Zu diesem

*) *The civil engineer and architect's Journal*. 1840. p. 273.

Zwecke werden die hierzu bestimmten Steine in der Art bearbeitet und gehoben, wie Fig. 50 zeigt. Es werden nämlich an denjenigen gegenüberstehenden Seiten des Steines, welche quer gegen die Richtung der Mauer treffen, prismatische Nischen, deren Basis ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck bildet, eingehauen. Etwa 2 Zoll über ihrem Boden, und jedenfalls über dem Schwerpunkte des Steines, wird in der Längenrichtung der Mauer ein Loch von 1 oder $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser gebohrt und in dieses jedesmal ein passender Bolzen gesteckt. Die Kette, womit der Stein gehoben wird, spaltet sich in zwei gleich lange Arme, die an ihren Enden mit passenden Ringen versehen sind. Wenn letztere auf die vorstehenden Enden der Bolzen gezogen werden, so lässt sich der Stein bequem heben und auch dicht schliessend gegen andere Steine versetzen. Die nächsten Steine müssen aber mit gleichen Nischen versehen sein, die sich gegenseitig zu quadratischen Räumen ergänzen. Hierdurch wird es möglich, die erwähnten Bolzen nachher wieder herauszunehmen, und ein Steinwürfel von 8 bis 10 Zoll Seite, der gemeinhin von etwas dunkler Farbe ist, wird als Dübel in der Oeffnung versetzt und bildet auf diese Art noch einen guten Verband zwischen den einzelnen Steinen, wie Fig. 51 zeigt.

Zum Heben und Versetzen der Steine kann man sich in vielen Fällen schon mit Vortheil des dreibeinigen Bockes bedienen (vergl. Fig. 7. Taf. I.), indem man einen solchen über dem Lager aufstellt und den obern Kloben eines Flaschenzuges daran befestigt. Es tritt alsdann freilich die Schwierigkeit ein, dass der Aufhängepunkt sich nicht horizontal verstellen lässt und man dem Steine die nöthige Seitenbewegung auf andere Art, also etwa durch ein Stopftau, ertheilen muss: nichts desto weniger hat diese Vorrichtung immer den Vorzug einer grossen Einfachheit, und man wird sie also mit Vortheil benutzen können, wenn die Operation nicht häufig vorkommt und sonach die Anschaffung von Krabben sich nicht rechtfertigen würde. Es verdient hier bemerkt zu werden, dass man die Wirksamkeit eines Flaschenzuges durch die Verbindung mit einem dritten und zwar einem einscheibigen Blocke leicht verdoppeln kann, und dabei noch den Vortheil erreicht, dass man weniger Tauwerk braucht. Diese Verbindung, welche auf den Seeschiffen sehr häufig vorkommt, und der Mantel

genannt wird, ist Fig. 22 dargestellt. Sie bedarf keiner näheren Beschreibung, und man überzeugt sich leicht, dass das Verhältniss zwischen Zug und Last sich so herausstellt, als wenn man einen Flaschenzug angewendet hätte, bei dem die Anzahl der Scheiben noch einmal so gross wäre.

Ein sehr brauchbares und leicht darzustellendes Hebezeug bildet der Ladebaum, man versteht darunter einen schräge gestellten Baum, der am obern Ende einen Flaschenzug trägt. Wird derselbe von einem andern senkrecht eingegrabenen und gehörig befestigten Baume gehalten, so lässt er sich mit der daran hängenden Last leicht im Kreise bewegen, und wenn man ihn dabei noch an den letzten Baum heranziehen, oder ihn von demselben weiter entfernen kann, so wird es möglich, die gehobene Last über jeden beliebigen Punkt der vom Ladebaum umfassten Fläche zu bringen, und sonach kann man damit Steine sehr genau in das für sie bestimmte Lager versetzen. Fig. 23 Taf. XXIII. zeigt einen solchen Ladebaum, wie er theils auf Baustellen zu dem in Rede stehenden Zwecke errichtet wird, und wie man ihn andererseits auch zum Verladen von Gütern als Krahn benutzt. Nothwendig ist es, dass man für die gehörige Befestigung des senkrechten Baumes sorgt. Dieses geschieht entweder mittelst Kopftauen, die in der dem Ladebaum entgegengesetzten Richtung angebracht sein müssen, oder auch durch schräge Latten, wie dieses in der Figur angenommen ist: letztere haben noch den Vorzug, dass sie nicht nur dem Zuge, sondern innerhalb gewisser Grenzen auch dem Drucke widerstehen, und sonach darf der Ladebaum einen grössern Bogen in diesem Falle beschreiben, als wenn man Kopftaue angewendet hätte. Der Ladebaum ist durch ein Charnier mit einem senkrechten Zapfen verbunden: er dreht sich also horizontal um den letzteren, und zugleich lässt sich sein oberes Ende dem festen Baume beliebig nähern: ein Flaschenzug dient zu dem letzten Zwecke und an einem zweiten wird die Last gehoben und gesenkt.

Beim Bau des Leuchthurmes zu Bell-Rock wurde ein Ladebaum benutzt, der im Gebrauche zwar bequem war, aber dafür auch viel complicirter ist: Fig. 24 stellt denselben dar. Der senkrechte Baum war nicht mehr in den Boden eingegraben, sondern er liess sich drehen und bildete selbst die Drehungsaxe. Er war

zu diesem Zwecke oben und unten mit Zapfen versehen, und der erste von diesen wurde von einer eisernen Scheibe als Halsband umfasst, die selbst durch drei Kopftäue in ihrer Stelle gehalten wurde. So war es möglich, dass die an dem Ladebaum hängende Last an jede beliebige Seite der Axe gebracht werden konnte. An der Axe waren zwei Windevorrichtungen, aus Rad und Getriebe bestehend, angebracht: die eine davon diente zum Heben und Senken der Last, und die andere dazu, die letzte der verticalen Axe zu nähern oder zu entfernen. Um diese beiden Theile deutlicher darzustellen, ist die Figur so gezeichnet, dass die erste Winde eine Kette und die letzte ein Tau anzieht; in der Wirklichkeit wurden 2 Ketten benutzt. Die Kette, welche die Last hebt, geht über eine Scheibe am obern Ende des Ladebaumes: hätte man sie von hier unmittelbar über die Scheibe geführt, die an der Axe und zwar in gleicher Entfernung angebracht ist, so würde der Ladebaum jedesmal von selbst gegen die Axe schlagen, sobald er unter einem Winkel von weniger als 60 Graden gegen das Loth geneigt gewesen wäre, und dieser Umstand würde den Gebrauch der Maschine nicht nur sehr beschränken, sondern auch gefährlich machen. Dieses ist der Grund, weshalb man die Kette noch über eine lose Scheibe geführt hat, die beliebig höher oder niedriger gestellt werden kann. Bei einer gewissen Stellung der letzten Scheibe, welche vom Einziehen der betreffenden Kette abhängt, wird es möglich, den Ladebaum steiler oder flacher zu stellen, ohne dass die daran hängende Last sich merklich hebt oder senkt, und sonach erfolgt die gewünschte horizontale Bewegung der Last nach der Axe hin ohne bedeutende Kraftanstrengung.

Der zweibeinige Bock wird sehr häufig zum Heben von Lasten benutzt, und nicht selten bedient man sich seiner auch zum Versetzen der Werkstücke: besonders geschieht dieses in Frankreich. Indem die zwei Bäume mit einander gehörig verbunden sind, so lässt sich die Windevorrichtung daran gehörig befestigen, und diese besteht häufig nur in einer einfachen horizontalen Welle, welche durch eingesteckte Hebel gedreht wird, wie Fig. 25 zeigt. Die Hebel dienen dabei zugleich als Sperrhaken, indem man sie gegen den Riegel lehnt, der sich oberhalb der Winde befindet. Die Scheibe, um welche das Tau geführt wird, ist zwischen den beiden Bäumen, wo dieselben zusammenstossen, eingelassen.

Andrerseits aber hat man hierbei auch das Rad mit Getriebe angewendet, welches letztere durch Kurbeln an beiden Seiten bewegt wird, wobei auch ein Sperrrad mit Haken angebracht zu sein pflegt. Die untern Enden der Bäume, welche den Fuss des Bockes bilden, sind mit eisernen Spitzen versehen, damit sie bei einem schrägen Stande nicht gleiten, und gewöhnlich stellt man sie auf eine untergelegte Schwelle, um das Einsinken in den Boden zu verhindern. Der Bock muss ausserdem noch eine Unterstüzung erhalten, weil er sonst in der Richtung, welche die Schwelle senkrecht trifft, umfallen würde. Dieses kann wieder ein einfacher Baum sein, wodurch der Apparat sich in einen dreibeinigen Bock verwandelt; man kann auch zwei zweibeinige Böcke gegen einander stellen, was z. B. Régemortes that, wobei sich beide Windevorrichtungen gleichzeitig benutzen lassen und dadurch das Versetzen der Steine beschleunigt wird. Wählt man aber zur Unterstüzung des Bockes das Kopftau, wie Fig. 25, *a* in der Seitenansicht zeigt, so erreicht man den Vortheil, dass man durch Anziehen und Nachlassen dieses Taus die gehobene Last der Schwelle nähern oder davon entfernen kann. Es ist dabei aber die Vorsicht zu beachten, dass man den Bock nicht nahe senkrecht stellen darf, weil sonst die Gefahr eintritt, dass er rückwärts umschlagen möchte, und deshalb ist es rätlich, ihn mit zwei Kopftauen zu versehen, von denen das eine nach vorn und das andere nach hinten geführt ist. Endlich ist hier noch zu erwähnen, dass man in neuerer Zeit zuweilen statt der Schwelle auch einen einfachen Strang einer Eisenbahn anbringt, und in diesem Falle die Füsse der Bäume mit gusseisernen Rollen versieht, die auf dieser Bahn stehen. Alsdann kann man den Bock leichter verstellen und die gehobene Last nicht nur vor- und rückwärts, sondern innerhalb gewisser Grenzen auch seitwärts bewegen.

Besonders häufig werden ebensowohl zum Versetzen der Werkstücke, wie auch beim sonstigen Heben von Lasten die eigentlichen Krähne benutzt. Um eine lothrechte Axe lässt sich der Ausleger drehen, an dessen äusserem Ende die Last hängt. Letztere wird bei der Bewegung des Auslegers weder gehoben noch gesenkt, und sonach erfolgt diese Bewegung, ohne dass eine grosse Kraft dazu erforderlich wäre. Die Last rückt dabei nur in einer Kreislinie fort, und sie lässt sich daher keineswegs

an jede beliebige Stelle bringen, was beim Versetzen von Werkstücken immer sehr wünschenswerth ist. Einen sehr einfachen Krähn oder Ladebaum, wie er sich auf jeder Baustelle leicht einrichten lässt, und wie ich ihn in England mehrmals und selbst zum Heben grosser Steinblöcke benutzen sah, zeigt Fig. 52 Taf. XXVII. Ein Baum, der die verticale Drehungsaxe bildet, ist in den Boden eingegraben und wird rückwärts und nach einer Seite durch 2 Kopftaue gehalten: unten trägt er einen aufwärts gekehrten starken Haken, der eine Oese am untern Ende des Ladebaumes oder des Auslegers trägt. Der Ausleger ist oben mit einem Schlitze versehen, worin eine Scheibe läuft, und darüber wird er durch ein Tau oder auch wohl eine Eisenstange gegen den verticalen Baum gehalten. An letzterem befindet sich unten die zweite Scheibe; von dieser würde das Tau bei jedem Zurückdrehen des Auslegers herabfallen, wenn nicht an einer Seite ein starker Klotz als Backe davor genagelt wäre. Diese Sicherung findet aber nur auf einer Seite statt, und daher darf auch nur in dieser Richtung die Drehung des Auslegers erfolgen. Die beschriebene Einrichtung ist gewiss sehr mangelhaft, aber sie empfiehlt sich durch ihre Wohlfeilheit, sowie auch durch die Leichtigkeit, womit der Apparat sich aufstellen lässt. Das Tau wird endlich durch die gewöhnliche eiserne Winde angezogen, und in Ermangelung derselben könnte man sich sehr bequem auch der hölzernen Erdwinde bedienen.

Fig. 53 zeigt einen sehr brauchbaren und kräftigen Krähn, der häufig vorkommt: seine Aufstellung erfordert aber ganz besondere Einrichtungen, indem der untere Theil der Wendesäule in der Kaimauer eingelassen und in einer Pfanne aufstehen muss; ausserdem wird dieselbe Säule in ihrer Mitte durch ein gut schliessendes Halsband umfasst, und eine sehr kräftige Unterstützung erhält der Krähn noch durch das gusseiserne Rad, welches sich beim Schwingen der gehobenen Last auf einer horizontalen kreisförmigen, in der Deckschicht eingelassenen Eisenbahn bewegt. Gewöhnlich befindet sich am hintern Ende dieses Krähns die Winde nebst Rad und Getriebe, von denen das Letztere mittelst zwei Kurbeln gedreht wird. In Sunderland hatte man jedoch behufs des Löschens der Werkstücke die Einrichtung getroffen, dass sich auch die Kraft der daneben stehenden Dampfmaschine

zum Betriebe dieses Krahn's anwenden liess; zu diesem Zwecke führte man die Kette unter der letzten verticalen Leitrolle zwischen den beiden horizontalen Leitscheiben (Fig. c) hindurch: diese befinden sich grade in der Drehungsaxe des Krahn's, und so lässt sich die gehobene Last seitwärts bewegen, ohne dass sie dabei merklich gehoben oder gesenkt würde.

Man hat bei den Krahn'en vielfach noch die Abänderung getroffen, dass der Aufhängepunkt oder die Scheibe nicht unveränderlich fest am Ausleger angebracht ist, sondern sich gleichfalls verstellen lässt. Auf solche Art ist man ebenso, wie bei den Ladebäumen (Fig. 23 und 24), auch mittelst des Krahn'es im Stande, innerhalb der durch den Ausleger umfassten Fläche jeden einzelnen Punkt zu treffen. Einige dieser Vorrichtungen, die namentlich beim Versetzen von Werkstücken benutzt sind, sollen hier noch beschrieben werden.

Fig. 26 zeigt den transportablen Krahn mit zwei Auslegern, dessen sich Telford beim Bau des Hafendamms zu Aberdeen bediente.*) Die Zusammensetzung desselben ergibt sich aus den Figuren; *a* ist die Ansicht von vorn, *b* von der Seite und *c* von oben. Er ruht auf vier kleinen Rädern, die theils unter der vordern und theils unter der hintern Schwelle angebracht sind, und welche auf hölzernen Unterlagen sich bewegen, so dass der Krahn weiter geschoben werden kann. Gleichzeitig sind an jeder Seite Eisenbahnen angebracht, die jedem von den beiden Auslegern die Werkstücke zuführen, womit der Hafendamm verkleidet wurde. Im Innern bestand der Damm aus rohen Steinen, welche von den Schiffen aus aufgebracht wurden. Senkrecht stehende Ständer sind bei diesem Krahn'e mit den Auslegern verbunden, und an denselben befindet sich das Rad nebst Getriebe und der ganzen Windevorrichtung, womit die Steine von dem Eisenbahnwagen gehoben und auf der passenden Stelle herabgelassen werden. Die Windevorrichtung nebst der Kette ist, um die einzelnen Theile deutlicher zu zeigen, nur an dem einen Ausleger dargestellt. Dabei muss aber noch besonders auf die Befestigung der Scheibe am Ausleger aufmerksam gemacht werden: Telford beschreibt dieselbe

*) *Life of Telford*, p. 131.

nicht näher, doch ergibt sie sich ziemlich klar aus den Zeichnungen. Diese Scheibe läuft nämlich nicht in Pfannen, die unmittelbar am Ausleger befestigt sind, vielmehr sind dieselben an einer gusseisernen Platte angebracht, welche mittelst zweier Rollen sich auf der geneigten Oberfläche des Auslegers leicht bewegen und die daher ohne sonstige Unterstützung von selbst nach der verticalen Drehungsaxe hinrollen würden. Um dieses zu verhindern, und um die Scheiben nach dem jedesmaligen Erfordernisse an eine bestimmte Stelle zu bringen, dient eine zweite feste Rolle am Ende des Auslegers; um die letzte ist nämlich ein Tau geschlungen, welches die erwähnte gusseiserne Platte nebst der ersten Scheibe hält, und das andere Ende des Taus ist herabgezogen, so dass man es am Fusse der Drehungsaxe befestigen und willkürlich anziehen oder nachlassen kann. Endlich ist noch die Belastung des hintern Theiles des Krahnens zu erwähnen, wodurch ein Umfallen desselben, wenn grade schwere Steine im Ausleger hängen, verhindert wird. Bei diesem Bau wurden Steine, die 100 bis 600 Centner wogen, versetzt, doch scheint es nach der Beschreibung, dass die allerschwersten derselben von Fahrzeugen aus und nicht durch die beschriebene Maschine gehoben wurden.

Auf eine eigenthümliche Art hat Telford noch beim Bau der Schleusen am Caledonischen Kanal eine Veränderung des Aufhängepunktes der Last unter dem Ausleger des Krahnens dargestellt. Fig. 27 auf Taf. XXIV. zeigt diese Anordnung: der Krahn besteht dabei nur aus einem Ausleger, und die Drehsäule desselben, die etwa 45 Fuss hoch ist, wird in ihrer senkrechten Stellung durch Kopftaue gehalten. Am Ausleger ist ausser der Rolle, worüber das Haupttau gezogen ist, in der Nähe der Drehsäule noch ein Flaschenzug befestigt, und jenachdem man das erste Tau oder die durch den Flaschenzug geschorne Leine mehr anzieht, so entfernt oder nähert sich der gehobene Stein auch der Drehungsaxe. Hiermit hängt eine Anordnung zusammen, die man nicht sowohl beim Versetzen von Werkstücken, als vielmehr beim Aufstellen von hölzernen Brücken, Lehrbogen und dergl. zu benutzen pflegt. Sie besteht darin, dass einzelne Bäume senkrecht aufgestellt sind und durch Kopftaue gehalten werden. An ihren obern Enden sind Flaschenzüge befestigt, die gemeinschaftlich das zu hebende Verbandstück fassen, und sonach Gelegenheit geben,

letzteres an einer willkürlichen Stelle zwischen den Aufhängepunkten schwebend zu erhalten.

Durch die meisten der beschriebenen Hebezeuge kann man das zu versetzende Werkstück in einer Kreislinie horizontal bewegen, und indem mehrfach noch die Anordnung dabei getroffen ist, den Aufhängepunkt gegen die Drehungsaxe des Auslegers zu nähern, oder davon zu entfernen, so lässt sich die Last auch genau an diejenige Stelle bringen, wo man sie herablassen will. Diese Bewegung nach der Drehungsaxe erfolgt indessen gemeinhin nicht horizontal, sondern schräge aufwärts oder abwärts, und es ist sonach zu ihrer Darstellung ein grösserer Kraftaufwand erforderlich, als wenn die Höhe des Schwerpunktes unverändert bliebe. Durch besondere Anordnung des Krahn lässt sich dieses freilich vermeiden, indem man entweder dem Ausleger eine horizontale Bahn giebt, worauf der Aufhängepunkt sich verstellen lässt, ohne dass das Tau, woran die Last hängt, sich dabei verlängert oder verkürzt. Dieses lässt sich am leichtesten erreichen, wenn man die ganze Windevorrichtung unmittelbar auf die Bahn des Auslegers stellt. Andererseits gelangt man zu demselben Ziele, wenn man einen zweiten Ausleger am Ende des ersten befestigt, der sich gleichfalls um eine verticale Axe dreht. Dieses kommt in der That bei manchen Vorrichtungen in den mechanischen Werkstätten vor. Bei den eigentlichen Krahn sind diese beiden Anordnungen nicht üblich, und sie verbieten sich in der That auch dadurch, dass sie einen zu starken Seitendruck veranlassen würden, dem man nur durch besonders kräftige Absteifungen zur Verhinderung der Neigung der verticalen Drehungsaxen begegnen könnte. Dieser Seitendruck verschwindet aber ganz, wenn man eine steife horizontale Bahn anwendet, die an beiden Enden unterstützt ist und worauf sich die Windevorrichtung leicht hin- und herbewegen lässt. Auf solche Art ist es möglich, die gehobene Last in einer Richtung horizontal zu bewegen: wird nun aber die ganze Bahn wieder als Wagen aufgestellt und mit Rädern versehen, so dass sie sich auf einer zweiten Bahn bewegen lässt, deren Richtung die der ersten kreuzt, so kann man den Aufhängepunkt willkürlich an jede dazwischen liegende Stelle bringen, und das gehobene Werkstück ist über alle Punkte der ganzen Fläche innerhalb der ersten Bahn horizontal zu bewegen. Diese

Bewegung erfolgt, sobald eine Kraft wirksam ist, welche nur die Reibung überwindet, die bei Anwendung von Eisenbahnen sehr geringe bleibt. Man erreicht dabei aber noch den zweiten Vortheil, dass man immer nur für senkrechte Unterstützungen zu sorgen hat, indem gar kein schräger Zug vorkommt. Ein solcher Apparat ist allerdings ziemlich kostbar, wenn er indessen längere Zeit hindurch benutzt wird, so kommt es weniger auf die Kosten der ersten Anlage, als auf die der Arbeit selbst an, und letztere schreitet schneller vor und kann mit grösserer Sorgfalt dargestellt werden. Man findet gegenwärtig Anordnungen dieser Art bei Schleusen- und Brückenbauten und selbst bei grossen Landbauten in England sehr häufig angewendet, auch in Deutschland ist bereits mehrfach dieselbe Vorrichtung benutzt worden. So wurden die Werkstücke beim Bau der Brücken zu Besigheim über die Enz, bei Canstadt über den Neckar *) auf solche Weise versetzt, und dasselbe geschah vor einigen Jahren auch bei der Schleuse bei Mannheim. Beim Cölner Dombau wird diese Vorrichtung gleichfalls benutzt.

In Fig. 28 auf Taf. XXIV. ist ein Hebezeug der erwähnten Art dargestellt: *a* zeigt die Seitenansicht desselben, *b* die Ansicht von vorn, *c* von hinten und *d* den Grundriss. Die Figuren *b* und *c* enthalten der grössern Deutlichkeit wegen jedesmal nur die zunächstliegende Maschine, nämlich *b* die Maschine zum Fortbewegen des Wagens und *c* diejenige zum Heben und Herablassen des Steines. Eine specielle Beschreibung ist überflüssig, da dieselbe sich aus der Zeichnung ergibt, es muss indessen noch von manchen Verschiedenheiten der Construction die Rede sein, die hierbei vorkommen. Zunächst entsteht die Frage, ob man die untere Bahn, worauf die obere sich bewegt, in der Höhe des Bodens oder der Sohle der Baugrube, oder aber so hoch anlegen soll, dass sie gleich das ganze auszuführende Mauerwerk überragt. Im letzten Falle wird der Unterbau kostbarer, man vermeidet aber die hohen beweglichen Rüstungen, welche man sonst anbringen muss, um die obere Bahn zu tragen. Wenn man gezwungen ist, Rüstpfähle anzuwenden, so möchte es wohl vortheilhaft sein, dieselben gleich auf die ganze Höhe heraufreichen zu lassen, aber

*) Förster's Allgemeine Bauzeitung 1839.

auch wenn dieses nicht der Fall ist, so ist es noch immer nützlich, die feste Bahn recht hoch herauf zu bringen, denn dadurch vermindert sich die zu bewegende Masse der zweiten Bahn. Im entgegengesetzten Falle muss man stark verstreute Bücke anwenden, wie solche im Folgenden beschrieben werden sollen.

Demnächst muss man sich entscheiden, ob die obere Bahn, die beweglich ist, mit vollständigen Laufbrücken zur Seite versehen werden soll, damit die Arbeiter dem Wagen, der die Windvorrichtung trägt, überall folgen können. Dieses ist wohl die gewöhnliche Anordnung, sie vermehrt indessen gleichzeitig die zu bewegende Masse in hohem Grade, denn es genügen alsdann nicht mehr die beiden Balken, welche die Bahn bilden, vielmehr müssen zu deren Seiten noch zwei solche gelegt und darüber ein vollständiger Bohlenbelag, vielleicht sogar mit einem Seitengeländer, angebracht werden. Das Gewicht der obern Bahn kann sich dadurch leicht verdoppeln, und sonach scheint die andere Methode vortheilhafter, die auch häufig vorkommt und die hier in der Zeichnung gewählt ist; die Laufbrücke ist nämlich auf dem Wagen selbst angebracht, und die Arbeiter, welche die Windvorrichtung in Bewegung setzen, stehen zugleich auf diesem und rücken gemeinschaftlich mit ihm fort. Werden dieselben inzwischen an einer andern Stelle gebraucht, so können sie, falls der Wagen sehr hoch ist, auf angelehnten Leitern herabsteigen.

Wenn die obere Bahn nur auf eine geringe Länge, also etwa auf 24 Fuss frei liegt, so genügen einfache Balken, die keiner besondern Verstärkung bedürfen: wird diese Länge aber grösser, oder haben die Werkstücke, die man versetzen will, sehr bedeutende Dimensionen, so muss das Durchbiegen der Balken der obern Bahn verhindert werden. Die gewöhnlichste Methode ist hierbei diese, dass man die Balken durch eine eiserne Kette unterstützt: in der Figur ist nur eine Stütze und zwar aus Schmiedeeisen dargestellt. In England hat man gewöhnlich deren zwei, und zwar aus Gusseisen, wodurch die Höhe dieser Armirung sich vermindert und sonach wieder die ganze Bahn weniger hoch liegen darf. Durch diese Vorkehrungen wird indessen das Ausbiegen der Balken nach der Seite noch immer nicht verhindert, es dienen dazu vielmehr die in der Figur angegebenen horizontalen Streben, die jedoch in England gewöhnlich nicht vorkommen.

Mit Rücksicht auf diesen Mangel an Steifigkeit der Bahn dürfen keine Räder mit einfachen Spurkränzen benutzt werden, wie dieses bei den Eisenbahnwagen der Fall ist, denn die konische Form der Radfelge würde noch dazu beitragen, die Schienen auseinander zu drängen; es erhalten daher die Räder hierbei jedesmal doppelte Spurkränze, oder sie werden mit vertieften Rillen versehen, so dass sie die Schienen umfassen und selbige in dem gehörigen Abstände von einander halten. Das Verstellen des Wagens, wie der obern Bahn erfolgt dadurch, dass ein Getriebe durch ein oder zwei Kurbeln gedreht wird und die Bewegung einem Stirnrade an der Axe der Räder mittheilt. Am vortheilhaftesten ist es, wenn dieses gezahnte Rad unmittelbar neben dem Wagenrade liegt, oder mit demselben aus einem Stücke besteht, wie dieses die Figur in Bezug auf die Räder der obern Bahn zeigt. Am Wagen selbst ist eine andere Einrichtung gewählt worden, um die Construction des hölzernen Bockes zu vereinfachen. In England sieht man jedoch auf diesen Wagen nur eiserne Rüstungen mit verticalen Seitenwänden, wodurch die Veranlassung fortfällt, das gezahnte Rad nach der Mitte der Axe zu verlegen. Endlich wäre noch zu erwähnen, dass man in England gewöhnlich alle vier Räder, worauf die obere Bahn ruht, mit gezahnten Rädern und Kurbeln versieht, und dass häufig auch hier leichte Brücken an der obern Bahn hängen, worauf die Arbeiter stehen, welche die letztern bewegen: so dass keine festen Brücken in der ganzen Länge der untern Bahn erforderlich sind.

Diese ganze Vorrichtung lässt sich dadurch bedeutend vereinfachen, dass man die Hebezeuge zum Heben der Werkstücke von dem Wagen entfernt und sie an die Enden der obern Bahn verlegt: alsdann dürfen die Arbeiter nur neben der untern Bahn bleiben, und der Wagen und die obere Bahn werden um Vieles erleichtert. Fig. 54 auf Taf. XXVII. zeigt eine solche Anordnung, die man nicht nur bei Bau-Ausführungen, sondern auch zu andern Zwecken benutzt: die hier dargestellte dient in Sunderland zum Aufstapeln des starken Schiffsbauholzes. Die untere Bahn liegt auf ebener Erde: die obere dagegen ruht auf einem hohen Bocke, der von vier Rädern getragen wird, von denen zwei mittelst angegossner gezahnter Räder und Getriebe bewegt werden. Ausserdem ist an jeder Seite eine Windevorrichtung angebracht, mittelst

deren nicht nur die Last gehoben, sondern auch der Wagen verstellt wird. Der Wagen besteht, wie Fig. 54, c in grösserem Maassstabe zeigt, nur aus zwei mit einander verbundenen Axen, worauf vier kleine Räder, die den Wagen tragen, fest aufgesteckt sind. Letztere drehen sich, wie bei den Eisenbahnwagen, gemeinschaftlich mit den Axen, und in der Mitte jeder Axe befindet sich noch eine Scheibe, die sich frei dreht. Ich habe letztere etwas grösser als die Räder gezeichnet, damit sie sich in der Figur gehörig von diesen unterscheiden. Von jeder Winde geht eine Kette zunächst über eine Leitrolle am Ende der obern Bahn nach der nächsten Mittelscheibe auf dem Wagen und von hier nach der zu hebenden Last. Es ist klar, dass, wenn beide Winden gleichmässig gedreht werden, die Last nur gehoben oder gesenkt wird, ohne dass der Wagen seine Stelle ändert: wenn dagegen die beiden Winden mit gleicher Geschwindigkeit, aber in entgegengesetzter Richtung gedreht werden, so wird die Last weder gehoben noch gesenkt, dagegen bewegt sich der Wagen nach derjenigen Seite, wo sich die Kette verkürzt. Wenn ferner die eine Winde feststeht und nur die andere angezogen wird, so bewegt sich die Last unter einem Winkel von 45 Graden aufwärts, und sonach kann man sie durch die passende Drehung der Kurbeln willkürlich heben und senken oder rechts und links bewegen.

Figur 55 zeigt den etwas mehr zusammengesetzten Wagen eines ähnlichen Hebezeuges, wobei die Last an einem zweiseitigen Blocke hängt. Es bedarf diese Figur keiner weitern Erklärung und es muss nur bemerkt werden, dass der Deutlichkeit wegen nicht zwei Ketten, sondern eine Kette und ein Tau gezeichnet sind, während man wirklich zwei Ketten anzuwenden pflegt. Dieser Wagen wurde beim Versetzen der Werkstücke des Viaducts in der London-Greenwich Eisenbahn benutzt, die Rüstung oder der bewegliche Bock hatte hier eine Höhe und Länge von 33 Fuss.

Endlich muss über die eigentliche Windvorrichtung noch Einiges erwähnt werden, was sich ebensowohl auf die letzte Anordnung, wie auf mehrere der beschriebenen Hebezeuge bezieht. Wenn die Bewegung, wie gewöhnlich, durch Kurbeln geschieht, so können deren zwei an derselben Axe angebracht werden, und indem an jeder zwei Mann bequem anzustellen sind, so ist die

grösste Betriebskraft, über welche man disponiren kann, vier Menschenkräften gleich. Das Verhältniss zwischen dem Rade und Getriebe muss man mit Rücksicht auf den Durchmesser der Winde so wählen, dass die Last noch sicher und ohne übermässige Anstrengung gehoben werden kann. Zuweilen ist jedoch die Last so gross, dass man sich gezwungen sieht, noch ein zweites Getriebe nebst zugehörigem Rade als Vorgelege zu benutzen, und wenn zu Zeiten auch kleinere Lasten mit derselben Maschine gehoben werden müssen, so ist es vortheilhaft, eine Auslösung anzubringen, so dass beliebig das zweite Getriebe ausser Thätigkeit gesetzt werden kann und das Getriebe an der Kurbelaxe unmittelbar in das Rad an der Winde eingreift.

Die Winde darf bei einem starken Hebetau oder einer starken Kette nicht einen zu kleinen Durchmesser erhalten, weil dadurch, abgesehen von ihrer geringern Festigkeit, auch eine starke Abnutzung des Taus und eine merkliche Reibung in den Kettengliedern veranlasst würde. Demnächst ist es aber auch vortheilhaft, durch eine schraubenförmig gewundene Rinne in der Winde dem Tau oder der Kette die Stelle vorzuzeichnen, wo sie sich auflegen sollen: man vermeidet dadurch eine mögliche Unordnung und Unregelmässigkeit in der Belastung des Rades. Das Tau nutzt sich aber vorzugsweise dadurch ab, wenn es sich in starker Spannung gegen die bereits liegenden Windungen reibt. Die erwähnte Rinne verhindert dieses, und wenn sie im Holze oder Gusseisen mit glatten Wänden ausgearbeitet ist, so verschwindet die Abnutzung in dieser Beziehung beinahe gänzlich. Bei der Anwendung von Ketten besteht die Winde aus einer gusseisernen Trommel, und die Rinne ist so breit und tief eingeschnitten, dass die einzelnen Kettenglieder sich darin auf die hohe Kante einschieben können. Alsdann legt sich ein Glied um das andere flach auf die Trommel und die dazwischen befindlichen stellen sich in die Rinne. Dadurch erfolgt das Aufwinden der Kette sehr sanft und ohne ein späteres Kanten und Ziehen der Glieder, was immer mit heftigen Stössen verbunden ist. Zur Erreichung dieser Vortheile gehört indessen noch, dass die Kette nicht nur aus gleichen, sondern auch aus gut schliessenden Gliedern bestehen muss.

An der Winde selbst oder an der Kurbelaxe muss ferner ein Sperrrad nebst Haken angebracht sein, um die Last schwebend

erhalten zu können. Zum Herablassen der Last, und namentlich wenn dieses zu einer grössern Tiefe erfolgt, darf aber endlich auch die Bremsvorrichtung nicht fehlen. Am zweckmässigsten ist es, das Bremsrad, wie Fig. 28 *a*, *c* und *d* gezeichnet ist, unmittelbar an der Kurbelaxe anzubringen, in welchem Falle es beim Heben schon die Stelle eines Schwungrades vertritt. Die Bremsvorrichtung ist Fig. 28 *e* noch besonders dargestellt. Zwei hölzerne Futter (die in der Figur schraffirt sind) werden durch eine eiserne Schiene gegen die breite Fläche des Rades gepresst, und zwar geschieht dieses durch den Hebel, der in der ange-deuteten Stellung eben diese Pressung bewirkt. Wird derselbe aber in diejenige Stellung gebracht, welche die punktirte Linie angiebt, so entfernen sich gleichzeitig beide Futter von dem Rade, und dasselbe erfährt also keine Reibung mehr. Man muss durch Anbringung eines Gegengewichtes dafür sorgen, dass der Hebel sich von selbst in der letzten Stellung erhält: alsdann darf er nur, wenn gebremst werden soll, herabgedrückt werden.

Die Schienen, welche man zu den erwähnten Bahnen benutzt, haben gewöhnlich das in Fig. 56, Taf. XXVII. dargestellte Profil, ihre Höhe beträgt aber häufig kaum 2 Zoll. Mittelt derselben Schienen werden auch Eisenbahnen zum Anfahren der Baumaterialien dargestellt, wobei die Abzweigungen und Ausweichungen wieder nur aus Stücken eben dieser Schienen bestehn. Fig. 57 zeigt eine Anordnung dieser Art, die ich bei Liverpool sah. Die beiden innern Schienen im Anfange der Abzweigung waren jede nur mit einem Nagel befestigt, und liessen sich daher, so oft der Strang, zu dem sie gehörten, benutzt werden sollte, einstellen, wobei sie noch gegen zwei andere Nägel gelehnt waren. Die innere Schiene des andern Geleises lag dagegen während dieser Zeit auf dem äussern Strange.

§. 53.

Trockne Mauern.

Die Cohäsion des Mörtels ist nach der obigen Auseinandersetzung kein wesentliches Erforderniss zur Festigkeit der Mauern. Wenn man die gehörigen Dimensionen wählt, für einen guten Verband sorgt und es vermeidet, dass die Steine hohl liegen, so

wird die ohne Mörtel ausgeführte oder die trockne Mauer nicht nur mit Sicherheit sich selbst tragen, sondern auch dem Drucke einer seitwärts dagegen geschütteten Erdmasse den nöthigen Widerstand leisten. Auf diese Art lassen sich häufig die Kosten ansehnlich ermässigen, und namentlich geschieht dieses in Gebirgsgegenden bei Strassen- und zum Theil auch bei Strombauten, wenn ein brauchbares Steinmaterial in der Nähe gebrochen wird.

Was die Dimensionen und überhaupt die Profilirung dieser Mauern betrifft, so darf man nicht übersehen, dass die einzelnen Steine weniger sicher gelagert sind, als im gewöhnlichen Mauerwerke, woher eine schräge abwärts gerichtete Bruchfuge sich hier viel leichter bilden kann. Dieser Uebelstand lässt sich indessen beseitigen, wenn man der Mauer eine grössere Stärke giebt, daher ist es nicht ungewöhnlich, dass man bei trocknen Futtermauern die mittlere Stärke ihrer halben Höhe gleich macht, und Sganzin rath sogar, sie gleich zwei Dritteln der Höhe anzunehmen. Auch dürfen die oben erwähnten Rücksichten nicht unbeachtet bleiben, dass nämlich der Boden, worauf die Mauer steht, horizontal oder wohl gar mit einer Neigung nach hinten geebnet, und dass die Hinterfüllungserde keineswegs auf eine nach der Mauer abfallende schräge Fläche gebracht werden darf, sondern der Boden auch hier mit stufenförmigen Einschnitten vorher zu versehen ist. Zuweilen trifft es sich, dass man zur Hinterfüllung keine lose Erde, sondern ein lagerhaftes Steinmaterial benutzt, und ein solches lässt sich so aufbringen, dass es gar keinen, oder doch nur einen sehr geringen Seitendruck ausübt. Dazu gehört aber, dass zuerst die horizontalen Einschnitte im Boden dargestellt werden, und demnächst auch das Material immer in horizontal abgeglichenen Schichten aufgeschüttet wird. Die Fälle dieser Art sind bei Strassenbauten im Thonschiefer-Gebirge nicht selten, und alsdann kann man den eigentlichen Futtermauern ohne Nachtheil sehr geringe Dimensionen geben: es geschieht sogar, dass sie nur den sechsten Theil der Höhe zur mittlern Stärke erhalten, aber eigentlich bildet dabei die ganze Hinterfüllung eine Art von Futtermauer, die nur mit viel geringerer Sorgfalt ausgeführt ist.

Bei dem gewöhnlichen Mauerwerke sprachen manche Gründe dagegen, die äussere Fläche geneigt aufzuführen, und namentlich

erschien es nachtheilig, die Lagerfugen nach aussen schräge ansteigen zu lassen, weil der Mörtel durch das eindringende Wasser leiden könnte. Hier sind alle Fugen mehr oder weniger geöffnet, und nirgends verschliessen sie dem Wasser den Durchgang, es ist also kein Grund vorhanden, dasselbe abhalten zu wollen und man giebt sonach gewöhnlich der trocknen Mauer eine starke Neigung nach aussen. Es wird dadurch, wenn nicht etwa Wellenschlag dagegen trifft, sogar der Vortheil erreicht, dass sich um so schneller eine Vegetation in den Fugen bildet, welche die Stabilität der Mauer vermehrt, indem durch die Wurzeln die Fugen gefüllt werden.

Für einen guten Verband muss, wie bereits erwähnt worden, in den trocknen Mauern jedenfalls gesorgt werden, und dazu gehört, dass regelmässige Schichten sich durch die ganze Stärke der Mauer hindurch ziehn, und die Stossfugen gehörig abwechseln. Dabei kommt es wenig darauf an, ob die innere Fläche ganz eben ansteigt, oder ob die einzelnen Steine daraus mehr oder weniger vortreten. Ganz unstatthaft ist das Verfahren, welches man sich hierbei zuweilen erlaubt, nämlich eine Art Verblendung mit brauchbaren Steinen an der äussern und der innern Fläche anzubringen, während der Zwischenraum oder der eigentliche Kern der Mauer nur aus Steinschrot gebildet wird. Wenn die Bauten in Entreprise ohne gehörige Aufsicht ausgeführt werden, so kommen solche fehlerhafte Constructionen wohl vor, und man erkennt sie an der fertigen Mauer nicht leicht, wenn nicht etwa die grosse Ebenheit der innern Fläche Verdacht erregt.

Wenn die Steine recht ebene Flächen haben und sehr fest sind, so kann man wenigstens für niedrige Mauern die Ausfüllung der Fugen und selbst die der Lagerfugen ganz umgehen; ist die Mauer aber stark geneigt, und steigen sonach die Lagerfugen nach aussen ziemlich steil an, so ist eine bindende Erde oder Sand und Kies zu diesem Zwecke brauchbar. Die Mauer bildet in diesem Falle schon den Uebergang zum Steinpflaster. Man muss indessen darauf achten, dass die Steine sich wirklich unmittelbar berühren, und das Bette nicht aus einer dicken Erde oder Kieslage besteht, denn eine solche kann leicht mit der Zeit herausgespült werden, und alsdann würden die Steine, denen die Unterstützung fehlt, herabsinken. Sehr häufig wendet man bei

trocknen Mauern zum Ausfüllen der Fugen das Moos an, und dieses gewährt in der That manche wesentliche Vortheile. Bei einer sorgfältigen Arbeit, und wenn es nicht in zu kleinen Quantitäten benutzt wird, lässt sich daraus auch bei unregelmässiger Form der Steine ein gutes Lager bilden, so dass der Druck sich ziemlich gleichmässig vertheilt. Ein Ausspülen durch Wasser findet hierbei aber gar nicht statt, vielmehr sammeln die erdigen Theilchen, welche das Wasser mit sich führt, sich in und neben dem Moose an, so dass die Fuge nach und nach sich mehr schliesst, wodurch das Moos ganz entbehrlich wird, namentlich wenn die Wurzeln von Pflanzen sich hereinziehen. Endlich aber ist zu bemerken, dass das Moos selbst da, wo es abwechselnd trocken und nass wird, sich mehrere Jahre hindurch unverändert erhält, besonders wenn die herbeigeführte Erde ein vollständiges Austrocknen desselben verhindert.

Für die Ableitung des Wassers darf man bei trocken Mauern gewöhnlich nicht sorgen, indem die sämmtlichen Fugen für diesen Zweck hinreichend geöffnet sind. Wo dagegen grössere Quellen sich vorfinden, da ist es nöthig, auch die passenden Oeffnungen darzustellen, und man thut sogar wohl, unter der Hinterfüllungserde förmliche überdeckte Kanäle, oder wenigstens Sickergräben zu bilden, in welche der Quell nach der Mauer fliessen kann, ohne durch die Erde dringen zu dürfen, die er sonst erweichen würde.

Als eine besondere Art von trocken Mauern muss noch das in Frankreich übliche sogenannte Perré erwähnt werden: dasselbe ist eigentlich nur ein sehr sorgfältig ausgeführtes Steinpflaster, was eine stark geneigte Erdoberfläche deckt. Diese Perrés sieht man namentlich als Fortsetzung von den Flügelmauern der Brücken an den Ufern der Flüsse und Kanäle angewendet, und oft bilden sie, indem ihre Neigung gleichmässig zunimmt, den Uebergang von der senkrechten Futtermauer bis zu der flachen Uferböschung, welche mit Rasen bedeckt ist. Dieses ist z. B. an den Brücken und Schleusen des Kanales St. Denis der Fall.

Die Stärke und sonstige Anordnung dieser Perrés ist nach den besondern Local-Umständen sehr verschieden. Fig. 29 zeigt das Profil eines solchen, wie es bei der Uferbefestigung oder der

sogenannten Hafenanlage an der Seine in Paris ohnfern des botanischen Gartens vor einigen Jahren zur Ausführung gebracht wurde. Auf den gehörig gestampften Boden wurde eine Reihe von ziemlich regelmässig bearbeiteten Steinen versetzt, gegen welche das Perré sich wie auf ein Fundament stützte. Die Hinterfüllung bestand nur aus einer stark bindenden Erde, die man in der Nähe der Ausmündung der unterirdischen Abzugsgräben oder Egouts entnommen hatte, und welche man mit der Benennung der salpetrigen Erde bezeichnete. Dieses war auch dasselbe Material das die Fugen füllte. Die Steine waren lagerhafte, an der äussern und an den Seitenflächen roh bearbeitete Kalksteine, die in regelmässigen Lagen jedoch nur als Läufer aufgebracht wurden. Ihre Breite oder die Stärke der Mauer betrug etwa 10 Zoll, und die Neigung der Mauern gegen den Horizont etwa 45 Grade. Die Fugen waren sämmtlich gegen die äussere Fläche normal gerichtet, und sobald einige Reihen Steine an einer Stelle versetzt waren, so schlug man sie von oben mit grossen hölzernen Hammern fest ein, und brachte besonders hierdurch die Ausgleichung der äussern Fläche hervor, indem ursprünglich die Steine so gesetzt waren, dass sie 1 bis 2 Zoll mit ihren Köpfen vor der Chablone vortraten. Diese Operation stimmt also sehr genau mit dem Einrammen der Pflastersteine überein, und dieses ist bei den Perrés auch nothwendig, da das Bette für die einzelnen Steine nicht mit aller Sorgfalt vorbereitet werden kann. Damit nämlich die Steine beim Versetzen nicht gleich rückwärts überstürzen, so muss die Hinterfüllung der Mauer, oder die Erdböschung, schon vorher dargestellt sein und immer etwas höher gehalten werden, als die Steinwand, wie Fig. 29 dieses zeigt. Der Arbeiter steht beim Legen eines Steines theils auf diesem Erdrücken, und zum Theil auf den eben versetzten Steinen; seine Stellung ist sonach höchst unbequem und wenn er einen Stein versetzt, so kann er nicht den Raum zwischen demselben und der dahinter liegenden Erdmasse vollständig ausfüllen; hierzu dient das spätere Eintreiben des Steines. Ich bemerke hierbei noch, dass der untere, mehr horizontale Theil des Pflasters, der sich an den Fuss dieses Perrés anschliesst, mit künstlichem Cemente in den Fugen verstrichen war, weil man bei hohen Anschwellungen der Seine hier eine Ausspülung befürchtete.

Fig. 30 *a* und *b* zeigt in der vordern Ansicht und im Profile das Perré, welches Perronet neben der Brücke zu Neuilly anlegte; dasselbe lehnt sich mit seinem Fusse gegen den Holm einer Pfahlwand, es besteht aber nicht nur aus der einfachen Lage von Pflastersteinen, die in geringen Abständen von einzelnen Ketten regelmässig bearbeiteter Werkstücke durchzogen sind, sondern diese ganze Decke ruht auf einer Hinterfüllung von Steinen. Es verdient noch bemerkt zu werden, dass man in vielen Fällen in Frankreich nicht sowohl auf die Bildung von regelmässigen Steinschichten in den Perrés sieht, als vielmehr nur darauf, dass die Steine möglichst schliessend versetzt werden. Gewöhnlich stehen sie auf einer Kiesschüttung, womit auch die Fugen gefüllt werden *).

Ich erwähne hierbei noch des Vorschlages, den Vallée in neuerer Zeit gemacht hat**), um denjenigen Perrés, welche die Ufer von grössern Wasserbassins decken sollen, mehr Festigkeit zu geben. Er macht nämlich darauf aufmerksam, dass die Perrés an Strömen, namentlich wenn sie von Zeit zu Zeit durch trübes Wasser bedeckt werden, sich recht gut halten und ihre Fugen gefüllt bleiben, die überdies sich mit einer leichten Vegetation zu überziehen pflegen; dass aber in den Speisebassins für Kanäle, wo in jedem Jahre sehr hohe und sehr niedrige Wasserstände wechseln, die überdies immer mehrere Monate hindurch anhalten, jede Vegetation zerstört wird. Der nachtheiligste Umstand ist hierbei aber der Wellenschlag, wobei nicht nur die Fugen ausgewaschen werden, sondern auch die Hinterfüllungserde, worauf die Steine ruhen, fortgespült wird. Es ist klar, dass hierdurch die Steindecke dicht über dem Wasserspiegel einsinken muss, dass sie aber dicht unter dem Wasserspiegel sich nach aussen ausbauchen sollte, wie Vallée angiebt, möchte man wohl bezweifeln. Der Vorschlag, der gemacht, aber von der obersten Baubehörde in Frankreich nicht allgemein gebilligt wurde, ging dahin, statt der Perrés kleine stark dossirte Futtermauern mit horizontalen Schichten und in Mörtel auszuführen, und dieselben, wie Fig. 31 zeigt, durch einzelne flache Schichten mit einander zu verbinden.

*) Girard, *devis général du Canal de l'Oureq*. Paris 1806. p. 82.

**) *Annales des ponts et chaussées*. 1833. I. p. 274.

§. 34.

Bohlwerke.

Die Bohlwerke oder hölzernen Uferschälungen kommen so häufig vor, wie kaum eine andere Art von Wasserbauwerken; nichts desto weniger werden sie gewöhnlich nur als Nothbehelfe angesehen, zu denen man seine Zuflucht genommen hat, weil die Kosten für massive Uferschälungen nicht gleich disponibel gestellt werden konnten. In vielen Fällen ist diese Ansicht auch gewiss die richtige, selbst wenn man nur von dem ökonomischen Gesichtspunkte aus den Gegenstand betrachtet, denn die Verzinsung und Amortisation der Bausumme nebst den jährlichen Reparaturen können sich beim Massivbau leicht wohlfeiler herausstellen, als beim Holzbau; in andern Fällen, wenn nämlich die Holzpreise niedrig und dagegen die der Maurer-Materialien sehr hoch sind, giebt der Vergleich das entgegengesetzte Resultat, und gewiss ist es unstatthaft anzunehmen, dass der Massivbau weder Reparaturen noch einen spätern Neubau erfordern sollte. Auf solche Art stellt sich der Holzbau, der in der ersten Anlage meist viel wohlfeiler ist, nicht so nachtheilig dar, und er rechtfertigt sich besonders, wenn eine grössere Wassertiefe und vielleicht eine starke Strömung vor der Uferschälung stattfindet, wodurch die Fundirung eines Massivbaues immer sehr erschwert wird und auch später einermassen gefährdet bleibt. Eben diese Umstände veranlassen es auch häufig, dass die Ausführung des Massivbaues einen besonders günstigen und längere Zeit hindurch anhaltenden niedrigen Wasserstand erfordert, ein solcher tritt aber gewöhnlich erst während des Spätsommers und des Herbstes ein, so dass der Bau vor dem Winter nicht zu vollenden ist und seine Dauer sich daher auf zwei Jahre ausdehnt. Ganz anders sind die Verhältnisse bei der Anlage von hölzernen Uferschälungen. Dieselben werden immer ohne Fangedämme und ohne Trockenlegung der Baugrube ausgeführt. Die Rammarbeiten, welche dabei am meisten zeitraubend sind, lassen sich schon beim gewöhnlichen Sommerwasser ausführen, und wenn bei einzelnen Arbeiten auch ein niedriger Wasserstand sehr wünschenswerth ist, so ist derselbe doch nicht grade dringend nöthig, und wenn er nicht eintritt, so vergrössern sich nur um etwas die Kosten der nächsten Reparatur.

Um nämlich nicht das ganze Bohlwerk einer baldigen Zerstörung auszusetzen, so ist es nothwendig, diejenigen Theile, welche einer abwechselnden Nässe und Trockenheit nicht entzogen werden können und die aus diesem Grunde keine lange Dauer erwarten lassen, ganz von denjenigen zu trennen, die immer unter dem Wasser bleiben, und die daher als eben so unvergänglich angesehen werden müssen, wie der Rost unter der Mauer. Diese letzten Theile, und namentlich die Spundwand, sind bei einer grossen Wassertiefe vor dem Ufer besonders kostbar in ihrer Anlage, indem sie aber keineswegs mit den Bohlen und Bohlwerkspfählen zugleich immer erneuert werden dürfen, so vermindern sich dadurch schon sehr beträchtlich die Kosten für den nach 15 bis 20 Jahren eintretenden Neubau. Wenn aber ursprünglich die Spundwand mit ihrem Fachbaume wegen des höheren Wasserstandes zu hoch heraufgeführt werden musste, oder nicht tief genug abgeschnitten werden konnte, so gewährt dieses nur den Nachtheil, dass der Bau in seiner ersten Anlage eine etwas andere Form erhielt, als er eigentlich haben sollte, und man wird, wenn der obere Theil der Spundwand zu faulen anfängt, dieselbe nunmehr bei einem günstigen Wasserstande tiefer abschneiden und mit einem Fachbaume versehen, was sich in kurzer Zeit machen lässt, und wodurch sie der Fäulniss ganz entzogen wird. Die spätern regelmässig wiederkehrenden Reparaturen erstrecken sich alsdann nur noch auf die Bohlwerkspfähle, zum Theil auf die Erdanker und vorzüglich auf die Bohlwand selbst; die dabei erforderliche Arbeit ist immer ziemlich einfach, und erfordert keinen besonders niedrigen Wasserstand, auch die Materialien sind in vielen Fällen nicht so theuer, dass sie bei einem sorgfältigen Vergleiche der Kosten den Massivbau als vortheilhafter erscheinen lassen sollten. Man kann die Kosten der Unterhaltung des Holzbau aber auch noch dadurch wesentlich vermindern, dass man bei eintretender Beschädigung der Bohlwerkspfähle dieselben nicht gleich durch neue ersetzt, sondern man sie vielmehr ebenso wie die Spundwand im Niveau des niedrigen Wassers abschneidet, eine Schwelle darüber streckt, und auf letztere eine Ständerwand stellt, wogegen die Bohlen sich lehnen. Der Vortheil, den man hierdurch erreicht, bezieht sich darauf, dass bei den regelmässig wiederkehrenden Reparaturen die Rammarbeiten ganz fortfallen,

und man statt der langen Bohlwerkspfähle nur kürzere Ständer braucht. Man bezeichnet diese Anordnung mit dem Namen der aufgesetzten Wände, und selbige kommen besonders in Holland vielfach vor; nichts desto weniger darf man nicht übersehen, dass hierbei eine weit festere Verankerung nöthig wird, und dass man selbst durch diese das Bohlwerk gegen den Erddruck nicht gehörig sichern kann, wenn eine grosse Wassertiefe sich davor befindet, denn die abgeschnittenen Bohlwerkspfähle lassen sich nicht unmittelbar mit den Erdankern in Verbindung bringen, und bleiben daher der Gefahr ausgesetzt, herausgedrängt zu werden. Auch wenn Seeschiffe vor dem Bohlwerke zu liegen pflegen, kann man die durchgehenden Pfähle nicht entbehren, weil in diesem Falle die heftigen Stösse die Verbindung in der Schwelle lösen würden.

Im Vergleiche zwischen den massiven und hölzernen Uferschälungen kommen ausser den Kosten noch einige andere Umstände in Betracht; dem Holzbau lässt sich bei dieser Anwendung nicht leicht diejenige Sauberkeit in der Ausführung geben und noch weniger daran erhalten, welche man in vielen Fällen gern erreichen möchte. Dazu kommt noch der sehr ungünstige Umstand, dass die Strasse dahinter bei jeder Reparatur aufgegraben werden muss, und schon vorher bei eintretender Beschädigung des Bohlwerkes Sackungen und Einsenkungen sich zeigen, so dass die Erhaltung eines guten Steinpflasters hier sehr schwierig wird. Aus diesen Gründen wird man in grossen Städten dem Massivbau unbedingt den Vorzug geben. Auch für die dahinter liegenden Gebäude, besonders wenn dieselben mehrere Stockwerke hoch und massiv ausgeführt sind, werden die oft wiederkehrenden Reparaturen der Bohlwerke wegen der Erschütterungen bei den Rammarbeiten sehr nachtheilig und dieses um so mehr, als grade in dieser Zeit die zwischenliegende Erdmasse nicht gehörig gestützt ist, und sonach die Fundamentmauern leicht dem Seitendrucke der Gewölbe und Bögen nachgeben können. In den Norddeutschen Seestädten kommen Verhältnisse dieser Art vielfach vor, und fast überall giebt sich diese Schwierigkeit zu erkennen. Endlich muss aber auch noch angeführt werden, dass für das Anlegen der Schiffe ein Bohlwerk immer viel vortheilhafter ist, als eine Kaimauer; wenn aber einiger Wellenschlag stattfindet, so

kann ein Schiff gar nicht an einer Mauer liegen, ohne den grössten Beschädigungen durch das Reiben und Stossen ausgesetzt zu werden. Aus diesem Grunde versieht man in den Englischen Docks ganz allgemein die Kaimauern mit angebolzten hölzernen Ständern, wogegen die Schiffe sich lehnen, und vor einer massiven Ufereinfassung im Hafen Neufahrwasser, war man sogar gezwungen, eine vollständige hölzerne Wand aufzuführen, damit diese Stelle zum Anlegen der Schiffe benutzt werden konnte.

Die erwähnten Umstände beziehen sich grossentheils auf die eigentlichen Uferschälungen, d. h. solche, die das Ufer eines Stromes oder Sees bilden; die Bohlwerke haben indessen, ebenso wie die Futtermauern zuweilen auch nur den Zweck, ein höheres Terrain gegen ein niedrigeres zu begrenzen, und die Vergleichung zwischen beiden Constructionsarten zeigt alsdann wegen der viel leichteren Fundirung gewöhnlich einen so überwiegenden Vortheil für den Massivbau, dass man nur selten mit einigem Grunde sich zum Holzbau entschliessen wird. Der letztere ist aber in diesem Falle der Fäulniss sogar noch mehr ausgesetzt, als wenn er neben einem Flusse ausgeführt wäre, indem nicht nur der freistehende Theil der Bohlwerkspfähle, sondern auch deren unteres Ende von der abwechselnden Nässe und Trockenheit leidet und daher die Beschädigungen in der Höhe des Erdbodens sich sehr bald zu zeigen pflegen. Es wird sonach im Folgenden nur von denjenigen Bohlwerken die Rede sein, welche am Ufer von Flüssen oder andern Wasserflächen ausgeführt werden.

Die Bohlwerkspfähle sind nach dem, was bereits erwähnt worden, der Fäulniss besonders stark ausgesetzt, wenn sie nicht etwa unter Wasser abgeschnitten werden. Man muss daher eine Holzart wählen, welche einigermaassen der Abwechslung der Nässe und Trockenheit widersteht, dazu kommt noch, dass die Pfähle häufig eine bedeutende Länge haben, und sie jedenfalls recht grade sein müssen, wenn nicht die Rammarbeit sehr erschwert werden soll und man überdies sich der Gefahr aussetzen will, dem ganzen Baue ein sehr unregelmässiges Ansehen zu geben. Hiernach kann man für kleinere Bohlwerke wohl Pfähle von Eichen, Ellern oder von anderem harten Holze wählen, sobald ihre Länge aber bedeutender wird, so ist man beinahe ausschliesslich auf das Kiefernholz beschränkt, welches sich zu diesem

Zwecke auch in Hinsicht seiner Dauer besonders gut eignet, sobald es recht harzig ist. Ueber das Einrammen der Pfähle ist schon früher (Theil I. §. 36 und 37) das Nöthige erwähnt worden; hier wäre in dieser Beziehung nur anzuführen, dass die Bohlwerkspfähle keineswegs stark beschwert werden, und sie daher nicht so fest eingetrieben werden dürfen, wie etwa die Rostpfähle. Es kommt vielmehr nur darauf an, dass sie tief genug im Boden stecken, um dem Seitendrucke der Erde widerstehen zu können, und da sie in dieser Beziehung noch durch die Erdanker gehalten werden, so genügt es im Allgemeinen, wenn sie auf ihre halbe Länge eingerammt werden. Bei besonders festem Grunde oder bei einer starken Verankerung ist indessen auch dieses nicht nothwendig, im entgegengesetzten Falle müssen sie aber noch tiefer herabreichen. Hiernach lässt sich die nöthige Länge der Pfähle beurtheilen; ihre Stärke wird zum Theil durch den Seitendruck der Erde bedingt, dem sie widerstehen müssen. Man würde indessen die Dauer des Baues ausserordentlich beeinträchtigen, wenn man den Querschnitt hiernach allein abmessen wollte, denn die Fäulniss, welche besonders etwas über dem gewöhnlichen Wasserstande eintritt, vermindert von Jahr zu Jahr diesen Querschnitt und sonach muss die Erneuerung der Pfähle um so früher eintreten, je schwächer sie ursprünglich gewählt wurden. Hiermit hängt auch die Antwort auf die Frage zusammen, ob man das Stammende oder das Wipfelende des Pfahles nach unten kehren soll; der Pfahl muss nämlich diejenige Stellung erhalten, wobei sein Querschnitt an der Stelle, welche am stärksten der Fäulniss ausgesetzt ist, der grösste wird, und dieses geschieht fast immer, wenn man das Wipfelende nach unten kehrt. Man hat freilich für Bohlwerkspfähle häufig die entgegengesetzte Stellung empfohlen, theils um sie vor einem Abbrechen in der Oberfläche des Grundes um so sicherer zu schützen und theils auch, um sie der Gefahr zu entziehen, dass sie durch das Eis nicht so leicht gehoben werden. Beide Rücksichten sind aber sehr untergeordnet, da ein Bruch in der erwähnten Art wohl nie erfolgt, und ebensowenig ein Bohlwerk, das mit Erde gehörig hinterfüllt ist, durch das Eis gehoben werden kann.

Ferner entsteht die Frage, ob die Bohlwerkspfähle wenigstens in dem obern, sichtbar bleibenden Theile beschlagen sein

sollen, jedenfalls ist diese Arbeit, nachdem die Pfähle eingerammt sind, sehr viel schwieriger, und wenn daher das Beschlagen überhaupt stattfinden muss, so kann es nur vorher erfolgen. Die Rammarbeit wird alsdann aber wegen der erforderlichen viel grösseren Genauigkeit auch viel mühsamer, und bei unreinem Grunde ist es dennoch unmöglich zu verhindern, dass die Pfähle sich nicht merklich drehen. Dabei darf man es auch nicht übersehen, dass durch das Beschlagen der Querschnitt des Holzes sehr bedeutend und wenigstens um den fünften Theil verringert wird. Hiernach scheint dieses Verfahren im Allgemeinen keineswegs empfehlenswerth, und es dürfte wohl vorzuziehen sein, eine aufgesetzte Wand zu wählen, falls es Bedingung ist, dem Bohlwerke ein recht regelmässiges Aeussere zu geben. In den meisten Fällen ist dieser Umstand indessen von untergeordneter Wichtigkeit, und dieses um so mehr, als sich manche andere sehr augenfällige Beschädigungen doch nicht vermeiden lassen: wenn man aber nur die möglichste Solidität beachten will, so ist es jedenfalls viel angemessener Rundholz zu verwenden, und an den Pfählen, nachdem sie bereits gesetzt sind, die innere Seite, wogegen die Bohlwand sich lehnt, in einer Flucht, die sich der ganzen Pfahlreihe anschliesst, zu beschlagen. Wenn die Pfähle auf eine grössere Länge freistehen, so lassen sie sich freilich, nachdem sie gerammt sind, noch einigermaassen richten, und dadurch kann man die Köpfe der beschlagenen Pfähle wieder in eine grade Linie bringen, und manche Unregelmässigkeiten, die beim Einrammen vorkamen, wieder aufheben; dieses Verfahren beeinträchtigt indessen die Solidität des ganzen Baues sehr wesentlich, denn jeder Pfahl, den man vor- oder zurückgezogen hat, behält die Tendenz, seine frühere Stellung wieder einzunehmen, und wenn er hieran durch die Verzapfung im Holme verhindert wird, so übt er einen fortwährenden Druck aus, und bei einem etwanigen starken Stosse durch ein gegenfahrendes Schiff, oder wenn der Holm bei eintretender Fäulniss seine frühere Festigkeit verliert, so sprengt der Pfahl die Backe des Zapfenloches ab, oder er spaltet den ganzen Holm, und tritt dann wieder so weit vor die Pfahlreihe vor, wie er ursprünglich stand.

Die Entfernung der einzelnen Pfähle von einander richtet sich nach der Stärke der Bohlen, die man zur Verschalung wählt:

letztere sind gewöhnlich 3 oder 4 Zoll stark und alsdann werden die Pfähle ziemlich allgemein in einem Abstände von 4 Fuss von Mitte zu Mitte eingerammt. Man giebt ihnen auch gewöhnlich eine starke Neigung, damit sie dem Erddrucke um so besser Widerstand leisten können.

Um die Bohlwerkspfähle untereinander zu verbinden und das Ausweichen eines einzelnen zu verhindern, versieht man sie gewöhnlich mit einem Holme, worin sie eben sowie die Ständer einer Holzwand in das Rahmstück verzapft und mit hölzernen Nägeln vernagelt werden. Der Holm sichert dabei die Pfahlköpfe vor dem Eintreten des Regenwassers, und es ist aus diesem Grunde auch nothwendig, dass die Zapfen nicht ganz hindurchreichen. Damit aber das Regenwasser auf dem Holme nicht zu stark sich ansammeln und in das Holz leicht eindringen kann, so wird seine Oberfläche nach beiden Seiten abgefasst, so dass sich in der Mitte nur ein schmaler Rücken bildet, der oft in eine scharfe Kante übergeht. Ausserdem pflegt man den Holm, nachdem er vollständig ausgetrocknet ist, noch zu theeren und auch wohl mit Hammerschlag oder Sand zu bestreuen.

Wenn der Holm aus mehreren Balken zusammengesetzt wird, so geschieht dieses gewöhnlich nur durch ein stumpfes Zusammenstossen, und dieses ist bei einem Bau, der so vielfältigen Beschädigungen ausgesetzt ist, wie ein Bohlwerk, auch wohl immer das Zweckmässigste, wenn man freilich dabei nicht vermeiden kann, dass sich das Wasser durch die senkrechte Fuge hindurch in den Pfahl hineinzieht. Man bringt andererseits aber auch zuweilen eine Verblattung und zwar das schräge Hackenblatt an; dieses bildet, so lange das Holz noch unversehrt ist, ohne Zweifel eine festere Verbindung, sobald aber der genaue Schluss durch die allmählig eintretende Fäulniss verschwindet, so verbreiten sich die Beschädigungen wieder viel leichter. Der Stoss muss übrigens in jedem Falle über die Mitte eines Bohlwerkspfahles treffen und zur Hervorbringung einer innigern Verbindung sind noch eiserne Schienen, die man mit starken Nägeln oder mit Klammern befestigt, sehr wichtig: doch müssen dieselben einen halben oder wenigstens ein Drittelzoll stark und 2 oder $1\frac{1}{2}$ Zoll breit sein, eben sowie auch die Nägel 6 bis 9 Zoll lang sein, wenn sie eine gehörige Verbindung darstellen sollen. Man kann diese Schienen auf der obern Fläche des

Holmes anbringen, indem alsdann aber das Wasser zwischen dem Eisen und dem Holze länger zurückgehalten wird, so veranlasst dasselbe hier leicht Fäulniss, und es ist daher vortheilhafter, die Schienen auf die Seitenfläche des Holmes zu bringen, und zwar möchte es einen Vorzug haben, hierzu die innere, von den Bohlen bedeckte Seite zu wählen, indem alsdann weder die Schiffe dagegen stossen können, noch auch eine Entwendung derselben so leicht möglich ist. Fig. 32 auf Taf. XXV. zeigt ein niedriges Bohlwerk, bei dem der Holm in der beschriebenen Art angeordnet ist, dabei findet nur die Abweichung statt, dass die Schiene, welche sonst nicht sichtbar gewesen wäre, sich auf der äusseren Seite befindet.

Die beschriebene Verbindung zwischen den Pfählen und dem Holme, ist keineswegs als besonders fest anzusehen, man muss daher in allen Fällen, wo ein Herabwerfen des Holmes, etwa durch das Gegenstossen von Schiffen zu besorgen ist, denselben noch auf andere Art und namentlich durch übergelegte Bügel zu halten suchen: wovon im Folgenden die Rede sein wird. Wenn man indessen auch keine Beschädigungen dieser Art befürchtet, so ist die Verbindung immer nicht so fest, dass ein stärkerer Druck, den ein Pfahl erleidet, sich ganz sicher auf die nächststehenden übertragen könnte und sonach das Abbrechen eines einzelnen unmöglich wäre. Es ist schon erwähnt worden, dass die Backen von den Zapfenlöchern des Holmes unter gewissen Umständen ausspringen, und dieses kann auch im vorliegenden Falle leicht geschehen, da keineswegs die ganze Stärke des Holmes hier in Anspruch genommen wird, sondern nur ein kleiner Theil des Querschnittes den Zapfen des Pfahles zurückhalten soll. Aus diesen Gründen ist eine Anordnung, wie sie Fig. 33 zeigt, die man bei kleinern Bohlwerken in Holland häufig sieht, sehr angemessen. Statt des Holmes werden nämlich zwei Zangen angebracht, welche die Bohlwerkspfähle umfassen, und deren Verbindung mit Schraubenbolzen eine weit grössere Sicherheit der ganzen Wand gewährt. Diese Zeichnung stellt ein Bohlwerk bei Sloterdijk zwischen Amsterdam und Haarlem dar. Fig. 34 ist der Querschnitt eines höheren Bohlwerks, gleichfalls aus der Umgegend von Amsterdam, dieses ist nach demselben Princip angeordnet: es fehlt dabei nur die innere Zange, und die

äussere, gegen welche alle Pfähle wieder gebolzt sind, vertritt zugleich die Stelle der Ankerriegel. Hierbei sind die Pfahlköpfe nicht durch Holme bedeckt, wohl aber kann man durch aufgenagelte Brettstücke, wie dieses in letzterem Falle auch geschehen ist, das Eintreten des Wassers verhindern. Eine zu grosse Vorsicht ist aber in dieser Beziehung ganz überflüssig, da derselbe Pfahl oder Ständer weiter abwärts doch nicht vor Fäulniss geschützt werden kann, und es sonach ziemlich gleichgiltig ist, ob bei der nothwendigen Erneuerung desselben eine andere Stelle gleichfalls bereits schadhaf geworden ist, oder diese sich noch in gutem Zustande befindet. Häufig geschieht es auch, wie Fig. 35 zeigt, dass aussér dem fortlaufenden Ankerriegel noch ein Holm angebracht ist. Diese Figur stellt ein Bohlwerk mit aufgesetzter Wand vor, das ich in Utrecht sah.

Gegen die beschriebene Pfahlwand oder gegen die aufgesetzte Wand lehnt sich die Verschalung oder die Bohlenwand; sie besteht gewöhnlich aus drei- oder vielzölligen Bohlen, die horizontal an die Pfähle oder Ständer genagelt sind. Zu diesem Zwecke müssen die Pfähle an der innern Seite nach der Schnur behauen werden, oder wenn sie schon früher behauen waren, so müssen ihre innern Seiten in eine Ebene fallen. Die Stösse der Bohlen treffen wieder jedesmal auf die Mitte eines Pfahles, und es dürfen nicht mehrere Stösse unmittelbar übereinander vorkommen. Das Annageln der Bohlen ist in sofern nothwendig, als sie sonst nicht regelmässig aufgebracht werden können: sobald das Bohlwerk aber hinterfüllt ist, so presst der Seitendruck der Erde die Bohlen schon gegen die Pfähle und es ist daher keine Veranlassung vorhanden, diese Befestigung besonders stark zu machen. Gewöhnlich werden die Bohlen an den Stössen mit eisernen, und ausserdem gegen jeden andern Pfahl mit einem hölzernen Nagel befestigt. Um in den Lagerfugen einen gehörigen Schluss darzustellen, versieht man die Bohlen zuweilen mit einer halben Spundung, oder man schmiegt sie schräge ab, jedoch in beiden Fällen so, dass die Fuge an der äussern Seite aufwärts gerichtet ist. Auf solche Art kann man freilich das Durchfallen der Hinterfüllungserde verhindern, allein die scharfen Kanten oder der geschwächte Rand der Bohle fault auch um so früher, und daher erscheint es angemessener, wenn man die Bohlen, nachdem sie recht grade ge-

hobelt sind, nur stumpf übereinander legt. Ein starkes Hindurchfallen der Hinterfüllungserde darf man für die über dem Wasser liegenden Fugen nicht besorgen, besonders wenn die Erde etwas thonhaltig ist; dagegen treiben durch die Fugen, welche grade vom Wellenschlage getroffen werden, leicht grosse Massen hindurch, und man muss daher sehr sorgfältig sein, diese möglichst zu schliessen. Dieses geschieht am leichtesten und wohlfeilsten, indem man von innen schlechte Dielen darüber nagelt. Hierzu eignen sich noch sehr gut die aus dem Sägeblocke geschnittenen äussern Dielen, und da sie nur die Fugen verdecken sollen, so brauchen sie auch nur wenige Zolle breit zu sein, und sonach kann man diese Dielen noch ein oder zweimal nach ihrer Breite spalten, und dadurch die Kosten derselben ermässigen.

Die Bohlenwand ist derjenige Theil des Bohlwerkes, der am schnellsten vergeht und daher am frühesten einer Reparatur bedarf; besonders zeigen diejenigen Gänge, die etwas über den gewöhnlichen Sommerwasserstand treffen, sehr bald Spuren der Fäulniss. Sie leiden nicht nur durch die abwechselnde Nässe und Trockenheit von aussen, sondern noch mehr durch die feuchte Erde von innen, die, wenn sie unrein ist, zum Entstehen und zur starken Verbreitung des Schwammes Gelegenheit giebt. Indem nun aber grade an den untern Bohlen die Reparaturen am schwierigsten auszuführen sind, so ist es angemessen, sie dadurch zu verstärken, dass man statt ihrer sechszölliges Halbholz oder schwaches Balkenholz wählt.

Indem die Bohlwerke ohne Fangedämme und ohne Wasserwältigung erbaut werden, so lässt sich die Bohlenwand nur bis zu dem Wasserspiegel herabführen, und es entsteht die Frage, wie man den untern Theil der Felder zwischen den Pfählen schliessen soll, wenn das Bohlwerk in tieferem Wasser ausgeführt wird. Am sichersten geschieht dieses mittelst einer Spundwand oder auch wohl einer Stülpwand, auf deren Fachbaum der untere Gang der Bohlenwand ruht. Zuweilen lässt man aber auch die Spundwand gleich bis zur ganzen Höhe des Bohlwerkes heraufreichen. Fig. 33 zeigt eine Anordnung dieser Art, doch ist dieselbe im Allgemeinen gewiss nicht zu empfehlen, indem die Fäulniss im Holze, die sich immer zuerst in einer bestimmten Höhe zeigt, hier nicht mehr einzelne, sondern vielmehr die sämt-

lichen Bohlen trifft, und sonach eine Reparatur nicht anders vorgenommen werden kann, als durch Erneuerung des ganzen Bohlwerkes. Im ersten Falle, wo nämlich die Bohlen horizontal gegen die Pfähle genagelt sind, erstreckt sich die stärkste Beschädigung nur auf einen oder zwei Gänge, und man braucht sonach bei der ersten Reparatur nur diese zu erneuen.

Die Spundwände gehören immer zu den kostbareren Anlagen, und man wird dieselben daher nur da anwenden, wo sie sich nicht vermeiden lassen; dieses ist namentlich der Fall, wenn eine grosse Wassertiefe etwa von 8 oder mehr Fuss unmittelbar vor dem Bohlwerke stattfindet, und besonders auch, wenn eine starke Strömung vorbeigeht, die ein tiefes Auskolkten befürchten lässt. Kommen diese Umstände nicht vor, so ist die Spundwand und selbst die Stülpwand entbehrlich, man bringt aber die untern Gänge der Bohlenwand in ähnlicher Art unter das Wasser, wie dieses bereits bei Gelegenheit der Fangedämme (I. Seite 689) beschrieben ist. Fig. 32 *a* zeigt dieses Verfahren. Nachdem nämlich die Pfahlwand mit dem Holm versehen ist, so baggert man an der innern Seite derselben einen Graben aus, der so tief sein muss, als möglicher Weise die Auskolkungen neben dem Bohlwerke sich erstrecken können. Alsdann bildet man eine Tafel aus Bohlen von solcher Höhe, dass dieselbe von der Sohle des Grabens bis über das Wasser reicht; das letzte ist nothwendig, damit man sie mit einigen Nägeln wagerecht befestigen kann. Ist dieses geschehen, so füllt man den Graben von der innern, sowie auch von der äussern Seite wieder gehörig aus und führt den übrigen Theil der Bohlwand in der beschriebenen Art bis zur vollen Höhe herauf.

Die Beschaffenheit des Hinterfüllungs-Materiales ist keineswegs gleichgültig, denn nicht nur, dass die feinem und wenig zusammenhängenden Erdarten leicht durch die Fugen gespült werden, so kommt es auch darauf an, dass die Erde nicht etwa die Fäulniss und die Bildung des Schwammes befördert. In beiden Beziehungen ist gewiss eine feste Thonerde oder ein gut bindender Lehm sehr brauchbar, und derselbe wird daher häufig unmittelbar hinter den Bohlen aufgebracht: man giebt diesen Wänden zuweilen die Stärke von mehrern Fussen und alsdann ist ihr

Nützen auch gewiss nicht zu verkennen, doch häufig reduziert man sie, der Kostenersparung wegen, auf einige Zolle, wodurch sie fast ganz nutzlos werden. Was die Sicherung des Holzes gegen Fäulniss und Schwamm betrifft, so besitzt der Thon wohl keine besondern Eigenschaften, die ihn vor den sonst vorkommenden rein mineralischen Erden auszeichnen: ich habe wenigstens bemerkt, dass eine Sandschüttung sich mindestens eben so vortheilhaft zeigt, und dass diejenigen Uferbefestigungen, welche Jahrzehende hindurch mit Sand verdeckt waren, sobald sie wieder zum Vorscheine kamen, keine Spur von Fäulniss bemerken liessen, wohl aber war in der Höhe, wohin sich abwechselnd die Feuchtigkeit gezogen hatte, die weichere Holzmasse zwischen den Jahresringen stark angegriffen und zum Theil zerstört: mit Rücksicht auf die Länge der Zeit hatte das Holz sich aber sehr gut erhalten. Hiernach dürfte der reine Kiessand, und ebenso auch wohl jede beliebige Mischung desselben mit Thon, dem reinen Thone nicht nachstehen. Dagegen sind die vegetabilischen und animalischen Stoffe, und besonders wenn sie sich schon in Humus verwandelt haben, sehr nachtheilig: wo sie die Bohlen berühren, bildet sich gleich der Schwamm aus, der in weit ausgedehnten Ranken und unter den verschiedensten Formen alle Theile des Bohlwerkes, soweit sie über Wasser liegen, durchzieht und ihre Zerstörung ausserordentlich beschleunigt. Man muss sich daher besonders hüten, eine Erde, welche in dieser Art verunreinigt ist, an das Bohlwerk zu bringen, und es ist sogar keine übertriebene Vorsicht, wenn man Hobelspäne und sonstige Stoffe, die bald in Fäulniss übergehen, sorgfältig entfernt.

Was dagegen das Durchfallen der Erde zwischen den Bohlen betrifft, so wird durch die horizontalen Fugen weder der trockne noch der nasse Sand hindurchdringen, und nur in dem Falle, dass sich bedeutende Wassermassen durchziehen, reissen diese die Sandkörnchen mit sich. Der übelste Umstand ist hierbei aber, wie bereits erwähnt worden, der Wellenschlag, der eine ununterbrochene Durchströmung erzeugt, die um so heftiger wird, je grössere Oeffnungen sich im Innern bilden. In dieser Beziehung leistet die Thonwand auch keinen dauernden Widerstand, sie wird aber freilich das Einstürzen der Hinterfüllungserde um so länger verhindern, je stärker sie ist. Wenn daher das Bohlwerk einem

heftigen Wellenschlage ausgesetzt ist, so lassen sich weder die Fugen hinreichend dichten, noch auch kann die Hinterfüllungserde gegen ein starkes Einstürzen gesichert werden. Das einzige Mittel dagegen besteht darin, dass man in der ganzen Höhe, welche von den Wellen erreicht wird, statt der Hinterfüllung eine regelmässige Verpackung von Steinen ohne Anwendung eines feineren Materials anbringt: auf diese legt man einen dicht schliessenden Bohlenboden, worauf alsdann die gewöhnliche Ausfüllung mit Erde kommt. Dieses Verfahren ist indessen nicht nur in der ersten Anlage sehr kostbar, sondern es erschwert auch jede vorzunehmende Reparatur, aber nichts desto weniger sieht man sich zuweilen dazu gezwungen, und namentlich geschieht dieses bei den vorspringenden Ecken der Bohlwerke, welche etwa den Uebergang zu einer flachen Steinböschung bilden. An den Flüssen oder Strömen des Binnenlandes wird eine solche Vorsicht wohl immer überflüssig sein.

Wenn die Bohlwerkspfähle etwa auf 8 Fuss Länge oder darüber freistehen, oder wenn der Boden, in welchem sie eingerammt sind, besonders lose ist, so können sie leicht durch den Druck der Hinterfüllungserde herausgedrängt oder übergebogen werden: man muss sie alsdann durch Erdanker unterstützen: wenn das Bohlwerk aber durch eine aufgesetzte Wand gebildet wird, so dürfen die letzteren auch bei einer geringeren Höhe des Bohlwerkes nicht fehlen. Es wäre kaum zu erwähnen, dass die Verankerung die nöthige Festigkeit haben muss, um den Druck der Erde sicher aufzuheben: diese Bemerkung rechtfertigt sich aber dadurch, dass man nicht selten, und namentlich wenn der Bau auf Entreprise ausgeführt wird, grade auf diesen Theil, der durch die Ueberschüttung mit Erde sehr bald dem Auge entzogen wird, die mindeste Sorgfalt verwendet. Es schadet gewiss nichts, wenn man zu den Ankerbalken und Riegeln und selbst zu den Ankerpfählen krummgewachsenes Holz benutzt, aber keineswegs dürfen diese Theile aus angefaulten oder solchen Stämmen zugerichtet werden, die durch langes Liegen an der Luft oder im Wasser ihre Festigkeit schon verloren haben, auch ist es ganz unzulässig, Stücke stark über den Spahn zu schneiden. Mir ist der Fall vorgekommen, dass alle Anker in der hölzernen Kammerwand einer Schleuse zerrissen, und die nähere Untersuchung ergab, dass die Ankerbalken aus krummen Eichenstämmen so ausge-

schnitten waren, dass keine einzige Holzfaser in der ganzen Länge eines Ankers hindurchging.

Es entsteht hierbei zunächst die Frage, in welcher Höhe die Erdanker angebracht werden sollen. Da man denselben keine absolut feste Stützpunkte geben kann, und sie daher um so leichter nachgeben, je stärker der Zug ist, dem sie ausgesetzt sind, so ist es im Allgemeinen gewiss vortheilhaft, wenn sie möglichst hoch den Pfahl fassen. Indem nämlich der Bohlwerkspfahl mit dem untern Ende im Boden steckt, so kann man ihn als einen ein-armigen Hebel ansehen, dessen Drehpunkt etwa in der Mitte des in der Erde befindlichen Theiles liegt; der Seitendruck der Hinterfüllungserde bildet die Last und der Zug des Erdankers die Kraft, welche das Gleichgewicht erhalten soll. Auf solche Art ist das statische Moment gegeben, und der erforderliche Zug verhält sich umgekehrt, wie die Entfernung des Angriffspunktes von dem Drehpunkte. Es scheint dieses die angemessenste Auffassung der Aufgabe zu sein, man hat sie indessen sonst unter einem ganz verschiedenen Gesichtspunkte gelöst, und die Voraussetzung eingeführt, dass die Tendenz zum Zerbrechen des Pfahles oberhalb und unterhalb des Ankers gleich gross ist. Auf diese Art kommt man zu dem Resultate, dass das Erdanker in der halben Höhe des freistehenden Theiles angebracht werden muss, dabei ist aber noch die Voraussetzung gemacht, dass der Pfahl im Boden ganz feststeht und er bei einer eintretenden Bewegung in der Oberfläche desselben abgebrochen werden muss. Es darf kaum erwähnt werden, dass diese Bedingungen in der Wirklichkeit nicht vorkommen, auch möchte es wohl wenige Beispiele dafür geben, dass verankerte Bohlwerkspfähle durch den Erddruck abgebrochen wären, wogegen ein Nachgeben der Anker sich sehr häufig zeigt. Man kann indessen im vorliegenden Falle sich durch solche Gründe, die aus der Statik entnommen sind, nicht allein leiten lassen. Der ganze Bohlwerksbau wird ohne Senkung des Wassers in der Baugrube ausgeführt, daher ist es unmöglich, das Anker unter das niedrigste Wasser zu legen, und andererseits muss es auch von der Hinterfüllungserde bedeckt bleiben, weil es sonst den äusseren Beschädigungen zu sehr ausgesetzt wäre. Durch diese Bedingung wird in vielen Fällen die Wahl der Höhe schon auf sehr nahe Grenzen beschränkt, sobald man aber noch eine andere

Bedingung einführt, nämlich dass der Ankerbalken nebst Riegel und Ankerpfählen möglichst vor Fäulniss geschützt bleiben sollen, so muss man alle diese Theile in die stets nasse Erde nahe über dem niedrigsten Wasser bringen. Die letzte Rücksicht ist mit sehr seltenen Ausnahmen die wichtigste, denn welche Construction man auch wählen mag, so hängt die Wirksamkeit der Verankerung immer davon ab, dass das Holz fest bleibt: fängt es an zu verrotten oder zu faulen, so drücken sich sogleich die Theile in einander, die Nägel und Klammern stellen keine feste Verbindung mehr dar, und das Anker giebt nach, wodurch es seinen ganzen Zweck verfehlt.

Ein andrer Umstand, der für die Verankerung sehr wichtig ist, bezieht sich darauf, dass die Pfähle, welche den festen Stützpunkt bilden sollen, nicht in der frisch aufgeschütteten Hinterfüllungserde, sondern in einem gehörig festgelagerten Boden eingerammt werden müssen, weil sie nur in diesem Falle den nöthigen Widerstand leisten können. Auf solche Art hängt die Länge des Ankerbalkens und ebenso auch die der Ankerpfähle von der Beschaffenheit des Ufers ab. Endlich wäre bei der Angabe der allgemeinen Bedingungen auch noch zu erwähnen, dass die Erdanker wenigstens an beiden Enden gehörig unterstützt werden müssen, weil sie sonst an dem allgemeinen Setzen der Hinterfüllungserde Theil nehmen und die eisernen Bügel oder Bolzen, womit sie gegen die Bohlwerkspfähle befestigt sind, brechen. Man bemerkt es sehr häufig, wie die erwähnten Eisenstücke sich durchweg gebogen haben, und bei näherer Untersuchung zeigen sich auch vielfache Risse und vollständige Brüche darin, so dass eine Verankerung, welche in dieser Beziehung nicht gehörig gesichert war, auch keine Festigkeit hat.

Die Verankerung kann auf sehr verschiedene Art bewirkt werden: der Ankerbalken fasst entweder unmittelbar einen einzelnen Bohlwerkspfahl, oder passender einen Balken, der als Zange vor allen Pfählen vorbeigeht und an jeden einzelnen angebolzt ist. Fig. 34 zeigt die letzte Anordnung: der Ankerbalken liegt mit seinem Kopfe auf der Zange und ist in dieselbe verkämmt. Auf solche Art ist er nicht nur selbst gehörig unterstützt, sondern es erstreckt sich auch seine Wirksamkeit gleichmässig auf die sämtlichen benachbarten Pfähle. Das Vortreten des Balkenkopfes und

selbst der Zange vor der äussern Fläche der Pfahlwand ist indessen, wenn grössere Schiffe am Bohlwerke liegen sollen, für dieselben leicht nachtheilig, und die vorstehenden Köpfe können auch abgebrochen werden. Man wählt daher zuweilen eine etwas abgeänderte Einrichtung, die Fig. 35 zeigt. Ich muss aber bemerken, dass eben bei dem Bohlwerke in Utrecht, welches diese Figur darstellt, die sämmtlichen Köpfe der Ankerbalken in der Richtung des durchgehenden Schraubenholzens gespalten waren. Im Ufer waren je zwei Ankerpfähle eingerammt, gegen welche ein kurzer Riegel sich stützte, und auf letzteren war das hintere Ende des Ankerbalkens verkämmt. Diese Befestigungsart ist die gewöhnliche, und gewiss verdient sie wegen ihrer Solidität vor den meisten übrigen den Vorzug.

Fig. 36 stellt eine Verankerung vor, die ich in Antwerpen bei einem Bohlwerke an der Schelde anbringen sah, welches etwa 15 Fuss über das niedrige Wasser sich erhob. Der Abstand der Pfähle betrug 5 Fuss und ein Pfahl um den andern war verankert. Die Zange liegt hier auf der innern Seite der Bohlwerkspfähle, und zwei Ankerbalken umfassen den Pfahl: sie sind mit demselben nicht nur durch einen herumreichenden Bügel, sondern auch durch einen Bolzen verbunden. Rückwärts ruhen beide Ankerbalken auf einem Riegel, in den sie verkämmt und verbolzt sind, und ein einziger Ankerpfahl genügt zur Stützung des Riegels.

Statt die Ankerbalken auf die Riegel zu verkämmen, pflegt man auch zuweilen die erstern zu durchlochen und den letztern hindurchzustecken, wie dieses Figur 37 zeigt. Diese Anordnung erscheint insofern nicht unpassend, als man bei einer keilförmigen Form des Riegels durch starkes Eintreiben desselben die ganze Verankerung gleich gehörig spannen kann, so dass bei der darauf folgenden Hinterfüllung mit Erde jede Bewegung des Bohlwerkes verhindert wird: nichts desto weniger muss man doch Bedenken tragen, mittelst dieses sehr dünnen Riegels den Zug des Ankerbalkens auf die Pfähle zu übertragen, indem derselbe für die Dauer nicht die nöthige Festigkeit erwarten lässt, besonders wenn nach einigen Jahren das an sich schon schwache Holz noch durch Fäulniss leidet. Ebenso wenig kann die in Fig. 38 dargestellte unmittelbare Verbindung des Ankerbalkens mit dem Ankerpfahle gebilligt werden, denn der durchgehende und verkeilte Zapfen,

der hierzu dienen soll, ist gleichfalls zu schwach, um die nöthige Sicherheit zu versprechen. Die in Fig. 39 angegebene Befestigungsart des Ankerbalkens, welche sich durch eine Verstrebung der Ankerpfähle von den beschriebenen unterscheidet, ist zwar auch für gewöhnliche Bohlwerke vorgeschlagen worden, doch lässt sie sich selten ausführen, wenn man nicht das Anker weit über den Wasserspiegel verlegen will. Dagegen ist diese Anordnung für Wände von hölzernen Schleusen passender, weil bei deren Ausföhrung die Baugrube trocken gelegt wird und sonach die untern Enden der Streben unter dem niedrigsten Wasserstande auf die Stützpfähle aufgeklaut werden können.

In den drei letzterwähnten Figuren sind solche Verbindungen dargestellt, wobei die Köpfe der Ankerbalken nicht gehörig unterstützt sind und sonach eine Senkung eintreten muss. Man kann freilich den Balken noch auf der Bohlenwand ruhen lassen, wie Fig. 37 zeigt, doch erhält er dadurch auch keine sehr sichere Unterstützung, und ausserdem vermeidet man es auch gern, die Bohlenwand zu durchschneiden, woher gewöhnlich der Ankerbalken nur bis an sie heranreicht, aber nicht hindurchgeht.

In Fig. 38 und 39 sind die Ankerbalken mit den Bohlwerkspfählen durch eiserne Bügel verbunden, in Fig. 37 dagegen durch Schraubenbolzen. Beide Verbindungsarten kommen vor, die letztere ist wohlfeiler, weil man weniger Eisen dabei gebraucht, und sie gewährt auch noch den Vortheil, dass man durch scharfes Anziehen der Schraubenmutter gleich einige Spannung hervorbringen und solche auch später wieder darstellen kann. Die vorstehenden Schraubenbolzen sind aber für die Schiffe sehr nachtheilig, und indem die Muttern leicht gelöst und entwendet werden, so ist der Bügel im Allgemeinen vorzuziehen. Da das Eisen, welches der Witterung ausgesetzt ist, bald durch den Rost zu leiden pflegt, so muss man dem Ankerbügel eine hinreichende Stärke, nämlich von einem halben oder wenigstens von einem Drittel-Zoll geben: die Breite desselben beträgt $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zolle, und er muss so lang sein, dass er auf jeder Seite wenigstens auf $1\frac{1}{2}$ Fuss Länge den Ankerbalken berührt. Auf solche Art ist die Beschaffung der Bügel zwar etwas kostbar, doch lässt sich dieses nicht vermeiden, wenn die ganze Verankerung nicht ihren Zweck verfehlen soll. Wenn man aber starkes Eisen anwendet, so zeigt

sich bei spätern Neubauten noch der grosse Vortheil, dass die Bügel zum Theil unbeschädigt sind und sie sogleich wieder gebraucht werden können. Das Aufbringen der starken Bügel ist insofern schwierig, als sie sich genau an die Pfähle anschliessen müssen: sind die Pfähle regelmässig beschlagen, so lässt sich dieses leichter erreichen, doch müssen die Kanten im Holze vorher gebrochen sein, weil sich sonst in den scharfen Biegungen des Bügels schwache Stellen bilden würden. Wenn dagegen die Pfähle aus Rundholz bestehen, wobei häufig der Umfang des Querschnittes sehr bedeutend von der Kreisform abweicht, so ist es am zweckmässigsten, dass man mit einer bleiernen Schiene, die man um den Pfahl und das vordere Ende des Ankerbalkens herumlegt, die Form des Bügels abnimmt und letzterer darnach geschmiedet wird. Man bestreicht den Bügel, bevor er noch erkaltet ist, mit Theer, wodurch er etwas gegen den Rost gesichert ist. Zur Befestigung des Bügels dienen Nägel und eiserne Klammern, dieselben müssen aber gehörig stark sein und mindestens die Länge von etwa 6 Zollen haben. In Fig. 40 ist eine Klammer und die Art ihrer Befestigung dargestellt. Zweckmässiger ist es indessen, statt der Klammern an beiden Enden des Bügels einen Schraubenbolzen hindurchzuziehen. Die Befestigung des Bügels gegen den Bohlwerkspfahl ist nicht nur überflüssig, sondern sogar nachtheilig, indem dadurch eine Schwächung grade an der Stelle eintreten würde, wo ein Bruch immer am meisten zu besorgen ist. Was über die nöthige Stärke und Länge des Bügels gesagt ist, gilt auch von der Schiene, die mit dem in Fig. 37 dargestellten Schraubenbolzen verbunden ist.

Nachdem die Haupttheile eines Bohlwerkes beschrieben sind, ist es noch nöthig, von manchen seltener vorkommenden Eigenthümlichkeiten zu sprechen, die in gewisser Beziehung zweckmässig erscheinen und die daher unter Umständen auch Nachahmung verdienen.

Béridor *) rühmt das Talent, welches der Director der Fortificationsarbeiten, Clement, für Anlagen dieser Art gehabt hat, und er theilt die Beschreibung und Zeichnung eines Bohlwerkes mit, das nach dem Plane desselben in Dünkirchen ausgeführt wurde:

*) *Architecture hydraulique* III. p. 231.

Fig. 41 *a* und *b* stellt den Bau im Profile und in der Ansicht von oben dar. In der letzten Figur ist indessen der Holm abgenommen gedacht, um die Anordnung der Anker um so deutlicher zu zeigen. Es findet hier eine doppelte Verankerung statt, wie solche bei sehr hohen Bohlwerken auch häufig gewählt wird, beide Reihen von Ankern werden aber von denselben durchgehenden Ankerriegeln gehalten. Das Sacken der Ankerbalken ist nicht nur durch die gehörige Unterstützung derselben an beiden Enden verhindert, sondern sie ruhen ausserdem noch auf je zwei Zwischenpfählen. Der Ankerriegel ist gleichfalls gehörig befestigt, und zwar stehen die Ankerpfähle auch an seiner hintern Seite, so dass er nicht nur das Bohlwerk gegen den nach aussen gerichteten Seitendruck der Erde schützt, sondern auch gegen Stösse, die etwa durch den Wellenschlag oder das starke Anfahren von Schiffen verursacht werden, und wodurch die Wand zurückgedrängt werden könnte. Die letzte Vorsicht ist in Seehäfen keineswegs überflüssig. Eine Spundwand fehlt dem Bohlwerke, dagegen sind aber auf der innern Seite der Pfähle Faschinen versenkt, welche das Durchfallen der Hinterfüllungserde gleichfalls verhindern. Hierdurch lassen sich zwar die Kosten sehr ansehnlich ermässigen, es tritt dabei aber der Uebelstand ein, dass die Faschinen nach und nach stärker comprimirt werden und daher die Hinterfüllungserde in der ersten Zeit wenigstens stark zu sacken pflegt. Endlich ist noch auf die 6 Fuss starke Thonwand hinter dem Bohlwerke aufmerksam zu machen.

An Orten, wo die Holzpreise niedrig sind, pflegt man Bohlwerke, die keine grosse Höhe haben, nur aus übereinandergelegten Balken aufzuführen, welche ohne eigentliche Bohlwerkspfähle allein durch zahlreiche Anker gehalten werden. Diese Construction stimmt nahe überein mit den sogenannten Senkkasten, die man ebensowohl bei Seeufer- und Hafenbauten, wie auch als Regulirungswerke für Gebirgsflüsse anwendet. Fig. 42 *a* und *b* zeigt die Uferschälung an der bisherigen Mündung der Weichsel neben Neufahrwasser und Weichselmünde. Die Balken ruhen auf einer alten meist sehr unregelmässig eingerammten Pfahlreihe, und der untere Gang ist hierauf verzapft und mit hölzernen Nägeln befestigt, der Zwischenraum zwischen den Pfählen ist aber auf der innern Seite durch Faschinen ausgefüllt. Die einzelnen Balken liegen stumpf

übereinander und ebenso sind sie auch an ihren Enden zusammengestossen: sie werden aber gegen einander durch eine grosse Menge von Spitzbolzen befestigt, die etwa 20 Zoll lang und $\frac{3}{4}$ Zoll stark sind, und die jeden einzelnen Balken in Abständen von 6 zu 6 Fuss mit dem zunächst darunter liegenden verbinden. Ausserdem wird die Wand durch eine grosse Menge von Erdankern gehalten, die mit ihren Köpfen schwalbenschwanzförmig zwischen die Balken greifen und hinten auf einen gemeinschaftlichen durchgehenden Riegel aufgekämmt sind. Letzterer wird wieder durch Ankerpfähle gestützt. Die Anker liegen nach Maassgabe der Höhe der Wand in einer oder zwei, oder auch wohl in drei Reihen übereinander, und ihr Abstand in jeder Reihe beträgt 12 Fuss. Wenn ein solcher Bau einen Anlegeplatz für Schiffe bildet, so pflegt man noch in Abständen von 12 Fuss einzelne Kopfpfähle davor einzurammen, wodurch die Balkenwand vor dem unmittelbaren Aufstossen der Schiffe gesichert wird. Obgleich diese Construction sehr kostbar ist, so gewährt sie doch auch bei vorkommenden Reparaturen den Vortheil, dass die Beschädigungen sich keineswegs auf die sämmtlichen Verbandstücke erstrecken, sondern es zeigen sich solche vorzugsweise nur an denjenigen Balken, welche etwa einen Fuss über dem gewöhnlichen Sommerwasserstande liegen: es genügt daher, diese und vielleicht einige Anker durch neue zu ersetzen, während die übrigen Balken und Anker mehrmals wieder benutzt werden können: auch die eisernen Bolzen halten sich sehr lange, so dass sie entweder ganz unbeschädigt sind, oder sie vor dem Wiedergebrauche nur gestreckt und mit einer Spitze versehen werden dürfen.

Die Kopfpfähle, von denen so eben die Rede war, bringt man zuweilen auch da an, wo das Bohlwerk schon mit einer vollständigen Pfahlreihe versehen ist: sie verdecken alsdann den Holm und die vor den Pfählen liegende Zange und gewähren jedenfalls den Schiffen während des Wellenschlages eine grössere Sicherheit, während sie andererseits auch das Bohlwerk vor solchen Beschädigungen schützen, welche beim Anlegen und Gegenstossen der Seeschiffe sich leicht ereignen. Dazu kommt noch der Nutzen, den sie beim Eisgange haben, woher sie auch Eispfähle genannt werden. Wenn nämlich der Eisgang eintritt und grosse Schollen festen Eises vorbeitreiben, so werden die Bohlwerkspfähle dadurch

stark beschädigt, das Eis wirkt wie eine Säge darauf und schneidet das Holz sehr regelmässig ein, so dass die am weitesten vorstehenden Pfähle auch am meisten leiden. In Pillau wurden bei dem Eisgange fast in jedem Jahre einzelne Pfähle ganz durchgeschnitten, und die sämmtlichen Bohlwerkspfähle am sogenannten hohen Bohlwerke litten dadurch viel stärker, als durch die Fäulniss. Eine Verkleidung der Pfähle mit eisernen Schienen, die auch versucht wurde, war für die Schiffe gar zu nachtheilig, und so blieb demnach nur das Mittel übrig, vor dem Bohlwerke eine Reihe von Kopfpfählen einzurammen. Dieselben waren freilich der Zerstörung durch das Eis ganz besonders ausgesetzt, sie liessen sich indessen durch andere ersetzen, ohne dass man das Bohlwerk selbst aufzunehmen brauchte, und sonach war ihre Erneuerung viel weniger kostbar und schwierig, als die der eigentlichen Bohlwerkspfähle: auch hatte es keinen Nachtheil, wenn man dazu krumme oder gewundene Stämme nahm.

Fig. 43 zeigt den Querschnitt eines Bohlwerkes, welches mit einer vollständigen Pfahlreihe und ausserdem noch mit Kopfpfählen versehen ist: es ist dieses ein Bohlwerk, das ich in Warnemünde sah, und damit stimmen ziemlich genau die sämmtlichen Bohlwerke in den Mecklenburgischen Häfen und in deren Nachbarschaft überein.

Um ein Beispiel von der Verbindung der Spundwand mit dem Bohlwerke zu geben, wähle ich diejenige Construction, welche in dem Pillauer Hafen seit langer Zeit eingeführt ist, und welche wegen ihrer Einfachheit und Solidität wohl eine Erwähnung verdient, zugleich sollen bei dieser Gelegenheit noch manche Einzelheiten in Betreff der Ausführung mitgetheilt werden. Das erwähnte Bohlwerk erhebt sich 6 bis 9 Fuss über den gewöhnlichen Wasserstand, und die beiden Hafenbassins, die es umschliesst, haben eine Wassertiefe von 6 bis 14 Fuss, doch kommt die grösste Tiefe nicht unmittelbar neben den Bohlwerken vor, sie wird auch nur erhalten, um die Tragfähigkeit neuer Schiffe zu prüfen. Fig. 44 *a* und *b* auf Tafel XXVI zeigt das Bohlwerk im Querschnitt und in der Ansicht von oben, und zwar bezieht sich die in der ersten Figur angedeutete Erdböschung auf den Fall, dass das Bohlwerk an einer Stelle ausgeführt werden soll, wo bisher noch keines existirte, oder aber dass es etwa zur Darstellung einer regelmässigeren Fluchtlinie vor dem früheren herausgerückt wird.

Der Anfang des Baues wird mit dem Einrammen der Spundwand gemacht: unter den hier angenommenen Umständen kann dieses nicht ohne besondere Rüstung geschehen, auf welche die Ramme gestellt wird. Gegen diese Rüstpfähle lassen sich auch die Zwingen entweder unmittelbar befestigen, oder sie bieten doch wenigstens Gelegenheit, dass man dieselben entweder absteifen oder anziehen und sonach genau einstellen kann. Die Spundwand besteht aus 6 Zoll starken und 20 Fuss langen Pfählen: über das Zurichten und Einrammen derselben ist nach dem, was früher (Theil I. §. 40) gesagt worden, nichts hinzuzusetzen, es muss aber angeführt werden, dass, wenn das Bohlwerk bei dem Umbau gegen die frühere Uferlinie zurückgezogen werden soll, alsdann nicht nur die Erde abgegraben und sämtliches Holz des alten Baues entfernt werden muss, sondern es erleichtert sich die Arbeit des Einrammens der Spundwand auch sehr bedeutend, wenn man in der Richtung derselben einen etwa 5 Fuss tiefen Graben durch Ausbaggern darstellt.

Die Spundwand kann ohne Nachtheil bei einem Wasserstande, der um ein oder zwei Fuss den niedrigsten übertrifft, ausgeführt werden, sobald man aber den Bau fortsetzen und den Fachbaum auf die Spundwand aufbringen will, so darf dieses nur bei niedrigem Wasser geschehen. Doch auch in diesem Falle muss die Spundwand wenigstens 6 Zoll tief unter Wasser abgeschnitten werden, damit der Fachbaum fortwährend, wenn auch nicht in seiner ganzen Höhe, doch wenigstens grossentheils unter Wasser bleibt. Es ist klar, dass ein Anschneiden von Zapfen, die in den Fachbaum genau eingreifen, im vorliegenden Falle unterbleiben muss, und selbst die Darstellung einer ganz ebenen Oberfläche wäre nur mittelst einer Grundsäge möglich. Es kommt indessen hier auf eine grosse Sorgfalt weniger an, und da überhaupt nur in einer geringen Tiefe unter Wasser gearbeitet wird, so kann der Zimmermann mit der Queraxt genau genug diese Arbeit verrichten. Zuerst wird von einer Rüstung, und auf der andern Seite von einem Flosse aus die Spundwand mittelst einer Säge dicht über Wasser abgeschnitten, um das beschwerliche Abhauen nicht auf eine zu grosse Höhe vornehmen zu dürfen. Sodann stellt sich der Zimmermann auf die Spundwand und haut einen Pfahl nach dem andern bis zur vorgeschriebenen Tiefe ab, indem er

durch Aufsetzen des Zollstöckes sich von der Regelmässigkeit der Arbeit überzeugt. In dieser Art lässt sich ohne grosse Schwierigkeit, wenn das Wasser zufällig wachsen sollte, die Spundwand auch noch einen vollen Fuss unter dem Wasserspiegel abschneiden. Demnächst kommt es darauf an, den Fachbaum aufzubringen. Derselbe muss aus einem recht festen und womöglich auch recht starken Balken bestehn: er hatte gewöhnlich eine Höhe und Breite von 15 Zoll. Der Fachbaum muss sich ferner genau an die Spundwand anschliessen, damit letztere in ihm eine sichere Stütze gegen den Druck der Hinterfüllungserde findet: da die Spundwand aber, besonders bei unreinem und sehr festem Grunde nicht so regelmässig ausgeführt werden kann, dass die Ränder ihrer obern Fläche grade Linien bilden, und vielmehr hierin häufig Abweichungen von mehreren Zollen vorkommen, so muss die vortretende Backe des Fachbaums, wogegen sich eben die Spundwand lehnt, diese Abweichungen gleichfalls darstellen. Aus diesem Grunde ist es nicht mehr möglich, den Fachbaum mit einer vollständigen Nuthe zu versehen, in welche die Spundwand in ihrer vollen Stärke eingreift, denn in diesem Falle würden die Backen an einer oder der andern Seite zu schwach ausfallen, und man muss sich vielmehr begnügen, nur eine Backe und zwar die äussere darzustellen, auf die es in der That auch allein ankommt. Selbige muss aber überall mindestens 6 Zoll breit werden, wogegen es nichts schadet, wenn der Fachbaum mit seiner innern Seite auch stellenweise mit der Spundwand bündig liegt.

Um die Abweichungen in der Richtung der Spundwand von der graden Linie auf den Fachbaum zu übertragen, schnürt man auf der Oberfläche der ersten, nachdem sie, wie erwähnt worden, dicht über dem Wasser abgesägt ist, die Mittellinie des Fachbaumes, oder eine andere damit parallele Linie ab, und indem auf der Rüstung dicht darneben der Fachbaum, und zwar umgekehrt liegt, und die entsprechende Linie auf demselben gleichfalls abgeschnürt ist, so überträgt man von Fuss zu Fuss die Abstände der äussern Kante der Spundwand auf den letzteren und bezeichnet dadurch die innere Seite der Backe, an welche die Spundwand sich scharf anschliessen muss. Während nunmehr das Holz neben der Backe auf 6 Zoll Tiefe ausgearbeitet wird, so erfolgt gleichzeitig das erwähnte Abschneiden der Spundwand.

Alsdann kann man den Fachbaum auflegen, doch ist es nothwendig, dass man ihn aufnagelt, um ihn vorläufig zu halten: zu diesem Zwecke wird er im Abstände von 12 zu 12 Fuss mit einem durchgebohrten Nagelloche versehen, und zwar muss dieses immer in die Mitte eines Spundpfahles treffen, was sich gleichzeitig beim Uebertragen der äussern Fläche der Spundwand leicht bewirken lässt. Man bringt den Fachbaum zuerst ungefähr an seine Stelle, und da er schon vom Wasser gehoben wird und er sonach nicht fest liegt, so legt man einige Rüstbohlen vom Ufer aus darüber, und treibt ihn nun mit Schlägeln sowohl der Länge nach an den vorhergehenden Fachbaum, als auch seitwärts an die Spundwand scharf an, und setzt in die Bohrlöcher lange Nägel oder Spitzbolzen ein, die, wenn sie etwa 6 Zoll weit in die Spundpfähle greifen, den Fachbaum vorläufig hinreichend halten, selbst wenn er ganz unter Wasser liegen sollte. Wenn dieses geschehen ist, so kann man mit der Hinterfüllung vorgehen und bis zum Wasserspiegel, oder auch wenig darüber die Erdschüttung darstellen. Man erreicht dadurch nicht nur den Vortheil, dass man alle Rüstungen für den ferneren Bau entbehrt, sondern die frisch angeschüttete Erde wird auch durch die Aufstellung der Utensilien und Materialien und durch das Darübergehen der Arbeiter gleich stark comprimirt. Die Fachbäume werden nur stumpf an einander gestossen, doch ist es gut, sie durch eine von oben aufgenagelte Schiene zu verbinden.

Die vorstehende Beschreibung bezieht sich auf den Fall, dass der Wasserstand während der Zeit des Neubaues sehr niedrig ist: dieses kommt natürlich nicht immer vor, und da man unrecht thun würde, einen Bohlwerksbau abzubrechen und das Eintreten von kleinerm Wasser längere Zeit hindurch zu erwarten, so bleibt nichts anderes übrig, als bei der ersten Anlage einige Abänderungen eintreten zu lassen, die bei der nächsten Reparatur oder bei Gelegenheit der Erneuerung der Bohlwerkspfähle erst beseitigt werden. Andererseits kann es aber auch vorkommen, dass die ganze Spundwand sich bis zu der beabsichtigten Tiefe nicht einrammen lässt, und man sonach in die Verlegenheit kommt, sie durchweg um mehrere Fuss abzuschneiden, während dieser Theil doch wenigstens dieselbe Dauer verspricht, wie die Bohlenwand, durch welche man ihn ersetzen will. In beiden Fällen schneidet man die Spundwand

in der grössten Höhe, die sie erhalten kann, horizontal ab, und befestigt daselbst mittelst Schraubenbolzen von der innern und äussern Seite ein Paar Zangen dagegen. Diese Zangen versehen die Stelle des Fachbaumes, wenn aber die Spundpfähle eine so überflüssige Länge erhalten haben sollten, dass sie die für das ganze Bohlwerk bestimmte Höhe erreichen, so ist es nöthig, einen Fachbaum darüber zu legen, damit das Hirnholz der Pfähle nicht der Witterung ausgesetzt bleibt, man braucht alsdann aber die Pfahlreihe davor mit keinem Holme zu versehen und die Pfähle nur gegen den Fachbaum zu bolzen. Hierher gehört auch der Fall, wenn wegen der geringen Wassertiefe keine Spundwand, sondern nur eine Stülpwand (vergl. Theil I. Seite 632) gewählt wird: dieselbe ist nicht so stark, dass man einen Fachbaum darauf legen könnte, man schiebt also nur eine starke Bohle, oder ein Stück Halbholz an ihrer äussern Seite herab, welches den Seitendruck auf die Bohlwerkspfähle überträgt und worauf die Bohlwand ruht. Für alle diese Fälle muss aber noch bemerkt werden, dass man die Hinterfüllung mit Erde nicht viel über den grade stattfindenden Wasserstand heraufführen darf, bis die Spundwand oder Stülpwand durch eine gehörig verbundene und verankerte Pfahlwand gestützt wird.

Für das Einrammen der Bohlwerkspfähle gewährt der Fachbaum eine grosse Erleichterung, denn nicht nur dass auf demselben die vordere Schwelle der Ramme sehr sicher aufsteht und bequem verfahren werden kann, so dient er auch zugleich als Lehre beim Setzen und Rammen der Pfähle. Diese Pfähle bestehen in dem vorliegenden Falle aus kiefern unbeschlagen Stämmen von 35 Fuss Länge, die mit dem Wipfelende nach unten gekehrt sind: sie werden in dem Abstände von 4 zu 4 Fuss eingerammt, doch muss gleich dafür gesorgt werden, dass die stärksten und besten Stücke an die Erdanker treffen. Es lässt sich nicht vermeiden, dass auch die Bohlwerkspfähle aus der beabsichtigten Richtung zuweilen etwas abweichen, und besonders erfolgt dieses, wenn der Grund unrein oder sehr fest ist, oder auch wenn die Pfähle nicht ganz grade sind. Alsdann treffen ihre Köpfe nicht in die Richtung des Holmes, und es kommt sogar vor, dass sie nach der einen oder der andern Seite bis zu einem vollen Fusse ausweichen. Will man sich nicht ent-

schliessen, die Pfähle in solchem Falle auszuziehen und zu versuchen, ob andere vielleicht besser die beabsichtigte Richtung annehmen, so lassen sie sich, da sie ungefähr auf 20 Fuss freistehen, noch merklich überbiegen, sobald der gehörige Zug angewandt wird. Wenn sie sich zu sehr nach dem Ufer hinneigen, so darf man nur einen Baum als Treiblade schräge dagegen stellen und sein oberes Ende durch starkes Aufschlagen herabtreiben, wodurch sie zurückgedrängt werden. Im entgegengesetzten Falle aber, wenn sie sich nach aussen gezogen haben, so pflegen die Zimmerleute den Pfahl mittelst eines Taus zurückzuwinden. Es wird nämlich ein starkes Tau um den Pfahl und zugleich um einen Schiffshalter oder einen sonstigen festen Gegenstand am Ufer geschlungen und zusammengeknüpft, so dass es eine lose Schlinge bildet, die beide umgiebt. Sodann steckt man ungefähr in der Mitte einen Knebel durch die Schlinge, den man wie den Arm einer horizontalen Haspel umdreht, wodurch sich beide Theile des Taus um einander winden, und indem dabei eine Verkürzung eintritt, so zieht man den Pfahl sehr kräftig gegen den festen Punkt hin. Ist auf solche Art der Pfahl weit genug herangezogen, so lehnt man den Knebel gegen den Boden, oder befestigt ihn auf andere Art, und nunmehr kann man die Zapfen abschnüren und anschneiden und den Holm aufbringen. Hierbei wird indessen das Tauwerk so stark beschädigt, dass dieses Verfahren sich immer als sehr kostbar herausstellt, und man darf es daher schon aus diesem Grunde nicht gestatten: andererseits ist aber auch schon früher erwähnt worden, dass solche Pfähle, die gewaltsam herübergebogen und alsdann im Holme befestigt werden, immer eine starke Tendenz behalten, ihre frühere Stellung wieder einzunehmen, wodurch sie zum Bruche des Holmes leicht Veranlassung geben. Diese Rücksichten waren Veranlassung, dass das Richten der Pfähle gar nicht mehr gestattet wurde. Während des Rammens sorgte man dafür, dass sie möglichst in der gehörigen Flucht blieben, und wenn ein etwas gekrümmter Pfahl aus derselben stark auszuweichen drohte, so wurde er herausgenommen und durch einen geraden ersetzt, aber sobald der Holm aufgebracht werden sollte, wurden alle Pfähle in derjenigen Stellung verzapft, die sie gerade erhalten hatten. Nachdem die Pfähle in der Oberfläche des 6 Zoll hohen Zapfens abgeschnitten waren, wurde die Richtung

des Holmes darauf abgeschnürt. Es kam nie vor, dass sie nach der innern Seite so weit überstanden, dass die Verzäpfung Schwierigkeit gemacht hätte, denn dieses verhinderte schon der Fachbaum der Spundwand, dagegen traten sie zuweilen nach aussen sehr stark vor: alsdann konnten sie mit einem Blattzapfen am Holme vorbeigreifen und mittelst eiserner Bolzen daran gehörig befestigt werden. Fig. 44 c zeigt diese Anordnung.

Ueber die Befestigung und Zurichtung des Holmes ist nach dem, was bereits oben gesagt ist, nichts weiter zu erwähnen. Sobald die Pfähle aber auf solche Art unter einander verbunden waren, so kam es darauf an, sie auf der innern Seite zu behauen, damit die Bohlenwand in einer Ebene daran gelehnt und befestigt werden konnte. Hierbei zeigte sich nur in Rücksicht auf diejenigen Pfähle eine Schwierigkeit, welche zu weit nach aussen vortraten: sie wurden gleichfalls behauen, so dass sich wenigstens eine 9 Zoll breite Fläche daran bildete, da diese aber gegen die äussere Fläche der Bohlenwand mehr oder weniger zurücktrat, so wurde eine eichene Bohle so bearbeitet, dass sie die Ungleichheit genau aufhob, und alsdann als Futter darüber genagelt. Die letzterwähnte Figur zeigt dieses gleichfalls.

Nummehr musste die Verankerung vorgenommen werden. Mit Rücksicht auf die oben erwähnten Bedingungen erhielten die Erdanker, die im Abstände von 12 Fuss angebracht wurden, ihre passendste Stelle unmittelbar auf dem Fachbaume der Spundwand, während sie mit den hinteren Enden auf der schon gehörig festgelagerten Erde ruhten, welche bei dem Bau nicht frisch angeschüttet war. Man grub in der letzten so weit herab, als man wegen des Wasserstandes kommen konnte, und verlegte darauf den 6 Fuss langen Ankerriegel, der nicht eingeschnitten, sondern nur scharf behauen war, damit er überall kerniges Holz zeigte. Der Ankerbalken war dagegen, wie Fig. 44 d zeigt, 5 Zoll tief eingeschnitten, damit er den Riegel gehörig fassen konnte. Ein starker Spitzbolzen, der unten mit Widerhaken versehen war, stellte zwischen beiden eine recht innige Verbindung dar, doch musste, bevor das Anker verlegt wurde, noch dafür gesorgt werden, dass der Zug, der am verankerten Bohlwerkspfahle dargestellt werden sollte, auch auf den Fachbaum der Spundwand wirken konnte.

Wenn daher dieser Pfahl sich nicht scharf dagegen lehnte, so wurde ein eichener Keil dazwischen getrieben. Ueber die Anlegung und Befestigung des eisernen Ankerbügels ist nur noch zu erwähnen, dass dasselbe nicht in der Mitte, sondern möglichst nahe an der untern Seite des Ankerbalkens angebracht wurde: dieses geschah zum Theil, um die Nägel und Klammern da zu befestigen, wo das Holz immer recht nass blieb, anderntheils und hauptsächlich aber, um den Balken, wie Fig. 44 *d* zeigt, oben noch ausschneiden zu können, damit die untern Gänge der Bohlenwand durch die Anker wenigstens nicht ganz unterbrochen werden. Wenn auf solche Art die Anker vollständig verlegt und verbunden waren, so erfolgte das Einrammen der Ankerpfähle: dieses waren gleichfalls unbeschlagene Kiefernpfähle von 12 Fuss Länge, sie waren jedoch an der Seite, wo sie sich gegen die Riegel lehnten, etwas geebnet, und indem man sie scharf dagegen stellte, so brachten sie, indem sie eindrangten, gemeinlich schon die erforderliche Spannung in der ganzen Verankerung hervor: war dieses aber nicht der Fall, so wurden breite Keile von Eichenholz noch zwischen die Ankerpfähle und die Riegel eingetrieben, wie Fig. 44 *a* und *b* zeigt. Dadurch wurde verhindert, dass nicht etwa während der Hinterfüllung des Bohlwerkes dasselbe gleich etwas übergedrängt werden konnte.

Da die untern Gänge der Bohlenwand gewöhnlich am ersten schadhaft werden, und ihre Wiederherstellung wegen des tiefen Aufgrabens der Erde sehr schwierig ist, so wählte ich dazu Halbholz von 6 Zoll Stärke, und nur oben wurden 4zöllige und sogar 3zöllige kieferne Bohlen benutzt. Die Fugen liess ich stets mit gespaltenen schlechten Dielen benageln, und ausserdem mussten die Fugen neben den Ankern und über dem Fachbaume durch angepasste Leisten gehörig gedichtet werden. Auch ist zu erwähnen, dass der Kopf der Anker, soweit dieses wegen der Bügel möglich war, schwalbenschwanzförmig zugeschnitten wurde, damit die untere stark ausgeschnittene Bohle hier noch eine sichere Haltung behielt.

Wenn man zu denjenigen Bohlwerkspfählen, die auf die Anker treffen, etwas stärkere Stämme aussucht, so ist es möglich, diese jedesmal mit Blattzapfen vor dem Holme vorbeigreifen zu lassen, und man beseitigt dadurch vollständig die Gefahr von einem Ab-

heben der Holme. Sonst muss man aber durch übergelegte starke eiserne Bügel die Holme sichern, und diese Bügel dienen alsdann auch zugleich, die obern Gänge der Bohlenwand zu halten. Die letzte Rücksicht ist nicht unwichtig, denn man kann es nicht immer vermeiden, dass die Hinterfüllungserde sich etwas setzt, und alsdann sind die obern Bohlen, wenn sie nur auf gewöhnliche Art befestigt wurden, leicht löszureissen: will man sie daher vor einer Entwendung sichern, so müssen sie noch besonders befestigt werden, und dazu dienen eben die Bügel, die bis zum zweiten oder dritten Gange herabreichen. Die Hinterfüllung des Bohlwerkes mit Erde geschieht in der Art, wie oben erwähnt worden, und nachdem der Holm gehörig ausgetrocknet ist, wird derselbe getheert.

In Betreff der Verankerung der Bohlwerkspfähle ist noch zu bemerken, dass dieselbe zuweilen auch in entgegengesetztem Sinne wirken muss. Wenn nämlich Seeschiffe gegen das Bohlwerk gelegt werden, so lässt es sich nicht vermeiden, dass solche in einzelnen Fällen mit Heftigkeit anstossen, und besonders geschieht dieses häufig beim Einsegeln der Schiffe, wenn ihre Geschwindigkeit nicht in dem Maasse vermindert werden kann, dass die Berührung ganz leise erfolgt. Für das Schiff, welches eine feste Verbindung in seinen Theilen hat, pflegt ein solches Aufstossen ohne allen Nachtheil zu sein: bei dem Bohlwerke dagegen werden alsdann die Pfähle zugleich mit der Verkleidung und den Erdankern zurückgedrängt, und wenn dabei auch kein Bruch erfolgt, so wird doch die Hinterfüllungserde stark aufgelockert und beim nächsten Wellenschlage um so leichter vom durchdringenden Wasser fortgespült. Diesem Uebelstande lässt sich sehr sicher begegnen, wenn man nach Fig. 45 an jedem Erdanker noch einen dritten Pfahl und zwar vor dem Kopfe desselben anbringt, der gleichfalls durch einen angetriebenen Keil in gehörige Spannung gegen den Ankerbalken gesetzt wird. In Holland ist diese Methode nicht ungewöhnlich, auch in Pillau wurde sie vor dem hohen Bohlwerke vielfach in Anwendung gebracht, weil grade hier das Gegenstossen der Schiffe besonders häufig vorkam.

Die hölzernen Ufereinfassungen haben zuweilen nicht mehr den Zweck, die Hinterfüllungserde zurückzuhalten, und dienen alsdann nur zum bequemen Anlegen der Schiffe. In diesem Falle

bilden sie nicht eigentliche Bohlwerke, sondern Ladebrücken. Behufs der Flussschiffahrt werden sie selten ausgeführt, da die gewöhnlichen Uferschälungen ihre Stelle vertreten, und gemeinhin ist die Böschung des Ufers hinreichend steil, dass die Flussschiffe von geringer Eintauchung so nahe gelegt werden können, dass mittelst einer leichten Ueberbrückung aus Bohlen die Verbindung darzustellen ist und auf diese Art das Ein- und Ausladen erfolgen kann. Anders verhält es sich aber mit den Seeschiffen, deren grosser Tiefgang eine solche Annäherung nicht gestattet: das Beladen und Lossen derselben erfolgt daher, wenn es überhaupt vom Lande und nicht etwa durch Lichterfahrzeuge geschieht, von besondern Ladebrücken aus, die in der Höhe der Uferstrasse soweit herausgeführt sind, dass das Schiff unmittelbar davor liegen kann. Die gewöhnliche Construction derselben stimmt mit der der Bohlwerke sehr genau überein, wenn man den untern Theil der letztern vom obern getrennt denkt. Jener bildet die äussere Einfassung des Ufers und trägt eine aufgesetzte Wand, auf welcher die Ladebrücke aufliegt. Auf der Landseite ruht sie aber auf einem eigentlichen Bohlwerke, welches mit Erde hinterfüllt ist, jedoch zu keiner grössern Tiefe, als bis unter Wasser herabreichen darf. Ausserdem pflegt man noch Kopfpfähle vor die Ladebrücken zu stellen, damit das unmittelbare Gegenstossen der Schiffe und noch mehr das Aufheben verhindert wird.

Die beschriebene Anordnung findet jedoch nur in dem Falle Anwendung, wenn der Wasserspiegel ziemlich unverändert bleibt: wenn derselbe aber durch den Einfluss der Ebbe und Fluth in kurzen Zwischenzeiten stark wechselt, so hat gewöhnlich der Strom in der Nähe des Ufers oder der Vorhafen bei niedrigem Wasser eine so geringe Tiefe, dass alsdann die Schiffe daselbst überhaupt nicht liegen können; es beschränkt sich daher die Benutzung der Ladebrücken auf die Zeit des Hochwassers. Dieser Umstand macht den Grundbau beinahe ganz entbehrlich: man kann das Ufer bis zum niedrigen Wasser abböscheln, und braucht darauf nur einen Ueberbau zu stellen, der bis über das hohe Wasser heraufreicht, an welchem die Schiffe während dieser Zeit bequem liegen können. Als Beispiel einer solchen Construction ist in Fig. 46 die Ladebrücke dargestellt, welche bei Grangemouth ohnfern der Mündung des Clyde-Kanals an den Ufern des Meer-

busens Frith of Forth erbaut ist*). Das Ufer ist mit ein- und einviertelfacher Anlage abgeböschet: in der Entfernung von 19 Fuss von einander sind je zwei Schwellen darüber gestreckt und zwischen denselben sind verstreute Holzverbindungen ähnlich den Brückenjochen gestellt. Diese sind noch durch je drei Kreuzverbindungen gegenseitig verstreut, und sie tragen mittelst leichter Sprengwerke die Brückenbalken, auf welchen der Belag mit dem Steinpflaster ruht. Damit die Schiffe aber nicht etwa unter einzelne Verbandstücke hinuntergreifen und dieselben abreissen oder den ganzen Bau heben können, so findet an der vordern Fläche noch eine gitterförmige Verkleidung statt, und zwar wird dieselbe von aussen durch verticalstehende starke Bohlen gebildet. Die Einzelheiten der Anordnung ergeben sich aus der Zeichnung. Fig. 46 a zeigt den Bau von der Stromseite und zwar in der zweiten Hälfte, ohne die erwähnte Verkleidung: Fig. 46 b den Querschnitt unmittelbar vor einem Joche, Fig. 46 c den Querschnitt in der Mitte zwischen zwei Jochen und Fig. 46 d die Ansichten von oben in der Höhe der Sprengwerke, der Brückenbalken und des Belages.

Ausser den bisher beschriebenen massiven und hölzernen Uferschälungen kommen auch noch eiserne vor, wie dieses bereits früher**) erwähnt worden. Von häufiger Anwendung sind dieselben keineswegs, und soviel bekannt geworden, finden sich Beispiele davon nur in England vor, wo der verhältnissmässig sehr hohe Preis des Holzes einen Ersatz desselben im Gusseisen suchen liess. Fig. 47 a, b und c zeigt das eiserne Bohlwerk, welches in den Jahren 1833 bis 1834 von Walker und Burges in der Ostindischen Docke bei Blackwall erbaut wurde***). Eine Reihe von hölzernen Pfählen mit davor gebolzten Zangen bildete die Lehre, gegen welche die gusseisernen Bohlwerks- und Spundpfähle gerammt wurden. Die Bohlwerkspfähle stehen im Abstände von $7\frac{1}{2}$ Fuss von einander und haben den Querschnitt, der schon früher auf Taf. XVIII. Fig. 218 mitgetheilt und mit B bezeichnet ist. Zwischen je zweien derselben befinden sich fünf Spundpfähle,

*) *Second series of the railway practice, by S. C. Brees.* London 1841. p. 102 ff.

**) Theil I. dieses Handbuchs §. 40.

***) *Transactions of the Institution of civil Engineers.* I. p. 200.

deren Querschnitt ebendasselbst angegeben ist. In den Kopf der Bohlwerkspfähle greift mittelst eines Zapfens eine Verlängerung derselben ein, wodurch sie bis zur Uferhöhe fortgesetzt werden. Drei eiserne Zuganker führen von jedem Bohlwerkspfahle nach einem dahinter eingerammten hölzernen Ankerpfahle und sind hier mit Schraubenmuttern befestigt. Der Zwischenraum zwischen je zwei Bohlwerkspfählen über der Spundwand ist durch gusseiserne Platten geschlossen, welche, wie Fig. 47 c zeigt, auch über die Spundwand übergreifen und sich zugleich gegenseitig durch vorstehende Ränder überdecken. Die obern Platten sind hin und wieder mit grossen Ringen zum Befestigen der Schiffe versehen. Diese Ringe werden indess durch besondere Zuganker gehalten, und wo sie vorkommen ist die betreffende Platte in ihrer vordern Fläche nicht eben, sondern vertieft gegossen, damit die Ringe vor der Fläche des Bohlwerkes nicht vortreten. Endlich ist hierbei zu erwähnen, dass der Raum zunächst hinter dem Bohlwerke mit Béton ausgegossen ist, wodurch sich eigentlich eine massive Uferschälung bildet, für welche die erwähnte Eisen-Construction nur als äussere Verkleidung anzusehn ist. Auf dem Béton sind die Deckplatten und die Steine mit den Wasserrinnen versetzt.

Sehr genau dieselbe Construction ist einige Jahre später bei der Werftmauer zu Deptford angewendet: die grössere Länge der Zuganker machte es indessen hier nothwendig, sie aus zwei Stücken zusammenzusetzen, und es verdient dabei Erwähnung, wie ein Ring über das umgebogene Ende der Stangen übergezogen wurde, um ein Zurückweichen derselben zu verhindern. Fig. 48 a zeigt diese Anordnung. In derselben Figur Litt. b ist noch ein horizontaler Durchschnitt des Bohlwerkes in seinem obern Theile gezeichnet, woraus sich die Anbringung der Verstärkungsrippen in den Platten und zugleich die Befestigung der Zuganker in den Bohlwerkspfählen ergibt.

Die Bohlwerke werden gemeinlich nur vor solchen Ufern erbaut, wo entweder das Anlegen der Schiffe, oder der hohe Werth des Bodens die Darstellung flacher Böschungen verbietet: sie finden daher vorzugsweise Anwendung innerhalb der Städte oder an andern Punkten, die für den Handel besonders wichtig sind. Wenn jedoch die Holzpreise sehr niedrig ausfallen, wie dieses namentlich in Gebirgsgegenden der Fall zu sein pflegt, so geschieht es wohl,

dass man auf lange Strecken die Ufer mit einer Art von Bohlwerken einfasst, um sie dem Angriffe des Stromes zu entziehen. Man darf indessen nicht erwarten, den Ufern dadurch einen besonders kräftigen Schutz zu geben, denn wenn die Construction an sich auch fester ist, als die der gewöhnlichen Uferdeckungen, so tritt dagegen vor der sehr steilen und oft ganz senkrechten Wand eine besonders heftige Strömung ein, die wieder auf die Vergrößerung der Tiefe und dadurch auf die Zerstörung des Baues hinwirkt. Weit regelmässiger bilden sich die Profile des Stromes von flach geneigten Uferdeckungen aus: diese verdienen daher im Allgemeinen den Vorzug. Ist man aber durch die bereits angeführten Umstände zur Anlage eines Bohlwerks gezwungen, so muss man sich, wenn dasselbe vom Strome getroffen wird, auf die Zunahme der Tiefe gefasst machen, und daher sowohl die Bohlwerkspfähle, wie auch die Spundwand gehörig tief einrammen.



Siebenter Abschnitt.

Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

§. 55.

Das Strombett.

Es ist schon früher erwähnt worden, dass die Flüsse und Ströme nicht die ganze Wassermenge abführen, welche in ihrem Gebiete als atmosphärischer Niederschlag herabfällt, indem ein Theil des Regenwassers nicht zu den Flussbetten gelangt, sondern schon früher verdunstet, ehe er dieselben erreicht. Die an verschiedenen Orten angestellten Beobachtungen über die Quantität des Niederschlages und der Verdunstung, verbunden mit den Messungen der Wassermenge in den Flüssen, bestätigen und erklären zugleich diese Erscheinung*).

Der Regen oder Schnee trifft im Allgemeinen die ganze Erdoberfläche, und wenn auch keine gleichmässige Vertheilung desselben stattfindet, so sind die höher liegenden Gegenden und die Gebirge doch keineswegs davon ausgeschlossen, sondern sie werden im Gegentheile sogar vorzugsweise getroffen. Das Wasser ist dem allgemeinen Gesetze der Schwere unterworfen, es kann sich daher auf einer geneigten Oberfläche nicht halten, sondern fliesst herab. Seine grosse Beweglichkeit, verbunden mit der Eigenschaft, sehr feine Zwischenräume zu durchdringen, befördert diese Bewegung. Es folgt dem stärksten Abhänge oder im Allgemeinen demjenigen Wege, der die mindesten Hindernisse entgegenstellt. Ueber einem undurchdringlichen Boden, oder einem solchen, der schon mit Wasser gesättigt ist, fliesst es sichtbar fort; in durchdringliche Erdschichten dagegen, deren Zwischenräume noch nicht angefüllt sind, und ebenso auch in klüftiges Gestein, zieht es sich hinein, und setzt auch in diesem Falle langsam seine Bewegung abwärts fort, bis es das Grundwasser, oder solche Schichten

*) Vergleiche Theil I. §. 6 dieses Handbuchs.

134 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

antrifft, die schon mit Wasser angefüllt sind. Hier würde es zur Ruhe kommen und sich immer mehr ansammeln, wenn nicht die grössere Höhe, zu welcher es ansteigt, den Druck vermehrte und dadurch Veranlassung gäbe, dass Seitenabflüsse nach dem Fusse der Anhöhe oder in die tiefer liegenden Thäler sich bildeten. In den letzten vereinigt sich dieses Wasser wieder mit demjenigen, welches auf der Oberfläche herabfloss und beide speisen gemeinschaftlich denselben Wasserlauf.

Derjenige Theil des Regenwassers, der entweder keinen Abfluss fand, oder vermöge der Capillar-Attraction in der durchdringlichen Oberfläche zurückgehalten wird, verdunstet, sobald die Trockenheit oder eine höhere Temperatur die Luft zur Aufnahme desselben empfänglich macht. In gleicher Weise gehen auch aus der Oberfläche des bewegten Wassers, soweit dieselbe mit trockner Luft in Berührung kommt, fortwährend Theilchen in diese über.

Dasjenige Wasser dagegen, welches die Bäche und Flüsse bildet, bewegt sich immer nach den tiefern Stellen der Erdoberfläche hin, und von diesen fliesst es zu den noch tieferen herab, wenn solche in der Nähe vorhanden und ihm zugänglich sind. Kommt es aber in einen, rings mit Anhöhen umschlossenen Kessel, der zunächst keinen Ausweg bietet, so sammelt es sich in diesem an, und wenn nicht etwa die Verdunstung oder auch wohl die Filtration so stark ist, dass die ganze zufließende Wassermenge dadurch absorhirt wird, so steigt es in dem Kessel oder Landsee immer höher, bis es zuletzt an einer Stelle, wo der umgebende Rand am niedrigsten ist, überfließt und von Neuem dem Abhange des Bodens folgt. Dieser Lauf muss aber augenscheinlich ein Ende nehmen, sobald die allerniedrigste Stelle auf der Erdoberfläche erreicht ist. Das Wasser sammelt sich auch hier an, und gelangt zur Ruhe, indem ein ferneres Abfließen nicht mehr denkbar ist. Auf solche Art bildete sich der Ocean und derselbe müsste durch den Zufluss der Ströme sich noch fortwährend ausdehnen, wenn nicht die ganze Wassermenge, welche zugeführt wird, wieder verdunstete und dadurch zu den Anhöhen und dem festen Lande wieder zurückkehrte. Bei der weiten Ausdehnung des Oceans, der ungefähr drei Vierteltheile der Erdoberfläche bedeckt, verschwindet der Einfluss, den temporäre Unregelmässigkeiten der meteorologischen und namentlich der Temperatur-Ver-

hältnisse auf die Verdunstung und den Niederschlag in einzelnen Zonen periodisch haben können. Der unverändert gleiche Stand des Weltmeeres, den die Beobachtungen zeigen, wenn man die partiellen, theils zufälligen und theils regelmässig wiederkehrenden Schwankungen unbeachtet lässt, beweist, dass die Menge des in der Luft schwebenden und des nach dem festen Lande zurückfliessenden Wassers sich nie merklich ändert, obgleich immer andere Wassertheilchen in diesen mächtigen Kreislauf gezogen werden, dem die Erde ihren Pflanzenwuchs und ihre Bewohnbarkeit verdankt.

Diese unveränderte Höhe des Wasserstandes im Weltmeere bedingt gewissermassen auch eine constante Höhe des Wasserspiegels der mit demselben verbundenen Ströme und Landseen, oder wirkt wenigstens dahin, das Niveau derselben zu reguliren, falls es in Folge reicher oder spärlicher Zuflüsse periodisch steigt oder fällt. Der Abfluss aus den Landseen nach dem Oceane erhält ein stärkeres Gefälle, wenn die ersteren anschwellen; dadurch vergrössert sich die Geschwindigkeit und zum Theil auch der Querschnitt des Stromes, der die Verbindung darstellt; beide Umstände befördern den Abfluss und so wird das zufällige Anschwellen des Landsees selbst Veranlassung, dass derselbe bald auf seinen normalen Stand zurückkehrt. Ganz gleiche Verhältnisse, nur im entgegengesetzten Sinne treten bei einem zufälligen ungewöhnlichen Senken des Wasserspiegels ein. In beiden Fällen regulirt also die immer gleiche Höhe des Oceans den Wasserstand in den Landseen und zugleich in den dazwischen liegenden Flussstrecken; nichts desto weniger bleiben hierbei gewisse periodische Erhebungen und Senkungen des Wasserspiegels, welche zuweilen im Laufe des ganzen Jahres sich nicht ausgleichen, sondern längere Zeiträume umfassen.

Wenn die Landseen mit dem Weltmeere in keiner Verbindung stehen, und ein Ueberströmen des Wassers dadurch verhindert wird, dass die Verdunstung in der Oberfläche der Seen schon vollständig die Zuflüsse absorhirt, wie dieses in heissen Climates möglich ist und zuweilen auch wirklich vorkommt, alsdann verschwindet jene Ausgleichung des Wasserstandes. Eine Reihe von besonders trocknen Jahren senkt den Wasserspiegel stark, und er hebt sich wieder zu einer grossen Höhe, wenn die Zuflüsse

136 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

lange Zeit hindurch besonders reichlich waren. Solche periodische Schwankungen, welche Decennien und noch grössere Zeiträume umfassen, charakterisiren demnach diese abgeschlossenen Landseen. Da gar keine Beziehung zwischen ihnen und dem Oceane stattfindet, so fehlt bei ihnen jede Normirung der Höhe des Wasserspiegels: und ein solcher See kann eben so gut weit über dem Niveau des Oceans, als unter demselben liegen.

Um hierüber ein Beispiel anzuführen, erwähne ich des Caspischen Meeres. Dasselbe bildet einen solchen abgeschlossenen Landsee; die Wolga, welche grösser ist, als irgend ein Strom in Europa, ergiesst sich nebst vielen andern mächtigen Zuflüssen in dasselbe, aber dennoch verdunstet diese ganze zugeführte Wassermasse in der weiten Oberfläche des Sees, die gegen 7000 Quadratmeilen umfasst. Die vorwaltende Nässe oder Dürre mehrerer auf einander folgenden Jahre im Gebiete der Zuflüsse bedingt die Höhe des Wasserspiegels, ohne dass ein normaler Stand sich dafür angeben lässt. Nach den Untersuchungen von Lenz*) stand der See im Jahre 1830 etwa um 10 Fuss niedriger, als 30 Jahre früher, und im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts scheint er noch viel niedriger gewesen, aber in kurzer Zeit gegen 40 Fuss gestiegen zu sein. Dieses ergiebt sich daraus, dass man bei ruhiger Witterung Ruinen von Gebäuden bemerkt, die jetzt tief unter Wasser stehen. Die Niveaudifferenz zwischen dem Caspischen Meere und dem Azowschen oder dem Schwarzen Meere hat man sehr verschieden angegeben, und dieses nicht etwa nur in Folge der Verschiedenheit im Stande des ersteren, sondern hauptsächlich wegen Ungenauigkeit der vorgenommenen Messungen. Parrot fand, dass das Caspische Meer etwa 100 Meter unter dem Wasserspiegel des Azowschen Meeres liegt, doch erregte er selbst später Zweifel gegen die Richtigkeit dieser Angabe. Die neuen Messungen von Fuss, Sawitsch und Sabler ergeben nur eine Differenz von 24,5 Meter oder 78 Fuss Preussisch, und zwar wieder in dem Sinne, dass der Spiegel des Caspischen Meeres unter dem des Mittelländischen liegt.

In noch grösserer Tiefe fliesst der Jordan in Syrien: der Spiegel des Tiberias-Sees, den er bildet liegt nach Russegger

*) Poggendorffs Annalen Band 26, Seite 353 ff.

203 Meter oder 647 Fuss unter dem Mittelländischen Meere und der des Todten Meeres nach Symond sogar 1360 Fuss oder nach Russegger 1386 Fuss Preussisch, gleichfalls unter dem Mittelländischen Meere.

Nach dem, was über die Bildung der Ströme gesagt ist, kann es leicht geschehen, dass das Wasser bei Verfolgung der Abhänge des Bodens, nach zwei verschiedenen Seiten zugleich abfließt; hieraus entsteht eine Spaltung des Stromes. Im Allgemeinen ist es freilich zu erwarten, dass in solchem Falle die beiden Wasserläufe sich nicht ganz gleichmässig ausbilden, dass vielmehr das Bette des einen leichter angegriffen werden wird, als das des andern, und da der stärkere Angriff eine Vergrösserung des Profils und sonach einen stärkeren Wasserzudrang bedingt, wodurch wieder die Wirksamkeit dieses Armes vermehrt wird; so kann man wohl annehmen, dass wenn solche Spaltungen auch ursprünglich bestanden, dieselben nach und nach beseitigt sind, indem der eine Arm sich vergrösserte, während der andere unbedeutender würde, und endlich ganz aufhörte. Nichts desto weniger sind Verhältnisse dieser Art doch nicht ohne Beispiel, und zwar nicht nur in den Mündungen der Ströme, wo dieses sich sehr häufig wiederholt, sondern auch im Binnenlande und es kommt sogar vor, dass mächtige Stromgebiete auf diese Weise schon durch die Natur mit einander in Verbindung gesetzt sind. So verbindet der Casiquiare den Orinoco mit dem Rio Negro, einem Nebenflusse des Amazonen-Stromes. Es tritt durch diesen mächtigen Nebenarm beider Ströme das Wasser aus dem Orinoco in den Rio Negro, und zwar ist die Verbindung so grossartig von der Natur dargestellt, dass die Binnenschiffahrt auf diesem Wege ohne Hinderniss betrieben wird. Aehnliche Beispiele, wenn freilich in weit kleinerem Maassstabe, wiederholen sich mehrfach. Hierher gehört unter andern die bereits erwähnte Verbindung des Arno mit der Tiber durch das Chiana-Thal*). Ich will indessen ein Beispiel noch specieller erwähnen, welches ich durch eigene Messungen näher kennen gelernt habe. Die Masurischen Seen im südlichen Theile des Gumbinner Regierungsbezirkes, entwässern theils nach Norden in den Pregel und theils nach Süden

*) Band I. §. 29.

138 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

in die Weichsel. In der Kette der grösseren Seen liegt der Leventin-See am höchsten, und derselbe ergiesst sich theils in den Mauer-See, der entschieden dem Flussgebiete des Pregels angehört, und theils durch mehrere kleinere Seen, nämlich den Gurkel-, Schimon-, Kott-, Taltowischko- und Rhein-See neben dem Städtchen Nikolaiken in den Spirding-See. Letzterer speist den sehr bedeutenden Pissek-Fluss, welcher in den Narew einen Nebenfluss der Weichsel, fliesst. Durch blosse Aufräumung einiger flachen Stellen und ohne Anlage von Schiffsschleusen sind diese Seen in schiffbare Verbindung mit einander gesetzt worden, und es wäre nur nöthig, die Mühle bei Angerberg zu beseitigen, welche den Mauer-See aufstaut, wenn man die kräftigen Zuflüsse aller dieser Seen, und namentlich die des Spirding-Sees dem Pregel wieder zuweisen wollte, dem sie wahrscheinlich vor der Anlage jener Mühle angehörten. Der Mauer-See stand im Herbst 1824 sehr genau eben so hoch, wie der Spirding-See und der Leventin-See lag nur um 10 Zoll höher. Diese Niveaudifferenz vergrössert sich nach den Pregelbeobachtungen in seltenen Fällen auf etwa 2 Fuss, sie bleibt aber immer so unbedeutend, dass sie sich leicht beseitigen liesse. Auf der westlichen Seite, den erwähnten Schifffahrtskanälen gegenüber, besteht durch den Ruden- und grossen Wonsz-See ohnfern Arys in den Entwässerungsgräben der Sümpfe bei Drosdownen noch eine zweite Verbindung des Leventin-Sees mit dem Spirding-See, und es ist eine auffallende Erscheinung, wenn man hier sieht, wie derselbe Graben an einer Stelle stehendes Wasser enthält, und in gar nicht weiten Entfernungen zu beiden Seiten nach verschiedenen Richtungen fliesst; und zwar so, dass sein Wasser den Stromgebieten des Pregels und der Weichsel zugeführt wird.

Auch die Verbindung der Ems mit der Lippe muss hier erwähnt werden, welche zur Zeit des Hochwassers sich darstellt: die Fluthen aus dem ersten Strome ergiessen sich nämlich durch die niedrige Ebene am Fusse des Teutoburger Waldes ohnfern Lippstadt in die Lippe; dieses Verhältniss ist indessen durch manche künstliche Anlagen, wenn auch nicht herbeigeführt, doch sehr befördert worden.

Bei Gelegenheit des Zusammenhanges verschiedener Stromgebiete unter sich ist noch zu bemerken, dass ein solcher, wenn

er auch ursprünglich nicht vorhanden war, sich mit der Zeit darstellen kann. Die Veranlassung dazu kann in der zunehmenden Verwilderung und Erhöhung des Strombettes liegen, wodurch der Wasserspiegel in der oberhalb belegenen Strecke so gehoben wird, dass er über die umgebenden Anhöhen, welche ihn sonst begrenzten, übertritt. Es ist mir nicht bekannt geworden, dass ein solcher Fall sich wirklich ereignet hat, aber wohl war man vor etwa 20 Jahren in der Schweiz sehr besorgt, dass in dieser Weise der Rhein seinen Lauf verändern möchte. Die zunehmende Verflächung und Verwilderung des Rheins im Kreise Vorarlberg vor seinem Eintritte in den Bodensee erweckte die Besorgniss, dass derselbe durch das Thal bei Sargans in die Senz treten, und durch den Wallenstädter See, die Linth, den Züricher See, die Limmat und Aare einen neuen Abfluss finden könnte. Ein solches Ereigniss wäre ohne Zweifel für die nächsten Umgebungen der benannten Flüsse und Seen und für die in den Thälern belegenen Städte höchst verderblich, da ein starkes Anschwellen aller dieser Gewässer dabei mit Sicherheit zu erwarten stand. Es sollen Verhandlungen mit der Oesterreichischen Regierung angeknüpft worden sein, wodurch dieselbe veranlasst werden sollte, einer weiteren Erhöhung des Rheinbettes vorzubeugen. Man beruhigte sich indessen erst, als genauere Messungen ergaben, dass der Rhein noch etwa 80 Fuss über seinen bisherigen höchsten Wasserstand steigen könne, bevor ein Abfluss nach der Senz möglich würde.

Die vorstehend erwähnten Erscheinungen bezogen sich auf die Ableitung des Wassers durch die Stromläufe; sie erklären es, wie die Flüsse, die Landseen und der Ocean sich bilden und manche Eigenthümlichkeiten annehmen mussten, welche wir daran bemerken. Die Voraussetzung, dass die Erdoberfläche in früherer Zeit wasserfrei gewesen sei, ist nur zur Erleichterung des Verständnisses angedeutet worden; die Einführung derselben war aber keineswegs nothwendig, denn man bemerkt leicht, dass die Verhältnisse, welche hierbei erläutert werden sollten, sich sehr genau in gleicher Weise herausstellen, wenn man auch das Gegentheil annimmt, dass nämlich der Erdball früher ganz mit Wasser bedeckt war, und der Ocean im Laufe der Zeit in engere Grenzen zurücktrat. Andere Eigenthümlichkeiten der Flüsse und deren

Umgebungen lassen sich aber aus der Betrachtung der ursprünglichen Höhenlage und der Neigungsverhältnisse der Erdoberfläche allein nicht erklären: namentlich gehört hierher die Ausbildung der Flussthäler und Flussbetten, wie sich solche überall und selbst in den Fällen, wo die Kunst noch gar nicht auf sie eingewirkt hat, darstellen. Ihre Entstehung, verbunden mit einer fast allgemeinen Umgestaltung der Erdoberfläche, die sich noch immer weiter ausbildet, ist allein die Folge der mechanischen und vielleicht auch der chemischen Kräfte des Wassers. Sie zerstören, wenn auch langsam, doch unwiderstehlich jede feste Oberfläche; und ein Ende dieser Wirksamkeit ist nur denkbar, wenn der ganze Erdball planirt sein wird, und die Stoffe sich nach ihrem specifischen Gewichte regelmässig übereinander geschichtet haben.

In jeder Gebirgsart und selbst in den festesten Felsen, welche das Wasser dauernd trifft, zeigen sich dessen Wirkungen: es greift durch seine chemische Verwandtschaft viele Bestandtheile der Gebirgsarten an, und führt auf diese Weise bei seiner ununterbrochenen Wirksamkeit endlich grosse Massen fort, so dass Felsbänke, welche Anfangs den Abfluss hemmten und dadurch ausgedehnte Landseen bildeten, nach und nach verschwinden. Eisschollen und andere vom Wasser fortgetriebene Körper stossen und reiben zugleich den Damm, der sie hemmt, und tragen dadurch gleichfalls zu seiner Zerstörung bei.

Es ist natürlich, dass ein solches Auswaschen und Abschleifen einer Felsbank sehr langsam vor sich geht; überdies ist der obere schmalere Kamm des Bergrückens im Laufe der Zeit schon längst beseitigt und die grössere Ausdehnung der im Angriffe stehenden Oberfläche vermehrt den Widerstand. Man darf daher nicht erwarten, dass ein solches Durchbrechen eines festen Felsriffes jemals wirklich beobachtet sei, und es lässt sich in der That, so viel mir bekannt, in keinem Falle durch historische Ueberlieferungen nachweisen, dass ein Strom auf diese Weise sein Bett vertieft, oder dadurch seinen Wasserspiegel gesenkt habe. Nichts desto weniger kann dieser Mangel eines historischen Beweises keinen Zweifel gegen die Thatsache selbst begründen; viele Eigenthümlichkeiten der Flussbetten, die wir heut zu Tage wahrnehmen, lassen sich dadurch allein erklären, und überdies steht diese Annahme mit den bekannten chemischen und physi-

kalischen Eigenschaften der Körper im innigsten Zusammenhange. Die tiefen Thäler, welche die Gebirge durchziehen und welche alle Wasserläufe aufnehmen, und dieselben, wenn auch auf Umwegen und mit wechselndem Gefälle, doch in ausgebildeten Betten den Strömen zuführen, sind demnach durch das Wasser selbst zu derjenigen Regelmässigkeit ausgebildet, welche sie zeigen. Die Wirksamkeit des Wassers giebt sich hierbei zuweilen auch noch auf andere Weise zu erkennen: wo die Bode am Fusse der Rosstrappe im Harz den Granit durchbricht, bemerkt man mehrere Nischen in den steilen Ufern, welche wie durch Kunst mit kugelförmiger Ueberdeckung ausgehauen zu sein scheinen. Gegen das Ende des Fusspfades zeigt sich im linken Ufer eine solche Nische von etwa 8 Fuss Weite unmittelbar neben einem kleinen Wasserfalle, und sie umgiebt denselben so concentrisch, dass ihre Decke, so wie die Wände gleichmässig von dem aufspritzenden Wasser getroffen werden. Dieser Umstand erklärt ihre Bildung; das Wasser selbst grub sie nämlich durch fortwährendes Aufspritzen im Felsen ein. Andere höher liegende Nischen beweisen, dass die Bode früher weit über ihrem jetzigen Niveau ähnliche Wasserfälle bildete, und im Laufe der Zeit ihr Bett vertiefte. Ein sicherer Maassstab für die Periode, in welcher die Senkung erfolgte, ist nicht vorhanden: aber man darf jenen früheren Zustand nicht in eine zu entfernte Vergangenheit verlegen, weil sonst der Granit durch den Einfluss der Witterung die Spuren dieser Einwirkung verloren haben würde.

Sodann sind die senkrechten Felsspalten, auch Klammen genannt, hier zu erwähnen, an deren unterem Ende Bäche durchfliessen. Man sieht sie nicht selten in Tyrol und im Salzburgischen, und besonders häufig haben sie sich im Sandsteine gebildet. Der Bergrücken hemmte den Abfluss des Baches, und dieser musste an der niedrigsten Stelle über ihn fortfliessen. Bei diesem Ueberstürzen griff er aber diejenige Stelle an, welche seine Strömung traf, und so schnitt er nach und nach die tiefe Spalte ein. Hierbei kann es geschehen, dass einzelne tiefer liegende Stellen dem Wasser schon in Folge einer Fuge oder einer undichten Stelle den Durchfluss gestatteten, ehe die Spalte vollständig dargestellt war. Alsdann blieb die obere Lage, die vom Wasser nicht weiter angegriffen wurde, unverändert, und gestaltete

142 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

sich zu einer natürlichen Brücke, wie von Humboldt solche in den Cordilleren bei Icononzo sah, unter denen in der Tiefe von 300 Fuss der Rio de la Summa Paz strömt. Eben so fliesst in Virginien ohnfern Harper's Ferry der Cedar Creek in einer Tiefe von etwa 200 Fuss unter einer ähnlichen Felsenbrücke.

Auch der berühmte Fall des Niagara, zwischen dem Erie- und Ontario-See, zeigt deutlich die Zerstörung, welche das Wasser an den Felsen ausübt, welche seinen freien Abfluss hindern. Bei der Insel Goat Island stürzt der Niagara, in zwei Arme getheilt, etwa 160 Fuss tief herab. Das Gebirge, welches sich nicht bedeutend über das Oberwasser erhebt, besteht aus Muschelkalk, und es kann nicht fehlen, dass es einen starken Angriff vom Wasser erleidet. Auf $1\frac{1}{2}$ Meilen Länge unterhalb des Falles ist der Strom in einem engen Thale von steilen, etwa 300 Fuss hohen Ufern eingeschlossen. Wahrscheinlich waren sie ursprünglich mit einander verbunden, und das Wasser floss über das Gebirge fort, so dass der Wassersturz in der Nähe des Ontario-Sees stattfand. Diese Zerstörung hat aber auch noch keineswegs ihre Grenze erreicht, und man bemerkt sogar, wie sie fortschreitet. Nach Basil Hall ist der Wasserfall in 36 Jahren etwa 130 Fuss weiter stromaufwärts gerückt, und hiernach könnte man vermuthen, dass ungefähr nach drei Jahrhunderten das Gebirge ganz durchbrochen und dem Niagara ein freier Abfluss eröffnet sein wird. Die grösste Tiefe im Erie-See beträgt nur 270 Fuss, derselbe muss daher in diesem Falle beinahe ganz aufhören; und es wird sich alsdann hier dieselbe Catastrophe wiederholen, welche wahrscheinlich in Gebirgsgegenden häufig vorgekommen ist, dass nämlich Seen verschwinden, indem das Wasser den natürlichen Damm, der den freien Abfluss hinderte, durchbricht. In gleicher Weise kann man wohl annehmen, dass die Reuss in dem Thale bei Andermatt früher einen See bildete, ehe die Oeffnung durch die Schöllenen ohnfern der Teufelsbrücke sich gehörig vertieft hatte. Auch der Rhein musste, bevor er bei Bingen zwischen dem Taunus und Hundsrück den Bergrücken durchbrochen hatte, im Rheingau einen weiten See bilden; zum Verschwinden dieses Sees trug ausserdem auch das Geschiebe bei, welches hier in grosser Tiefe abgelagert ist, und ohne welches auch heut zu Tage noch der See vorhanden wäre.

Das Wasser äussert ferner noch auf eine andere wesentlich verschiedene Weise eine sehr zerstörende Wirkung an den Felsen. Wenn es dieselben nämlich nur periodisch und vielleicht sogar nur als Regen trifft, so zerstört es durch Verwitterung ihre Oberfläche. Hierdurch oder auch wohl durch die natürliche Schichtung des Gesteines dringt es in die Masse ein, und seine Eigenthümlichkeit, beim Gefrieren das Volum zu vergrössern, löst gewaltsam in der Nähe der Oberfläche feine Körnchen und kleine Steinstückchen und selbst grosse Blöcke vom Felsen ab. Was auf solche Weise gelöst ist, folgt eben so wie das Wasser wieder dem allgemeinen Gesetze der Schwere und stürzt, so weit die Neigung des Bodens es gestattet, von der Höhe in die Tiefe herab. Auf diese Weise sammeln sich die Trümmer der Felsen in den Thälern an, oder sie fallen vielleicht schon unmittelbar in die Betten der Bäche und Flüsse. Die heftige Strömung, welche nach starken Regengüssen oder beim Schmelzen des Schnees eintritt, setzt die herabgefallenen Massen aufs Neue in Bewegung, und schleift sie in den Rinnen der Felsen fort, so weit das Gefälle dieses zulässt und so weit der Stoss des Wassers hierzu die nöthige Kraft giebt. Sobald aber das Gefälle sich mässigt und dadurch eine sanftere Bewegung des Wassers erfolgt, oder dieselbe vielleicht ganz aufhört, indem der Fluss in einen See tritt, so sinken die schweren Geschiebe, der Kies, der Sand und selbst die im Wasser schwebenden Erdtheilchen hintereinander zu Boden, und bezeichnen durch ihre Ablagerung die Stärke des Stromes, der sie hierher führte. Bei der immer fortdauernden Strömung und sonstigen Wirkung des Wassers wiederholen sich die Erfolge auf gleiche Weise: in dem tief eingeschnittenen Netze der Thäler werden die gelösten Felsmassen immer aufs Neue gesammelt und fortgespült, und grosse Flächen aufgeschwemmten Landes, die Trümmer der zerstörten Gebirge, lagern sich über dem Felsboden, der früher das Bette von Seen war. Der ganze Lauf des Flusses zeigt indessen die Spuren der Verwüstungen, die er theils selbst angerichtet hat, und welche theils von seinen Zuflüssen herrühren. Die feineren leichter beweglichen Theilchen bilden in ihrer endlosen Masse eine Fortsetzung der Ufer des Stromes weit über seine ursprüngliche Mündung hinaus; sie häufen sich am Rande des Meeres an und dadurch entstehen die fruchtbaren

144 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

Niederungen, deren Höhe durch die Anschwellung des Flusses bedingt, sich zu einer fast horizontalen Ebene ausbildet.

Es soll hierdurch keineswegs gesagt sein, dass jeder Boden, der nicht gewachsener Felsen ist, durch dieselben Ströme, die heut zu Tage noch existiren, aufgeschwemmt worden sei. Weit stärkere Strömungen und vielleicht auch andere Naturkräfte mögen bei der Ablagerung und Aufschichtung solcher Sand- und Steinmassen einst mitgewirkt haben; aber manche Erscheinungen, die in der historischen Zeit sich ereignet haben und zum Theil unabhängig von allen früheren Nachrichten sich noch wahrnehmen lassen, beweisen die gewaltigen Aenderungen, welche die Ströme auf der Erdoberfläche hervorbringen können. Ich erinnere hierbei an die schon früher mitgetheilten Thatsachen, dass die Ufer des Po's in jedem Jahre sich um $18\frac{1}{2}$ und die der Nogat um $11\frac{1}{2}$ Ruthen weiter seewärts verlängern*). Wo Ströme seit längerer Zeit eingedeicht sind, bemerken wir in gleicher Weise, dass das künstliche Flussthal zwischen den Deichen viel höher liegt als die Niederung, welche dem Zutritt des Hochwassers durch die Deiche entzogen ist. Gewiss war dieses zur Zeit der Eindeichung nicht der Fall, sondern es ist der Erfolg der spätern Erhöhung des Flussbettes. Endlich führe ich noch an, dass manche Gebirgsflüsse zur Zeit der Anschwellung mehrere Procent festes Material mit sich führen**). Diese Umstände lassen allerdings erwarten, dass in der unbegrenzten Zeitperiode, seitdem die Ströme fließen, auch weit ausgedehnte Ebenen aufgeschwemmten Bodens durch sie gebildet werden mussten. Wenn wir aber solche Niederungen heut zu Tage nicht weiter zunehmen, sondern im Gegentheile dem Angriffe des Meeres blosgestellt sehen, wie dieses z. B. bei der äusseren Holländischen Küste der Fall ist, so wäre es wohl keine gewagte Hypothese, anzunehmen, dass in jener frühen Periode, als der aufgeschwemmte Boden emporwuchs, die Nordsee weniger zerstörend war, als jetzt. Die beiderseitigen Ufer der Meerenge bei Calais stehen noch jetzt im Abbruche, und je mehr sie zurückweichen, desto stärker wird die Strömung der eintretenden Fluth. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass diese Strömung früher minder

*) Theil I. §. 29

***) Theil I. §. 25.

stark war; vielleicht war sogar der Canal einst ganz geschlossen und die Nordsee stand nur auf der Nordseite mit dem Atlantischen Meere in Verbindung. In diesem Falle hatte die Holländische Küste eine sehr geschützte Lage und wurde von keiner heftigen Seitenströmung getroffen. Die Anlandungen mussten also hier eben so vor sich gehen, wie dieses in Binnenseen und geschlossenen Buchten noch heute geschieht.

In den aufgeschwemmten Flussthälern treten wieder andere Erscheinungen ein: der Strom bildet hier weit leichter, als im Felsboden sein Bett aus, und verändert es zugleich viel leichter, als in jenem. Die geringste Ungleichmässigkeit der Ufer, oder eine Vertiefung oder Verflächung des Bettes an einer oder der andern Seite, veranlasst schon den Strom, sich bald rechts bald links zu wenden und in Folge seines Beharrungs-Vermögens, welches ihn, wie jeden schweren Körper, in gerader Richtung fortreibt, versetzt er abwechselnd seine Ufer in Abbruch. So bilden sich die Krümmungen durch Abbruch der concaven Ufer nach und nach immer weiter und schärfer aus, und indem vor dem gegenüberliegenden convexen Ufer die Ablagerung der vom Strome vorbeigeführten Materialien gewöhnlich in demselben Maasse weiter vortritt, wie die ersteren zurückweichen, so nimmt die Serpentine fortwährend zu, bis sie durch den Angriff des Wassers am Anfangs- und Endpunkte zuletzt wieder durchbrochen wird, und der Strom sich auf diese Art von selbst regulirt. Man könnte vermuthen, dass das Wasser die Tendenz haben müsste, einen graden Lauf zu verfolgen, indem dieser die geringste Ausdehnung in der Länge und sonach das stärkste relative Gefälle bedingt. Beim Hochwasser findet dieses auch wirklich statt, und man bemerkt allgemein, dass die Hauptströmung in solchem Falle, soweit die Höhenlage des Terrains es gestattet, den kürzesten Weg aufsucht; sobald aber das Wasser in das eigentliche Bett zurücktritt, so muss es demselben folgen, und die Veränderungen desselben sind allein durch zufällige Umstände bedingt, welche auf die Richtung des Stromes Einfluss haben. Die Thalläche, welche vom Hochwasser überströmt wird, bedeckt sich in Folge der periodisch wiederkehrenden Inundation gemeinlich mit einem festen Rasen, der ihr einen sehr sichern Schutz gegen den Angriff des Wassers gewährt, und zugleich verhindert, dass

während der kurzen Dauer des Hochwassers ein neues Bette sich bilden kann.

Ueberhaupt ist die Wirkung des Stromes, wenn er auch mit grosser Heftigkeit über eine ziemlich ebene Thalfläche geht, sehr unbedeutend: wogegen die Veränderungen des Bettes ausschliesslich durch den Abbruch der Ufer desselben veranlasst werden.

Während auf solche Weise das Flussbette seine Stelle immer verändert, erhöht sich zugleich die mit einer Grasnarbe oder mit Gebüsch bedeckte Thalsohle durch den Niederschlag der feineren Stoffe, die das Hochwasser herbeiführt; die Vegetation hemmt den Abfluss der Fluthen durch die Ausdehnung der benetzten Fläche und vermindert dadurch die Geschwindigkeit des Wassers so sehr, dass dieses die fein zertheilten Erdmassen fallen lässt, welche es schwebend mit sich führte.

Aus der Wirkung der Vergangenheit muss man auf die der Zukunft schliessen; die aufgeschwemmten Thäler haben sich bisher erhöht, und die Sohle des Flussbettes ist der Sohle des Thales gefolgt. Es steht also auch fernerhin eine Aenderung in demselben Sinne zu erwarten: das Gegentheil tritt nur in dem Falle ein, wo gewachsene Felsmassen den Abfluss des Wassers hindern. Der Einfluss, welchen ein geregelter Strombau auf diese fortschreitende Aenderung des Wasserspiegels ausüben kann, ist allerdings nicht in Abrede zu stellen, bis jetzt giebt sich dasselbe jedoch nur insofern zu erkennen, als die Beseitigung einzelner untiefen Stellen, welche bisher das Wasser zurückhielten, auf die Beförderung des Abflusses hinwirkt, und das Flussbette zugleich mit dem Spiegel des Flusses sich senkt. Der allmählichen Erhöhung des Thales ist bisher wohl noch nirgend eine Grenze gesetzt. Eine solche wäre auch nur denkbar, wenn die Ufer der Ströme und aller Zuflüsse so sicher gedeckt wären, dass hier kein Abbruch mehr erfolgen könnte, so dass selbst das Hochwasser klar und frei von allen erdigen Theilchen in die Flussbetten träte. Hiernach muss man annehmen, dass die Senkung des Wasserspiegels, die man häufig in denjenigen Flüssen wahrnimmt, wo ausgedehnte Correctionsarbeiten unternommen sind, nur temporär ist, und langsam wieder verschwinden wird, wenn die Thäler höher heraufgewachsen sein werden. Es giebt freilich

noch ein anderes Mittel, der allgemeinen Erhöhung der Flussthäler vorzubeugen, und zwar dadurch, dass man dieselben zum Theil der Einwirkung des Wassers durch Deichanlagen entzieht. Die Erfolge hiervon können indessen unmöglich den bestehenden Zustand sichern, sie führen vielmehr im Laufe der Zeiten einen weit bedenklicheren herbei. Die Erfahrungen, welche in vielen Gegenden und namentlich in Holland hierüber gemacht sind, zeigen, wie schon erwähnt, dass das zwischen den Deichen künstlich eingeschlossene und zum Theil ganz unangemessen beschränkte Flussthal sich fortwährend erhöht, und das Flussbette selbst in gleicher Weise nachfolgt. So fließt der Leck nicht nur bei höheren, sondern auch bei niedrigeren Wasserständen in einer unnatürlichen Höhe über dem nebenliegenden abgeschlossenen Terrain, und es wird dadurch theils die Entwässerung des letzteren sehr erschwert, theils aber wird auch die Gefahr bei vorkommenden Deichbrüchen fortwährend grösser, und es ist zu besorgen, dass einst dieses unnatürliche Verhältniss aufgehoben werden muss, wie dieses von Holländischen Hydroteecten bereits als das einzige Rettungsmittel für die nebenliegenden Niederungen in Vorschlag gebracht ist.

In diesem beständigen Wechsel der Verhältnisse, welche grossentheils durch zufällige Umstände bedingt sind, zeigt sich demnach eine gewisse Gleichmässigkeit und ein Beharren, das beim ersten Blicke überraschen muss. Es giebt in den sich selbst überlassnen Flussbetten viele Stellen, welche bedeutend tiefer sind, als andere: man sollte vermuthen, dass diese Tiefen eben wegen der schwächeren Strömung eine besonders starke Verlandung erfahren müssten, aber eine solche zeigt sich nicht und die Tiefe erhält sich dauernd, wenn auch das Bette selbst seine Lage verändert. Andere Stellen dagegen sind den Schiffern, so weit die Nachrichten reichen, als Untiefen bekannt, man hat sie wiederholentlich und manche derselben regelmässig bei jedem kleinen Wasser aufgeräumt, aber jedes Hochwasser wirft aufs Neue Steine und Sand darin auf. Zuweilen sind diese Bänke höher als der Spiegel des kleinsten Wassers, woher sie bei plötzlichem Eintreten desselben den Abfluss ganz hemmen, und wie ein Wehr den Strom vor sich aufstauen müssten. Das Hochwasser verläuft sich indessen nur nach und nach, und so geschieht es, dass sie vom Strome wieder angegriffen werden, und

derselbe in ihnen eine Rinne bildet, welche bald dieselbe Tiefe wie früher erhält. An solchen Stellen haben selbst ausgedehnte Stromcorrectionen oft keinen vollständigen Erfolg gehabt, indem sie nur eben die Erhaltung einer nothdürftigen Wassertiefe bewirkten, ohne dass derjenige Wasserstand erreicht wäre, der sich auf den zwischenliegenden Strecken ganz von selbst bildet. Man bezeichnet diese auffallende Verschiedenheit durch besondere Benennungen, die freilich nicht allgemein angenommen, sondern nur provinziell sind. Die Untiefe heisst häufig Kopf, weil sie aus dem Bette hervorrägt, auch die Benennung Furth ist nicht ungewöhnlich, indem grade hier die Fahrwege durch den Fluss führen. Die zwischenliegenden tiefen Stellen werden am häufigsten Pfuhl und Woog genannt. Das erste Wort erklärt sich leicht durch die geringe Strömung, die zur Zeit des kleinen Wassers hier stattfindet und den Schiffern oft das Herabfahren erschwert; Woog dagegen soll vielleicht eine Stromstrecke ohne Gefälle bedeuten, die also in der Wage liegt. Die Erscheinung selbst muss offenbar durch äussere Umstände bedingt sein, welche von der zufälligen Lage und Gestalt der Strombetten unabhängig sind. Ich habe mich vielfach bemüht, die Ursachen aufzufinden, und vermüthe, dass dieselben fast immer in der grösseren oder geringeren Nähe und der Richtung der höheren Ufer zu suchen sind, welche das Thal und zugleich die Inundation begrenzen. Bei Weitem in den meisten Fällen liegt der Pfuhl in der Richtung der Strömung des Hochwassers, und wo letztere das Flussbette verlässt, oder dasselbe kreuzt, oder wieder hineintritt, bildet sich eine Furth. Zum Entstehen der Furthen geben ausserdem noch Felsriffe Veranlassung, welche das Bette durchsetzen, und häufig sind es endlich die seitwärts einmündenden Bäche, die bei jeder Anschwellung neue Massen von Steinen oder anderes Material hier aufhäufen.

Eine andere gleichfalls sehr auffallende Erscheinung ist es, dass die sämmtlichen Untiefen oder Furthen eines Stromes nicht selten sehr genau eine ganz gleiche Wassertiefe haben. Diese Stellen sind es ausschliesslich, deren Tiefe vom Schiffer sorgfältig gemessen wird, indem die Ladung, die er führen darf, hierdurch bedingt ist; eine Vergleichung solcher Messungen,

besonders nach anhaltend kleinem Wasser, zeigt oft eine überraschende Uebereinstimmung. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dass der Betrieb der Schifffahrt selbst gewissermaassen auf einen solchen Erfolg hinwirkt, denn wenn der Schiffer eine besonders flache Stelle vorfindet, so versucht er zuweilen durch Aufräumen die Tiefe etwas zu vermehren, oder er zieht auch wohl an ausgesetzten Ankern das Schiff herüber, und bildet dadurch eine etwas tiefere Furche. Es scheint jedoch, dass auch der Strom selbst darauf hinwirkt, ein gewisses Minimum der Tiefe überall herzustellen, und bis zu dieser den Sand und die Steine nach und nach fortzuspülen.

Das Gefälle des Stromes, worunter man immer die Neigung des Wasserspiegels versteht, stellt sich nach den angeführten Erscheinungen auf die ganze Länge des Laufes sehr verschieden dar: es ist im Allgemeinen in den Furthen und überhaupt auf den seichteren Stellen viel stärker, als in den tieferen Strecken; die ersteren aber, welche grossentheils durch die zufällige Gestaltung der Erdoberfläche, durch vortretende Felsen, durch eine eigenthümliche Lage der Ufer oder durch die Einmündung der Seitenzuflüsse bedingt werden, bilden gewissermaassen die Festpunkte, wodurch das Gefälle des Stromes im Ganzen normirt wird. Ein allgemein gültiges Gesetz über die Vertheilung des Gefälles lässt sich daher gewiss nicht angeben, wie man ein solches zuweilen nachzuweisen versucht hat. Der gewöhnliche Fall ist es freilich, dass der obere Theil eines Stromlaufes mehr Gefälle hat als der untere. Dieses rührt indessen allein von der ursprünglichen Gestaltung der Oberfläche her, über welche er fliesst, und von welcher er sich nie weit entfernen kann; und man darf keinen Zusammenhang im ganzen Laufe des Stromes oder eine gewisse Tendenz desselben voraussetzen, seinen Wasserspiegel nach einer stätigen Curve zu normiren. Man findet auch nicht selten sehr auffallende Abweichungen von der erwähnten Erscheinung. Der Rhein hat zwischen Carlsruhe und Bingen ein viel schwächeres Gefälle, als im Coblenzer und selbst im Cölner Regierungsbezirke; die Saar und die Mosel haben in den obern Theilen ihres Laufes gleichfalls einen weit geringeren Fall, als weiter abwärts. Augenscheinlich liegt die Veranlassung des stärkeren Gefälles in den Gebirgen, die der Strom durchbrechen musste;

150 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

sie bildeten theils an sich schon natürliche Dämme, die den Lauf des Wassers hemmten, theils aber liefern sie auch fortwährend so vieles und so grobes Material, dass der Strom dasselbe nur beseitigen kann, wenn er stark fliesst; er wird also durch die gelösten Massen so lange gehemmt, bis das Gefälle stark genug geworden ist, um das Bette aufzuräumen. Sammelt der Fluss dagegen seine Quellen in weit ausgedehnten Sumpfgenden, die gewöhnlich fast wagerecht liegen, so hat er im ersten Theile seines Laufes nur ein sehr geringes Gefälle. Die Erfahrung bestätigt daher keineswegs ganz allgemein die Voraussetzung, dass das Gefälle der Ströme von oben nach unten immer abnehmen sollte, und noch viel weniger giebt sie Veranlassung, hierin eine gewisse Gesetzmässigkeit zu suchen.

Wie sehr das Gefälle des Stromes bei verschiedenen Wasserständen sich ändert, ergiebt sich aus den im Folgenden mitgetheilten Wasserstandsbeobachtungen. Der Grund dieser Erscheinung ist darin zu suchen, dass bei eintretenden Anschwellungen das Abflussprofil nicht mehr durch das eigentliche Bette, sondern vielmehr durch die Entfernung der höheren Ufer bedingt wird. Es verschwindet sonach in diesem Falle mit dem Steigen des Wassers auch der Einfluss, den einzelne hohe Kiesbänke oder künstliche Wehre äussern, und im Allgemeinen kann man wohl annehmen, dass bei hohem Wasser das Gefälle sich viel gleichmässiger darstellt, als dieses bei kleinem Wasser der Fall ist. Eine Ausnahme hiervon tritt nur ein, wenn die höheren Ufer sehr nahe zusammenrücken, wodurch das Fluthprofil in der Breite beschränkt wird, und sonach ein stärkeres Gefälle erforderlich ist, um die entsprechende grössere Geschwindigkeit zu erzeugen. Hierdurch erklärt sich die ziemlich allgemeine Erscheinung, dass oberhalb der besonders engen Stellen in den Flussthalern die höchsten Anschwellungen eintreten, und dasselbe ist offenbar auch da der Fall, wo die Einschränkung keine natürliche, sondern künstlich durch Eindeichungen hervorgebracht ist.

Endlich muss bei dieser Gelegenheit auch noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Gefälle und namentlich für kleines Wasser, durch die Stromcorrectionen verändert wird. Ein auffallendes Beispiel dieser Erscheinung wird im Folgenden bei Gelegenheit der Wasserstandsbeobachtungen nachgewiesen werden;

dasselbe ist auf Taf. XXIX. Fig. 68 dargestellt, es zeigt, wie bei kleinem Wasser die beobachteten Pegelhöhen der Weser bei Vlotho und Minden gegen die bei Schlüsselburg jetzt ganz andere Differenzen zeigen, als etwa vor 15 Jahren. In dieser Zeit ist aber im Preussischen Antheile der Weser auf die Beseitigung der untiefen Stellen mit grossem Erfolge hingearbeitet worden, während in der Strecke unterhalb Schlüsselburg die Untiefen zunahmten und sonach den Abfluss des kleinen Wassers hemmten.

§. 36.

Die Ufer.

Der Abbruch des Ufers steht mit dem Angriffe, den das Wasser gegen das Bette des Stromes ausübt, in sehr naher Beziehung und ist häufig die unmittelbare Folge des Letzteren: da nämlich jeder lose Boden eine gewisse Seitenböschung braucht, um gehörig unterstützt zu werden (wie dieses bei Gelegenheit der Untersuchung über den Seitendruck der Erde, §. 49, bereits erwähnt worden ist), so muss derselbe seine Unterstüttung verlieren und nachstürzen, sobald der Fuss der Dossirung vom Wasser ausgewaschen wird. Dieses Nachstürzen erfolgt aber keineswegs jedesmal unmittelbar nachdem die Dossirung beschädigt ist, sondern es treten vielmehr sehr häufig besondere Umstände ein, welche dasselbe längere Zeit hindurch verhindern, woher man wieder aus dem guten Ansehen eines Ufers über Wasser nicht auf den unversehrten Zustand seiner Dossirung schliessen kann. Diese zufälligen Umstände, welche ein schadhafes Ufer vorläufig halten, sind zunächst die Cohäsion des Erdreichs; dieselbe ist theils von der Zusammensetzung der Erde und theils von ihrer Feuchtigkeit abhängig. Ein fester Thonboden steht nicht nur einige Zeit hindurch ohne Dossirung, sondern sogar etwas überhängend; seine Cohäsion wird auch nicht plötzlich aufgehoben, es lösen sich vielmehr die Theile nur nach und nach von einander ab, indem die Brüche oder Spalten sich immer mehr ausbilden. Diese Brüche sind sehr steil und meist nach einem flachen Bogen gekrümmt, dessen concave Seite nach oben gekehrt ist. Man bemerkt daher bei dieser Bodenart in der horizontalen Oberfläche gewöhnlich senkrechte Fugen, und in grossen Klumpen

gleitet die Erde, wenn der Bruch sich vollständig ausgebildet hat, im obern Theile beinahe lothrecht herab.

Bei einem stärkern Zusatze von Sand oder Kies erfolgt die Ablösung in kleinern Massen, und die Richtung des Bruches ist weniger steil. Besteht der Boden aber aus reinem Sande oder aus Kies, so ist die Erscheinung wesentlich anders. Indem kein Bindemittel zwischen den einzelnen Körnchen vorhanden ist, so stürzen dieselben immer sogleich nach, wenn sie nicht gehörig unterstützt sind, und stellen dadurch augenblicklich ihre erforderliche Dossirung wieder her. Wenn der Sand auf diese Weise in das Flussbette herabfällt, so bildet er eine ganz lose Ablagerung, oder den sogenannten Trieb sand*), der den bewegten Massen beinahe gar keinen Widerstand entgegensetzt, und daher sehr leicht wieder fortgetrieben wird. Das Nachstürzen des Ufers geht in diesem Falle ohne Unterbrechung vor sich, und deshalb sind grade bei dieser Bodenart die Verwüstungen, welche ein heftiger Strom hervorbringt, auch am auffallendsten. Derjenige Theil des Ufers, der über Wasser liegt, zeigt indessen gemeinhin, während des Abbruches, eine viel steilere Böschung, als dem Sande zukommt, und dieses rührt davon her, dass die Feuchtigkeit im Innern der Masse eine merkliche Cohäsion verursacht, wodurch die Sandkörnchen, so lange sie noch feucht sind, zurückgehalten werden.

Beim grohen Kiese und ebenso bei stärkerem Steingerölle findet eine weit festere Ablagerung statt, indem das grössere Gewicht der einzelnen Stücke einen viel kräftigern Widerstand dem Angriffe des Wassers leistet. Der obere Theil eines solchen Ufers wird aber in diesem Falle, wenn nicht etwa bindende Erdtheilchen die Zwischenräume der Steinchen ausfüllen, durch keine Cohäsion zurückgehalten, und stellt daher sogleich diejenige Böschung dar, welche sich dauernd erhalten kann.

Ein zweiter Umstand, der das Nachstürzen der Ufer oft verhindert, ist der Gegendruck des Wassers; derselbe kann aber nur da eintreten, wo entweder das ganze Ufer oder wenigstens seine grössere Fläche einigermaassen undurchdringlich ist, so dass bei eintretender Aenderung des Wasserstandes im Flusse, das Grundwasser im Innern sich nicht sofort damit ins Gleich-

*) Theil I. §. 7.

gewicht setzt. Beim Kiese und beim Steingerölle ist daher auf einen solchen Gegendruck gar nicht zu rechnen: dasselbe verliert freilich, wenn es vom Wasser bedeckt wird, einen Theil seines Gewichtes, doch vermindert sich im gleichen Maasse auch seine Reibung, und so ist sein natürlicher Böschungswinkel über Wasser demjenigen unter Wasser gleich. Beim Sande treten hierbei manche wesentliche Modificationen ein, die Böschung desselben muss unter Wasser flacher sein, als im trocknen Zustande*), senkt sich daher der Wasserstand im Flusse, so würde aus diesem Grunde keine Bewegung des Ufers zu erwarten sein, es kommt jedoch ein anderer Umstand dabei noch in Betracht, wodurch gemeinhin ein sehr heftiges Abstürzen des Ufers veranlasst wird. Das Wasser zieht sich nämlich bei anhaltend hohem Stande des Flusses in die Zwischenräume des Sandes auf weite Entfernung langsam hinein, oder das Grundwasser hebt sich. Sobald der Fluss wieder fällt, strömt dieses Wasser zurück, und da es gemeinhin nicht so schnell das Ufer wieder erreichen kann, als die Senkung des Wasserspiegels im Flusse erfolgt, so bilden sich starke Quellen, die eine Masse Sand mit sich fortreissen, und dieser Umstand giebt Veranlassung, dass ein solches Ufer nach jedem Hochwasser einstürzt. Auch wenn Bohlwerke das Ufer einfassen, bemerkt man in diesem Falle ein starkes Nachsinken der Hinterfüllungserde.

Bei festem Thonboden zeigt sich die Wirkung des Gegendruckes vom Wasser am auffallendsten. Ist ein thoniges Ufer zur Zeit des Hochwassers durch die starke Strömung auch ganz steil in seinem Fusse abgebrochen, so steht es häufig so lange der hohe Wasserstand anhält, so unbeweglich, dass man oft keine Spur von der Zerstörung seines Fusses wahrnehmen kann: sobald aber der Wasserspiegel sinkt und der Gegendruck desselben aufhört, kann der Boden sich nicht mehr halten und stürzt in grossen Massen nach. Hierdurch erklären sich die sogenannten Kappstürzungen der Deiche, die gewöhnlich bei starkem Fallen des Wassers eintreten: während des höchsten Wasserstandes hält sich der Deich oft so gut, dass man gar keine Anzeichen eines Bruches oder überhaupt einer Gefahr bemerken kann, sobald aber das Wasser schnell fällt, stürzt plötzlich die äussere Dossirung oder

*) Theil I. §. 21.

auch wohl die Krone oder Kappe des Deiches in den Strom herab. Das Ufer war nämlich in diesem Falle unter dem Wasserspiegel so steil abgebrochen, dass es ohne diesen Gegendruck sich nicht mehr halten konnte. In ähnlicher Weise erfolgt auch zuweilen das Einstürzen von massiven Uferschälungen grade in der Zeit, wenn das Hochwasser abgeflossen ist.

Einen sehr kräftigen Schutz erhalten sandige Ufer durch Weidenpflanzungen. Die feinen Wurzelfasern bilden ein so dichtes Geflechte, dass die einzelnen Körnchen nicht hindurchfallen können, und eben diese Wurzeln, soweit sie bereits entblösst sind, in Verbindung mit den von oben herabhängenden Zweigen mässigen die Strömung unmittelbar neben dem Ufer, wodurch sich dieses oft lange Zeit hindurch in gutem Zustande erhält, obgleich es ganz steil ist und seine Dossirung vollständig verloren hat. Insofern hierbei ein Wiederauffangen des Sandes nicht denkbar ist, wenn derselbe dennoch ausgespült wird, so muss man wohl annehmen, dass auch dieser Schutz nur vorübergehend ist und mit der Zeit der Uferstrand doch etwas zurücktritt, besonders wenn der Strom grade einen starken Angriff darauf ausübt. Die Erfahrung zeigt dieses auch wirklich: nichts desto weniger ist der Nutzen eines solchen Weidengebüsches so augenfällig, dass dasselbe unter allen natürlichen Schutzmitteln eines sandigen Ufers als das kräftigste angesehen werden muss.

Von grosser Wichtigkeit ist die Beantwortung der Frage, auf welche Weise das Wasser den Fuss der Ufer angreift: ohne Zweifel ist hierzu eine gewisse Kraft erforderlich, und diese kann nur von der Bewegung des Wassers ausgehen. Man kann also wohl im Allgemeinen annehmen, dass die Wirkung des Stromes um so grösser sein wird, je grösser seine lebendige Kraft oder seine Geschwindigkeit ist. Dieses bestätigt auch die Erfahrung, aber es bleibt dabei immer noch unentschieden, ob eine regelmässige starke Strömung auch die Ufer angreift, d. h. eine solche Strömung, wobei die Wassertheilchen in paralleler Richtung zum Ufer sich mit einer gewissen Geschwindigkeit fortbewegen, oder ob es hierbei weniger auf die Geschwindigkeit der ganzen Wassermasse in der Richtung des Stromes ankommt, als vielmehr auf die partiellen innern Bewegungen und namentlich die Wirbel, welche eben den Ueberschuss der lebendigen Kraft

consumiren. Alle Erfahrungen scheinen die letzte Annahme zu bestätigen: ein Zweifel gegen diese Annahme rechtfertigt sich nur insofern, als gewöhnlich beide Arten von Strömung, nämlich die partiellen Wirbel und die allgemeine Geschwindigkeit des Wassers in der Richtung des Stromes, gleichzeitig zu- und abnehmen, und man daher nicht unmittelbar entscheiden kann, welche von beiden man als die Ursache des Angriffes der Ufer ansehen soll. In manchen Fällen stellen sich indessen die beiden erwähnten Bewegungen schon getrennt von einander dar, die Erfolge, welche sich hier zeigen, sind also für die Beantwortung der vorliegenden Frage entscheidend. Ich erwähne hierbei nur des tiefen Kolkes, welcher sich regelmässig unterhalb jedes Wehres zu bilden pflegt, wenn nicht etwa eine sehr feste, künstliche oder natürliche Deckung des Bettes dieses verhindert. Eben wegen der grossen Tiefe, verbunden mit der grossen Breite des Profiles in einem solchen Kolke, ist die Geschwindigkeit des Stromes hier in der Richtung seiner Axe sehr geringe, dennoch dauern die Angriffe gegen das Bette und das Ufer hier fort, und was besonders zu bemerken ist, es erfolgt hier keine Ablagerung von Geschieben oder feinerem Material. Die sehr starken innern Bewegungen im Wasser sind es also, welche eine solche Ablagerung hindern und das Bette an der Sohle und an den Seiten angreifen. Sehr wahrscheinlich, und wie ich glaube, mit allen Erfahrungen übereinstimmend, ist die Annahme, dass das Wasser diejenigen Stellen des Ufers oder des Bettes vorzugsweise angreift, gegen welche es bei seiner Bewegung gerichtet ist, und zwar kommt hierbei nicht nur die allgemeine Richtung des Stromes, sondern ebenso und vielleicht vorzugsweise die Richtung der partiellen Strömungen in Betracht. Die Stärke des Angriffes ist aber abhängig von dem Winkel, unter welchem das Wasser aufstösst, ferner von der Stärke dieses Stosses und endlich von dem Widerstande, den das Ufer nach Maassgabe der Beschaffenheit und Verbindung seiner Theile ausübt.

Hiernach lässt sich eine sehr wichtige Erscheinung, welche die Flüsse und Ströme häufig zeigen und welche mit dem Abbruche der Ufer in der innigsten Beziehung steht, schon erklären: es ist dieses die bereits erwähnte Tendenz, Serpentinien zu bilden. Wenn die Hauptströmung, oder was man gemeinhin den Stromstrich zu nennen pflegt, durch zufällige Verflächungen oder

Vertiefungen im Bette auf das eine Ufer gewiesen wird, so versetzt er dasselbe in Folge der Richtung, unter welcher er es trifft, in Abbruch, und es bildet sich alsdann in einer vorher geraden Stromstrecke ein concaves Ufer. Die Hauptströmung befindet sich vor demselben, es wird daher die Geschwindigkeit am gegenüberliegenden Ufer geringer, und es erzeugt sich vor diesem eine Untiefe, die sich immer mehr erhöht, so lange das Wasser überhaupt erdige Theile oder schwerere Massen heraufschieben kann. Auf diese Weise ist die Veranlassung zum Entstehen einer Stromkrümme gegeben. Das Wasser, als schwerer Körper, hat die Tendenz, die Richtung seiner Bewegung beizubehalten: sobald es daher in ein, wenn auch nur schwach gekrümmtes Bette tritt, so wird es bei Verfolgung der Richtung, in welcher es sich bewegt, nach dem concaven Ufer geführt: hier concentrirt sich also die Hauptströmung und gleichzeitig greift dieselbe dieses Ufer dauernd an, so lange es nicht in Folge einer künstlichen Befestigung oder durch Entblössung einer natürlichen festen Decke hinreichenden Widerstand leistet. Ohne dass auf diese Weise dem Angriffe eine Grenze gesetzt wird, ist ein Aufhören desselben nicht denkbar, wenigstens so lange, als der Strom wirklich dieses Ufer trifft. Man sagt freilich zuweilen*), dass die Abnahme des relativen Gefälles in der ganzen Stromkrümmung, insofern dieses der Ausdehnung der letztern umgekehrt proportional ist, endlich eine so geringe Geschwindigkeit bedingen müsse, dass schon dadurch der Angriff gegen das Ufer aufhöre. Das Gefälle des ganzen Stromes ist indessen keineswegs durch die Natur so unveränderlich vertheilt, dass eine Stelle nicht zufällig einen grössern Theil desselben bekommen könnte, als sie bisher hatte. Es geschieht auch ohne Zweifel, dass bei der weitem Ausbildung einer Serpentine der Wasserspiegel in der vorhergehenden Strecke sich erhebt: der Beweis dafür liegt darin, dass dieser Wasserspiegel sich jedesmal wieder senkt, sobald man die Landzunge in der Serpentine durchsticht, oder dieselbe durchbrochen wird. Es giebt sonach keine bestimmte Grenze, bis zu welcher die Serpentine sich nur ausbilden kann, und bei welcher ein Beharrungszustand eintreten muss.

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1838, I. p. 349.

Dagegen setzt die Natur selbst der Ausdehnung der Serpentin auf eine andere Art eine Grenze: sie fixirt dieselben nicht, sondern zerstört sie wieder. Eine Serpentine hat ihr concaves Ufer nicht durchweg auf einer Seite, sondern abwechselnd auf der rechten und linken. Gesetzt, dass eine einfache Serpentine weit in das linke Stromufer eingebrochen wäre, so bleibt für den mittlern Theil derselben nur das linke Ufer dem Angriffe des Stromes ausgesetzt, aber damit der Strom aus der vorhergehenden Strecke links gelenkt werde, muss er im Anfange der Serpentine eine entgegengesetzte Krümmung machen, oder er trifft hier das rechte Ufer, und dasselbe geschieht auch wieder, wenn er aus der Serpentine heraustritt. An diesen beiden Stellen, wo er das rechte Ufer trifft, bricht er dasselbe eben so ab, wie das linke im Scheitel der Serpentine, und so geschieht es, dass beide Schenkel sich immer mehr nähern und zuletzt der schmale Landstreifen dazwischen durchbrochen wird. Beispiele dieser Art sind gar nicht selten an solchen Flüssen, deren Ufer nicht sorgsam unterhalten werden. An der Ems, oberhalb Rheine, wo bisher weder die Schifffahrt noch auch die Cultur der Thalläche Veranlassung zu kostbaren Uferdeckungen geben konnte, hat der Strom sich in dieser Art oft genug selbst regulirt. Im Jahre 1832 zerstörte er eine Serpentine oberhalb Emsdetten, und 1840 in gleicher Weise eine andere Serpentine in der Nähe des Dorfes Veltrup, indem er beide Male die Landzunge wieder durchbrach, die er früher selbst durch die zunehmende Krümmung seines Laufes gebildet hatte. Selbst wo die Erhaltung des Schifffahrtsweges grössere Aufmerksamkeit auf die Sicherung der Ufer bedingt, zeigen sich zuweilen die Uferbrüche so plötzlich, dass die schmalen Landzungen am Fusse der Serpentin vom Strome beseitigt werden: dieses geschah z. B. vor Kurzem mit der weit ausgedehnten Krümmung der Saale bei Saalhorn in der Nähe ihrer Mündung in die Elbe.

Noch auf andere Weise hört zuweilen die weitere Ausbildung einer Stromkrümmung auf, besonders wenn dieselbe noch nicht weit vorgeschritten war. Eine zufällige Veranlassung war es nämlich, welche den Strom zuerst gegen das eine Ufer richtete und dieses in Angriff versetzte: eine ähnliche zufällige Veranlassung kann denselben auch wieder ablenken, und dieses besonders leicht, so lange die ganze Ausbildung des Bettes noch nicht den starken

Angriff auf das eine Ufer bedingt. In dieser Art sieht man nicht selten ein Ufer abbrechen und zurückweichen, während es im nächsten Jahre nicht mehr vom Hauptstrome getroffen wird, und Alluvionen sich aufs Neue davor ablagern.

Es muss hier noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, dass durch den Abbruch der Ufer nicht nur Erde, Sand und grössere und kleinere Steine in die Flussbetten geführt werden, sondern ausserdem auch die Stämme der auf dem Ufer stehenden Bäume. Dieselben schwimmen zwar Anfangs, aber wie das Holz ganz vom Wasser durchzogen wird, vergrössert sich sein specifisches Gewicht und es sinkt daher zu Boden, oder es wird auch wohl, wenn es bei kleinem Wasser vor einer seichten Stelle liegen bleibt, durch Sand und Schlamm so dicht umgeben, dass es sich bei hohem Wasser nicht wieder heben kann. Hierdurch erklärt sich die grosse Menge von Baumstämmen, die man in den Flussbetten vorfindet. Ihre Beseitigung ist sehr schwierig, da der Strom selbst sie wegen ihrer Grösse gemeinhin nicht vollständig ausspülen kann, wenn man auch seinen Angriff künstlich verstärkt: es bleibt daher nur übrig, sie unmittelbar durch mechanische Hülfsmittel auszuheben, was gemeinhin sehr schwierig ist. Als die obere Lippe schiffbar gemacht wurde, hat man eine lange Reihe von Jahren hindurch bedeutende Summen zu diesem Zwecke verwenden müssen, und wie die Tiefe des Bettes im Allgemeinen zunahm, zeigten sich immer neue Stämme im Grunde, was zuweilen auch jetzt noch hier sowohl, wie bei andern Strömen, z. B. der Weser, der Fall ist.

Von weit grösserer Bedeutung ist das Treibholz auf solchen Strömen, welche Urwaldungen durchfliessen, wo also zum Schutze der Ufer nichts geschieht, und eben so wenig die Bäume gefällt und fortgeschafft werden, ehe der Strom sie fortreiben kann. Namentlich auf dem Mississippi sind diese Stämme nicht nur für die Schifffahrt sehr nachtheilig, welche dadurch einer beständigen sehr grossen Gefahr ausgesetzt ist, sondern sie bilden auch im Strome und in der Mündung desselben oft grosse Inseln, die wegen ihrer Beweglichkeit zu den auffallendsten Erscheinungen Veranlassung geben. Der losgerissene Baumstamm stürzt in das Wasser, und das grössere specifische Gewicht des Holzes am untern Ende des Stammes und in der Wurzel macht, dass diese am

tiefsten eintaucht, und wo nicht hinreichende Wassertiefe vorhanden ist, zuerst am Grunde hängen bleibt. Nach der Stellung, in welcher diese Bäume angetroffen werden, haben sie von den Schiffern besondere Benennungen erhalten. Zuweilen stehen sie fast senkrecht (Planter), zuweilen werden sie mit der Wurzel, auch wohl mit den Zweigen nur leicht im Grunde gehalten, und tauchen alsdann abwechselnd mit dem andern Ende unter das Wasser und zeigen sich wieder (Sawyer). Am Gefährlichsten sind sie aber, wenn sie ganz unter Wasser und mit dem Wipfel schräge nach oben und zwar stromabwärts gekehrt im Flusse liegen (Snag). Man kann sie nur an einem leichten Aufwirbeln in der Oberfläche des Wassers erkennen. Für die stromabgehenden Schiffe sind sie weniger schädlich, indem dieselben meist sanft herübergleiten, dagegen stossen die stromauffahrenden Dampfschiffe häufig gegen die Spitze des Stammes und erleiden dabei solche Beschädigungen, dass sie gewöhnlich gleich sinken. Die Gefahr ist um so grösser, als die Stämme vorzugsweise in der Nähe der Ufer liegen, also grade da, wo die zu Berg fahrenden Dampfschiffe sich halten müssen, um dem Hauptstrome auszuweichen. Ueberdiess finden sie sich keineswegs auf bestimmten Stellen, und daher kann auch der lokalkundigste Steuermann nicht ein Gegenstossen verhindern. Das Mittel, welches man anwendet, um dieser Gefahr zu begegnen, besteht nur darin, dass man im Vordertheile des Schiffes eine wasserdichte Zwischenwand anbringt, wodurch der vordere Raum (Snag Chamber) beim Durchstossen des Buges voll Wasser laufen kann, ohne dass das ganze Schiff sinkt.

Diese Baumstämme finden sich indessen keineswegs nur einzeln vor, sondern oft in grossen Massen, so dass sie Inseln und vollständige Wehre (Rafts) bilden, welche der Schifffahrt eine unüberwindliche Grenze setzen. Das grossartigste Beispiel dieser Art findet sich im Red River, dem letzten bedeutenden Zuflusse des Mississippi: derselbe würde auf etwa 1000 englische Meilen schiffbar sein, wenn er nicht in der Mitte seines Laufes durch eine derartige Anhäufung von Baumstämmen ganz gesperrt wäre, die wahrscheinlich schon seit Jahrhunderten existirt. Sie erstreckt sich nicht nur von einem Ufer zum andern, sondern sie soll auf 70 englische Meilen Länge den Strom so anfüllen, dass der Be-

trieb der Schifffahrt daselbst unmöglich ist*). In ähnlicher Weise ist auch der Atchafalaya-Strom (der eigentlich einen Nebenarm des Mississippi bildet, indem er einen Theil desselben westlich vom Hauptströme dem Mexicanischen Meerbusen zuführt) auf 10 englische Meilen Länge in seinem Bette mit Baumstämmen überdeckt. Doch auch der Mississippi selbst mit seinen sämtlichen Mündungen ist mit solchem Holze stellenweise angefüllt, und die Inseln und ein grosser Theil seiner Ufer im untersten Theile seines Laufes bestehn nur aus Baumstämmen. Die Festigkeit eines solchen Bodens ist durch den Niederschlag bedingt, der das Bindemittel für diese Masse ist. Sobald letzteres zufällig fortgespült wird, lösen sich nicht nur einzelne Bäume, sondern ganze Strecken Landes heben sich und schwimmen nicht selten davon. Der Major Delafield, Ingenieur vom Platze in Port-Jackson, dem äussersten rechtseitigen Fort am Mississippi, sammelte hierüber verschiedene Thatsachen, die er dem Congresse vorlegte. Er sah eine versunkene Goelette, bei der nur die Spitze des Mastes noch über Wasser geblieben war, nach einiger Zeit wieder auf trockenem Lande liegen; dasselbe war mit Steinen der Fall, die aus einem gestrandeten Schiffe, um dasselbe flott zu machen, über Bord geworfen waren. Das untere Stock des Forts wurde eines Tages mit Wasser angefüllt, indem eine solche Schicht in der Nähe sich plötzlich hob und das darüber stehende Wasser seitwärts abfloss. Besonders in der Nähe der äussersten Mündungen sieht man nicht selten, wie die Ränder der Inseln sich mit einem Male erheben: die Insel nimmt alsdann eine concave Oberfläche an, das Wasser fliesst zwischen den Stämmen hindurch, spült den Schlamm fort, und bald löst sich der ganze Bau und treibt den Fluss herab.**)

Die Erdmassen, sowie der Sand und die Steine, welche bei der Zerstörung der Ufer in den Strom stürzen, bleiben, wie schon erwähnt, keineswegs daselbst ruhig liegen, sondern sie werden durch das Wasser fortgerissen und erzeugen theils die immer

*) *Stevenson sketch of the civil engineering of North-America*. London 1838.

***) *Histoire et description des voies de communication aux états unis*, par Michel Chevalier. Paris 1840. I. p. 79 ff.

wiederkehrenden Untiefen an gewissen Stellen des Stromes, theils aber erhöhen sie nach und nach das ganze Thal, soweit dieses zur Zeit des Hochwassers inundirt wird, oder sie füllen nach und nach die tiefen Kessel an, welche ursprünglich Binnenseen waren. Ein sehr grosser Theil, und vielleicht der grösste Theil des Materials, folgt indessen so lange dem Laufe des Wassers, als dieses überhaupt fliesst, und sinkt erst zu Boden, wenn es in das Meer getreten ist und seine Geschwindigkeit ganz aufgehört hat. Dadurch entstehen die Untiefen, welche fast jedesmal die Mündungen der Ströme für grössere Schiffe unzugänglich machen, und welche häufig ein immer weiteres Vorrücken des Ufers zur Folge haben. Wenn nämlich nicht etwa ein starker Wellenschlag und eine heftige Küstenströmung diesen Niederschlag verhindert, oder ihn bald wieder fortreibt und in der Tiefe des Oceans versenkt, so wachsen diese Flächen allmählig bis über den niedrigen Wasserstand an: die Vegetation, die sich bald auf ihnen einstellt, giebt Veranlassung zu stärkeren Ablagerungen des Materials. Indem sie aber die Fortsetzung der Ufer bilden und sonach den Strom verlängern, so wirken sie hierdurch wieder auf eine Erhebung des Wasserspiegels hin, welche ungefähr der Entfernung von der neuen Mündung proportional ist. Der höhere Wasserstand bedingt alsdann eine noch höhere Auflandung, und so erfolgt die Erhebung dieser Flächen allmählig bis zum mittleren Wasserstande des Meeres und selbst darüber. Auf diese Art sind, wie schon oben erwähnt, die fruchtbaren Niederungen entstanden, die häufig in weiter Ausdehnung neben den Mündungen der Ströme vorkommen.

Die Bewegung der Erde und der Steine in den Flüssen und Strömen erfolgt auf sehr verschiedene Weise: sehr geringe Quantitäten verschiedener Mineralien, z. B. des Salzes, werden im Wasser aufgelöst und scheiden sich nur durch Verdunstung des Wassers wieder ab. Sie gelangen daher ohne merkliche Abnahme bis zum Ocean und haben auf die weitere Umgestaltung der Flussbetten keinen Einfluss. Der Thon und die vegetabilische Erde werden, sobald der Strom sie aufnimmt, hier zertheilt, und da das Gewicht eines Körnchens seinem cubischen Inhalte oder der dritten Potenz des Durchmessers proportional ist, während der Widerstand, den das Wasser seiner Bewegung entgegensetzt, nur

seinem Querschnitte oder der zweiten Potenz des Durchmessers entspricht, so erklärt es sich, wie bei gleichem specifischem Gewichte die kleineren Körner sich weit länger schwebend erhalten und durch geringe innere Bewegungen des Wassers wieder gehoben werden, während die grösseren bald zu Boden sinken. Solche Massen, die sich sehr fein zertheilen, veranlassen die Trübung, die man im Flusswasser besonders zur Zeit der Anschwellung sehr auffallend bemerkt: sie scheiden sich nur aus, wenn die Bewegung beinahe ganz aufhört.

Anders verhält sich schon der Sand, er schwebt nur so lange im Wasser, als die innern Bewegungen in Folge einer heftigen Strömung sehr stark sind, und fällt sogleich zu Boden, wie dieselben sich mässigen. Dadurch wird er aber dem Einflusse des Stromes keineswegs ganz entzogen, sondern er bewegt sich auch hier langsam fort, indem die einzelnen Körnchen durch den Druck des Wassers auf der Oberfläche des Bettes fortgeschoben werden. Die Bewegung des Sandes lässt sich im klaren Wasser der Bäche und in künstlichen kleinen Kanälen leicht beobachten. Dubuat *) beschreibt dieselbe so genau, dass eine Uebersetzung der Stelle das deutlichste Bild von der Erscheinung geben wird. Er sagt:

„Die Art, wie das strömende Wasser ein bewegliches Bett bearbeitet und wie es den Sand, den es mit sich führt, weiter schafft, ist höchst bewundernswürdig und verdient beachtet zu werden. Zuweilen entsteht ein Wirbel, der die Erdtheilchen und den feinen Sand mit sich reisst, wie der Wind den Rauch fortreibt: dieses geschieht, sobald die Geschwindigkeit des Wassers so gross ist, dass der Stoss ganz entschieden die Trägheit der festen Körnchen überwindet. Gewöhnlich ist es aber ein regelmässigeres und sanfteres, ich möchte sagen, ein methodisches Verfahren, welches man als ein Meisterstück der Dynamik bewundern muss.“

„Wenn nämlich die Geschwindigkeit des Wassers am Grunde gross genug ist, um die specifisch schwereren Körperchen noch fortzuschieben oder fortzurollen, so bewegen sich diese nicht stätig und gleichförmig, sondern sie schreiten gleichsam stationsweise vor. Der Sand mag als Beispiel dienen: besteht die Sohle des

*) *Principes d'hydraulique*. I. §. 72.

Bettes aus einem etwas groben Sande, dessen Körnchen man deutlich verfolgen kann, und beträgt die Geschwindigkeit des Wassers am Grunde 10 bis 12 Zoll in der Secunde, so lagert sich der Sand in der Form jener Gewebe, die unter dem Namen der Ungarischen Spitzen bekannt sind: er stellt nämlich unregelmässige Rücken dar, die sich quer durch den Strom ziehen. Jeder dieser Rücken wird durch zwei Böschungen gebildet, die nach entgegengesetzter Richtung ansteigen. Die stromaufwärtsgekehrte fällt sehr sanft ab, wogegen die andere sehr steil ist. Das Profil eines solchen Rückens ist ziemlich ähnlich demjenigen des Glacis und des verdeckten Ganges bei Festungswerken. In geringer Entfernung vom Fusse der steilen Böschung beginnt die sanfte Ansteigung des folgenden Hügels, und so setzt sich die Bildung stromabwärts fort. Das Sandkörnchen, welches vom Strome getroffen wird, steigt die sanfte Neigung der vordern Fläche heran, und sobald es auf den Scheitel gekommen ist, rollt es durch sein eigenes Gewicht an der andern Seite herab. Hier bleibt es ruhig liegen, weil es vor dem Stosse des Wassers gesichert ist. Andere Körnchen machen der Reihe nach denselben Weg und begraben das erste. Diese Bewegung hat viel Aehnlichkeit mit der des Transportes bei starken Aufträgen, wobei nämlich die Erdarbeiter die gefüllte Karre auf einem sanft geneigten Wege bis ans Ende des bereits geschütteten Dammes schieben und hier die Erde ausstürzen. Die Sandkörnchen, welche auf solche Weise verdeckt sind, bleiben so lange unter der Last der späteren Ankömmlinge ruhig liegen, bis endlich die ganze Masse des Sandrückens, welchen sie hinter sich gelassen hatten, in einzelne Körnchen zertheilt vorübergezogen ist. So schreitet der ganze Rücken in Folge der nach und nach eintretenden Bewegung seiner Theile weiter, und sobald er einen Raum zurückgelegt hat, der seiner Breite gleichkommt, so ist das erste Körnchen wieder frei geworden und befindet sich am Fusse der vorderen Böschung. Es ist alsdann aufs Neue dem Angriffe des Wassers ausgesetzt: es steigt das Glacis wieder herauf, und stürzt wieder wie das erste Mal herab. Diese sehr langsame Bewegung findet bei den sämmtlichen hintereinander liegenden Sandrückens gleichzeitig statt, und bei mässiger Geschwindigkeit des Wassers dauert es eine volle halbe Stunde, bis der kleine Hügel von 4 bis 5 Zoll Breite eine solche Station

oder eine Strecke, die seiner Breite gleichkommt, zurückgelegt hat. Nimmt die Geschwindigkeit des Wassers zu, so geht die Veränderung schneller vor sich, und im entgegengesetzten Falle langsamer. Durchschnittlich würde aber ein Sandkörnchen zwei Jahre gebrauchen, um ein Lieue (ungefähr $\frac{2}{3}$ Preuss. Meilen) zurückzulegen.“

Diese Angaben Dubuat's habe ich durch eigene Versuche vollständig bestätigt gefunden: ich wählte dabei recht feinen Sand, um schon durch eine mässige Strömung die Bewegung zu veranlassen, der Sand war aber vorher rein ausgewaschen, so dass er das Wasser gar nicht trübte und dieses seine volle Durchsichtigkeit behielt. Wenn ein heftiger Strom gegen eine steile Sandböschung traf, wie dieses etwa beim Angriffe der abbrüchigen Ufer der Fall ist, so wirbelte der Sand ganz in der beschriebenen Weise auf, und die Erscheinung hatte eine auffallende Aehnlichkeit mit dem Forttreiben des Rauches zur Zeit eines heftigen Windes. Die hiedurch gelöste Sandmasse folgte dem stärksten Ströme und lagerte sich an den Stellen des Bodens, wo die Strömung etwas schwächer wurde. Hier häufte sich bald eine grössere Masse an, und in derselben zeigte sich sogleich die von Dubuat bezeichnete Bewegung und die Bildung der Sandrücken. Zur Vervollständigung der Beschreibung dieser letzten Art der Bewegung habe ich nur zuzusetzen, dass die einzelnen Körnchen nicht etwa sich in grössern Zwischenräumen auf einander folgen, sondern die ganze Oberfläche des Sandrückens ist gleichzeitig in Bewegung und rückt ziemlich regelmässig die flach geneigte Böschung herauf: hier stürzen die Körnchen augenblicklich herab und überdecken sich eines das andere, so dass sie sogleich einen neuen Scheitel des Rückens bilden. Bei diesem Fortrücken des ganzen Sandhügels nimmt derselbe indessen an Höhe nicht zu, und dieser Umstand zeigt, dass nicht nur die Körnchen am Fusse der flachen Böschung in Bewegung gesetzt werden, sondern dass das Wasser die ganze vordere geneigte Fläche angreift, wie dieses auch wohl nicht anders sein kann. Man bemerkt in der That, dass an ihrem Fusse die Anzahl der in Bewegung gesetzten Körnchen viel geringer ist, als weiter nach dem Scheitel hin, wo ein Körnchen das andere zu berühren oder die ganze Oberfläche in Bewegung zu sein scheint.

Als ich die vorher regelmässigen Wände des Canales durch vorgesezte Blöcke auf verschiedene Weise beengte, um eine grosse Unregelmässigkeit in der Strömung hervorzubringen, wurde sogleich an einzelnen Stellen der Sand ganz fortgespült und das Wasser führte denselben im Allgemeinen immer in der Richtung des stärksten Stromes fort, und liess ihn fallen, sobald die Geschwindigkeit geringer wurde. So bildeten sich lang ausgezogene Sandhügel, auf welchen die Bewegung der einzelnen Körnchen noch ganz in der beschriebenen Art erfolgte. Ein grosser Theil des Canalbodens blieb aber jetzt vom Sande frei, und dieses war theils an solchen Stellen der Fall, wo die Richtung des Stromes nicht hinwies und sonach der Sand auch gar nicht hingetrieben wurde, theils aber verhinderte an manchen Stellen die Heftigkeit des Stromes, obgleich derselbe sehr vielen Sand enthielt, jede Ablagerung des letzteren.

Die Erscheinungen, welche die Flussbetten zeigen, stimmen sehr genau mit den eben erwähnten überein: auch in ihnen lagert sich der Sand in Bänken ab, welche stromaufwärts sehr flach, stromabwärts dagegen sehr steil abfallen, und diese Bänke bewegen sich, wie man zuweilen beobachtet hat, bei schwacher Strömung sehr langsam mit dem Wasser fort. Zur Zeit des Hochwassers tritt jedoch ein anderes Verhältniss ein: der starke Strom greift den Sand in grossen Massen an und treibt ihn schwebend fort, wodurch in ähnlicher Art wie der kleine Canal bei der Veränderung der Ufer fast plötzlich stellenweise vom Sande entblösst wurde, auch das Stromebette sehr schnell vertieft oder verflächt wird. Die Ablagerungen, die sich bilden, haben auch in diesem Falle noch dieselbe Form, und wahrscheinlich erfolgt in ihrer Oberfläche auch noch dieselbe Bewegung, aber ihr erstes Erscheinen geschieht viel rascher, als dass man dabei noch an jene langsame und nur periodisch eintretende Bewegung der einzelnen Körnchen denken könnte: dieselben kommen vielmehr mit der Geschwindigkeit des Wassers selbst an, und sinken sogleich zu Boden, wenn die Strömung schwächer wird.

Je gröber das Material ist, um so stärker muss die Strömung sein, welche dasselbe in Bewegung setzt: daher bezeichnet die Ablagerung des groben Kiesel und noch mehr die des schwereren Geschiebes eine heftigere Strömung, als die des Sandes.

Jedesmal kann man aber annehmen, dass die Strömung oberhalb der Ablagerung stärker war, als unterhalb dieser Stelle, denn nur die verminderte Geschwindigkeit war Veranlassung, dass das Material sich aus dem Wasser ausschied. So findet man in der Richtung der Hauptströmung des Hochwassers die schwersten Geschiebe aufgeworfen, und dieses nicht nur im eigentlichen Flussbette, sondern auch auf der Thalsohle und selbst auf den nebenliegenden Aeckern, wenn irgend eine Veranlassung war, den Strom hierher zu weisen. Namentlich zeigt sich dieses bei Deichbrüchen, wo unmittelbar nach dem Einsturze des Deiches ein sehr heftiger Strom sich zu bilden pflegt: man sieht alsdann häufig so groben Kies auf den Wiesen und Aeckern liegen, wie man ihn sonst in derselben Flussstrecke nicht bemerkt, weil er gewöhnlich nur in der tiefsten Rinne des Bettes bleibt. Diese Ablagerungen von Kies und Geschiebe zeigen in ihrer Oberfläche eine sehr gleichartige Masse, und dieses offenbar deshalb, weil bei der hier eingetretenen Verminderung der Geschwindigkeit im Wasser nur eine gewisse und zwar die schwerste Sorte von Körpern zurückblieb, alle übrigen aber, die leichter beweglich waren, noch weiter trieben. Interessant ist es, dass die kaum sichtbaren feinen Goldfitterchen nur so weit ihre Bewegung fortsetzen, als faustgrosse Kiesel, und mit diesen gemeinschaftlich niedersinken. Daher werden die Goldwäschereien am Ufer des Rheins im Badenschen nur an denjenigen Stellen betrieben, wo die Ablagerungen von dieser Art sind. Die erwähnte Gleichmässigkeit des Materials erstreckt sich aber nur auf die Oberfläche, denn in den Zwischenräumen zwischen den Steinen kommt das Wasser zur Ruhe und lässt daselbst auch die feineren Stoffe niedersinken, woher man nach Abräumung der obern Schichten auch Sand und selbst Thon zwischen dem Kiese und Geschiebe zu finden pflegt.

Die Aufhäufung grosser Sandmassen erfolgt wieder auf ähnliche Weise, wenn die Geschwindigkeit noch geringer wird, und der Thon endlich schlägt nur an solchen Stellen nieder, wo die Bewegung des Wassers fast ganz aufhört. Letzteres geschieht nicht leicht in den Flussbetten selbst, aber wohl in Seitenbassins, die nur vom Hochwasser angefüllt, aber nicht stark durchströmt werden, vorzugsweise aber erfolgt es auf dem mit Gras bewachsenen Wiesengrunde oder zwischen Pflanzungen, die

von keiner starken Strömung getroffen werden. So füllen sich die Gruben neben dem Unterrhein, aus welchen man die Ziegel-erde entnommen hat, nach wenig Jahren wieder mit feinem Thone an, während das Bette selbst und diejenigen Stellen des Thales, wo ein starker Strom zur Zeit des Hochwassers herübergeht, mit Sand und häufig mit Kies bedeckt sind.

Verfolgt man das Bette eines grossen Stromes auf seine ganze Länge, so ist die Verschiedenheit des Materials, woraus dasselbe besteht, sehr auffallend. Der Rhein führt im Coblenzer Regierungsbezirke sehr grobe Geschiebe mit sich, auch bei Cöln zeigen sich an einzelnen Stellen noch faustgrosse Stücke. Bei Düsseldorf ist der Kies schon viel feiner, gegen die Niederländische Grenze zeigt er sich nur selten und die Stückchen haben kaum einen Zoll im Durchmesser. Der Sand gewinnt bei der Ablagerung immer mehr und mehr die Oberhand, und in Holland kommt derselbe nicht nur ausschliesslich vor, sondern die Grösse der Körnchen vermindert sich augenscheinlich auch immer mehr, je weiter man abwärts geht. Die Stufenfolge in der Grösse des Materials ist daher nicht zu verkennen, und gewiss rührt dieselbe vorzugsweise von der Beschaffenheit der Ufer, und zwar nicht nur des Stromes selbst, sondern auch der Nebenflüsse her. Die Nahe, Lahn, Mosel, Ahr, Sieg, Wipper und Ruhr sind Gebirgsflüsse, welche dem Rhein grosse Massen von Felstrümmern zuführen, die Lippe dagegen liefert ihm nur Sand. Ein zweiter Grund für die Verschiedenheit der Ablagerung ist demnächst aber auch in der Abnahme der Geschwindigkeit zu suchen. Schon oben wurde bemerkt, dass das Gefälle eines Stromes durch das Gewicht des Materiales bedingt ist, welches in sein Bette tritt: so würde der Rhein vor der Mündung der zuerst genannten Nebenflüsse vollständig gesperrt werden, wenn ihm nicht ein starkes Gefälle hier eine hinreichende Geschwindigkeit ertheilte, um die Steinstücke weiter zu treiben. Andererseits aber ist die allmähliche Abnahme des Gefälles und folglich auch der Geschwindigkeit wieder Veranlassung, dass zunächst die schwersten Geschiebe, sodann die feineren, ferner der Kies und endlich nur Sand im Flussbette vorkommen. Es müsste sich sonach bei einem Strome, der nur im obern Theile seines Laufes mit allen diesen Materialien versehen würde, noch dieselbe Reihenfolge der Ablagerung zeigen,

vorausgesetzt, dass nicht etwa sein Gefälle überall so stark bliebe, dass er diese Stoffe vollständig, und ohne sie fallen zu lassen, nach dem Meere führen könnte. Wenn man daher auf grosse Strecken das Bette eines Stromes mit Geschieben bedeckt sieht, so ist dieses noch kein Beweis dafür, dass gar kein Sand oder überhaupt kein feineres Material mit dem Wasser abgeführt werde, und noch weniger darf man annehmen, wie dieses wohl zuweilen geschehen ist, dass das Geschiebe, wie es vom Strome weiter getrieben wird, sich nach und nach durch Stossen und Reiben zerkleinert und auf diese Weise zuletzt in Sand verwandelt wird. Es dürfte überflüssig sein, in die Widerlegung dieser Ansicht näher einzugehen, welche mit allen sonstigen Erfahrungen im Widerspruche steht, doch muss ich anführen, dass Frisi hierüber besondere Versuche angestellt hat. Derselbe liess nämlich grobe Flusskiesel theils unmittelbar durch Handarbeit schütteln und stossen, theils aber brachte er sie in eine Trommel, welche lange Zeit hindurch durch eine Mühle gedreht wurde. Der Erfolg war genau von der Art, wie er sich vorhersehen liess: die Steine verloren nämlich ihre scharfen Ecken und rundeten sich ab (genau dieselbe Vorrichtung wendet man auch an, um die kleinen Marmor- und Achat-Kugeln darzustellen), das gelöste Material war aber keineswegs Sand, sondern ein sehr fein zertheilter Staub oder Schlamm, nämlich Staub, wenn die Steine trocken, und Schlamm, wenn sie benetzt waren. Bei den vielen Versuchen kam es nur ein einziges Mal vor, dass ein Stein zerbrach, welcher möglicher Weise schon früher einen Riss hatte. Wollte man also die erwähnte Ansicht verfolgen, so müsste man annehmen, dass aus jedem Stücke Geschiebe im Allgemeinen nur ein einziges Sandkörnchen würde: was gewiss Niemand behaupten wird.

Ueber die Ablagerung der Geschiebe und des feineren Materials sind noch einige auffallende Umstände zu erwähnen. Insofern die Richtung der stärksten Strömung keineswegs immer mit dem kürzesten Wege zusammenfällt, sondern vorzugsweise durch die Höhenlage des Terrains bedingt wird, so ist diese Richtung, wenn keine sonstigen Veränderungen eintreten, augenscheinlich vom Wasserstande abhängig. Das Hochwasser verfolgt häufig Wege, welche beim gewöhnlichen Wasser vollständig gesperrt sind, und man kann wohl im Allgemeinen annehmen, dass jede

Aenderung des Wasserstandes, namentlich in Stromkrümmen, schon eine Aenderung in der Richtung des Hauptstromes veranlasst. Es geschieht daher sehr häufig, dass der Weg für das kleine Wasser oder das eigentliche Flussbette bei starken Anschwellungen ganz ausser der Richtung der Hauptströmung bleibt, und insofern es alsdann nur ein Bassin zur Seite des Hauptstromes bildet, pflegt es stark verflächt zu werden. Besonders auffallend geschieht dieses an denjenigen Stellen, wo die Strömung das Bette verlässt und wieder in dasselbe eintritt, noch mehr aber, wo sie es kreuzt oder quer herüber geht.

Sehr auffallend gestalten sich aus demselben Grunde auch die Mündungen der Nebenflüsse, namentlich wenn sie ein starkes Gefälle haben und viel Material dem Hauptstrome zuführen. Zur Zeit ihrer Anschwellung, wo sie letzteres besonders reichlich enthalten, ist gewöhnlich auch der Hauptstrom angeschwollen. Die Verbindung beider geschieht daher diesem Wasserstande entsprechend in einer bedeutenden Höhe über dem niedrigen Wasser, und der Nebenstrom findet bei seiner Ausmündung ein sehr weites Profil vor, in welchem das Material und namentlich das Geschiebe sogleich zu Boden sinkt. Vorzugsweise erfolgt diese Ablagerung in derselben Richtung, in welcher das Wasser strömt, das heisst im Hauptstrome abwärts gerichtet. Fällt später das Wasser, so hindern diese Ablagerungen den Abfluss des Baches in seiner natürlichen Richtung, und häufig sieht man in diesem Falle grosse Kiesfelder ganz trocken liegen, um welche der Bach sich herumwindet, indem er diejenige Stelle aufsucht, wo das wenigste Material hingekommen ist, und dieses geschieht gemeinhin an der stromaufwärtsgekehrten Seite seiner Mündung. In dieser Art hatten sich fast alle Mündungen der Nebenflüsse der Mosel gestaltet, und zuweilen traten die Kiesbänke so weit in die Mosel hinein, dass dieselbe auf einen sehr geringen Theil ihrer sonstigen Breite eingeengt und so stark aufgestaut wurde, dass eine heftige Stromschnelle sich längs der Kiesbank bildete. Namentlich geschah dieses neben dem Städtchen Cochem. Die Mündung der Wipper in den Rhein hat sich in ähnlicher Weise gestaltet, und vor ihr liegen weit ausgedehnte Sandflächen.

Wenn der Nebenfluss ungefähr dasselbe Gefälle, wie der Hauptstrom hat, und seine Mündung ziemlich regelmässig strom-

170 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

abwärts gekehrt ist, bilden sich gleichfalls oberhalb des Vereinigungspunktes Untiefen, deren Entstehung noch besonders erklärt werden muss. Sobald nämlich einer von beiden Strömen anschwillt, während der andere nicht in gleicher Weise wächst, so bildet die Mündung des letzteren ein Seitenbassin, das vom Hauptstrome nicht getroffen, wohl aber durch das höhere Wasser desselben angefüllt wird. Die Stoffe, welche der angeschwollene Strom mit sich führt, treten daher auch in das Bette des andern Stromes und fallen daselbst reichlich nieder. Sobald aber der zweite Strom später die grösste Höhe erreicht, so verflücht er umgekehrt wieder das Bette des ersteren, und auf diese Weise leiden beide Mündungen und können nicht diejenige Tiefe erhalten, welche sie haben würden, wenn die Confluenz hier nicht stattfände. Derselbe Umstand giebt zum Entstehen der Untiefen am obern und untern Ende der Inseln Veranlassung: jenachdem der Wasserstand sich ändert, wird gemeinhin bald der eine, bald der andere Arm zum Hauptstrome, und dadurch verlandet jedesmal die Ein- und Ausmündung desjenigen Armes, wo grade der schwächere Strom hindurchgeht.

Die Inseln sind aus dem eben erwähnten Grunde für den Strom im Allgemeinen höchst nachtheilig, und man muss sich daher bemühen, ihrem Entstehen vorzubeugen. Es ist mehrfach als Erfahrungssatz ausgesprochen worden, dass eine Insel sich niemals unmittelbar bildet, sondern jedesmal eine Landzunge, die vom Ufer aus stromabwärts vortritt, durch später erfolgten Abbruch ihres obern Theiles sich zu einer Insel umgestaltet. Ich habe diese Ansicht immer bestätigt gefunden, doch muss ich bemerken, dass die erwähnte Landzunge vor ihrem Durchbruche gewöhnlich so niedrig bleibt, dass sie nur beim kleinen Wasser sichtbar ist, oder sie auch wohl überhaupt sich nur als eine Untiefe oder Bank darstellt. Der Geheime Regierungsrath Eversmann hatte in seiner fast 50jährigen höchst erfolgreichen Wirksamkeit am Unterrhein die Inseln nur auf diese Weise entstehen sehen, und niemals bemerkt, dass eine solche unmittelbar im Strombette selbst erschienen wäre.*)

*) Minard giebt in seinem *Cours de Construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux*. Paris 1841. auf Seite 13 dieselbe Erklärung über die Entstehung der Inseln.

Wenn sich daher auch wohl Verhältnisse denken liessen, unter denen die Anhäufung des Sandes oder Kieses zu einer Insel ohne Zusammenhang mit den Ufern erfolgen könnte, so kommen dieselben gewiss nur sehr selten vor. Gewöhnlich geschieht es, dass der Strom in Folge einer starken Annäherung gegen das eine Ufer dasselbe abbricht und die gelösten Materialien an der Stelle fallen lässt, wo er in sein früheres Bett zurücktritt. Hier bilden die Stoffe eine Untiefe, welche in Form einer schmalen Zunge vom Ufer aus nach der Mitte des Bettes vortritt: dieselbe bezeichnet die Richtung des stärksten Stromes. Diese Ablagerung wird nach und nach immer höher und sperrt zum Theil das frühere Profil. Hierdurch wird aber der Abfluss des Wassers behindert, und der Strom versetzt daher wieder das obere Ende der Bank in Abbruch, namentlich wenn in der Zwischenzeit auch der Angriff gegen das Ufer fort dauerte und dasselbe noch weiter zurückwich. Sobald der obere Anschluss der Untiefe durchbrochen und eine tiefe Rinne hier gebildet ist, so ist die Spaltung des Stromschlauches erfolgt, und der zwischenliegende Grund, den keine von beiden Seitenströmungen direct trifft, der aber von beiden mit Material versehen wird, erhöht sich immer mehr, und sobald er bis zum mittlern Wasserstande herauf gewachsen ist, so findet sich gewöhnlich ein Aufschlag von Weiden darauf ein, welcher noch mehr zur Beruhigung des Wassers beiträgt und dadurch nicht nur die Insel erhöht, sondern sie auch stromabwärts ausdehnt.

Endlich verdient hier noch die starke Ablagerung des feineren Materials neben dem Flussbette eine besondere Erwähnung: ist nämlich der Fluss über die Ufer getreten, so wird in vielen Fällen die Hauptströmung noch immer im Bette bleiben: der Sand wird also nicht bedeutend weit über die Ufer getrieben, dagegen tritt er fortwährend auf die Ränder desselben und fällt hier nieder. Andernthails treten aber auch die Thontheilchen aus dem eigentlichen Strome viel reichlicher auf die nächsten Theile der Ufer, als auf die entfernteren, und so geschieht es, dass in beiden Fällen jene sich weit stärker erhöhen, als diese, und man zuweilen eine Art von natürlichen Deichen zur Seite des Flusses findet. Sehr auffallend ist diese Erscheinung unter andern an der obern Lippe, woselbst das Wasser beim Beginn der Anschwellungen durch diese Uferränder verhindert wird, sich sogleich

über die Thalfäche zu verbreiten. Am Mississippi und am Nil ist dasselbe bemerkt worden. *)

§. 37.

Verschiedene Wasserstände.

Die Höhe des Wasserspiegels ist an jeder Stelle des Stromes durch die Wassermenge bedingt: wenn diese sich vergrössert, so steigt das Wasser und entgegengesetzten Falles sinkt es. Es ändert sich dabei freilich auch die Stärke der Strömung, aber nicht in dem Maasse, dass sie allein die Aenderung des Zuflusses ausgleichen könnte, es muss also auch der Flächeninhalt des Querschnittes vom Strome eine Aenderung erleiden, und eine solche kann nur durch die Erhebung oder Senkung des Niveaus sich darstellen.

Die Quantität des zufließenden Wassers hängt wieder von den atmosphärischen Niederschlägen ab, welche, wie schon früher erwähnt, höchst ungleichmässig auf das ganze Jahr vertheilt sind. Sammeln sich diese Niederschläge unmittelbar in einem Bache und wird derselbe durch keine eigentlichen Quellen gespeist, so zeigt er dieselbe Veränderlichkeit, wie die Witterung: bei starken Regengüssen und ebenso beim Schmelzen des Schnees schwillt er in kurzer Zeit heftig an, und versiegt wieder sehr schnell, sobald trocknes Wetter eintritt. Die kleinern Gebirgsflüsse und noch mehr die Bäche, welche auf den Bergen ihre Zuflüsse sammeln, charakterisiren sich durch diese Eigenthümlichkeit: von den stark geneigten Ufern fließt das Wasser sehr schnell in das Bette herab, und der feste und undurchdringliche Boden giebt keine Veranlassung dazu, dass ein Theil sich in denselben hineinziehen und zu einer nachhaltigen Speisung der Quellen dienen könnte.

Sobald der Weg, den das Wasser zu durchlaufen hat, eine grössere Ausdehnung gewinnt, so erfolgt hier schon gewissermaassen eine Ausgleichung, wie Prony dieses durch ein sehr einfaches Experiment nachgewiesen hat **). Der Grund davon liegt darin, dass die Fluthwelle nicht nur das eigentliche Bette, sondern

*) *Mich. Chevalier histoire et description des voies de communication aux états unis*. I. p. 75.

***) Vergleiche I. §. 27.

auch die Niederungen zur Seite füllen muss, und indem die letztern das aufgesammelte Wasser später wieder dem Flusse zuweisen, so dehnt sich die Dauer der Anschwellung um so länger aus, je weiter der Weg ist, den sie zurücklegt. Weit vollständiger stellt sich die Ausgleichung des abzuführenden Wassers aber heraus, wenn die atmosphärischen Niederschläge zunächst in weit ausgedehnten Bassins aufgenommen werden und aus diesen erst in die Flussbetten treten. Am häufigsten sind es Sumpfgenden, welche in dieser Weise als Regulatoren dienen, und diejenigen Flüsse, welche aus solchen ihr Wasser erhalten, zeigen schon eine viel grössere Gleichmässigkeit und versiegen nie mehr. Noch vollständiger erfolgt aber die Ausgleichung der Zuflüsse, wenn das Wasser in weiten Seen aufgenommen wird und aus diesen in die Flussbetten tritt: so verändert der Spirding-See ohnerachtet der reichen Quellen, die er aufnimmt, im Laufe des Jahres seinen Stand durchschnittlich nicht mehr als um einen Fuss: in seinem $2\frac{1}{2}$ Quadratmeilen grossen Becken sammelt sich der Niederschlag von 32 Quadratmeilen Oberfläche an, und speist das ganze Jahr hindurch sehr reichlich den Pisseck-Fluss, dem selbst in der trockensten Jahreszeit noch über 200 Cubikfuss in der Secunde zugeführt werden. Der grosse Vortheil eines solchen gleichmässigen Zuflusses besteht theils darin, dass selbst in der trockensten Jahreszeit eine für den Betrieb der Schifffahrt hinreichende Wassermenge im Strome bleibt, theils aber fehlen hier auch die starken Anschwellungen, welche auf die umgebenden Ländereien so nachtheilig wirken und die Ufer verheeren. Ein dritter wohlthätiger Einfluss der Seen, dessen schon früher erwähnt worden, bezieht sich endlich darauf, dass sie die Geschiebe und das feinere Material des Stromes aufnehmen und dadurch die untere Stromstrecke vor den nachtheiligen Ablagerungen derselben sicher stellen.

Das grossartigste Beispiel von der Ausgleichung des Wasserstandes durch ausgedehnte Wasserbecken, welche mit den Strömen in Verbindung stehen, ist die Kette von Seen, welche in Nordamerika der St. Lorenzstrom durchfliesst. In diesen Seen selbst kommt keine bedeutende Aenderung des Wasserspiegels vor*),

*) *Stevenson sketch on the Civil Engineering in North-America* 1837. p. 68. Dasselbst ist zwar von einer Anschwellung des Erie-Sees

174 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

und selbst bei der Einmündung des Ottawa in den St. Lorenz, ohnfern Montreal, soll der Unterschied zwischen dem bekannten höchsten und kleinsten Wasserstande nur $\frac{1}{2}$ Meter*) oder 1 Fuss 7 Zoll betragen.

Ganz anders ist das Verhalten derjenigen Ströme, welche in Gebirgsgegenden entspringen und weder ausgedehnte Niederungen berühren, noch auch Seen durchfliessen; die Ruhr liefert bei einer Ausdehnung des Flussgebiets von etwa 94 Quadratmeilen zur Zeit des kleinsten Wassers nur 277 Cubikfuss**): dagegen schwillt sie zur Zeit des Hochwassers an einzelnen Stellen bis 17 Fuss über den niedrigsten Wasserstand an. Eben so führte die Lahn zur Zeit des sehr niedrigen Wasserstandes im October 1842 unterhalb Wetzlar nur etwa 200 Cubikfuss ab, während die Ausdehnung ihres Flussgebietes für diese Stelle ungefähr 83 Quadratmeilen misst. Der Unterschied zwischen dem höchsten und kleinsten Wasser beträgt bei Leun unterhalb Wetzlar 10 bis 12 Fuss.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dass der Wasserstand eines Stromes vorzugsweise von der Reichhaltigkeit seiner Zuflüsse, oder wenn er aus grossen Seen gespeist wird, von dem Wasserstande in diesen abhängt; beide Umstände sind aber wieder durch die Witterungsverhältnisse bedingt, und da letztere im Laufe jeden Jahres sich mit ziemlicher Regelmässigkeit wiederholen, so stellen sich in derselben Periode auch eben so regelmässige Veränderungen des Wasserstandes im Strome ein. Umfassen die Beobachtungen einen Zeitraum von mehreren Jahren, so lässt sich darnach der mittlere Wasserstand für jeden Monat berechnen, und zugleich die Grenze bezeichnen, bis zu welcher die in jedem Monat eintretenden höchsten Anschwellungen oder tiefsten Senkungen durchschnittlich zu steigen oder zu fallen pflegen. Ermittlungen dieser Art sind nicht nur für die zweckmässige Ausführung der Bauten am Strome von grosser Wichtig-

die Rede, die in der Periode von 7 Jahren wiederkehren und 2 Fuss betragen soll, doch sagt der Verfasser selbst, dass die Sache nicht gehörig aufgeklärt sei.

*) *M. Chevalier histoire et description des voies de communication aux états unis. I. p. 46.*

**) *Der Ruhrstrom und seine Schiffahrtsverhältnisse von L. Henz. Essen 1840, Seite 4.*

keit, sondern sie dienen auch besonders dazu, die Eigenthümlichkeiten der Ströme genau kennen zu lernen. Ueber die Messungen selbst wird im Folgenden ausführlich die Rede sein: die Resultate derselben, die ich beispielsweise für den Rhein und die Weser berechnet habe, müssen aber schon hier mitgetheilt werden. Sie stellen sich am deutlichsten dar, wenn man sie als Curven aufzeichnet und zwar so, dass die Zeit als Abscisse und die beobachtete Höhe als Ordinate angenommen wird. Die Tafeln XXVIII. bis XXXI. enthalten verschiedene Zeichnungen dieser Art.

Fig. 66 Taf. XXIX. zeigt in den ausgezogenen Linien die eben erwähnten mittleren monatlichen Wasserstände, für verschiedene Beobachtungsorte an der Weser. Die Höhen sind nach zehnjährigen Beobachtungen aus den Jahren 1833 bis 1842 berechnet, und zwar sind sie auf den mittlern Wasserstand dieser ganzen Periode reduzirt, der unter dem Beobachtungsorte beige-schrieben und in der Scale in der mit Null bezeichneten Höhe angenommen ist. Es ergibt sich hieraus, dass der Wasserstand im Januar und März am höchsten und im September am niedrigsten zu sein pflegt, der Unterschied zwischen den mittleren Wasserständen dieser Monate beträgt durchschnittlich zwischen 4 und 5 Fuss. Die punktirten Linien in denselben Figuren bezeichnen wieder die Höhe des arithmetischen Mittels aus den höchsten und niedrigsten Wasserständen, die in jedem Monate während derselben Periode vorgekommen sind.

Die einzelnen Beobachtungsorte zeigen wesentliche Verschiedenheiten, so z. B. beträgt bei Eisberge der Unterschied zwischen dem mittleren Wasserstande im März und September 5 Fuss 2 Zoll, bei Vlotho dagegen (nahe 2 Meilen davon entfernt) nur 3 Fuss 9 Zoll. Diese Abweichung ist im vorliegenden Falle in der Verschiedenheit des nächst unterhalb belegenen Flussbettes begründet. Die relativen Gefälle stellen sich zwar für die ganzen Strecken ziemlich gleichmässig dar: dasselbe beträgt nämlich zwischen Eisberge und Vlotho $\frac{1}{2513}$ und zwischen Vlotho und Minden $\frac{1}{3282}$. Zunächst unterhalb Vlotho befindet sich aber eine starke Stromschnelle, die Vlothoer Gosse, welche die Abführung der Fluthen sehr erleichtert, und überdies tritt der Strom hier in ein mehr geöffnetes Thal, welches in dieser Beziehung gleichfalls die Anschwellung mässigt.

176 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

Ausserdem können die Zuflüsse auch wesentliche Abweichungen für verschiedene Beobachtungsorte bedingen; im vorliegenden Beispiele scheinen sie auf die mittlern Wasserstände der einzelnen Monate keinen grossen Einfluss auszuüben, aber die Anomalie in Betreff der höchsten Wasserstände, die bald in den Januar und bald in den Februar fallen, scheint vorzugsweise durch sie veranlasst zu werden.

In Fig. 65 sind die Wasserstände für Lüchtringen, Eisberge und Schlüsselburg, während des Zeitraumes von Mitte Mai bis gegen Ende Juli des Jahres 1843, aufgetragen, und zwar nachdem sie auf den mittlern Wasserstand reducirt worden. Es ergibt sich aus dieser Zusammenstellung noch deutlicher, wie die Anschwellungen an verschiedenen Stellen des Stromes eine sehr verschiedene Höhe erreichen, und zwar ist dieser Unterschied wieder nicht constant, sondern bald stellt sich die Höhe an dem einen und bald an dem andern Orte grösser heraus. Es muss hierbei aber noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, wie die Anschwellungen viel schneller eintreten als verschwinden, indem alle Fluthwellen in der Zeichnung an ihrer vordern Seite steiler sind, als an der hintern. Auch die fast gleichzeitige Verbreitung der Anschwellung über die ganze Stromstrecke, welche diese Beobachtungen umfassen, verdient Erwähnung. Bei der Anschwellung in der Mitte des Monats Juni war an den drei Beobachtungsorten an demselben Tage die stärkste Erhebung des Wasserstandes eingetreten; beim Hochwasser im Mai und Juli wurde dagegen der höchste Wasserstand in Lüchtringen nur einen Tag früher, als in Schlüsselburg beobachtet, obgleich die Entfernung beider Orte von einander nach der Länge des Stromlaufes etwa 21 Meilen beträgt.

Ich habe ferner in Fig. 67 die Wasserstände zusammengestellt, welche an den verschiedenen Pegeln, wenn auch nicht ganz gleichzeitig, doch als Folge derselben Anschwellung sich darstellten; die angegebenen Höhen bezeichnen nämlich die Maxima, oder die Minima des Wasserstandes. Die obere Linie bezieht sich auf den ungewöhnlich hohen Wasserstand am 19. und 20. Januar 1841. Die Beobachtung desselben ist zum Theil nicht ganz sicher, indem die Pegel bei Höxter, Lüchtringen und Vlotho theils durch das Eis beschädigt, theils aber durch Versetzung desselben vom

Strome getrennt wurden. Die folgenden Linien bezeichnen sämmtlich nur Wasserstände bei offenem Strome, wobei also der Eisgang oder der Eisstand keinen Einfluss hatte. Es giebt sich in ihnen grossentheils eine gewisse Regelmässigkeit zu erkennen, und am auffallendsten ist hierbei der Unterschied zwischen Eisberge und Vlotho, der sich aus der bereits erwähnten Beschaffenheit des Flussthalcs erklärt. Dieser Unterschied wird aber für kleinere Wasserstände immer geringer, bis er etwa bei dem Wasserstande von 2 Fuss unter dem mittleren ganz verschwindet. Sehr auffallend ist es, dass er bei einem noch niedrigern Wasserstande sich in entgegengesetztem Sinne zeigt, so dass der Pegel zu Vlotho alsdann eine verhältnissmässig grössere Höhe, als der zu Eisberge markirt. Die in dieser Zusammenstellung angegebenen verschiedenen Wasserstände würden augenscheinlich eine ganz andere Höhe des mittleren Standes bedingen, wenn in ähnlicher Weise das Gefälle der Weser sich jederzeit vertheilen möchte. Dieses geschieht aber nur, wenn der Wasserstand eine grössere Dauer hat oder er sich als Maximum oder Minimum darstellt. In allen andern Fällen zeigen sich die verschiedensten Abweichungen, und von diesen hängt vorzugsweise der berechnete mittlere Wasserstand ab.

Bei der zuletzt erwähnten Zusammenstellung habe ich ausschliesslich die Beobachtungen aus den letzten Jahren benutzt, indem ein Strombette, wie bereits erwähnt worden, fortwährenden Aenderungen unterworfen ist, welche wieder die Höhe der Wasserstände bedingen. Namentlich sind solche Aenderungen in dem Falle zu erwarten, wenn bedeutende Correctionsarbeiten vorgenommen werden. Seit etwa 12 Jahren hat man im Preussischen Antheile die Regulirung der Weser sehr kräftig betrieben und fast in der ganzen Länge des Stromes die früheren Schiffahrtshindernisse beseitigt. Der Einfluss dieser Bauten giebt sich auch in den Wasserstandsbeobachtungen zu erkennen. Ich habe in der Zeichnung Fig. 68 die in jedem Jahre von 1819 bis 1843 beobachteten niedrigsten Wasserstände (jedoch mit Ausnahme derjenigen, die beim Eisgange oder bei Eisversetzungen eintreten) dargestellt, und zwar wieder, nachdem sie auf die mittleren Wasserstände reducirt waren. Es ergiebt sich hieraus, wie seit dem Jahre 1830 wesentlich verschiedene Verhältnisse eingetreten

regelmässiges Fahrwasser, das leicht aufgefunden und eingehalten werden kann, denn eine schmale und krumme Rinne, wenn sie auch an sich hinreichende Tiefe hat, ist für den Schiffer ohne Nutzen, indem er sie nicht verfolgen kann.

Demnächst theile ich ähnliche Zusammenstellungen der Wasserstände des Rheins mit; ich habe dieselben, soweit es mir möglich war, auf die ganze Länge seines Laufes ausgedehnt; mir fehlten jedoch dabei alle Beobachtungen in der sehr wichtigen Stromstrecke zwischen Ketsch oberhalb Mannheim und Bacharach, in welche der Neckar, der Main und die Nahe einmünden.

Fig. 64, Taf. XXVIII, zeigt wieder die im Anfange des Jahres 1843 zu Bacharach, Coblenz, Cöln, Düsseldorf, Wesel und Emmerich angestellten Wasserstandsbeobachtungen. Dieselben sind nicht auf den mittleren Wasserstand reducirt, weil die Linien sonst noch stärker zusammenfallen würden, als es jetzt schon geschieht. Es ergiebt sich hieraus wieder, dass die Anschwellungen in der kurzen Zeit von 1 bis 2 Tagen den über 40 Meilen langen Weg von Bacharach bis Emmerich zurücklegen, und dass sie gleichfalls viel schneller eintreten, als verschwinden. Dabei geben sie aber in den Höhen, die sie an den verschiedenen Beobachtungsorten erreichen, sehr vielfache Anomalien zu erkennen, die man theils aus der Beschaffenheit des Thales, vorzugsweise aber aus der abwechselnden Ergiebigkeit der Seitenzuflüsse erklären muss.

Für alle Punkte, von denen ich mir ausgedehnte Beobachtungsreihen verschaffen konnte, habe ich die mittleren Wasserstände jeden Monats und die arithmetischen Mittel aus den höchsten, sowie auch aus den niedrigsten Wasserständen für jeden Monat berechnet. Fig. 69, Taf. XXX, enthält die Resultate dieser Rechnungen. Dabei sind die Höhen auf den mittlern Wasserstand reducirt, der jedesmal in der mit Null bezeichneten Linie liegt. Der mittlere Wasserstand ist nach dem Maasse des betreffenden Pegels unter dem Beobachtungsorte beigeschrieben, für die Auftragung der Scalen ist aber das Preussische Fussmass eingeführt worden. Die in Friedrichshafen angestellten Beobachtungen hat Plieningen *) mitgetheilt: die Wasserstände für Basel, Kehl und

*) Jahresberichte der Witterungsverhältnisse in Württemberg.

180 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

Lauterburg sind aus Defontaine's Angaben *) entnommen, und endlich habe ich für die Holländischen Beobachtungen die Tabelle benutzt, welche von Krayenhoff**) darüber mittheilt. Durch die im Preussischen angestellten Beobachtungen sind die mittleren Wasserstände aus der Periode von 1833—1842 hergeleitet. Die auswärtigen Beobachtungen umfassen verschiedene Zeiträume. Die ausgezogene Linie bezeichnet auch hier den mittleren Wasserstand, die punktirten Linien dagegen die arithmetischen Mittel aus den höchsten und niedrigsten Wasserständen.

Die auffallendste Erscheinung, welche der erste Anblick dieser Scalen erkennen lässt, ist die Verschiedenheit der Zeit des Eintritts des Hochwassers: vom Bodensee bis Ketsch erfolgt derselbe durchschnittlich im Monat Juli, von Bacharach abwärts im October. Der obere Theil des Stromes wird also durch die Wasserstände des Bodensees normirt, welche durch das Schmelzen des Eises in der Schweiz bedingt sind, und diese Anschwellungen geben sich bis Vianen noch deutlich zu erkennen. Die Seitenzuflüsse werden aber auf eine andere Weise gespeist und schwellen, ähnlich der Weser, im ersten Frühjahr oder beim Abgange des Winters am stärksten an: indem sie ihre Fluthen dem Rhein zuführen, so haben sie immer mehr und mehr den Wasserspiegel desselben, und bewirken in ihm eine viel höhere Anschwellung, als der höchste Wasserstand im Bodensee veranlassen konnte.

Die grössere oder mindere Erhebung des Wasserspiegels über den mittleren Wasserstand ist an den verschiedenen Orten, theils durch die Beschaffenheit des zunächst unterhalb belegenen Strombettes, theils aber durch die Zuflüsse in der Nähe bedingt. Die geringe Erhebung des mittleren Wasserstandes für den Monat Januar bei Coblenz dürfte wohl allein dadurch zu erklären sein, dass der dortige Pegel nicht allein durch die Fluthen des Rheins, sondern auch durch die der Mosel bedingt ist, und indem der Eisgang und die damit verbundene Anschwellung in beiden Strömen nicht gleichzeitig eintritt, so treffen diese Wassermassen nicht zusammen, sondern eine wird nach der andern abgeführt, und die

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. II.

**) *Verzameling van hydrographische en topographische Waarnemingen*. Amsterdam 1813.

Erhebung des Wasserspiegels stellt sich sonach viel mässiger heraus, als sie entgegengesetzten Falls sein würde. Die grossen Anschwellungen bei Basel, Bacharach, Ruhrort und Wesel erklären sich aber durch die Beschränkung der unterhalb befindlichen Stromprofile.

Fig. 70, Taf. XXXI. stellt die erwähnten Anschwellungen in ihren mittleren Grössen an den verschiedenen Stellen noch deutlicher dar. Die mit Null bezeichnete Linie ist der mittlere Wasserstand, wie er auf dem vorhergehenden Blatte angegeben worden ist. Die schraffirten Linien bezeichnen die arithmetischen Mittel aus den höchsten und niedrigsten Wasserständen jedes Jahres; sie zeigen, dass die Anschwellungen in Ruhrort sich im Allgemeinen am höchsten herausstellen, während sie im Bodensee am geringsten sind; dagegen sinkt der Wasserspiegel wieder im Bodensee am wenigsten und dagegen bei Wesel am tiefsten unter seinen mittleren Stand herab. Die drei punktirten Linien markiren die mittleren Wasserstände, sowie auch die durchschnittlich höchsten und niedrigsten Wasserstände im Monat Juli, sie stellen also die aus der Schweiz herrührenden Anschwellungen dar, welche stromabwärts immer unbedeutender werden. Sehr entsprechend diesen Linien, jedoch ganz symmetrisch im entgegengesetzten Sinne gekrümmt, sind die drei ausgezogenen Linien, welche die mittleren und die durchschnittlich höchsten und niedrigsten Wasserstände des Monats Februar bezeichnen; letztere bedingen die höchsten Anschwellungen am Unterrhein. Diese symmetrische Gestaltung der Curven für den Februar und Juli ist nur eine Folge davon, dass der allgemeine mittlere Wasserstand in der graden Linie angenommen ist: je grösser der Einfluss der einen Anschwellung auf die Bestimmung dieses mittleren Wasserstandes ist, um so geringer muss der der andern sein, daher kommt es, dass die eine dieser Curven steigt, wenn die andere sinkt. Die auffallende Ausnahme, welche in dieser Beziehung Bacharach zeigt, erklärt sich durch die starken Anschwellungen, welche hier regelmässig durch Eisversetzungen hervorgebracht werden, und welche Ursache sind, dass der mittlere Wasserstand hier unverhältnissmässig hoch sich herausgestellt hat. Wenn man diese hohen und gewöhnlich lange anhaltenden Wasserstände unbeachtet lassen dürfte, so würden die sämmtlichen Curven bei Bacharach sich zugleich mit dem mitt-

182 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

leren Wasserstände senken, und dadurch würden sie auch hier in entsprechender Weise gekrümmt sein.

Endlich habe ich in Fig. 71 noch die mittleren, sowie die absolut höchsten und niedrigsten Wasserstände jedes Jahres von 1800 bis 1843 für Düsseldorf berechnet. Eine gewisse periodisch wiederkehrende Erhebung und Senkung giebt sich dabei nicht zu erkennen, aber eben so wenig bemerkt man, dass die mittleren oder die niedrigsten Wasserstände im Laufe der Zeit sich senken: wenigstens ergibt diese Scale, dass wenn eine solche Senkung dennoch vorhanden wäre, sie höchst unbedeutend sein müsste, und sich selbst in dem langen Zeitraume von 44 Jahren nicht mit Sicherheit nachweisen liesse.

Ich versuchte es, einzelne Beharrungswasserstände und namentlich die höchsten Anschwellungen auch auf dem Rheine durch die verschiedenen Beobachtungsorte zu verfolgen: dieses war jedoch für längere Strecken nicht möglich, indem theils die vorliegenden Beobachtungen nicht dieselben Zeiträume umfassten, theils aber auch die Einwirkung der Seitenzuflüsse sich gewöhnlich so überwiegend herausstellte, dass es gar nicht zu ermitteln war, ob die vorkommenden Anschwellungen von den letzteren oder vom Oberrhein herrühren. Ich will indessen hier einige Angaben mittheilen, die einigermassen zur Beurtheilung der Geschwindigkeit dienen können, mit welcher die Fluthen fortschreiten. Die nachstehend bezeichneten Tage sind diejenigen, an welchen der Wasserstand jedesmal die grösste Höhe erreichte.

In Basel den 1. Juli 1816.

in Kehl - 4. - -

- Köln - 7. - -

- Düsseldorf - 6. - -

- Ruhrort und Wesel - 8. - -

- Rees, Emmerich und Arnheim - 9. - -

ein anderes Maximum

in Basel und Kehl den 22. Decbr. 1819.

- Söllingen - 23. - -

- Bacharach und Coblenz - 25. - -

- Köln und Düsseldorf - 26. - -

- Ruhrort - 27. - -

in Wesel	den 28. Decbr.	1819.
- Emmerich	- 29.	- -

ferner

in Basel und Kehl	den 27. August	1824.
- Coblenz	- 31.	- -
- Bonn und Ruhrort	- 1. Septbr.	- -
- Wesel und Rees	- 2.	- -

und endlich trat eine besonders hohe Anschwellung ein

in Basel und Kehl	den 4. Novbr.	1824.
- Coblenz und Cöln	- 5.	- -
- Düsseldorf und Ruhrort	- 6.	- -
- Wesel, Rees und Emmerich	- 7.	- -

Das sehr schnelle Vorrücken des Hochwassers im letzten Falle hatte ohne Zweifel seinen Grund darin, dass der im ganzen Stromgebiete gleichzeitig eintretende starke Regen in den Nebenflüssen und durch diese auch im untern Rhein schon die höchste Anschwellung hervorbrachte, bevor die Fluthen vom Oberrhein herabkamen. Nach den vorstehenden vier Beobachtungen legt das Hochwasser den Weg von Basel bis Coblenz oder Cöln durchschnittlich in $3\frac{1}{2}$ und von hier bis Emmerich in $2\frac{1}{4}$ Tagen zurück; es durchläuft also von Basel bis gegen Bonn durchschnittlich an einem Tage 19, und von Bonn bis Emmerich 9 Meilen: die Geschwindigkeit beträgt daher respective $5\frac{1}{2}$ und $2\frac{1}{2}$ Fuss in der Secunde. Die erste Geschwindigkeit stimmt mit derjenigen ziemlich nahe überein, welche die Anschwellungen in der Weser nach den vorstehenden Mittheilungen zu haben scheinen. Es ergibt sich indessen aus den Beobachtungen für beide Ströme, dass im Allgemeinen das Fortschreiten des Hochwassers immer um so schneller erfolgt, je höher es ist, und dass geringe Anschwellungen sich nur sehr langsam bewegen.

Hiernach müsste in solchen Strömen, die wegen der weiten Verbreitung der Niederungen, welche sie durchfließen, nur geringe Anschwellungen zeigen, auch die Geschwindigkeit der letztern sehr unbedeutend bleiben. Dieses bestätigt sich auf eine sehr auffallende Art an der Spree. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande jedes Jahres beträgt für dieselbe durchschnittlich

184 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

im Oberwasser bei Cottbus	3 $\frac{1}{4}$ Fuss
im Unterwasser daselbst	4 $\frac{1}{4}$ -
bei Beeskow	4 $\frac{1}{4}$ -
im Oberwasser bei Berlin	3 $\frac{1}{2}$ -
im Unterwasser daselbst	4 $\frac{1}{2}$ -

Die periodisch eintretenden Veränderungen des Wasserstandes stellen sich hiernach sehr geringe heraus, und es ist in vielen Fällen ganz unmöglich, mit Sicherheit zu erkennen, ob die an den verschiedenen Pegeln beobachteten Hochwasser wirklich die Folge derselben Fluthen sind. Nichts desto weniger giebt sich doch bei den Anschwellungen zur Zeit des Abganges des Eises eine gewisse Regelmässigkeit in dem Fortschreiten des höchsten Wasserstandes zu erkennen, und zwar tritt das höchste Wasser in Beeskow durchschnittlich 14 Tage später als in Cottbus und in Berlin wieder um 14 Tage später als in Beeskow ein. Die Entfernungen betragen respective 15 und 12 Meilen. Die Fluth bewegt sich also mit der sehr geringen Geschwindigkeit von nahe $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$ Fuss in der Secunde und legt an einem Tage noch keine volle Meile zurück.

Bei kleinen Flüssen, welche zur Zeit eines niedrigen Wasserstandes nur nothdürftig die daran gelegenen Mühlen im Betriebe erhalten, und welche ganz oder doch grossentheils gesperrt werden, sobald die Mühle nicht arbeitet, hat man Gelegenheit die Bewegung des höhern Wassers, sobald der Betrieb der Mühle wieder anfängt, sehr sicher wahrzunehmen. Wenn die Mühlen in Telgte, nachdem sie am Sonntage regelmässig geschützt waren, am Montage früh wieder in Betrieb gesetzt werden, so bemerkt man im Rheine gewöhnlich 60 Stunden später die Ankunft des höhern Wassers, bei sehr kleinem Wasserstande verzögert sich dieselbe aber bis auf 84 Stunden. Die Entfernung beider Orte beträgt in der Länge des Flusslaufes etwa 10 Meilen, woher die Geschwindigkeit der Fluthen ungefähr 1,1 oder bei kleinem Wasser 0,8 Fuss in der Secunde ist.

Die Anschwellungen der Ströme zeigen, wie erwähnt, die auffallende Erscheinung, dass sie viel schneller entstehen, als verschwinden. Die Ursache hiervon scheint in sehr verschiedenen Umständen zu liegen. Zunächst findet der Wechsel der Witterung selbst gewöhnlich in der Art statt, dass besonders

nach lange anhaltender Dürre der Regen sich viel plötzlich bildet, als umgekehrt der Uebergang von demselben zum heitern Wetter stattfindet; eben so pflegt auch im Frühjahre die Temperaturzunahme der Luft ziemlich schnell zu erfolgen, wodurch grosse Massen von Eis und Schnee in kurzer Zeit schmelzen, und dadurch ein plötzliches Steigen des Wassers in den Strömen veranlassen. Die Wassermenge, welche in dem einen und dem andern Falle den Strömen zugeführt wird, erfährt aber auf dem Wege dahin vielfache Verzögerungen: ein grosser Theil dringt in den Boden und wird erst später durch Quellen wieder abgeführt, wogegen auch das Wasser, welches sich schon in den Betten der Bäche und Flüsse angesammelt hatte, beim Anschwellen derselben über die niedrigen Ufer tritt, und hier entweder gar keine, oder doch nur eine sehr schwache Bewegung annehmen kann, bis es endlich, wenn das Bette weniger angefüllt ist, wieder in dieses zurückfliesst. Hierdurch wird offenbar auch das Anschwellen der Ströme etwas verzögert, aber die atmosphärischen Niederschläge sind zu Zeiten so gross, und liefern solche Quantitäten Wasser, dass ohne diese Regulirung der Zuflüsse, die Ströme noch viel grössern Wechselln ausgesetzt sein würden. Es ergibt sich hieraus aber auch, dass die Anschwellungen der Hauptströme anfangs nur durch diejenige Wassermenge veranlasst werden, welche ihnen sogleich zufliesst, und der andere viel grössere Theil der Niederschläge, sowie auch die Zuflüsse aus entfernteren Gegenden erst später ankommen und eine nachhaltige Speisung bewirken.

Endlich ist auch der Wechsel des Gefälles, sowohl im Strome selbst, als in seinen Zuflüssen, von wesentlichem Einflusse auf die schnelle Bewegung der Anschwellung und die späte Wiederkehr des kleinen Wasserstandes. Diese Anschwellung bildet nämlich einen weit ausgedehnten Wasserberg oder eine Welle, die sich in der Richtung des Stromes fortbewegt: auf ihrer vordern Abdachung ist das Gefälle stärker, und auf ihrer hintern schwächer, als das des Stromes in seinem normalen Zustande. Durch das Gefälle wird die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers bedingt, es muss daher der vordere Theil der Futhwelle bis zum Scheitel schneller vorrücken, als der hintere. Die Welle wird also während ihres Fortschreitens nach hinten zu sich immer weiter ausdehnen, d. h. flacher werden. Es folgt hieraus die Erschei-

nung, dass ohne Seitenzuflüsse die Höhe der Welle nach und nach abnehmen muss, weil sonst die erwähnte flache Neigung sich nicht darstellen könnte.

Wie bedeutend das Gefälle sich bei der Anschwellung verändert, namentlich bei grössern Strömen, die kein starkes Gefälle haben, lässt sich leicht an einem Beispiele nachweisen, welches ungefähr die Verhältnisse des untern Rheines darstellt. Gesetzt, der Strom wachse in 24 Stunden um 4 Fuss an, wie dieses beim Rheine selbst ohne Einwirkung des Eisganges zuweilen vorkommt. Alsdann beträgt die Erhebung des Wasserspiegels in einer Secunde durchschnittlich $\frac{1}{216000}$ Fuss. Die Geschwindigkeit mag beim normalen Gefälle 3 Fuss betragen, so wird das Wasser sich nunmehr auf einer Fläche bewegen (oder einem entsprechenden Drucke ausgesetzt sein), die auf 3 Fuss Länge um die angegebene Quantität stärker geneigt ist, als früher, d. h., das relative Gefälle vermehrt sich um $\frac{1}{648000}$. Wenn das normale Gefälle $\frac{1}{100000}$ betrug, so wird es während des Steigens des Wassers $\frac{1}{87000}$ sein und ginge das Fallen des Wasserstandes eben so rasch vor sich, wie das Steigen, so würde das Gefälle auf der hintern Seite der Welle nur $\frac{1}{120000}$ betragen. Gelten für diesen Fall noch die sonstigen Regeln über die Bewegung des Wassers in Flussbetten, so sind die Geschwindigkeiten auch hier den Quadratwurzeln aus den Gefällen proportional, oder sie verhalten sich für das gewählte Beispiel nahe wie 7 zu 6. Augenscheinlich ergibt sich hieraus, dass die hintere Abdachung der Welle der vordern nicht gleichmässig folgen kann, und immer mehr und mehr zurückbleiben muss. Bei grösserem relativen Gefälle und grösserer Geschwindigkeit des Stromes, sowie auch andererseits bei langsamem Steigen des Wassers wird freilich die Verschiedenheit der Gefälle geringer ausfallen: aber dennoch bedeutend genug bleiben, um während des ganzen Weges, den die Welle zurücklegt, eine merkliche Verlängerung derselben hervorzubringen, die sich besonders in der geringen Neigung ihrer hintern Fläche oder in einem nur langsamen Fallen des Wassers zu erkennen geben wird.

Es schliesst sich an diese Erscheinung eine Erfahrung an, welche den Schiffern auf grösseren Strömen sehr bekannt zu sein pflegt, dass nämlich die Geschwindigkeit des Wassers, so lange dasselbe noch im Steigen begriffen ist, viel heftiger ist, als wenn

es zu fallen anfängt, und dass daher während der Anschwellung die Anker sich weit leichter lösen und die Schiffe zu treiben anfangen, als dieses später bei gleich hohem Wasserstande geschieht. So viel mir bekannt, fehlt es durchaus an directen Beobachtungen hierüber, die wohl ziemlich leicht anzustellen wären. Jedenfalls ergibt es sich aber aus dem Gesagten, dass es eine durchaus unstatthafte Voraussetzung wäre, wenn man annehmen wollte, wie dies zuweilen geschieht, dass in jeder Stelle des Stromes das Gefälle ganz unabhängig vom Wasserstande sei, und selbst während der Aenderung des letztern constant dasselbe bleibe.

Es wäre für den Strombau gewiss sehr wichtig, wenn man die Wassermenge, die jedesmal abgeführt wird, ungefähr angeben könnte. Die Ermittlung derselben bietet indessen sehr grosse Schwierigkeiten, da directe Messungen jedesmal sehr zeitraubend und kostbar sind und bei den höchsten Wasserständen fast unmöglich werden. Man begnügt sich daher gemeinhin mit der Beobachtung der Höhe des Wasserspiegels, und indem man die eben erwähnte Voraussetzung der Unveränderlichkeit des Gefalles einführt, legt man den gewiss nicht allgemein gültigen Satz zum Grunde, dass die mittleren Geschwindigkeiten bei verschiedenen Wasserständen den Quadratwurzeln aus den mittleren Tiefen proportional sind. Es ist natürlich, dass die auf solche Weise hergeleiteten Resultate wenig Vertrauen verdienen und vielleicht keine grössere Sicherheit haben, als wenn man die grösste Wassermenge, die dem Strome gleichzeitig zugeführt werden kann, unmittelbar aus der Quantität der Niederschläge unter Berücksichtigung der sonstigen localen Verhältnisse herleiten wollte. Nichts desto weniger will ich einige Angaben dieser Art hier anführen, die wenigstens einen allgemeinen Anhalt geben können.

Der Hinterrhein führt unterhalb Tuisis im Canton Graubünden (nach der Nicca) bei kleinem Wasser 15,64 Cb.-Meter (506 Preuss. Cubikfuss), bei hohem Wasser dagegen 1100 Cb.-Meter (35500 Cubikfuss): das Verhältniss der Wassermenge ist hier also, wie 1 : 70.

Wesentlich verschieden hiervon stellt sich das Verhältniss weiter unterhalb heraus: der Bodensee sammelt die Wassermassen, welche bei starken Anschwellungen des Rheins ihm zufließen, und indem er dieselben nur nach und nach wieder abgiebt, so bewirkt er eine viel gleichmässigere Speisung der folgenden Stromstrecke.

April 1808 ungefähr 55346 Cubikfuss gewesen sein soll. Das Verhältniss der kleinsten Wassermenge zu der des höchsten stellt sich also respective wie 1:136 und 1:200 heraus. (Minard*) theilt noch über mehrere französische Flüsse und Ströme die Wassermengen zur Zeit des niedrigen Sommerwassers und des Hochwassers mit, die ich auf Preussisches Maass reducirt hier anführe, wobei ich jedoch erwähnen muss, dass Minard selbst auf die Unsicherheit in der Bestimmung der Quantität der grössten Anschwellungen aufmerksam macht.

	b. klein. Wasser.	b. hoh. Wasser.	Verhältniss.
Die Oise bei Creil	1000	16200	1 : 16,2
Die Maas am Ardennen-Canal	711	16200	1 : 22,6
Die Maas oberhalb der Sémoise	1080	19400	1 : 18,0
Die Midouze bei Mont-de-Marsan	404	11232	1 : 27,8
Die Saône bei St. Jean de Losne	854	25867	1 : 30,3
Die Aisne bei Berry au Bac	388	14712	1 : 37,9
Die Mosel oberhalb Metz	660	64700	1 : 98,0
Die Garonne bei Toulouse	1164	184300	1 : 158,4
Die Garonne oberhalb des Tarn	2813	388000	1 : 137,9
Der Tarn bei Alby	485	129300	1 : 266,6
Die Loire bei Briare	1035	323300	1 : 312,4
Der Allier bei le Guétin	517	194000	1 : 375,2

Die höchsten, so wie auch die niedrigsten Wasserstände kommen bei den meisten Strömen zur Zeit der Eisgänge vor: eine theilweise oder vollständige Sperrung des Bettes durch das Eis verursacht nämlich oberhalb einen Aufstau und unterhalb, in Folge des verminderten Zuflusses, ein starkes Sinken des Wassers. Die Anschwellung wie die Senkung kann aber in diesem Falle, wenn die Sperrung eine grosse Ausdehnung gewonnen hat, und lange anhält, die Grenzen des Wasserstandes bei offenem Strome weit überschreiten. Ausserdem pflegt auch bei dauerndem starken Froste in Folge des Versiegens der Quellen gleichfalls ein sehr niedriger Wasserstand einzutreten.

Ein regelmässiges Zufrieren des ganzen Stromes stellt sich selbst in den Gegenden, wo die Winter strenge sind, nur in dem Falle ein, wenn die Geschwindigkeit des Wassers geringe ist; bei

*) *Cours de construction.* Seite 23.

190 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

stärkerer Strömung erfolgt die Bildung der Eisdecke durch die herabtreibenden Schollen oder kleinern Eisstücke, welche sich da, wo die Geschwindigkeit abnimmt, oder wo irgend eine andere Ursache der Hemmung eintritt, an und übereinander schieben und alsdann zusammenfrieren. Dieses gilt indessen nur für das eigentliche Strombette. Wenn der Frost bei hohem Wasserstande eintritt, wobei das ganze Stromthal inundirt ist, so gefriert das Wasser über den Wiesengründen zur Seite des Bettes, wie stehendes Wasser, und wenn alsdann ein höherer Wasserstand erfolgt, der die Eisdecke hebt und löst, so sind es besonders die hier gebildeten grossen Schollen, welche der untern Stromstrecke das Eis liefern, und daselbst die Eisstopfung hervorbringen. Ausserdem trägt das lose sogenannte Grundeis auch zur Bildung grosser Eisflächen auf dem Strome vielfach bei, und dieses ist es grade, welches man bei starkem Froste und ohne vorhergegangenen Wasserwechsel in grossen Massen treiben sieht, so dass oft die ganze Oberfläche des Stromes damit bedeckt ist. Die Bildung dieses Grundeises erfolgt, nach den darüber gesammelten Erfahrungen, ohne Zweifel zum Theil am Grunde des Stromes, vorzugsweise aber in der Nähe des Ufers und auf den Sandbänken.

Stehendes Wasser gefriert zuerst an der Oberfläche, weil die stärkste Verdichtung des Wassers nicht der stärksten Abkühlung entspricht, vielmehr etwa bei $3\frac{1}{2}$ Graden Réaumur über dem Gefrierpunkte stattfindet. Die Wassertheilchen, welche diese Temperatur angenommen haben, sammeln sich daher über dem Boden des Bassins an; sobald sie aber noch kälter werden, so dehnen sie sich wieder aus oder werden specifisch leichter. So geschieht es, dass die am stärksten abgekühlten Theilchen unmittelbar die Oberfläche bilden, und daher das Eis sich grade hier am ersten zeigt; wogegen das Wasser in grösserer Tiefe gar nicht so stark abgekühlt wird, dass es gefrieren könnte, oder wenn dieses doch geschieht, so erfolgt es, indem die Eisdecke an Stärke zunimmt, und sich daher von oben nach unten ausdehnt, bis die ganze Wassermasse in Eis verwandelt ist. Auf diese Weise bildet sich in stehendem Wasser niemals das Eis am Boden des Bassins früher, als oben.

Ganz anders sind die Verhältnisse, wenn das Wasser stark fliesst: die heftige Bewegung gestattet weder eine regelmässige

Schichtung der Wassertheilchen nach Maassgabe ihres verschiedenen specifischen Gewichtes oder ihrer Temperatur, noch auch überhaupt die Bildung des Eises, so lange diese heftige Bewegung fortdauert. Nichts desto weniger theilt sich die Kälte der Luft doch nach und nach dem Wasser mit, und dasselbe erkaltet bis zum Gefrierpunkte oder auch wohl noch mehr. Wo dasselbe alsdann einer starken Strömung nicht ausgesetzt ist, und etwas zur Ruhe kommt, da erfolgt sogleich die Eisbildung: es schießen die Nadeln an und bilden lockere Eismassen. Bevor dieselben aber noch ganz gefrieren können, so wird die Veränderung des specifischen Gewichtes schon Veranlassung, dass sie sich im Wasser erheben und forttreiben. Zuweilen haften Sandkörnchen oder Steinchen am Eise und beschwären es so sehr, dass es am Boden bleibt; es löst sich alsdann nur bei Vergrösserung der Eismasse oder indem durch äussere Veranlassung eine Trennung bewirkt wird. So bemerken die Schiffer oft, dass beim Aufstossen der Stangen auf den Grund, grosse Massen Eis auftauchen. Es kann aber auch die Bildung des Eisklumpens in anderer Beziehung die Ursache seiner Trennung werden, indem der Stoss des Wassers, der sich mit der Ausdehnung der getroffenen Fläche vergrössert, den Widerstand überwindet und das Eis fortreibt. Es ist klar, wie diese Eisbildung an allen Stellen des Stromes erfolgen muss, wo das Wasser sich langsam bewegt: sie findet längs den Ufern und namentlich in kleinen Buchten statt, ferner auf hohen Sandbänken, die den Strom spalten und von der heftigen Strömung nicht getroffen werden, und endlich auch an der Sohle des Bettes, wo die Geschwindigkeit gewöhnlich am geringsten ist. Hieraus ergibt es sich, wie die Ströme bei starkem Froste in sehr kurzer Zeit mit solchen Eismassen ganz bedeckt werden können, ohne dass man irgendwo eine Eisbildung im Strome selbst wahrnimmt, und ohne dass dieses Eis durch die Nebenflüsse zugeführt wird. Beiläufig muss aber noch erwähnt werden, dass nach den hierüber angeestellten Untersuchungen nur bei einer starken Wärmeausstrahlung oder bei ganz heiterem Himmel die Bildung des Grundeises erfolgt, und dieses wahrscheinlich desshalb, weil nur in diesem Falle eine recht rasche Abkühlung des Wassers stattfinden kann.

Das erwähnte lockere Grundeis, sowie auch alle sonstigen Eisstücke folgen dem Strome, da sie aber nicht so leicht, wie das

Wasser den vorkommenden Hindernissen ausweichen können, so werden sie häufig aufgehalten. Wo eine verminderte Geschwindigkeit des Stromes eintritt, sammelt sich das Eis stark an und bedeckt die Oberfläche so dicht, dass die Stückchen sich gegenseitig und längs dem Ufer zu reiben anfangen. Dieses verursacht eine Verminderung der Bewegung, wodurch sogleich das Gefrieren des Wassers befördert wird. Auf solche Weise bildet sich stellenweise eine zusammenhängende Eisdecke quer über den Strom, welche durch die nachfolgenden Eismassen sich stromaufwärts weiter ausdehnt. Gewöhnlich stellt sich dieses Eis so lose, dass es sogleich wieder in Bewegung kommt, wie das Wasser in Folge der Sperrung etwas anschwillt und einen grössern Druck ausübt. Anderntheils stellt sich dieses Treibeis auch am Ufer fest, sobald es nur einigen Schutz findet: dieses geschieht besonders an den Stellen, wo der Strom sehr unregelmässig ist und scharfe Krümmungen bildet. Das Eis wird hier gegen das concave Ufer heftig hingetrieben, und da es immer an der Oberfläche bleibt, so kann es dem Wasser, welches bei der grossen Tiefe an solchen Stellen einen leichten Ausweg findet, nicht schnell genug folgen, es sammelt sich daher an, und bildet einen breiten Rand vor dem Ufer, der gewöhnlich sehr regelmässig begränzt ist. Längs diesem Rande schwimmen in drehender Bewegung die nachfolgenden Eisstückchen vorbei, und leicht stellt sich eine Reihe derselben vor dem früheren Rande fest und rückt denselben auf diese Weise weiter in den Strom hinaus. An dem gegenüberliegenden convexen Ufer, vor welchem die Strömung viel mässiger ist, häufen sich gleichfalls die hingetriebenen Eisstückchen an, und bilden einen gleichen Rand, so dass der Strom an solchen Stellen, wie z. B. in der Krümmung vor Düsseldorf, oft zwischen zwei Eisufeln zusammengedrängt mit grosser Heftigkeit hindurchströmt, ohne dass er dieselben fortbrechen könnte. Namentlich findet dieses bei starkem Froste statt, indem alsdann die Eisstückchen immer sogleich zusammenfrieren.

In dem erwähnten Falle und selbst wenn eine vollständige Eisdecke sich bildet, verursacht dieselbe in der Regel keinen starken Aufstau, indem sie nicht weit in die Tiefe herabreicht, und daher nur wenig das Profil des Stromes beschränkt. Solche Stopfun- gen sind daher an sich wenig gefährlich. Anders verhält es sich aber, wenn grössere Schollen ankommen, und sich feststellen: auch

dieses geschieht vorzugsweise da, wo der Strom unregelmässig ist, und sein Profil sich plötzlich verändert, doch kann auch die erwähnte lose Eisdecke leicht Veranlassung zum Aufhalten der grössern Eis tafeln geben, und andererseits auch wieder selbst Eis tafeln bilden, die den untern Gegenden Gefahr drohen. Solche Schollen kommen vermöge ihrer grössern Masse nicht so leicht zur Ruhe, wie die kleinen Stückchen: sie stossen daher heftig gegen die Eisdecke auf, die ihre Bewegung hemmt, und indem die beiden zusammentreffenden Ränder stark abbrechen, so geschieht es gemeinhin, dass die ankommende Tafel sich mit dem vordern Ende auf, oder unter die feststehende Eisdecke schiebt. In beiden Fällen nimmt sie eine schräge Lage an und bezeichnet dadurch der nächsten Tafel schon denselben Weg. Dabei dehnt sich die Eisstopfung nicht nur stromaufwärts weiter aus, sondern sie nimmt auch an Stärke zu. Sobald aber das stehende Eis viel dicker ist, als die ankommende einfache Tafel, so schiebt sich letztere viel leichter herauf, als unter dieselben. Auf solche Weise bilden sich durch das fortwährende Ueber einanderschieben der Schollen sehr feste Eisdämme, und dieselben senken sich, wie die Eismasse über Wasser wächst. Es zeigt sich aber bei solcher Versetzung des Stromes durch Eis sehr bald eine bedeutende Verminderung des Abflussprofiles: das zufließende Wasser wird daher nicht vollständig abgeführt, und es staut davor auf, während es dahinter abfällt. Beide Umstände wirken nur auf die Vergrößerung des Uebelstandes und auf die weitere Ausbildung des Dammes, denn die vom Strome zugeführten Schollen können sich um so leichter auf die schon festliegenden aufschieben, während der hintere Theil des Dammes vermöge der Senkung des Wasserspiegels gleichfalls sich senkt und das Durchflussprofil noch mehr beschränkt.

Es giebt in der That keine Grenze für solche Eisstopfungen, und die höchsten Wasserstände, die man überhaupt kennt, stellen sich gerade bei dieser Veranlassung ein. Im Allgemeinen kann die Katastrophe sich um so vollständiger ausbilden, je niedriger der Wasserstand beim Beginne derselben war, denn um so weniger ist das Durchflussprofil unter der Eisdecke geöffnet, und daher am wenigsten geeignet, die spätere grössere Wassermasse abzuführen. Dagegen giebt es so viele Zufälligkeiten, welche den Eisdamm wieder in Bewegung setzen und zerstören können, dass die

194 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

Wahrscheinlichkeit eines grossen Unglücks doch um so geringer ist, je niedriger das Wasser beim Beginne des Eisganges steht.

Die zufälligen Umstände, durch welche der Eisdamm zerstört wird, sind einestheils eine starke Zunahme der Lufttemperatur, besonders aber ein warmer Regen, wobei das Eis mürbe wird und seine Festigkeit verliert, so dass es durch das Wasser leicht gelöst und fortgetrieben werden kann. Demnächst kann der verstärkte Strom unter der Eisdecke auch leicht solche Aenderungen im Bette hervorbringen, dass der Damm zerfällt und fortgetrieben wird. Gemeinhin findet aber das Wasser, sobald es vor dem Damme immer höher und höher steigt, einen Seitenabfluss, der sich bald verbreitet und die ganze Wassermasse dem Strombette unterhalb des Dammes zuführt: dort hebt sich alsdann der Wasserspiegel wieder, und dadurch werden sogleich einzelne Eismassen gelöst und fortgetrieben. In dieser Weise verschwindet die Eisstopfung vor Düsseldorf, sobald sie eine sehr hohe Anschwellung des Stromes erzeugt hat: es bildet sich nämlich ein starker Strom über die Landzunge bei Heerdt, und dieser füllt wieder von unten das Bette des Rheins.

Der Eisdamm löst sich, wenn die Schollen, die seinen vordern Fuss bilden, gehoben werden und fortschwimmen: will man also künstlich auf die Entfernung einer Eisstopfung hinwirken, so kann dieses nur dadurch geschehen, dass man an der stromabwärtsgelegenen Seite die Schollen zu trennen sucht. Es sind in dieser Beziehung verschiedentlich Versuche angestellt worden, welche wohl die Möglichkeit zeigen, einen Theil des Eises, zu beseitigen; die Erfolge pflegen aber so geringe zu bleiben, dass man dadurch allein, wenn die Natur nicht zu Hülfe kommt, kaum erwarten darf, jemals eine bedeutende Eisstopfung zu zerstören. Die Erfahrungen, die man in neuerer Zeit hierüber gesammelt hat, stimmen sehr genau mit denjenigen überein, welche der berühmte J. G. Repsold in Hamburg schon im vergangenen Jahrhundert als Bau-Conducteur machte *); er fand nämlich, dass selbst grosse Quantitäten Pulver, unter Wasser entzündet, nur in kleinen Kreisen über sich das Eis zerbrachen, und dass andere Vorrichtungen,

*) Woltman, Beiträge zur hydraulischen Architectur Band IV. Seite 280 ff.

wie Eissägen, noch viel weniger von Erfolg waren. Man hat auch mehrfach versucht, durch Erschütterungen von oben die Eisdämme zu zerstören, und namentlich werden nicht selten Kanonenkugeln dagegen geschossen. Es fehlt nicht an Beispielen dafür, dass während solcher Versuche, oder später, Eisstopfungen sich gelöst haben, doch muss man bezweifeln, dass dieser Erfolg durch das Aufschlagen der Kugeln und nicht vielleicht durch andere Veranlassungen herbeigeführt wurde. Die Masse des Eiskörpers ist im Vergleich zur Kugel so unverhältnissmässig gross, dass man von der Erschütterung wohl keinen wahrnehmbaren Erfolg erwarten kann; wenn aber einzelne Schollen zerschlagen werden, so werden sie dadurch noch nicht beseitigt: dieses geschieht nur, wenn die Stücke fortschwimmen können. Anderenfalls ist es für einen ausgebildeten Eisdamm ein ziemlich gleichgültiger Umstand, ob er von grossen Schollen bedeckt wird, oder dieselben in kleinere Stücke zerschlagen, jedoch nicht entfernt sind.

In Betreff des Eisganges ist endlich noch zu bemerken, dass bei grossen Strömen, welche viele und bedeutende Nebenflüsse aufnehmen, die Gefahr sich wesentlich dadurch vermindert, dass die Eisgänge in den verschiedenen Flüssen nicht gleichzeitig, sondern nach einander eintreten: und zwar geschieht dieses meist in einer bestimmten Reihenfolge. So legt man bei Coblenz die dort überwinterten Schiffe vor dem Eintritt des Eisganges in den Rhein, und wartet dort das Moseleis ab. Sobald dieses vorüber ist, bringt man aber die Schiffe schleunig in die Mosel, und etwa 24 Stunden später stellt sich regelmässig der Eisgang im Rheine ein. Dieses Verfahren ist seit Menschengedenken dort üblich.

Bei Gelegenheit der Untersuchung der verschiedenen Wasserstände, die nach und nach in demselben Strome und zwar an demselben Beobachtungsorte eintreten, entsteht noch die Frage, ob längere Beobachtungsreihen eine allmähliche Senkung des Wasserstandes mit Sicherheit ergeben. Diese Frage ist in neuerer Zeit ganz entschieden in der Art beantwortet worden, dass der Wasserspiegel der norddeutschen Ströme sich auf eine höchst bedenkliche Weise senken soll. Indem man aber die beobachteten Wasserstände als Maass der Wassermengen ansah, so wurde dadurch zugleich die Besorgniss angeregt, dass unsre bedeutendsten Ströme endlich beinahe ganz versiegen möchten.

196 VII. Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

Es fehlt allerdings nicht an Erfahrungen, welche zeigen, dass der nachhaltige Wasserreichthum mancher Bäche sich durch die Ausdehnung der Bodenkultur so vermindert hat, dass sie jetzt im Sommer viel unbedeutender sind, als sie früher waren. Namentlich hat sich dieses an den Bächen gezeigt, welche den Canal du Midi im südlichen Frankreich speisen, und welche jetzt unzureichend geworden sind, während sie zur Zeit der Anlage des Canals ihren Zweck genügend erfüllten. Ob durch die Kultur wirklich die Masse des atmosphärischen Niederschlages vermindert sei, bleibt unentschieden, aber jedenfalls trocknet der mit gehörigen Abzugsgräben versehene aufgelockerte Boden viel schneller aus, als früher, da er noch mit festem Rasen und mit Bäumen und Gebüsch bedeckt war. Eine nothwendige Folge dieser Veränderung ist es, dass die Quellen, welche sonst dauernd gespeist wurden, jetzt bei anhaltend trockner Witterung versiegen. Man kann es nicht in Abrede stellen, dass bei dem allgemeinen Bestreben, den Ackerbau zu vervollkommen und so viel wie möglich alle Theile jedes Besitzthums nutzbar zu machen, ähnliche Erfolge vielfach eintreten können, und auch den Wasserreichthum der Flüsse bedrohen, insofern dieser durch die Quellen und Bäche bedingt ist, die sich in den Fluss ergiessen. Die vorliegende Frage bezieht sich aber darauf, ob die Beobachtungen an unsern Strömen die Abnahme des Wasserstandes schon bestätigen, und wenn dieses geschieht, ob man hieraus auf eine Verminderung des Wasserreichthums schliessen darf.

Die längste Reihe von Beobachtungen, die mir zur Vergleichung zu Gebote steht, sind die bereits erwähnten, bei Düsseldorf angeordneten Wasserstandsmessungen: sie umfassen die 44 Jahre von 1800 bis 1843. Gruppirt man die jährlichen mittleren, sowie die absolut höchsten und niedrigsten Wasserstände von 11 zu 11 Jahren, so ergeben sich die folgenden arithmetischen Mittel aus jeder Gruppe nach dem Düsseldorfer Pegel

	höchster	niedrigster	mittlerer
1800 bis 1810	21' 11"	3' 6"	8' 10",2
1811 bis 1821	20' 4"	3' 0"	8' 8",3
1822 bis 1832	20' 0"	2' 8"	8' 7",0
1833 bis 1843	20' 9"	3' 4"	8' 6",4

Die höchsten und niedrigsten Wasserstände stellen sich also ziemlich unregelmässig dar, indem die letzten 11 Jahre Resultate

geben, die von den vorhergehenden stark abweichen: dagegen zeigen die mittleren Wasserstände eine sehr auffallende Regelmässigkeit, welche zu beweisen scheint, dass der Wasserstand in jeden 11 Jahren um mehr als einen Zoll abnimmt. Es verschwindet aber augenblicklich diese Regelmässigkeit, sobald man die Gruppen nach andern Perioden ordnet. Welche sehr grosse Abweichungen zwischen den einzelnen Jahresmitteln vorkommen, weist die Scale Fig. 71 auf Taf. XXXI. nach. Der mittlere Wasserstand des einen Jahres ist sehr häufig um 4 bis 5 Fuss von dem des nächsten verschieden, daher darf man die Unterschiede von einzelnen Zollen nicht als Folge eines durchgreifenden Gesetzes ansehen. Ich habe nach den bekannten Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung die wahrscheinliche Unsicherheit des Mittels aus je eilf Jahresmitteln aufgesucht, und dieselben für die erwähnten Perioden gefunden gleich 12,7 13,5 14,2 und 9,5 Zoll.

Hiernach ist die Mittelzahl aus den gesammten Mitteln noch mit dem wahrscheinlichen Fehler $3\frac{1}{2}$ Zoll behaftet. Man kann daher die gefundene regelmässige Abnahme des Mittels aus eilfjährigen Beobachtungen nur als eine ganz zufällige, wenn gleich höchst auffallende Erscheinung ansehen, welche nichts weiter beweist, als dass der Wasserspiegel, soweit die Beobachtungen ein sicheres Urtheil gestatten, unverändert geblieben ist.

Bedeutend grösser hat sich nach der Mittheilung von Merian *) die Abnahme des mittleren Wasserstandes in Basel während der 30 Jahre von 1809 bis 1838 herausgestellt. Das Mittel aus den ersten 10 Jahren übertrifft nämlich dasjenige des zweiten Decenniums um 0,40 und das des zweiten wieder das des dritten um 0,27 Badensche Fuss. Diese Resultate lassen sich nicht mehr als zufällige Anomalien ansehen, aber sie beweisen noch keineswegs eine Verminderung der Wassermasse, vielmehr stehen sie wohl mit den Stromcorrectionen in Beziehung, welche im Baierschen, Badenschen und Französischen Gebiete in dieser Periode vielfach ausgeführt sind, und welche eine Senkung des Wasserspiegels in der oberhalb belegnen Stromstrecke ohne Zweifel bewirkt haben.

Auch für die Weser ist eine starke Abnahme des Wasserstandes und der Wassermenge angenommen worden: die erstere

*) Poggendorffs Annalen Band 57, Seite 314.

ergiebt sich allerdings aus den bei Minden angestellten Beobachtungen, wenn freilich wieder nur in einer so geringen Grösse, dass sie mit Rücksicht auf die vorkommenden Abweichungen der einzelnen Jahresmittel als zufällig angesehen werden muss. Der mittlere Wasserstand ist nämlich

nach den 12 Jahren von 1819 bis 1830 gleich 3' 4'',6

und nach den 13 Jahren von 1831 bis 1843 gleich 3' 2'',5.

Vergleicht man indessen mit den bei Minden angestellten Beobachtungen diejenigen, die bei Schlüsselburg gemacht sind, so zeigt es sich, dass die Jahresmittel für Schlüsselburg bis zum Jahre 1829 von denen für Minden wenig abweichen: sie sind zwar im Allgemeinen etwa um 2 Zoll höher, jedoch in einzelnen Jahren auch 1 Zoll tiefer. Von 1830 nehmen sie aber sehr merklich, und zwar regelmässig zu, so dass sie 1840 und 1841 sogar um 13 Zoll sich höher, als die Mindener stellen. Aus diesem Grunde geben die Schlüsselburger Beobachtungen ein wesentlich verschiedenes Resultat: unter den letzteren fällt jedoch das Jahr 1830 aus; weil während desselben der Pegel beim Eisgange zerstört und erst im Monat Mai wieder hergestellt wurde. Der mittlere Wasserstand beträgt

für die 11 Jahre 1819 bis 1829 3' 5'',0

und für die 13 Jahre 1831 bis 1843 4' 0'',8.

Wollte man also ohne Rücksicht auf die Veränderung des Strombettes aus den Wasserständen unmittelbar auf die Wassermengen schliessen, so würden die Pegelbeobachtungen bei Schlüsselburg ergeben, dass die Weser eine starke Vermehrung ihrer Wassermenge in der letzten Zeit erfahren hat.

Es ergiebt sich also, dass die Weser, ebenso wie der Rhein, im Allgemeinen weder eine Abnahme des Wasserstandes, noch der Wassermenge, soweit die bisher angestellten Beobachtungen ein Urtheil erlauben, erkennen lassen. Für andere Ströme habe ich diese sehr zeitraubenden Untersuchungen nicht angestellt: es ist aber kein Grund vorhanden, andere Resultate zu erwarten.



Achter Abschnitt.

Hydrometrische Arbeiten.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Wasserstände

Hydrometrische Arbeiten.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897. Die Wasserstände sind in der Tabelle angegeben. Die Beobachtungen sind von dem 1. April bis zum 31. März 1897.

Die Aufnahme jeder einzelnen Längs- oder Querschnitts-Station erfolgt nach den ge-
wöhnlichen Methoden so sicher, dass keine bedeutenden Fehler
dabei zu besorgen sind, über den Anschluss des einen Längs an
das andere erfordert eine besondere Vorrichtung. Nur bei Uferbau-
oder wo mehrere Bänke vorhanden sind, kann man unmittelbar
mit der Kette von einem Ufer zum andern messen. Auf 30 bis
30 Fußten Breite lässt sich noch genau genug mit der Boussole
oder dem Niveaustabe ein Profil des einen Ufers von
dem andern Ufer aus auf der Höhe der Bänke. Wenn die
Breite aber grösser ist, so muss man die

§. 58.

Aufnahme der Stromcharten.

Wenn man an einem Strome ausgedehnte Wasserbauten aus-
führen, also etwa ein regelmässiges Strombett mit hinreichender
Tiefe darstellen oder den Uferabbrüchen eine Grenze setzen will,
so müssen verschiedenartige Messungen und sonstige Unter-
suchungen über die Local-Verhältnisse vorangehn, bevor man das
Bau-Project entwerfen kann. Unter diesen hydrometrischen Ar-
beiten ist die Aufnahme einer Stromcharte besonders wichtig,
indem nur nach einer solchen die Ursachen der Verwilderung und
die Mittel zur Beseitigung derselben sich sicher beurtheilen lassen.

Ueber die Vermessung des Stroms oder seiner Ufer ist wenig
zu sagen, grossentheils gehört dasjenige hieher, was bei Gelegen-
heit der Aufnahme der zu entwässernden Ländereien (Theil I. §. 25)
bereits angeführt ist. Soll die Stromcharte meilenlange Strecken
umfassen, oder wird vielleicht die Aufnahme des Stroms in einer
ganzen Provinz beabsichtigt, so ist es immer sehr zweckmässig,
mit einer trigonometrischen Operation den Anfang zu machen,
weil man sonst fürchten muss, dass die Fehler bei Anwendung
gewöhnlicher Feldmesser-Instrumente sich in der weiten Aus-
dehnung des Flussthales so sehr anhäufen können, dass die Charte
ein unrichtiges Bild von dem allgemeinen Laufe giebt. Besonders
ist diese Vorsicht dringend nöthig, wenn das Thal des Stroms
sehr enge ist und dadurch das wiederholte Einschneiden entfernter
Punkte unmöglich wird, wodurch man sonst in den Stand gesetzt
werden könnte, die Messung zu controliren und wenigstens grosse
Fehler zu vermeiden. Demnächst kann man die trigonometrischen
Messungen bei der Aufnahme grösserer Ströme auch nicht ent-
behren, um die Breiten richtig anzugeben, und die genaue Kenntniss
derselben ist gerade ein sehr wichtiges Element für den Strombau.

Die Aufnahme jeder einzelnen Uferstrecke erfolgt nach den gewöhnlichen Methoden so sicher, dass keine bedeutenden Fehler dabei zu besorgen sind, aber der Anschluss des einen Ufers an das andere erfordert eine besondere Vorsicht. Nur bei Bächen, oder wo zufällig Brücken vorhanden sind, kann man unmittelbar mit der Kette von einem Ufer zum andern messen. Auf 20 bis 30 Ruthen Breite lässt sich noch genau genug mit der Boussole oder dem Messtische ein markirter Punkt des einen Ufers von dem andern Ufer aus auf der Zeichnung festlegen. Wenn die Breite aber grösser wird, so müssen schon scharfe Winkelmessungen ausgeführt und gehörig berechnet werden. Bei der Aufnahme von Inseln, isolirten Felsen im Flussbett und selbst von Untiefen, sowie auch von tiefen Fahrinnen, findet ungefähr dasselbe statt, wiewohl im letzten Falle auch durch Profilmessungen, wovon weiterhin die Rede sein soll, die Charte mit hinreichender Schärfe vervollständigt werden kann.

Wichtiger als diese Andeutungen über die Messung selbst dürfte eine Aufzählung der Gegenstände sein, welche die Stromcharte enthalten muss. Hieran werden sich zugleich einige Bemerkungen über die Einrichtung und spätere Vervollständigung der Charte anschliessen. Es wird sich daraus aber ergeben, dass Aufnahmen, welche nur zu ökonomischen Zwecken gemacht sind, wenn sie in dieser Beziehung auch mit gehöriger Sorgfalt ausgeführt wurden, dennoch als Stromcharten nicht benutzt werden können. Die Gegenstände, welche gerade das Hauptforderniss für die letzte sind, enthalten sie gar nicht, oder so unvollständig und so ungenau, dass die Erfahrung immer zeigt, wie durch Benutzung von solchen Charten die Kosten für die Aufstellung einer vollständigen Stromcharte durchaus nicht vermindert werden. Nur die Grenzen zwischen den einzelnen Besitzungen lassen sich aus ihnen entnehmen, die man aber, wenn die specielle Messung doch gemacht werden muss, auch ohne namhafte Vermehrung der Arbeit erhält.

Der Maassstab für die Stromcharte muss so gross gewählt werden, dass die einzelnen Bauwerke sich darauf nicht nur deutlich darstellen, sondern dass man auch deren Längen mit hinreichender Schärfe messen kann. Hiernach eignet sich der Maassstab von $\frac{1}{3000}$ der natürlichen Grösse besser, als der von $\frac{1}{1000}$.

Nichts desto weniger ist bei grossen Strömen doch der letztere vorzuziehen, weil er eine leichtere Uebersicht gewährt und zugleich eine zu grosse Ausdehnung der Charte verhindert. Um nämlich die Verhältnisse gehörig beurtheilen zu können, darf man die Untersuchung keineswegs auf diejenige Stelle des Stroms beschränken, wo gerade die Correction erforderlich ist, sondern man muss so weit aufwärts gehn, dass man die Ursache des Uebels, die gewöhnlich oberhalb zu suchen ist, erkennen kann, und andererseits muss in dem Projecte auch darauf Rücksicht genommen werden, dass ein gehöriger Anschluss an den ferneren Lauf des Stroms stattfindet. Es ergibt sich hieraus, dass die Charte, wenn sie auch nur behufs der Correction einer einzelnen Stelle aufgenommen ist, sich doch soweit oberhalb und unterhalb ausdehnen muss, dass die Umstände, welche die Richtung des Stroms bedingen, und nicht minder die Lage der Stromrinne in den nächsten Strecken sich daraus ergeben. Man kann dieses Alles freilich eben so gut und noch besser darstellen, wenn man einen grössern Maassstab wählt, allein die Benutzung sehr grosser Charten ist mit manchen Unbequemlichkeiten verbunden, besonders wenn man mehrere Blätter an einander legen muss. Hierbei kommt vorzugsweise noch der Gebrauch während der Untersuchung an Ort und Stelle in Betracht: schon bei mässigem Winde hält es schwer, ein grosses Blatt auszubreiten, und die Schwierigkeit vermehrt sich, wenn man sich, wie dieses in solchem Falle gewöhnlich geschieht, in einem kleinen Kahne befindet, worin der Raum sehr beschränkt ist. Tritt in dieser Zeit aber noch Regenwetter ein, so wird eine grosse Charte gleich beschädigt, während eine kleinere viel leichter geschützt und in Sicherheit gebracht werden kann.

In welcher Richtung man auf dem Blatte den Strom darstellt, wäre ziemlich gleichgültig, allein es ist doch immer wünschenswerth, dass hierbei ein übereinstimmendes Verfahren beobachtet werde. Nach dem bisherigen Preussischen Feldmesser-Reglement sollen die Längenprofile der Ströme so aufgetragen werden, dass der Ursprung der letzteren auf der rechten Seite des Blattes gedacht wird, und man sonach hinter dem Wasserspiegel das rechte Ufer vortreten sieht, während das linke nur durch punktirte Linien angedeutet ist. Da ferner für gewisse Fälle

die Auftragung des Situationsplanes auf demselben Blatte unter dem Nivellementsprofile vorgeschrieben ist, so folgt daraus, dass wenigstens unter diesen Umständen auch im Situationsplane der Ursprung des Stromes auf der rechten Seite gedacht werden soll. Es wird vielfach nach dieser Vorschrift verfahren, und sie wird auch oft auf diejenigen Stromcharten ausgedehnt, denen das Nivellementsprofil nicht beigefügt ist. Bei den auf diese Weise gezeichneten Charten ist die Richtung der Schrift der des Stromes entgegengesetzt. An sich wäre dieser Umstand sehr unerheblich, aber es erscheint doch viel angemessener, dass dieselbe Richtung, in der wir schreiben und jede Zeile lesen und in der wir auch zeichnen, für den Strom gleichfalls angenommen werde, wenigstens dürfte diese Analogie immer noch mehr für sich haben, als der Grund, der die Wahl der entgegengesetzten Richtung unterstützt, dass nämlich das rechte Ufer über oder hinter dem Strome erscheinen soll. Die meisten Stromcharten werden auch wirklich so gezeichnet, dass der Ursprung auf der linken Seite des Blattes gedacht wird, und wahrscheinlich würde man hiervon bei uns nie abweichen, wenn nicht die Vorschriften das Gegentheil zu verlangen schienen.

Der wichtigste Gegenstand, den die Stromcharte enthält, ist der Strom selbst. Seine Krümmungen, seine Breite und andere wesentliche Umstände ergeben sich schon aus der Begrenzung gegen die Ufer, diese Grenzen müssen also als scharfe Contouren ausgezogen werden, nachdem sie sorgfältig gemessen sind. Hierbei entsteht aber die Schwierigkeit, dass der Strom bei höherem Wasserstande sich auch weiter verbreitet und sonach seine Begrenzung vorrückt: das auf der Charte dargestellte Bild bezieht sich also nur auf einen bestimmten Wasserstand, und es fragt sich, welchen man hierzu wählen soll. Sobald die beabsichtigte Stromcorrection im Interesse der Schifffahrt ausgeführt werden soll, so kann es keinem Zweifel unterliegen, dass man denjenigen Wasserstand wählen muss, wo eben die Hindernisse sich zeigen, die man beseitigen will, und dieses ist jedesmal ein sehr niedriger oder der allerniedrigste Wasserstand. Dazu kommt, dass viele Gegenstände, welche man auf der Charte markiren muss, um so leichter gemessen und untersucht werden können, jemehr sie aus dem Wasser vortreten, oder je tiefer das Wasser

gesunken ist. Hiernach wird allgemein die Aufnahme der Stromcharte bei niedrigem Wasserstande ausgeführt, und man wählt eine Höhe desselben, die lange genug anzuhalten pflegt, um alle davon abhängigen Messungen vorzunehmen. Der gewählte Wasserstand muss auf der Charte selbst bestimmt bezeichnet werden, und dieses geschieht, indem man darauf bemerkt, welche Höhe der nächste Pegel zur Zeit der Messung angab.

Hierbei tritt indessen wieder der Uebelstand ein, dass der Strom nur in sehr seltenen Fällen längere Zeit hindurch seine Höhe ganz unverändert beibehält: gewöhnlich ist er einem stärkeren oder schwächeren Wechsel unterworfen. Man würde mit der Messung in den meisten Fällen gar nicht zu Stande kommen, wenn man ganz strenge nur bei dem vorher bestimmten oder zufällig gewählten Wasserstande arbeiten wollte: es ist indessen klar, dass geringe Differenzen von einzelnen Zollen gemeinhin ganz unbeachtet bleiben dürfen. Ausserdem aber kann man den Einfluss, den grössere Unterschiede auf die Veränderung der Lage des Stromrandes haben, mit hinreichender Sicherheit leicht messen und in den meisten Fällen sogar unmittelbar schätzen. Auf solche Weise wird zwar die Aufnahme wegen der erforderlichen Tiefenmessungen und leichten Nivellements etwas erschwert, es ist aber ein grosser Vortheil, dass man auch bei abweichenden Wasserständen noch die gesuchten Uferlinien bestimmen kann, und man die angefangene und vorbereitete Arbeit nicht gleich abbrechen darf. Beträgt dagegen die Differenz gegen den angenommenen Wasserstand gegen zwei Fuss oder mehr, alsdann lässt sich die Messung nicht füglich weiter fortsetzen, und man muss, wofern nicht die Ufer sehr steil sind, das Fallen des Wassers abwarten.

Damit der Feldmesser während der Arbeit sich leicht überzeugen kann, ob der zum Grunde gelegte Wasserstand wirklich stattfindet, oder wie viel die Abweichung von demselben beträgt, so muss er an derjenigen Uferstrecke, wo er gerade misst, leichte Pegel aufstellen und diese mit den nächsten Hauptpegeln vorher sorgfältig vergleichen. Bei geringen Aenderungen des Wasserstandes pflegen die Differenzen für nicht zu grosse Entfernungen ziemlich gleichmässig auszufallen, woher solche Interimspegel mit Sicherheit benutzt werden können. Wenn dagegen der Strom um mehrere Fuss steigt oder fällt, so stellen sich gemeinhin sehr

verschiedenartige Gefälle heraus, und es lässt sich alsdann nicht mehr mit Sicherheit angeben, um wie viel das Wasser an jeder Stelle höher oder niedriger stehen würde, wenn es am Hauptpegel die bestimmte Höhe hätte. Hat man, wie vorhin erwähnt, für die Aufnahme des Stromes den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand gewählt, so pflegt das Wasser auch in den selten wiederkehrenden sehr niedrigen Wasserständen nicht so tief zu sinken, dass die Reduction eine Unsicherheit besorgen liesse. Man hat also nur das Steigen des Wassers zu fürchten, und auch dieses ist innerhalb gewisser Grenzen noch nicht sehr störend. Die Tabellen der Wasserstandsbeobachtungen an den Hauptpegeln lassen schon erkennen, in welcher Jahreszeit und in welchen Monaten mit der grössten Wahrscheinlichkeit der zum Grunde gelegte Wasserstand erwartet werden kann, und der Feldmesser muss seine Arbeit so vorbereiten, dass er besonders diese Zeit zu denjenigen Messungen benutzt, wo er gerade diesen Wasserstand am nöthigsten gebraucht. Trifft es sich alsdann aber zufällig, dass während einiger Zeit dennoch ein Hochwasser eintritt, so muss er in ähnlicher Weise, als wenn die Arbeit durch eine sehr ungünstige Witterung unterbrochen würde, die Zwischenzeit mit dem Auftragen der Messung ausfüllen, oder solche Arbeiten vornehmen, wobei der höhere Wasserstand nicht hinderlich ist.

Das eben Gesagte bezieht sich auch auf die Aufnahme der Inseln und derjenigen Sand- und Kiesflächen, welche zur Zeit des angenommenen Wasserstandes über demselben vortreten: ihre Umgrenzung muss gleichfalls genau aufgemessen und in die Charte eingetragen werden.

Es giebt indessen viele Bänke und Untiefen in den Strömen, welche bei dem gewöhnlichen kleinen Wasser und selbst beim niedrigsten Wasserstande verdeckt bleiben, während sie doch der Schifffahrt hinderlich sind und daher bei der Entwerfung des Correctionsprojectes berücksichtigt und folglich auch in der Charte angegeben werden müssen. Die Lage und Ausdehnung derselben lässt sich nur durch wiederholte Tiefenmessungen bestimmen, wovon später die Rede sein wird: am vollständigsten kann man sie aber in der Charte eintragen, wenn man in ähnlicher Weise, wie dieses bei Gelegenheit der Aufnahme der zu entwässernden Ländereien beschrieben ist, Ebenen denkt, die dem Spiegel des Stromes beim

angenommenen Wasserstände parallel und in gewissen Abständen, also 2,4 und 6 Fuss u. s. w. unter demselben liegen. Sucht man die Linien, in welchen diese Ebenen das Strombette schneiden, und trägt man diese in der Chartre ein, so stellt sich die Gestaltung des Strombettes überaus klar und deutlich dar. Diese Methode ist indessen, wenn sie mit gehöriger Sorgfalt durchgeführt wird, sehr mühsam, denn man muss entweder auf der ganzen Strecke in geringen Abständen die Querprofile aufnehmen, oder die angegebenen Tiefen, die beispielsweise zu 2,4 und 6 Fuss gewählt waren, wirklich aufsuchen und durch Signale bezeichnen, deren Lage alsdann vom Ufer aus durch Einschneiden zu bestimmen ist. Man wendet daher dieses Verfahren nur in einzelnen Fällen an, wo eine sehr genaue Kenntniss des Strombettes nothwendig ist, während man sich sonst damit begnügt, die Ausdehnung und Lage der Sandbänke, wie auch die der tiefsten Stromrinne nur ungefähr zu bestimmen und in der Chartre zu bezeichnen. Die Höhenlage der Sandbänke, d. h. die Tiefe ihres höchsten Rückens unter dem angenommenen Wasserstände, muss jedenfalls noch ermittelt und in der Chartre mit Zahlen eingeschrieben werden. Ausserdem darf die Tiefe des Fahrwassers oder der tiefsten Stromrinne in der Chartre nicht fehlen, und es muss auch die Richtung des Stromstriches, worunter man eben diese tiefste Rinne, verbunden mit der stärksten Strömung, versteht, bei dem gewählten Wasserstände angegeben werden.

Es ist immer eine höchst mühsame und unbequeme Arbeit, verschiedene Profilzeichnungen, namentlich wenn sie in grösserem Maassstabe auf besondern Blättern dargestellt sind, mit der Situationschartre zu vergleichen und sich dadurch ein deutliches Bild von den Höhenverhältnissen zu machen. Viel einfacher, und insofern Irrungen vermieden werden, auch viel sichrer ist es, die Resultate der Profilmessungen gleich in der Chartre durch Einschreiben der gefundenen Tiefen anzugeben. Auch die Eintragung der Querprofile in das Strombette selbst gestattet eine deutliche Uebersicht der Verhältnisse. Man denkt nämlich die Verticalebene, worin die Tiefen gemessen sind, und welche unten vom Strombette begrenzt wird, um diejenige horizontale Linie gedreht, worin sie den Wasserspiegel schneidet: diese Ebene wird in horizontaler Lage an der gehörigen Stelle in das Strombette gezeichnet, dabei

ist es jedoch gemeinlich nothwendig, für die Tiefen einen grössern Maassstab, als für die Längen zu wählen, weil jene sich sonst nicht deutlich genug darstellen. Dieser Umstand ist störend, und ausserdem verdecken die Profile schon einen grossen Theil von der Zeichnung des Flussbettes, so dass dadurch leicht andere wichtige Gegenstände verdunkelt werden. Sind die Profile aber so nahe an einander gelegt, dass sie die Gestaltung des ganzen Strombettes ziemlich vollständig angeben, so kann man aus ihnen sehr leicht jene Tiefenlinien construiren, wodurch die Profilzeichnungen ganz entbehrlich werden, und wodurch zugleich, ohne irgend eine willkürliche Bezeichnung einzuführen und ohne die Charte zu überfüllen oder zu verdunkeln, die Verhältnisse am deutlichsten dargestellt werden. Dass man an einzelnen Stellen, wo die Gestaltung des Bettes von besonderer Wichtigkeit ist, die Profile vollständig misst und besonders darstellt, soll hierdurch keineswegs als unzweckmässig bezeichnet werden: namentlich sind dergleichen Aufnahmen jedesmal nothwendig, wenn Bauwerke in den Strom hineingeführt werden sollen, und man zur Ermittlung des erforderlichen Materials und des Kostenbetrages die vorhandenen Tiefen genau kennen muss.

Was von der Aufnahme des Strombettes gesagt ist, findet auch auf die der Ufer Anwendung: dieselben bleiben nämlich nur so lange Ufer, als der Strom sie nicht überfluthet. Geschieht dieses, so bedingt ihre Höhenlage und Gestaltung die Strömung des Hochwassers, und von dieser hängt wieder, wie schon oben bemerkt ist, die Tiefe im eigentlichen Strombett ab. Die Charte muss also anzeigen, welche Uferstrecken bei Anschwellungen inundirt werden und an welchen Stellen zur Zeit des Hochwassers eine starke Strömung sich bildet: sie muss daher auch tiefere Stellen im Flussthale in ihrer ganzen Ausdehnung zeigen und die Höhenlage so vollständig angeben, dass man die Verhältnisse schon aus der Charte zu übersehen im Stande ist. Die tieferen Flächen markiren sich oft dadurch, dass sie Wiesen oder Weideland sind, während das höhere Terrain als Ackerland benutzt wird. Hierdurch allein ist indessen noch keineswegs die Höhenlage gegeben, sie muss vielmehr durch Nivellements ermittelt und durch beschriebene Zahlen bezeichnet werden. Am natürlichsten ist es, hierbei wieder den oben angenommenen Wasserstand zum Grunde

zu legen. Der Umstand, dass dieser Wasserstand keine horizontale, sondern eine geneigte Ebene ist, bleibt ohne merklichen Nachtheil, wenn man die Vergleichung jedesmal mit der nächsten Stelle des Stromes macht. Einige Unsicherheit ist hierbei allerdings nicht zu vermeiden, aber wollte man einen Normalhorizont zum Grunde legen, dann würde man bei der Benutzung der Charte gezwungen sein, das Gefälle des Stromes jedesmal zu berücksichtigen, wodurch leicht ein noch grösserer Fehler eingeführt werden könnte. Am Passendsten wäre es freilich, wenn man für die verschiedenen Wasserstände den jedesmaligen Uferrand beobachtete und eintragen könnte, aber diese Arbeit wäre viel zu weit ausgedehnt. Nur die Grenzen des höchsten bekannten Wasserstandes pflegt man, so genau wie sich dieses ermitteln lässt, in den Stromcharten anzugeben. Da die Gelegenheit zu solchen Beobachtungen sich jedoch nicht leicht darbietet, so muss man schon die Aussagen der Anwohner hierbei zum Grunde legen, obgleich dieselben gewöhnlich einander sehr stark widersprechen und überdiess höchst unvollständig ausfallen. Damit man indessen die Sicherheit dieser Angaben auch später einigermaassen zu beurtheilen im Stande sei, und um zugleich eine möglichst vollständige und sorgfältige Ermittlung dieser Thatsachen zu veranlassen, so ist es angemessen, dass über diese Aussagen Verhandlungen aufgenommen werden. Dabei sind zugleich die sonstigen natürlichen und künstlichen Marken der höchsten Fluthen, und unter den ersteren besonders die Beschädigungen der Baumstämme durch vorbeitreibende Eisschollen zu berücksichtigen.

Die Grenze der höchsten Inundation, und zwar ebensowohl wenn diese unmittelbar vom Strome herrührt, als wenn sie durch Rückstau hervorgebracht ist, muss in der Stromcharte angegeben werden: hierdurch bestimmt sich im Allgemeinen zugleich die Ausdehnung der Stromcharte zu beiden Seiten. Die Höhenlage der ganzen inundirten Fläche wird aber durch beigeschriebene Zahlen bezeichnet. Da diese Zahlen gegen die eingeschriebenen Tiefen negativ sind, so könnte man die ersten oder die letzten mit dem Minuszeichen versehen: es ist indessen wohl am angemessensten, in gleicher Art, wie die Grenze des Wassers mit blauer Farbe bezeichnet wird, auch die Tiefen blau und dagegen die Höhen roth einzuschreiben, wodurch eine sehr augenfällige

Unterscheidung gegen die sonstige Schrift auf der Charte hervor- gebracht wird. Es darf kaum erwähnt werden, dass die Höhe der Inseln und derjenigen Bänke, die über dem gewöhnlichen niedrigen Wasserstande vorragen, gleichfalls in entsprechender Weise angegeben werden muss.

Es folgt schon aus dem Gesagten, dass die Sümpfe, besonders die alten Flussarme und ebenso auch die Bäche und Nebenflüsse, soweit sie im Inundationsgebiete liegen, gleichfalls aufgenommen werden müssen: die letztern werden indessen häufig noch weiter aufwärts und namentlich bis oberhalb der nächsten daran gelegenen Mühlen verfolgt. Diese weitere Ausdehnung rechtfertigt sich dadurch, dass die Versandungen im Strome oft in dem innigsten Zusammenhange mit den Uferbrüchen in den Nebenflüssen stehen, und daher eine vollständige Correction des Stroms nicht erfolgen kann, wenn hier nicht gleichfalls für die Deckung der Ufer gesorgt wird. Die Deiche, kleinere Vorwellungen oder auch Mauern und Gebäude, welche vielleicht die Ausbreitung der Fluthen begrenzen oder die Strömung hemmen, müssen gleichfalls auf der Charte angegeben werden, und ebenso auch die Hecken, Zäune und Baumgruppen und selbst einzelne Bäume, welche der freien Bewegung der Eisschollen besonders hinderlich sind.

Mit besonderer Sorgfalt müssen ferner alle Anlagen, welche unmittelbar auf den Strom einwirken oder damit in Verbindung stehen, eingezeichnet werden: hierher gehören die Wehre, Coupirungen, Seiten-Canäle, Uferdeckungen und zugleich die Uferpflanzungen und natürliche Weidenaufschläge, so auch die Buhnen und Schlickzäune und dergleichen. Durch die Färbung oder sonstige Bezeichnungsart derselben muss ihre Construction markirt, und durch die oben erwähnte Beifügung der Zahlen ihre Höhe bezeichnet werden: soweit es sich aber mit Sicherheit ermitteln lässt, muss auch die Jahreszahl ihrer Erbauung beigeschrieben werden. Hierher gehören ferner die Pegel, Schleusen, Schiffsmühlen, Leinpfade und die Anstalten zur künstlichen Entwässerung der niedrigen Ufer.

Demnächst muss man aus der Stromcharte auch die Beschaffenheit des Bodens, soweit dieselbe beim Strombau in Betracht kommt, entnehmen können. Besonders ist es nöth-

wendig, zu wissen, aus welchem Material die der Schifffahrt hinderlichen Untiefen bestehen, ob sie gewachsener Fels, grosse getrennte Steine, Kies oder Sand, oder vielleicht auch feste oder lose Thonbänke oder Baumstämme sind. Ebenso muss die Beschaffenheit der Ufer neben dem Strome sich aus der Charte ergeben, und zwar nicht nur in Bezug auf ihre Zusammensetzung, sondern auch auf ihren Zustand: durch besondere Bezeichnung muss das im Abbruch befindliche Ufer, oder das sogenannte Schartufer, und andererseits das flache in der Verlandung begriffene Ufer dargestellt werden. Die Wirkung des Hochwassers ist aber sehr verschieden, je nachdem es über einen festen Rasen oder über den aufgelockerten Ackerboden strömt, daher darf auch die Bezeichnung der Kulturart nicht fehlen, und da die Anlage der Leinpfade und manche andere Umstände bei der Stromregulirung vielfache Collisionen mit den nächsten Grundbesitzern herbeiführen, so ist es am zweckmässigsten, die Stromcharte innerhalb ihrer ganzen Ausdehnung so speciell auszuzeichnen, und alle Gegenstände so vollständig darin aufzunehmen, als wenn sie zu ökonomischen Zwecken zusammengestellt wäre. Die Grenzen zwischen den einzelnen Grundstücken, die Städte, Dörfer und einzelnen Etablissements, die Haupt- und Nebenwege dürfen also darin auch nicht fehlen, ebensowenig die Fuhrten, Fähren, Brücken, Stege, Mühlen, die Landungsplätze für die Schiffe nebst den zugehörigen Niederlagen für die ein- oder auszuladenden Producte oder Waaren, die Zollstätten, Schiffsbauplätze u. dergl.

Bei den unaufhörlichen Veränderungen, denen der Stromlauf, wie schon oben erwähnt worden, unterworfen ist, verliert die Charte bald ihre Brauchbarkeit, wenn nicht durch einen gehörigen Strombau den ferneren Veränderungen ein Ziel gesetzt wird. Dieses giebt sich vielfach bei älteren Charten zu erkennen, die nur ein historisches Interesse behalten: ein solches kann aber gewiss die sehr bedeutenden Kosten der Vermessung und Zeichnung nicht rechtfertigen, und man sollte daher wohl nicht früher eine vollständige Stromcharte zusammenstellen lassen, bis es Absicht ist, die betreffende Strecke wirklich zu corrigiren und sie den zufälligen Veränderungen zu entziehen. Wenn man aber auch diese Absicht gehörig verfolgt, so treten dennoch wesentliche

Aenderungen schon in Folge der vorgenommenen Correction ein: es würde sehr unpassend sein, wenn man bei Eintragung dieser Aenderungen die erste Zeichnung ausradiren oder verwaschen wollte, denn ein wichtiger Zweck einer solchen Charta ist es noch, dass sie eine vollständige Geschichte des ganzen Baues und seiner Wirkungen enthalten muss. Es lassen sich manche Veränderungen, wenn man verschiedene Farben dazu wählt, ohne Undeutlichkeiten herbeizuführen, gemeinlich in das erste Blatt noch eintragen, und es erleichtert ausserordentlich die Uebersicht, wenn man die nach und nach eingetretenen Veränderungen mit einem Blicke übersehen kann. Nichts desto weniger vermehren sich dieselben doch zuweilen so sehr, dass die Deutlichkeit leiden würde, wenn man Alles noch zusammen darstellen wollte: alsdann ist es am passendsten, auf besondere Blättchen oder Klappen die Aenderungen zu zeichnen, welche auf die Hauptcharta passen, und den spätern Zustand des Stromes darstellen.

§. 59.

Nivellement des Stroms.

Welchen grossen Einfluss das Gefälle auf den Lauf eines Stroms hat, ist schon früher erwähnt worden: die genaue Kenntniss desselben ist daher bei der Entwerfung eines Projectes zu Stromregulirungen dringend nöthig. Es genügt dabei aber nicht, dass man nur diejenige Strecke nivellirt, die man eben reguliren will, denn die beabsichtigte Aenderung im Strombett pflegt auch eine Aenderung des Gefälles zur Folge zu haben, und man muss sich schon vorher davon überzeugen, dass eine solche auch für die andern Theile des Stroms nicht nachtheilig sei. Es ist daher Regel, dass man das Nivellement wenigstens so weit aufwärts fortsetzt, als eine Aenderung im Wasserspiegel möglicherweise noch veranlasst werden kann. Am zweckmässigsten ist es aber immer, diese Arbeit gleich über den ganzen Strom, oder doch wenigstens über einen grossen Theil desselben auszudehnen, denn die Kenntniss des Gefälles im Allgemeinen und der Vertheilung desselben bei verschiedenen Wasserständen auf die einzelnen Strecken ist zur richtigen Beurtheilung der Stromverhältnisse höchst wichtig, und oft sogar wichtiger, als diejenigen Umstände, welche sich

auf der Stromcharte darstellen lassen. Die letztern haben in vielen Fällen einen weit beschränkteren Einfluss, man braucht sie nur da zu kennen, wo man gerade eine Correction vornehmen will. Wenn also, wie dieses häufig vorkommt, die Absicht nur dahin gerichtet ist, die grössten Verwilderungen oder Schifffahrtshindernisse zu beseitigen, so kann man ohne wesentlichen Nachtheil die Aufnahme der Stromcharte allein auf die auszubauenden Strecken und deren nächste Umgebungen beschränken, aber ein zusammenhängendes und gehörig weit ausgedehntes Nivellement ist nothwendig, um ein richtiges Urtheil über die Gefälle im Ganzen und auf den einzelnen Strecken zu begründen, wenn die Arbeit den gehörigen Erfolg haben soll.

Ueber die Ausführung des Nivellements wäre hier nichts Besonderes zu erwähnen, nur muss auf die Nothwendigkeit des Anschlusses an alle Festpunkte, die mit dem Strome in Beziehung stehen, aufmerksam gemacht werden: dieses sind vorzugsweise die Nullpunkte der Pegel, demnächst die Schleusendempel, die Fachbäume oder Rücken der Wehre, die Fachbäume der Freiarchen, der Mühlen u. dergl. Ausserdem darf man es auch nicht unterlassen, an sonstige feste Punkte in kurzen Entfernungen das Nivellement anzuschliessen, denn die ganze Arbeit verliert ihren Werth, wenn man sie nicht für einzelne Strecken leicht wiederholen und dadurch die eingetretenen Veränderungen nachweisen kann. Zu diesem Zwecke ist es nothwendig, dass man eine grosse Anzahl von Festpunkten längs dem Flusse, etwa in 100 bis 200 Ruthen Entfernung von einander, künstlich bildet, und eine besondere Vorsicht ist erforderlich, dieselben so anzubringen, dass sie nicht leicht zerstört oder verändert werden. Das Aufstellen von Pfählen oder von hohen Steinen, etwa Basaltsäulen, ist hierzu allein keineswegs genügend, denn solche sind nicht nur den zufälligen Beschädigungen beim Eisgange oder bei anderer Veranlassung ausgesetzt, sondern die Grundbesitzer, denen der Zweck dieser Marken nicht leicht begreiflich zu machen ist, sehen darin gemeinhin eine Beeinträchtigung ihres Eigenthumsrechtes, und bemühen sich oft absichtlich, diese Zeichen fortzuschaffen: es kommt sogar vor, dass sie dieselben ausheben und an eine andere Stelle versetzen, wo sie weniger hinderlich sind. Grossentheils lassen sich solche Unannehmlichkeiten vermeiden,

wenn die Leute vorher befragt und ihre Wünsche in Bezug auf die Stelle gehörig berücksichtigt werden. Da hierbei der Abstand vom Strom und ebenso auch der Abstand der Marken unter sich ohne Nachtheil etwas verändert werden kann, so ist es fast immer möglich, ein vollständiges Einverständniss herbeizuführen. Für den möglichen Fall aber, dass dennoch die Marke zerstört wird, muss man neben derselben unter der Oberfläche des Bodens noch eine zweite Marke, gewöhnlich einen flachen Stein anbringen, welcher gleichfalls an das Nivellement angeschlossen wird. Die Lage desselben muss im Situationsplane auch genau bezeichnet werden, damit man ihn jederzeit sicher wiederfinden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Eintragung des Wasserspiegels in das Nivellementsprofil: wollte man während der Ausführung des Hauptnivellements gleich die Visirlatte am Rande des Stroms einstellen lassen und dadurch die Höhe des Wasserspiegels ermitteln, so würde man augenscheinlich alle Aenderungen des Wasserstandes, die während dieser Zeit vorkommen, mit einführen, und dadurch die Resultate so entstellen, dass sie ganz unbrauchbar werden. Der Wasserstand, den man im Nivellementsprofil einträgt, muss im Beharrungsstande sich befinden, das heisst dauernd anhalten, und er muss auch ziemlich gleichzeitig neben jeder einzelnen oben erwähnten Marke beobachtet worden sein. Es ist hierbei gleichgültig, ob das Nivellement schon beendigt ist, oder nicht. Die oben erwähnten Festpunkte müssen indessen zur Zeit der Beobachtung des Wasserspiegels bereits gesetzt sein, damit die Uebertragung der letztern auf diese unmittelbar nach der Beobachtung vorgenommen werden kann. Sobald die Aussicht vorhanden ist, dass ein passender Wasserstand eintreten wird, stellt man vor jedem Festpunkte am Rande des Stroms einen Pfahl auf, dessen Kopf horizontal und eben abgeschnitten ist. Die Höhe dieses Kopfes über dem Wasserspiegel wird in der vorher verabredeten Zeit durch zuverlässige Leute gemessen. Wenn es auch keineswegs erforderlich ist, dass man für jede einzelne Messung einen besondern Beobachter anstellt, so darf man andererseits auch nicht durch einen Mann in Strecken, von vielen Meilen Länge, alle Messungen vornehmen lassen, weil in diesem Falle die Beobachtungen zu wenig gleichzeitig ausfallen würden. Nichts desto weniger ist es doch immer rätlich, nur zuverlässige

Gehülfen zu wählen, und wenn man solche nicht in gehöriger Anzahl disponibel hat, die Einzelnen so anzustellen, dass sie, vielleicht während eines halben Tages, eine lange Reihe von Pegeln hintereinander beobachten. Es kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dass etwanige Aenderungen des Wasserstandes sich von oben nach unten fortsetzen. Dieselben treten also keineswegs gleichzeitig an allen Pegeln ein, und wenn der Gehülfe in der Richtung stromabwärts seinen Weg nimmt und ausserdem für ein recht schnelles Fortkommen desselben gesorgt ist, so wird der Wechsel des Wasserstandes ihm nicht bedeutend voreilen, und sonach beziehn sich alle Messungen, wenn sie auch nicht zu gleicher Zeit angestellt wurden, doch auf denselben Wasserstand.

Solche Messungen müssen indessen schon längere Zeit vorher vorbereitet werden, und sie sind nur in dem Falle zu gebrauchen, wenn der erwartete Beharrungswasserstand wirklich eintritt. An den sämmtlichen Hauptpegeln in der ganzen Stromstrecke werden während der Beobachtungszeit von Stunde zu Stunde die Wasserstände abgelesen und aufgezeichnet, dasselbe geschieht auch an den vorhergehenden und nachfolgenden Tagen, damit man sich überzeugen kann, ob wirklich ein constanter oder Beharrungswasserstand stattgefunden habe.

Indem nun diese Beharrungswasserstände nicht häufig eintreten, sie auch selten so lange anhalten, dass man während ihrer Dauer die Vorbereitungen zu solchen Messungen vollständig treffen kann, so geschieht es sehr häufig, und namentlich wenn die Beobachtung eine lange Stromstrecke umfassen soll, dass die ganze erwähnte Vergleichung der Wasserstände sich als vergeblich ausweist, indem der Strom während dieser Zeit zu fallen oder zu wachsen anfing. Namentlich ist es besonders schwierig, etwas höhere Wasserstände auf diese Weise zu beobachten, indem solche eine noch kürzere Dauer, als die niedrigen zu haben pflegen. Man hat daher gewöhnlich während der Ausführung des Nivellements keine Gelegenheit, den Wasserspiegel des Stroms, und namentlich bei sehr verschiedenen Wasserständen, genau zu bestimmen, und man muss diese nothwendige Ergänzung für eine spätere Zeit aufschieben.

Wenn der Wasserstand einem starken Wechsel unterworfen ist, so ist die gleichzeitige Anstellung der Beobachtungen ohne

allen Zweck, und es ist vielmehr viel wichtiger, an allen Stationen nur das Maximum oder das Minimum zu beobachten, wie ein solches sich nach und nach an den einzelnen Pegeln darstellt. Diese Art von Messung lässt sich viel leichter ausführen, und wenn sie an Wichtigkeit der erstern auch bedeutend nachsteht, so ist sie andererseits doch gewiss viel sicherer, als wenn man, wie dieses gemeinhin geschieht, das Steigen und Fallen des Wassers gar nicht berücksichtigt. Beim Nivelliren kleiner Flüsse, an welchen Mühlen liegen, deren Wassermenge also durch den Betrieb derselben bedingt ist, lässt sich eine gleichmässige Strömung und sonach ein übereinstimmender Wasserstand auf lange Strecken gar nicht darstellen. Man müsste mehrere Tage hindurch alle Mühlen ausser Betrieb setzen, bis das Wasser über die Wehre oder durch die Freiarchen einen ganz gleichmässigen Abfluss annimmt, und dieser Zustand des Flusses wäre ein künstlicher, der sich später nicht wiederholt; die Kenntniss desselben ist also ohne reellen Nutzen. Dagegen giebt das abwechselnd eintretende Maximum und Minimum des Wasserstandes diejenigen Verhältnisse ziemlich sicher an, die man grade wissen will. Man kann die Pegel zu diesem Zwecke in ähnlicher Weise einrichten, wie die Thermometer, welche das Maximum und Minimum der Temperatur angeben; wenn man sich aber nur auf die Beobachtung des Maximums beschränkt, so habe ich hierzu das folgende Verfahren ganz brauchbar gefunden. Ich liess nämlich, ehe das höchste Wasser eintrat, die erwähnten Pfähle oder Pegel mit einem recht fetten Thon bestreichen. Soweit derselbe vom Wasser benetzt wurde, erweichte er und fiel herab: der starke Strom wusch sogar die Pfähle bis zu dieser Höhe ganz rein, und der höchste Wasserstand liess sich auf diese Art bis zum Eintritt des nächsten Hochwassers so genau erkennen, dass man nicht leicht um einen ganzen Zoll bei der Ablesung zweifelhaft bleiben konnte. Zum Beweise für die Sicherheit der Methode diente aber vorzugsweise der Umstand, dass zwei solche Pfähle, die sehr nahe neben einander standen, immer übereinstimmende Resultate gaben.

§. 60.

Tiefenmessungen.

So lange die Wassertiefe nicht bedeutend ist, misst man dieselbe mittelst eines eingetheilten Maassstabes oder einer Peilstange. Diese Vorrichtung ist höchst einfach: bei der Anfertigung der Peilstange ist vorzugsweise dahin zu sehen, dass die Eintheilung recht deutlich ist, und man die Ablesungen schnell und bestimmt machen kann, ohne dass immer eine besondere Seite des Stabes dem Beobachter zugekehrt werden muss. Eine grosse Genauigkeit ist bei den Tiefenmessungen nie zu erreichen, daher würde es eine ganz überflüssige Mühe sein, wenn man etwa die Theile eines Zolles auf der Peilstange noch ablesen wollte. Dieser Umstand macht die Eintheilung der Stange in einzelne Zolle schon entbehrlich, denn man kann dieselben mit hinreichender Sicherheit schätzen, wenn auch nur eine Eintheilung von 3 zu 3 Zollen angebracht ist, welche sich weit leichter übersehen lässt. Am vortheilhaftesten ist es, die Stangen rund zu behobeln und mit weisser Oelfarbe anzustreichen, die Theilungsstriche aber jedesmal ringsherum zu ziehen, damit man von allen Seiten her die Eintheilung sehen kann. Wenn man etwa die ganzen Fusse durch schwarze und die Viertelfusse durch rothe Striche bezeichnet, so ist das Beischreiben der Zolle ganz entbehrlich und man braucht auch die Fusse nicht zu numeriren, wenn man besondere Marken wählt, um einzelne Stellen zu unterscheiden.

Gemeinhin kommt es nur darauf an, auf den seichten Stellen die Tiefen genau zu kennen, und man reicht sonach gewöhnlich mit einer Peilstange aus, deren Länge nur etwas grösser als die mittlere Tiefe des Stromes ist: für einzelne Stellen, wo dieses nicht genügen sollte, kann man eine längere Peilstange benutzen, es ist aber sehr vortheilhaft, dass man den zum gewöhnlichen Gebrauche bestimmten Stab möglichst bequem einrichtet, weil er alsdann um so häufiger und schneller gehandhabt werden kann. Hiernach wird für ganz bedeutende Ströme, wie für die Weser und die Elbe, schon eine Peilstange von 8 Fuss Länge und $1\frac{1}{4}$ Zoll Stärke grossentheils ausreichen. Ist diese mit den erwähnten rothen und schwarzen Strichen versehen, die sich ringförmig herumziehen, so braucht man nur den schwarzen Strich in der

Mitte, der 4 Fuss bezeichnet, zu markiren, und dieses geschieht am zweckmässigsten dadurch, dass man neben demselben auf jeder Seite noch einen ähnlichen Strich anbringt, so dass hier drei Striche neben einander liegen. Alsdann wird ein Blick auf die Stange, während sie eingestellt ist, hinreichen, um die Fusse und Zolle, welche der Wasserspiegel abschneidet, sogleich zu erkennen, ja man kann sogar in einer weiten Entfernung die Messung übersehen und mit dem Fernrohre die jedesmaligen Tiefen ablesen.

Bei der erwähnten Anordnung tritt noch der Vortheil ein, dass nicht ein bestimmtes Ende der Stange nach unten gekehrt werden muss. Die ganz symmetrische Eintheilung gestattet ohne allen Nachtheil das Umkehren der Stange, und dieses gewährt in vielen Fällen, wenn nämlich das Wasser stark strömt, oder der Nachen schnell gerudert wird, noch den Nutzen, dass der Arbeiter, welcher die Peilstange führt, sie nach dem jedesmaligen Aussetzen umdrehen, und eben dadurch viel schneller operiren kann.

Da die Stange durch das wiederholte Aufstossen, besonders bei kiesigem Grunde, an ihren Enden stark angegriffen wird, und diese Abnutzung eine Verkürzung zur Folge hat, welche mit der Zeit merkliche Fehler veranlassen kann, die um so nachtheiliger sind, als sie immer in demselben Sinne vorkommen, so ist es nöthig, dieser Abnutzung durch Eisenbeschläge vorzubeugen: es wird daher an jedem Ende ein Ring aufgesetzt, der die Stange begrenzt. Fig. 58 auf Taf. XXVIII. stellt eine Peilstange, wie sie hier beschrieben ist, in ihrer Eintheilung und mit den Beschlägen vor: die darauf anzubringenden rothen Striche sind durch die punktirten Linien bezeichnet.

Wenn die Tiefenmessung in sehr weichem Boden vorgenommen wird, so dringt die Stange bei ihrer geringen Stärke leicht in den Boden ein, und man beobachtet alsdann nicht mehr die wirkliche Wassertiefe, sondern vielmehr den Abstand des Wasserspiegels von einer festeren Erdschicht, wobei es nicht fehlen kann, dass der verschiedene Druck, den der Arbeiter beim Aufsetzen der Stange ausübt, auch ein ganz verschiedenes Eindringen derselben verursacht. Um in diesem Falle die Unsicherheit einigermaßen zu vermindern, pflegt man den Beschlag der Stange an dem untern Ende mit einer eisernen Scheibe von 3 bis 4 Zoll Durchmesser zu versehen, wie Fig. 58 a zeigt. Es würde be-

quemer sein, an jedem Ende der Stange einen breiten hölzernen Knopf anzubringen. Solche Knöpfe lösen sich indessen sehr leicht oder sie reissen oder spalten in Folge der abwechselnden Benetzung und Austrocknung, woher die erste Einrichtung den Vorzug verdient.

Hat man sehr grosse Tiefen von mehr als 20 Fuss zu messen, was bei bedeutenden Strömen, wie z. B. beim Rhein nicht selten vorkommt, und auch bei kleineren Strömen stellenweise der Fall ist, besonders wenn man bei hohem Wasser sich von der Tiefe an einzelnen Punkten überzeugen will; so muss die Peilstange natürlich die angemessene Länge und Stärke haben: eben dadurch wird aber der Druck des Wassers gegen sie sehr vermehrt und ihr Gebrauch erschwert, der schon an sich und namentlich bei heftiger Strömung nicht leicht ist. Man kann alsdann die Handhabung der Peilstange dadurch bequemer machen, dass man ihr unteres Ende auf 1 Fuss Länge oder noch weiter aus massivem Eisen bestehn lässt. Auf diese Weise misst man am Rheine die Tiefen bis auf 40 und sogar 45 Fuss noch mit der Peilstange: bei diesen langen Stangen ist es indessen nothwendig, dass die Zahlen für die ganzen Fusse neben der Eintheilung beigeschrieben werden.

Ueber den Gebrauch der Peilstange wäre ferner zu bemerken, dass sie sehr nahe lothrecht stehen muss, während man die Ablesung macht, weil man sonst eine grössere Wassertiefe beobachten würde, als wirklich vorhanden ist. Wollte man aber bei starker Strömung, oder während der Nachen, auf dem man sich befindet, merklich schneller oder langsamer, als das Wasser sich bewegt, die Stange lothrecht herabdrücken, so würde man dieses bei kleinen Tiefen nur mit Mühe ausführen können, und bei grössern wäre es ganz unmöglich, da der Stoss des Wassers gegen die Stange zu heftig wird. Man stellt daher die Stange schräge, und zwar in der Richtung herab, von wo das Wasser gegen den Nachen strömt: diese Strömung fasst die Stange, und bringt sie in die lothrechte Stellung. Der Arbeiter muss aber die Neigung, welche er der Stange giebt, so wählen, dass sie grade beim Berühren des Grundes den lothrechten Stand einnimmt, und eben in dieser Zeit muss die Ablesung auch vorgenommen werden. Beim Ausheben der Stange wird ihr unteres Ende noch

stärker zurückgedrängt, und das nächste Einsetzen lässt sich daher viel leichter ausführen, wenn jetzt das obere Ende, das schon nach vorne geneigt ist, eingestossen und sonach die Stange jedesmal umgekehrt wird. Besonders gilt dieses für den Fall, wenn die Peilung in einem Nachen angestellt wird, der sich in ruhigem Wasser oder gegen den Strom bewegt, oder aber der durch Rudern eine viel grössere Geschwindigkeit als der Strom erhalten hat.

Um die Verschiedenheit der Tiefen in dem Fahrwasser zu erkennen, ist es zuweilen sehr wichtig, die Peilstange in sehr kurzen Zwischenzeiten den Boden berühren, oder ihr Ende dauernd auf demselben streichen zu lassen. Da man sie in diesem Falle in der lothrechten Stellung erhalten muss, so ist es nothwendig, dass der Nachen sehr nahe dieselbe Geschwindigkeit, wie das Wasser hat. Bei starker Strömung ist jedoch die Geschwindigkeit in der Tiefe schon so viel geringer, dass man mit den Händen allein die Stange gar nicht mehr erhalten kann. Man kann ihr alsdann aber eine gehörige Unterstützung durch eine Leine geben, die vom vordern Ende des Nachens aus, und zwar so tief als es nur geschehen kann (damit die Ruderer nicht behindert werden), gegen das untere Ende an die Stange gebunden ist.

Wenn die Wassertiefe sehr gross, und dagegen die Strömung nur geringe ist, oder ganz aufhört, so lässt sich die Tiefe viel leichter durch das Loth ermitteln: die Genauigkeit der Messung leidet dabei freilich, aber gerade bei grossen Tiefen ist die scharfe Messung derselben auch am wenigsten Bedürfniss. Das Loth besteht aus einem Bleicylinder, an dessen oberem Ende eine eiserne Oese angegossen ist, in welche eine Leine angeknüpft wird, und diese ist mit eingebundenen Lappen oder Lederstreifen versehen, an welchen man die Einsenkung des Lothes oder die Tiefe des Wassers beobachtet. Wenn kein Strom stattfindet und das Fahrzeug, von welchem aus die Messung vorgenommen wird, gleichfalls in Ruhe ist, so bietet der Gebrauch des Lothes gar keine Schwierigkeiten dar. Gewöhnlicher geschieht es aber, dass das Fahrzeug in Bewegung ist, und alsdann kommt es darauf an, dass das Loth schon den Grund berührt, während es sich gerade unter dem Fahrzeuge befindet. Wollte man dasselbe also nur herabfallen lassen, so würde es bei grosser Tiefe den Weg

nicht schnell genug durchlaufen können, und man würde unrichtige Resultate erhalten. Das Verfahren beim Gebrauche des Lothes ist daher wieder dem schrägen Ausstossen der Peilstange ähnlich, man wirft es nämlich nach Massgabe der grössern oder mindern Tiefe vor dem Fahrzeuge so weit voraus, dass es gerade den Grund berührt hat, während man sich lothrecht darüber befindet. Eine grosse Uebung ist zum gehörigen Auswerfen des Lothes, namentlich für grosse Tiefen nothwendig, ausserdem muss das Loth auch ein hinreichendes Gewicht haben, damit es im Wasser schnell genug herabfällt, und die Leine gleichfalls nachzieht. Man nimmt daher gewöhnlich ein Gewicht von 5 bis 10 Pfunden an, bei grossen Tiefen in der offenen See muss dasselbe aber bis 50 Pfunde und darüber betragen. An dem Lothe ist in der Regel noch die Einrichtung getroffen, dass man auch die Bodenart erkennen kann, welche es berührt. An der untern Basis des Lothes, also dem Befestigungspunkte der Leine gegenüber, ist zu diesem Zwecke eine Höhlung angebracht, die etwa den halben Durchmesser des Lothes zur Weite hat. Dieses Loch füllt man mit Talg an, und streicht denselben so reichlich ein, dass er mit stark convexer Oberfläche den ganzen Boden des Lothes bedeckt. Der Talg kommt daher mit dem Grunde in Berührung und der Sand, sowie die kleinen Steinchen, Muschelschaalen u. d. dergl. drücken sich hinein und werden mit hinaufgezogen, während grosse Steine einen Eindruck zurücklassen, der sie gleichfalls deutlich zu erkennen giebt. Nur der ganz weiche Grund bringt keine merkliche Veränderung in der Oberfläche des Talges hervor, und eben dadurch kann man auch diese Bodenart erkennen.

In neuerer Zeit hat man auf den grössten Seeschiffen und namentlich auf den Kriegsschiffen das sogenannte Patentloth ziemlich allgemein eingeführt: bei demselben wird die Tiefe nicht mehr durch die Länge des eingetauchten Theiles der Leine, sondern durch die Anzahl der Umdrehungen einer Axe gemessen, welche vier spiralförmig gewundene Flächen, wie Windmühlenflügel trägt. Man wirft dieses Loth mit einer hinreichenden Masse Leinen über Bord, so dass es den Grund erreichen kann, und man es demnächst wieder an derselben Leine heraufzuziehen im Stande ist. Vermöge seines grossen Gewichtes stürzt es schnell und zwar ganz frei herab, ohne selbst an den Drehungen der

erwähnten Axe Theil zu nehmen, da seine flache Form, die mit der eines Fisches ungefähr übereinkommt, dieses verhindert: die Drehung der Axe theilt sich nur vermöge des Räderwerks einigen Zeigern mit. Sobald das Loth den Grund berührt, verursacht der Stoss gegen das untere Ende eine Auslösung des Räderwerks, welches sonach beim Heraufziehen sich nicht weiter dreht, obgleich die Axe selbst mit den Flügeln in fortwährender Bewegung bleibt. Man öffnet alsdann eine Klappe an der Seite des Lothes und liest auf zwei Zifferblättern nach der Stellung der Zeiger unmittelbar die Tiefe ab, in welche das Loth herabgestürzt war.

Bei allen Peilungen, die Behufs der Untersuchung der Gewässer vorgenommen werden, ist es von der äussersten Wichtigkeit, die Stellen genau zu kennen, wo die Messung angestellt wurde: ohne diese Kenntniss wird der Zweck beinahe ganz verfehlt. Eine bestimmte gerade Linie lässt sich selbst auf einer ausgedehnten Wasserfläche noch leicht verfolgen, wenn man diese Linie auf dem einen Ufer durch zwei kenntliche Marken in gehöriger Entfernung von einander bezeichnet hat, und wenn man den Nachen so steuert, dass diese beiden Marken einander fortwährend decken. Wenn keine sonderliche Genauigkeit für die Messung erforderlich und überdies die Geschwindigkeit des Stromes in dieser Linie nicht sehr verschieden ist, so kann man die Voraussetzung machen, dass der Nachen den ganzen Weg von einem Ufer bis zum andern mit gleicher Geschwindigkeit zurücklegt, und dass sonach die in gleichen Zwischenzeiten vorgenommenen Tiefenmessungen auch gleichmässig über die ganze Breite des Stromes vertheilt sind. Die Gültigkeit dieser Voraussetzung ist jedoch gemeinhin von vielen Zufälligkeiten abhängig, und man muss daher, wenn sichere Resultate verlangt werden, ein anderes Mittel zur Bestimmung der Entfernungen wählen.

Am gewöhnlichsten ist es, dass man in solchem Falle eine starke Leine quer über den Strom spannt, an die Lederstückchen angebunden sind, welche die Entfernungen markiren. Man kann alsdann einen kleinen Nachen an der Leine quer über den Strom bewegen und jedesmal, wenn man an einen solchen Lappen kommt, die Tiefenmessungen vornehmen. Es können jedoch auch bei dieser Anordnung noch bedeutende Fehler vorkommen, die in der starken Verlängerung der Leine ihren Grund haben. Um den-

selben vorzubeugen und namentlich um der Leine die hygroskopische Beschaffenheit zu nehmen, vermöge deren sie sich bei eintretender Benetzung stark verkürzt, pflegt man sie, ehe die Längen darauf bezeichnet werden, in heisses Leinöl zu tauchen, damit sie von demselben ganz durchzogen wird, und sie später nicht mehr das Wasser einsaugen kann. Wenn hierauf das Oel abgeträufelt und die Leine etwas trockner geworden ist, reibt man sie mit Wachs in wollenen Lappen ab, so dass sie eine glänzende, gleichsam polirte Oberfläche erhält. Hierauf zieht man sie recht kräftig aus, ungefähr in demselben Grade, wie dieses beim Ausspannen über den Strom der Fall ist, und in diesem Zustande misst man die Längen ab und bindet in Entfernungen von etwa 1 Ruthe die Lederstückchen ein. Es ist indessen bei der grossen Elasticität einer Leine immer leicht möglich, dass sie auch in diesem Falle noch eine andere Ausdehnung beim Gebrauche annimmt, da schon der Strom, wenn sie in denselben eintaucht, ihr eine sehr starke Spannung mittheilt. Am passendsten ist es, dass man die Breite des Stroms nicht allein durch die Leine, sondern zugleich durch eine trigonometrische Messung bestimmt. Die Differenz zwischen beiden Resultaten zeigt alsdann den Fehler in dem Maasse der Leine, und wenn man in der letztern die Theilungspunkte gehörig aufgetragen und controllirt hatte, so darf man annehmen, dass dieser Fehler sich gleichmässig über die ganze Länge verbreitet, man weiss daher, um wie viel Zolle jeder einzelne Theil zu gross oder zu klein ist.

Sodann wird die Leine häufig auf eine höchst nachtheilige Weise nicht nur verlängert, sondern auch stromabwärts gezogen, indem man den Nachen, von welchem aus die Tiefenmessung vorgenommen wird, allein an der Leine hält, und den Stoss, den das Wasser gegen ihn ausübt, auf sie überträgt. Wenn hierbei die Spannung der Leine unverändert bliebe, so würde der Nachen sich nicht in einer geraden Linie, sondern in einem elliptischen, stromabwärts gekehrten Bogen quer über den Strom bewegen, und zwar würden die beiden Brennpunkte der Ellipse mit den Befestigungspunkten der Leine zusammenfallen. Man vermeidet diesen Uebelstand, wenn man den Nachen durch andere Leinen, die am Ufer oder an einem Anker befestigt sind, gegen den Stoss des Stromes unterstützt, so dass die eingetheilte Leine nur dazu

dient, den Nachen in die richtigen Entfernungen vom Ufer zu stellen. Fig. 59 zeigt diese Anordnung, und es ist darin auch angegeben, wie man mittelst zweier Signale an einem Ufer die Linie in der das Profil gemessen werden soll, leicht erkennen, und hiernach den Punkt genau bestimmen kann, wo jedesmal die Peilstange ausgestossen werden muss.

Bei Anwendung mehrerer Signale kann man auch ohne die Leine einzelne Punkte in dem Profile markiren und hierbei zugleich die Einrichtung so treffen, dass in bestimmten Abständen von einander die Profile gemessen werden. Der Umstand, dass nicht alle Punkte im Profile markirt sind, und man zwischen denselben die Stellen, wo die Tiefen gemessen wurden, gleichmässig vertheilen muss, kann keine bedeutende Fehler veranlassen, insofern jene ersten Punkte nahe genug neben einander liegen. Es ist dabei aber nicht mehr nothwendig, dass das andere Ufer nur wenig entfernt sei, man kann vielmehr diese Methode auch am Meeresufer anwenden, wie sie in der That bei den Peilungen vor Swinemünde seit langer Zeit benutzt wird. Fig. 60 zeigt die hierbei getroffene Anordnung. Durch die beiden Signale *M* und *N* ist die Richtung des zu messenden Profiles *PM* gegeben; die beiden Signale *R* und *S* bezeichnen aber in der Linie *PM* den Punkt *P*, und der Punkt *T* wird markirt, sobald man die letzten Signale auf die vorher abgesteckten Punkte *U* und *V* aufstellt. Während man also das eine Profil misst, dessen Richtung durch zwei feste Signale gegeben ist, stellen zwei Arbeiter nach und nach die beiden beweglichen Signale an den durch Pfählchen vorher bezeichneten Stellen auf, und markiren dadurch einzelne Punkte in jenem Profile. Sobald das erste Profil aber gemessen ist, stellt man die beiden festen Signale in der Richtung des nächsten Profiles auf, und die beiden beweglichen Signale werden nach und nach immer nach entfernteren Stellen gebracht. In dieser Weise geht die Aufnahme sehr schnell von statten, da sowohl auf dem Hinwege, als auf dem Rückwege jedesmal ein Profil gemessen wird. Es lassen sich auch die Tiefen an den zwischenliegenden Punkten in den einzelnen Profilen noch mit hinreichender Sicherheit finden, wenn gleichmässig gerudert und gepeilt wird, und man beim Aufschreiben der gefundenen Tiefen jedesmal den Durchgang durch eine Schneidungslinie markirt.

Statt der beiden beweglichen Signale, deren Verstellung nicht leicht ist, wenn sie noch in bedeutender Entfernung geschn werden sollen, kann man auch im Boote Winkelmessungen gegen einen stark markirten Gegenstand in passender Entfernung vornehmen, sowie auch durch ähnliche Messungen sich der Abstand von einem recht hohen Gegenstande noch viel leichter, wenn freilich auch mit weniger Genauigkeit, ermitteln lässt. Gesetzt, dass die aufzunehmende Wasserfläche sich im Halbkreise um einen hohen Thurm, etwa einen Leuchthurm in der Nähe der Mündung des Hafens hinzieht, und man beim Messen immer die freie Aussicht nach dem Thurme behält; so kann man durch Signale, die in einiger Entfernung von dem Thurme angebracht sind, die Richtung der Profile, die wie Radien eines grossen Kreises sämmtlich den Thurm treffen, genau genug markiren.

Man wählt am Thurme zwei Stellen, etwa den höchsten Rand der Kuppel und die Brüstung oder den Sturz der ersten Fensterreihe, oder aber ein stark markirtes Gesimse und dergleichen. Kennt man die Höhendifferenz beider, so ist es leicht, aus dem Höhenwinkel, den sie gegeneinander machen, die Entfernung vom Thurme zu berechnen, und man kann diese Entfernungen tabellarisch zusammenstellen, so dass man beim Auftragen keine specielle Rechnung vorzunehmen braucht, sondern nur in der Tabelle die dem gefundenen Winkel entsprechende Entfernung aufsuchen darf. Gesetzt, die Höhendifferenz beider Marken betrage 60 Fuss, und man habe den Winkel zwischen beiden mit 30 Minuten abgelesen, während er wirklich 31 Minuten betrug, so würde der Abstand 573 Ruthen statt 554 gefunden werden. Wenn dagegen der Winkel 1 Grad statt 1 Grad und 1 Minute gemessen wäre, so würde der Abstand vom Thurme nicht 286 Ruthen, sondern nur 282 Ruthen betragen. Man muss auch in diesem Falle, wie immer, ehe man die Messung vornimmt, sich darüber Rechenschaft geben, welche Fehler man wahrscheinlich noch begehen wird, und ob ihr Einfluss auf die Resultate vernachlässigt werden darf. Beim Gebrauche eines guten Spiegelsextanten wird in ruhigem Wetter der wahrscheinliche Fehler nicht leicht eine Minute erreichen. Man darf aber bei Beurtheilung dieser Methode nicht unbeachtet lassen, dass die früher beschriebene Messungsart mittelst der Signale gleichfalls zu Fehlern Veranlassung geben kann, die leicht

noch viel grösser als diese ausfallen, indem man dabei ohne alle Controle nur von der Gewissenhaftigkeit der Hülfсарbeiter abhängig ist, welche die Signale einstellen. Für viele Fälle und namentlich bei der Aufnahme weit ausgedehnter Wasserflächen wird die zuletzt beschriebene Methode hinreichende Genauigkeit geben, und sie hat den sehr grossen Vorzug, dass man jeden Theil der Messung selbst beaufsichtigen kann. Ein Arbeiter muss dabei peilen, ein anderer führt das Steuer, und achtet nur darauf, dass das Boot immer scharf in der angegebenen Richtung bleibt, ferner notirt ein Gehülfe alle Tiefen nach einander, und daneben schreibt er mit genauer Beobachtung der Zeitfolge die am Sextanten abgelesenen Winkel ein. Der Beobachter, der die letzten misst, kann in den Zwischenzeiten das Peilen, das Journal und auch die Richtung des Bootes controliren. Hierbei kommt noch der wesentliche Vortheil in Betracht, dass die wichtigsten Stellen des Fahrwassers durch Seemarken bezeichnet zu sein pflegen, deren Lage man vorher oder bald nachher durch eine trigonometrische Messung vom Ufer aus bestimmen kann. Sie lassen sich wieder zu einer sehr sichern Controle der Winkelmessungen und der daraus hergeleiteten Abstände von dem angenommenen Centralpunkte benutzen. Man kommt nämlich, wenn man sich in ihrer Nähe befindet, vielfach in die Richtung von je zweien derselben, oder auch wohl bei einzelnen sehr nahe vorbei. Wenn dieses im Journale neben den Tiefenmessungen notirt wird und die Verbindungslinie der Tonnen beim Auftragen hiermit übereinstimmt, so kann man wohl sicher sein, dass wenigstens der wichtigste Theil der Aufnahme hinreichend genau ausgefallen ist.

Es wird sich nicht leicht treffen, dass die Localität alle hier angenommenen Eigenthümlichkeiten wirklich besitzt, und sonach könnte es scheinen, dass sich nur selten die Gelegenheit darbieten möchte, von dieser Methode Gebrauch zu machen. Bei derselben können jedoch mancherlei Modificationen eintreten, ohne dass sie an Bequemlichkeit und Sicherheit verliert. So ist es durchaus nicht nothwendig, dass der Centralpunkt, in welchem die Richtungen der sämtlichen Profile sich vereinigen, zugleich dasjenige hohe Signal bilde, von welchem ab man durch Messung der Höhenwinkel die Abstände bestimmt. Wenn auf der Spitze eines in die See vortretenden Hafendamms ein Leuchthurm oder ein

andres hohes Signal zur Bezeichnung des Fahrwassers steht, so kann dieses besonders bequem zum letzten Zwecke benutzt werden, indem es von allen Seiten her sichtbar ist, und man ausserdem seine Kuppel oder eine andere scharf markirte Stelle gegen den Horizont der See messen kann. Die Errichtung solcher Signale ist auch keineswegs so kostbar, dass man sie nicht behufs der Messung allein vornehmen sollte. Zur scharfen Markirung der Richtungen, in welche man die Profile legen kann, finden sich gewöhnlich markirte Gegenstände schon vor, es ist aber immer sehr vortheilhaft, dieselben so zu wählen, dass die Linien durch zwei Punkte bezeichnet werden, die nicht nahe neben einander liegen. Eine vollständige trigonometrische Operation muss der Peilung vorangehen, wodurch alle zu den Marken sich eignenden Punkte im Situationsplane sorgfältig eingetragen werden: und wenn dieses geschehen ist, so sucht man hiernach die passenden Richtungen für die Profile, bei denen es zwar Bedingung ist, dass sie ungefähr gleichmässig vertheilt sind, und besonders an solchen Stellen nahe genug neben einander liegen, wo es vorzugsweise darauf ankommt, die Tiefen genau zu kennen: dagegen ist es keineswegs nöthig, dass die Profile in aller Schärfe gleich weit von einander liegen. Man wird ausserdem, wenn auch entferntere Punkte mit berücksichtigt sind, leicht Linien durch dieselben legen können, welche alle oder mehrere Profile schneiden, und wenn man beim jedesmaligen Durchfahren der Letztern die Durchschnitte notirt, so liegt hierin wieder eine sehr brauchbare Controle der Arbeit.

In Betreff der schwimmenden Marken, welche das Fahrwasser bezeichnen, muss aber noch erwähnt werden, dass dieselben gewöhnlich an so langen Ankerketten liegen, dass sie ihre Stelle merklich verändern können, und sonach der Wind und die Strömung ihre Lage bedingt. Es ist deshalb, wie schon erwähnt worden, nothwendig, dass man ihre Lage unmittelbar vor oder nach der Messung bestimmt.

In der angegebenen Art lässt sich die Tiefenmessung über eine grosse Fläche leicht in kurzer Zeit ausdehnen und häufig wiederholen, ohne dass es nöthig wäre, sehr zeitraubende Rechnungen jedesmal anzustellen. Hierin liegt ein wesentlicher Vorzug vor andern Methoden, und namentlich vor derjenigen, wobei man

die Lage einzelner Punkte, durch Messung der Winkel, zwischen je drei Marken bestimmt. Es kommt beim Wasserbau sehr darauf an, die Veränderungen des Bettes häufig zu untersuchen: hiernach allein kann man die Ursache dieser Veränderungen richtig beurtheilen, und die passenden Mittel wählen, um gewisse beabsichtigte Wirkungen herbeizuführen. Wenn jede einzelne Messung aber weitläufige Rechnungen bedingt, so unterbleibt die Arbeit gewöhnlich ganz, oder sie wird unvollständig und ungenau ausgeführt und nur selten wiederholt. Man wird von dieser Methode bei Strömen nicht leicht Gebrauch machen können, ihre eigentliche Anwendung findet sie nur bei grossen Wasserflächen, also an den Mündungen der Ströme oder in der See: ich habe sie indessen schon hier vollständig beschrieben, um später darauf nicht weiter zurückkommen zu dürfen.

Die bisher erwähnten Methoden zur Messung der Tiefe setzen eine hinreichende Ausdehnung der Unebenheiten des Bodens voraus, um dieselben mittelst der Peilstange noch sicher wahrnehmen zu können. Dieses ist auch immer der Fall, wenn das Bett aus losem Geschiebe oder feinerem Material besteht: sobald aber gewachsener Felsboden unter dem Wasser ansteht, so läuft derselbe häufig in so scharfe Spitzen oder Kanten aus, dass man solche bei dem Aufstossen der Peilstange gar nicht trifft, und man sonach die Wassertiefe für grösser hält, als sie wirklich ist. Wenn man aber auch, wie oben erwähnt worden, die Peilstange längs dem Boden streichen lässt, so geben sich dadurch nur die Unebenheiten in einer einzigen Linie zu erkennen, und sie bleiben unbemerkt, sobald sie seitwärts liegen. Gewöhnlich bilden sich an den Stellen, wo Felsbänke den Strom durchsetzen, sehr heftige Strömungen, welche den Nachen, wenn er vor Anker gelegt wird, gar nicht eine ruhige Stellung einnehmen lassen, sondern ein starkes Schwanken desselben verursachen, und an seiner Seite ausserdem ein merkliches Anschwellen des Wassers hervorbringen, wodurch wieder der Gebrauch der Peilstange, wenn man auch wirklich die Vorragungen des Bettes, träfe, ganz unsicher würde. Von dieser Art sind die Verhältnisse des Rheins im Binger-Loche und auf andern benachbarten Felsbänken. Im Schifffahrtsinteresse ist es dringend nöthig, diejenigen hohen Felsköpfe zu entfernen, welche im oder dicht neben dem gewöhnlichem Fahrwasser liegen,

und auf welche die Schiffe daher leicht aufstossen können; bevor indessen die Fortspregung derselben eingeleitet werden kann, muss man wissen, wo und wie hoch sie liegen. Bei der bedeutenden Tiefe des Rheins, verbunden mit der heftigen Strömung, lässt der blosse Anblick der Wasseroberfläche die gefährlichen Untiefen, die vielleicht auch nur um wenige Zolle über dem Bette sich erheben, durchaus nicht deutlich erkennen. Nur in einzelnen Fällen bemerkt man ein Aufwirbeln des Wassers, doch ist auch dieses so unscheinbar, dass man es nur bei sehr grosser Aufmerksamkeit wahrnimmt. Nichts desto weniger sind solche unbeachtete Vorragungen im Bette höchst gefährlich, weil der Rhein weiter oberhalb, wie auch unterhalb eine grössere Tiefe hat, und daher die Ladungen der Schiffe so gewählt werden, dass sie nur so eben über und zwischen diesen Untiefen hindurch schwimmen können. Eine Fels Spitze, welche daher auch nur sehr wenig vorragt, trifft schon den Boden des Schiffes und beschädigt ihn, besonders wenn das Schiff stromabwärts fährt und mit der ganzen Geschwindigkeit des Stroms sich bewegt. Die Führung der Schiffe ist in dieser Gegend seit langer Zeit ein Gegenstand der Privat-Industrie geworden: kein Schiffer wagt es bei einem Wasserstande, wobei er diese Klippen fürchten muss, selbst sein Schiff hindurch zu steuern, sondern er nimmt an den bestimmten Stationen Lootsen an. Dieser Umstand ist für die Untersuchung des Stroms wieder insofern höchst nachtheilig, als die Schiffer, wie sehr sie es auch wünschen, dass die Gefahren beseitigt werden, dennoch mit denselben ziemlich unbekannt sind und keine nähere Auskunft darüber geben können. Für die Lootsen dagegen sind diese Gefahren die Quelle eines reichen Erwerbs: sie zeigen sich daher wenig willfährig, zur Fortschaffung derselben behülflich zu sein, oder auch nur die Lage der Klippen dem Baubeamten mitzutheilen. Der verstorbne Bauinspector Elsner in Coblenz hat sich während einer langen Reihe von Jahren bemüht, diese gefährlichen Punkte aufzufinden, und ihre Stelle genau zu ermitteln. Aus dem Wege, welchen er die tiefgeladenen Schiffe gehen sah, schloss er zum Theil auf das Vorhandensein der Klippen, zum Theil geben dieselben sich auch dadurch zu erkennen, dass Schiffe darauf gestossen und beschädigt waren, in welchem Falle die Schiffer selbst die nähere Auskunft geben konnten. Doch dieses alles diente

nur zur vorläufigen Kenntnissnahme: die Lage und die Höhe der vorstehenden Felsköpfe müsste durch eine specielle Untersuchung ermittelt werden. Hierzu wurde ein besonderer Apparat benutzt, dessen Anwendung freilich, wie es nicht anders sein konnte, viel Zeit und eine grosse Sorgfalt in Anspruch nahm, womit aber doch der Zweck in der Hauptsache ganz sicher erreicht wird, wie ich hiervon mich zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe.

Die Beschreibung und Zeichnung des Apparates (Fig. 61), welche ich hier mittheile, stimmt nicht in allen Specialien mit derjenigen Anordnung überein, die wirklich gewählt war: es wurden jedoch manche Aenderungen dabei schon beabsichtigt, um die nöthige Verstärkung und zugleich eine grössere Schärfe in der Einstellung hervorzubringen. Ausserdem machte das angebrachte Räderwerk, das in gezahnte Stangen eingriff, den Apparat ziemlich kostbar: ich habe in der Zeichnung dafür Leinen angegeben, welche oben an einschiebigen Blöcken befestigt sind, und von letzteren windet sich das lose Ende um Walzen, die von der einen Seite mit einer Kurbel und von der andern mit einem Sperrrade versehen sind, damit die Kurbel nicht mit der Hand festgehalten werden darf. Wenn die Zähne des Sperrrades einen halben Zoll lang sind, das Sperrrad selbst aber einen etwas grössern Durchmesser als die Windung der Leine um die Walze hat, so lässt sich eine Aenderung in der Höhe von weniger als $\frac{1}{4}$ Zoll schon hervorbringen, und dieses dürfte für alle Fälle genügen. Der wesentlichste Theil ist eine schwere hochkantige Schiene oder ein Lineal von Eisen, welches die vorragenden Felsköpfe berühren soll. Um ein Durchbiegen desselben zu verhindern ist es durch eine hölzerne Latte verstärkt: es ist 15 Fuss lang und wird durch zwei senkrechte Arme gehalten, mit denen es durch Winkelbänder verbunden ist. Die Arme sind in Fusse und Zolle getheilt, so dass man an denselben unmittelbar die Tiefe des untern Randes unter dem Wasserspiegel ablesen kann. Die Vorrichtung zum Heben und Senken des Apparats ist bereits beschrieben. Es wäre hier nur noch zu bemerken, dass er schwer genug sein muss, um auch unter Wasser die lothrechte Stellung sicher zu behalten. Nur in dem Falle, wenn die Schiene gegen den Boden stösst, dreht sich der ganze Rahmen um den hölzernen Riegel, der ihn trägt: dieser Riegel ist in der Zeichnung durch Schraffi-

markirt. Die Bügel, welche die Arme halten, sind an der untern Kante des Riegels angebracht und mit Charnieren versehen, wodurch die Drehung des Rahmens möglich gemacht wird.

Die Operation beginnt damit, dass man sich mehrere Signale, theils an den Ufern, theils im Strome, und zwar im Letztern durch schwimmende Marken bildet, und die Lage derselben in die Charte einträgt: alsdann werden die Nachen mit dem Apparat oberhalb der zu untersuchenden Stelle vor Anker gelegt, und man steckt an das Ankertau ein langes Ende an, um mittelst desselben die Nachen immer wieder heraufziehen zu können. Zunächst stellt man die Schiene auf die erforderliche Fahrtiefe bei dem grade stattfindenden Wasserstande ein, doch dieses lässt sich mit hinreichender Schärfe nicht machen, so lange die Nachen noch vor dem Anker fest liegen, denn alsdann schwanken sie in Folge des Stosses, den der Strom dagegen ausübt, so sehr, dass der Apparat sich abwechselnd immer hebt und senkt. Erst wenn der Nachen frei treibt und das Tau ausläuft, hört das Schwanken auf, und jetzt lassen sich beide Arme der Schiene leicht übereinstimmend, und auf gleiche Tiefe einstellen. Alle Personen müssen sich alsdann sehr ruhig verhalten. Die schwankende Bewegung und das Gegenstossen und Rauschen des Wassers hört plötzlich so vollständig auf, dass man die feinste Berührung der Schiene mit dem Grunde fühlen und hören kann, stösst sie aber gegen eine starke Vorrangung, so legt sich der Apparat gleich um und gleitet auf diese Weise über das Hinderniss fort. Hat man sich auf solche Art davon überzeugt, dass der Felsboden sich an einer Stelle zu hoch erhebt, so kommt es darauf an, seine Höhe noch genauer zu ermitteln oder seine Tiefe unter Wasser bestimmt zu messen. Dieses geschieht, indem man die Schiene nach und nach etwas höher stellt, und zusieht, bei welcher Höhe das Gegenstossen aufhört. Die schwimmenden und die festen Marken müssen hierbei die Richtung des Weges erkennen lassen, in welcher die Nachen herabtreiben, und zugleich die Stelle, wo die Berührung des Bodens stattfand. Wenn sie passend vertheilt sind, so lässt sich dieses durch blosse Schätzung so genau erreichen, dass man die Stelle immer wieder leicht auffinden kann. Das Fahrwasser muss indessen in einer viel grösseren Breite, als die Schiene umfasst, die gehörige Tiefe haben, daher bringt man, nachdem

die Untersuchung so weit gediehen ist, ein zweites Anker zur Seite des ersten aus, doch kann man auch vor dem ersten Anker, wenn man den Nachen überscheren lässt, leicht eine Breite von etwa 60 Fuss umfassen. Nothwendig ist es hierbei, dass man eine hinreichende Anzahl von Marken hat, um jedesmal den Nachen genau auf die beabsichtigte Stelle bringen zu können. Es ergibt sich hieraus das Mühsame dieses Verfahrens, und die Messung giebt keineswegs die Resultate so vollständig, wie man sie bei sonstigen Peilungen zu erhalten pflegt. Ganz sicher beobachtet man nur, dass eine für die Schifffahrt nachtheilige Erhebung des Bodens vorhanden sei, man kann auch die Tiefe ihres höchsten Punktes unter Wasser mit der erforderlichen Schärfe ermitteln, sowie auch ziemlich genau die Stelle, wo sie liegt. Ganz unbekannt bleibt aber ihre Ausdehnung und man weiss gleichfalls nicht, ob nur eine Untiefe vorhanden sei, oder ob mehrere dicht hinter und neben einander liegen, denn nur die höchste derselben giebt sich zu erkennen.

Nachdem die Tiefenmessungen in einem Ströme angestellt sind, lassen sich die erforderlichen Profilzeichnungen leicht zusammenstellen. Beim Längenprofil wird der Längenmaassstab gewöhnlich eben so gross gewählt, wie er für die Stromcharte angenommen war: es ist aber bequemer, wenn man einen bestimmten kleineren Maassstab anwendet, um das Profil, welches den Strom nicht mehr gekrümmt darstellt, auf demselben Blatte aufzeichnen zu können; dass alsdann das letztere den Strom in gleicher Richtung, wie die Charte darstellen muss, darf kaum erwähnt werden. Der Höhenmaassstab muss aber so gross angenommen sein, dass sich die gemessnen Höhendifferenzen und die Tiefen noch deutlich markiren: man wählt gemeinlich $\frac{1}{100}$ der natürlichen Grösse.

Das Längenprofil wird gewöhnlich in dem sogenannten Stromstriche gemessen und aufgetragen: man versteht aber unter dem Ausdruck Stromstrich die Richtung der stärksten Strömung. Es ist schwer dieselbe genau zu ermitteln, doch ist hierbei gemeinlich eine grosse Schärfe auch nicht erforderlich, und man begnügt sich damit, dieselbe nach dem Wege, den freischwimmende Körper bei ruhiger Witterung verfolgen, zu bestimmen. Gewöhnlich trägt man diesen Weg nur nach dem Augenmaasse in die Charte ein.

In der Regel trifft der Stromstrich mit der grössten Tiefe in den Querprofilen zusammen, und daher bestimmt man seine Lage auch häufig durch die letztern. Man könnte hiernach beide Definitionen dadurch verbinden, dass man sagte, der Stromstrich liege in derjenigen Section jedes Querprofils, welche unter allen Sectionen von gleicher Breite die grösste Wassermenge abführt. Beim Herabfahren verfolgen die Schiffer theils die stärkste Strömung, um schnell den Weg zurückzulegen, theils aber suchen sie auch das tiefste Fahrwasser, und insofern Beides im Stromstriche sich zu vereinigen pflegt, so ist der Stromstrich wieder mit dem Thalwege übereinstimmend: das letzte Wort ist daher auch in gleicher Bedeutung, wie bei uns das erste in die Französische Sprache übergegangen.

Die Höhe des Wasserspiegels bei gewöhnlichem kleinen Wasser wird nach dem Nivellement aufgetragen, und die alsdann stattfindenden Tiefen im Stromstriche mit Angabe der Bodenart eingezeichnet: die Zahlen müssen jedesmal beigeschrieben werden, und die Tiefen misst man, wenn nicht etwa besondere Veranlassung zur schärferen Ermittlung derselben vorhanden ist, in Abständen von 10 zu 10 Ruthen. Ausserdem muss dieses Profil auch noch die Höhe der Wiesenflächen, sowie der Aecker, wo solche neben dem Strom befindlich sind, angeben. Man stellt häufig, wie es auch bei uns vorgeschrieben ist, das rechte Ufer durch ausgezogene und das linke durch punktirte Linien dar. Jedenfalls ist die Angabe der Leinenpfade im Profile sehr wichtig, sowie auch die der Brücken, der Deiche und sonstigen mit der Schifffahrt oder dem Strome in naher Beziehung stehenden Gegenstände. Endlich werden darin auch noch andere Wasserstände, und namentlich die höchsten, soweit sie sich ermitteln lassen, eingetragen.

Die Querprofile, welche sehr grossen Veränderungen unterworfen sind, so lange man den Strom sich selbst überlässt, und deren Aufnahme auch bedeutende Kosten zu verursachen pflegt, misst man gemeinhin nur an solchen Stellen, wo behufs einer beabsichtigten Stromcorrection ihre Kenntniss nothwendig ist. In diesem Falle ist es am angemessensten, sie in demselben Maassstabe, der für die Höhen des Längenprofils gewählt war, zu zeichnen und zwar so, dass derselbe auch für die Längen angenommen

wird, wodurch eine unnatürliche Verzerrung der Figur vermieden und der Vortheil erreicht wird, dass die Dossirungen sich richtig darstellen.

Aus den Querprofilen lässt sich leicht der Flächeninhalt derselben oder der Querschnitt des Stroms berechnen. Dabei kann man natürlich nur diejenigen Abstände des Bettes vom Wasserspiegel zum Grunde legen, die man wirklich gemessen hat, für die zwischenliegenden Stellen ist es aber ungewiss, ob das Bette nach oben oder nach unten gekrümmt sei. Die wahrscheinlichste Voraussetzung, die man hierüber machen kann, ist offenbar, wenn man annimmt, dass die Verbindungslinien gerade Linien sind. Diese Annahme führt unmittelbar zu einer sehr leichten Berechnung des Profils. Die Tiefen seien, wie in Fig. 62 angenommen ist, in gleichen Abständen gemessen, und zwar gleich t, t', t'' u. s. w. gefunden, während diese Abstände gleich a sind. Alsdann bilden sich an den Seiten Dreiecke und im mittlern Theile Trapeze, die sämmtlich eine gleiche Grundlinie nämlich a haben. Bei der Flächenberechnung wird also jede einzelne Tiefe t zweimal in ihrer halben Grösse eingeführt, die ganze Fläche des Querschnittes ist daher gleich

$$a(t + t' + t'' + \dots)$$

§. 61.

Wasserstands-Beobachtungen.

Die Wichtigkeit der Wasserstandsbeobachtungen ergibt sich schon aus den obigen Mittheilungen über die Anschwellungen der Ströme, ihr Nutzen ist indessen viel allgemeiner, und man kann in der That nicht nur keinen Strombau, sondern überhaupt keine bauliche Anlage in dem Inundationsgebiete eines Stroms vornehmen, ohne die Höhe der Wasserstände zu berücksichtigen. Jede Communication, sei es Strasse oder Brücke, die man hier erbaut, erhält diejenige Höhe, die sich nach den bisherigen Wasserstandsbeobachtungen als die zweckmässigste herausstellt; die Tiefe des Strombettes, die Lage der Schleusendempel, der Abzugsgräben, sowie die Höhe der Stromregulirungswerke, der Deiche und dergleichen wird hiernach beurtheilt: nicht minder auch die Höhe der Fangedämme, die man zum Schutze der Baugruben ausführt, und

die der Leinpfade. Demnächst lässt die Vergleichung solcher Beobachtungen, die an verschiedenen Punkten desselben Stroms angestellt sind, seine Eigenthümlichkeiten zum Theil sehr deutlich wahrnehmen, und giebt die Wirkung der Nebenflüsse auf ihn zu erkennen. Die verschiedenartigen Anschwellungen an den einzelnen Punkten zeigen den Einfluss der Beschaffenheit des Bettes und des Flussthales, und lassen sonach oft die Ursache eines Uebels errathen. Der Baumeister, der für die Correction eines Stroms zu sorgen hat, wird daher sehr häufig auf die Wasserstandsbeobachtungen zurückgehn müssen, und dieselbe auf verschiedene Weise zusammenstellen, um die Resultate, die er gerade sucht, möglichst bequem daraus ableiten zu können. Es ergiebt sich hieraus aber auch die Nothwendigkeit, dass die Beobachtungen mit gehöriger Sorgfalt angestellt werden.

Die Vorrichtung, woran die Wasserstandsbeobachtungen gemacht werden, heisst der Pegel oder Marqueur: er besteht gemeinhin nur in einer Latte, die in Fusse und Zolle eingetheilt, und so befestigt ist, dass sie vor Beschädigungen möglichst gesichert, und entweder leicht zugänglich, oder doch wenigstens von einem zugänglichen Punkte nicht weit entfernt ist, so dass man den jedesmaligen Wasserstand daran scharf ablesen kann. Der Pegel findet hiernach eine sehr passende Stelle an dem hintersten Pfahle eines Eisbrechers, in welchem Falle er von der Brücke aus leicht beobachtet werden kann. Ferner an Schiffshaltern im Strome und in der Mündung der Flusshäfen, sowie auch in kleinen Buchten des Ufers, besonders wenn dieselben mit Bohlwerken oder Mauern eingefasst sind. Wo sich indessen eine solche Gelegenheit zu seiner Anbringung nicht vorfindet, und ein flaches Vorland sich längs dem Strome hinzieht, muss man ihn schon in einiger Entfernung von dem letztern errichten, und einen kleinen Graben dahin führen, damit sich neben ihm jederzeit der Wasserstand des Stromes darstellt. Für die Reinhaltung solcher Gräben muss aber mit grosser Aufmerksamkeit gesorgt werden, weil der Strom dergleichen kleine Seitenverbindungen häufig verflächt.

Eine besondere Schwierigkeit verursacht zuweilen die Aufstellung der Pegel, wenn das Ufer sehr flach, und der Wechsel der Wasserstände sehr gross ist. Alsdann müsste man die erwähnten Gräben ganz übermässig verlängern, wenn man

noch an ebendenselben Pegel die kleinsten und höchsten Wasserstände beobachten wollte, und selbst dieses Mittel würde bei schnell eintretendem Wasserwechsel zu keinen sichern Resultaten führen, indem der Graben eine längere Zeit zu seiner Füllung braucht, und sonach das Niveau des Stroms sich am Pegel erst merklich später, und bei Anschwellungen von kurzer Dauer, vielleicht gar nicht darstellt. Man wählt in diesem Falle lieber das Mittel, dass man den Pegel für das niedrige Wasser neben dem Strome, und den für das höhere neben dem wasserfreien Ufer anbringt: oft zerlegt man aber einen solchen Pegel nicht nur in zwei, sondern in eine viel grössere Anzahl von Theilen, und es darf kaum erwähnt werden, dass durch ein sehr genaues Nivellement diese Theile verbunden werden müssen, damit ihre Eintheilung übereinstimmend sei.

Ferner sind noch die schrägen Pegel zu erwähnen, welche man sowohl auf geneigten steinernen Uferbefestigungen, wie auch an den Dossirungen der Deiche anzubringen pflegt. Wenn nämlich ein starker Eisgang hier unmittelbar vorbeigeht, so würde selbst ein niedriger Pfahl dem Stosse des Eises nicht widerstehn können, und das künstliche Ufer würde sehr leiden, sobald derselbe umgerissen wird. Man legt also den Pegel flach auf die Dossirung, oder versenkt ihn noch etwas in dieselbe, so dass das Eis gar nicht mehr dagegen treiben kann. Die Eintheilung muss aber der Neigung entsprechen, damit der verticale Abstand der Theilungspunkte die richtige Grösse erhält: hat z. B. die Dossirung des Deiches eine dreifache Anlage (oder wäre sie nach dem sonstigen Sprachgebrauche dreifüssig), und stimmte die Neigung des Pegels hiermit überein, so müsste die Länge jedes Fusses auf der Pegellatte gleich

$$\sqrt{(1 + 3^2)} = 3,1623$$

sein, und in gleichem Verhältnisse müssten sich auch die Zolle vergrössern.

Zuweilen giebt man den Pegeln eine viel künstlichere Einrichtung: hierher gehört schon der schwimmende Pegel. Derselbe besteht aus einem kupfernen hohlen Cylinder, der auf dem Wasser schwimmt und eine leichte Stange trägt. Letztere wird durch zwei Bügel in verticaler Richtung erhalten und markirt

durch ihr oberes Ende, oder noch besser durch einen Zeiger oder eine sonstige Marke gegen den in passender Weise angebrachten Maassstab den jedesmaligen Wasserstand. Da aber das Eintauchen des Schwimmers durch zufällige Beschädigung leicht vermehrt wird, oder durch Ansetzen von Schmutz oder Eis verschieden ausfällt, so muss hierbei eine weit häufigere Controle stattfinden, als beim festen Pegel erforderlich ist. Gemeinhin stellt man noch einen zweiten Pegel von der gewöhnlichen Einrichtung unmittelbar daneben, welcher zur Controle des ersten dient, und sobald sich merkliche Abweichungen zu erkennen geben, verändert man die erwähnte Marke an der mit dem Schwimmer verbundenen Stange. Der Vortheil dieser Einrichtung liegt in der Erleichterung des Ablesens, indem man diese in einer bequemen Höhe vornehmen kann, auch der Maassstab nicht mehr durch den Niederschlag des Schlammes verunreinigt wird, der in der Höhe des Wasserspiegels immer sehr bald sich stark abzusetzen pflegt.

Solche schwimmende Pegel erhalten zuweilen auch die Einrichtung, dass sie die Maxima und Minima selbst notiren, indem sie in der einen oder der andern Richtung gewisse Körper fortschieben, die durch Reibung in ihrer jedesmaligen Stellung gehalten werden und sonach die höchsten und tiefsten Wasserstände später erkennen lassen. Diese Einrichtung hat man besonders häufig an den Strommündungen und Seehäfen, wo Ebbe und Fluth stattfindet, angebracht. Die auf solche Weise angestellten Beobachtungen verlieren indessen dadurch ihre Genauigkeit, dass die kleineren Schwankungen im Wasserspiegel, welche man beim unmittelbaren Ablesen des Pegels schon zu eliminiren pflegt, im Resultate mit eingeführt werden und das Maximum der Höhe noch vermehren, sowie sie das Minimum vermindern. Um den Gang der Veränderungen genau übersehen zu können, hat man in neuerer Zeit auch vielfach selbst-registrirende Pegel eingerichtet. Durch das Heben und Senken des Schwimmers wird nämlich ein Stift in gewissem Verhältnisse gleichfalls gehoben oder gesenkt, und derselbe trifft mit seiner Spitze den Mantel einer cylindrischen Walze, welche durch ein Uhrwerk langsam und regelmässig gedreht wird. Er zeichnet also in einer Curve den Wechsel der Wasserstände auf, wobei die Zeiten die Abscissen, und die Höhen die Ordinaten sind. Diese Einrichtung ist besonders zur genauen

Beobachtung der Fluth und Ebbe sehr wichtig, und man hat dabei noch die Anordnung getroffen, dass der Schwimmer in einem abgeschlossnen Bassin sich befindet, das nur durch eine kleine Oeffnung mit dem Hafen in Verbindung steht. Auf solche Weise verlieren die einzelnen Wellen ihren Einfluss auf den Wasserstand in diesem Bassin, denn sie sind von zu kurzer Dauer, als dass die Erhebung und Senkung des Wassers, die sie verursachen, sich durch die Oeffnung fortsetzen könnte.

Dass die Eintheilung des gewöhnlichen Pegels vom niedrigsten bis zum höchsten Wasserstande, oder vielmehr noch etwas über beide heraus ausgedehnt sein muss, bedarf kaum der Erwähnung; ebenso auch, dass das Maass richtig übertragen und die Latte lothrecht gestellt werden muss, wenn man nicht etwa schräge Pegel bilden will. Demnächst ist es auch dringend nöthig, dass die Eintheilung immer hinreichend deutlich bleibt, um die Ablesung scharf machen zu können. Gewöhnlich wird die Latte mit weisser Oelfarbe angestrichen und die Eintheilung mit schwarzer Farbe aufgetragen, während man die Zahlen oft roth einschreibt. Wie deutlich indessen die Bezeichnungsart auch immer gewählt sein mag, so wird doch bald die Eintheilung, wenn sie nur durch die Farbe markirt ist, in Folge des aus dem Wasser abgesetzten Schlammes und aufgewehten Staubes ganz unkenntlich. Durch Abwaschen lässt sich freilich die Reinigung vornehmen, indessen ist es zuweilen nicht leicht, zum Pegel hinzukommen, und jedenfalls wäre es vorzuziehen, wenn die Verunreinigung nicht so störend ausfiel. Dieses lässt sich dadurch erreichen, dass man die einzelnen Zolle vor der Ebene des Maassstabes vortreten lässt, und eine sehr passende und einfache Einrichtung ist es, wenn man zur Bezeichnung der Eintheilung besondere Nägel mit viereckigen starken Köpfen von 1 Zoll Höhe schmieden lässt, und mit diesen die geraden Zolle bezeichnet, während die ungeraden dazwischen sich durch den vertieften Raum markiren. Wenn man hierbei noch den sechsten Zoll durch einen daneben geschlagenen Nagel mit rundem Kopfe und die einzelnen Fusse dadurch unterscheidet, dass die Zolle abwechselnd an der linken und rechten Seite der Latte angebracht werden, so wird die Ablesung, selbst wenn starker Schlamm sich aufgesetzt hat, noch ganz sicher sein, und gewöhnlich wird man den Wasserstand schon nach diesen

Nägeln beurtheilen können, ohne die beigeschriebenen Zahlen abzulesen zu dürfen. Fig. 63 zeigt diese Anordnung.

Bei lange fortgesetzten Wasserstandsbeobachtungen ist es dringend nöthig, dass man sich von Zeit zu Zeit die Ueberzeugung verschafft, dass der Pegel seinen Stand unverändert beibehalten habe, und namentlich dass sein Nullpunkt noch immer eben so hoch liege, wie er ursprünglich angebracht wurde. Besonders muss man bei einer vorkommenden Reparatur oder Erneuerung des Pegels darauf achten, dass er weder höher noch tiefer angebracht wird, wodurch offenbar die Vergleichung der spätern Beobachtungen mit den frühern sehr erschwert oder ganz unmöglich werden würde. Um nun den neuen Pegel genau in derselben Höhe, wie den alten aufzustellen, ist es bei uns vorgeschrieben, dass jeder Pegel durch ein sorgfältiges Nivellement wenigstens an eine feste Marke in der Nähe, z. B. an eine scharf markirte Stelle einer Plinte oder Fensterbrüstung, oder an eine zu diesem Zweck angebrachte Klammer und zwar an einem massiven Gebäude angeschlossen werden muss. Dieses Nivellement soll bei jeder Reparatur oder Erneuerung des Pegels, oder sobald die Besorgniss eintritt, dass er zufällig verändert sein könnte, wiederholt und eine Verhandlung darüber aufgenommen werden.

Fast überall wählt man die Bezeichnung der Pegel in der Art, dass sie von unten nach oben zählen, dass sie also bei höherem Wasserstande eine grössere Anzahl von Fussen markiren, als bei niedrigerem. Nur im Badenschen ist man, soviel mir bekannt, von dieser allgemeinen Regel abgewichen, indem man den Nullpunkt auf den höchsten bekannten Wasserstand gelegt hat und der Pegel abwärts zählt. Auf diese Art zeigt also der Pegel das Entgegengesetzte des Wasserstandes an: je weniger Fusse er markirt, um so höher ist der letztere. Die sonst übliche Nummerirung erscheint weit angemessener, als diese.

Die Wahl des Nullpunktes bei einem Pegel ist an sich ziemlich willkürlich: in früherer Zeit folgte man dabei ohne Zweifel der Ansicht, dass der Nullpunkt mit der flächsten Stelle des Fahrwassers correspondiren müsse, so dass der Schiffer den Tiefgang seines Schiffes übereinstimmend mit dem Wasserstande am Pegel wählen konnte, ohne dass er fürchten durfte, auf den Untiefen ein Hinderniss zu finden: so bezeichnete der Pegel in Pillau

die Wassertiefe auf der nahe gelegenen Sandbank, die Rinne genannt, der Pegel in Königsberg die Wassertiefe vor der Mündung des Pregels, der Pegel in Bingen die Wassertiefe im Bingerloche, wobei jedoch für die Sicherheit der Passage dadurch gesorgt war, dass der Wasserstand wirklich einen Fuss mehr betrug und sonach bei einem etwaigen Verfehlen des tiefsten Fahrwassers das Schiff nicht gleich aufstiess. Wie angemessen indessen eine solche Wahl des Nullpunktes auch erscheinen mag, so lässt sich die Uebereinstimmung der Tiefe gar nicht bei allen Wasserständen darstellen, denn das Wasser steigt und fällt keineswegs auf grössere Längen ganz gleichmässig. Ausserdem darf der Tiefgang der Schiffe auch nicht in dem Maasse zunehmen, wie das Wasser steigt, denn die vermehrte Strömung, verbunden mit ihrer veränderten Richtung bei höherem Wasser, treibt das Schiff schon über Untiefen fort, die es bei kleinerem Wasser umfahren konnte. Endlich aber würde bei jeder vorkommenden Correction des Stromes, oder bei jeder zufälligen Aenderung der Tiefe auch immer eine Verstellung des Pegels vorgenommen werden müssen.

Es ergibt sich schon aus dem Gesagten, dass eine genaue Uebereinstimmung zwischen zwei und mehreren Pegeln an demselben Strome für alle Wasserstände durchaus nicht erreicht werden kann, wenn man nicht etwa den einen Pegel nach einem grösseren oder kleineren und noch dazu ganz ungleichförmigen Maasse eintheilen wollte, was wirklich vorgeschlagen ist. Selbst dieses Mittel würde indessen nur so lange von Erfolg sein, als das Strombette unverändert bleibt. Es kommt aber auf die Uebereinstimmung der Pegel durchaus nicht an, denn man kann mit sehr geringer Mühe durch Vergleichung der Beobachtungen finden, um wieviel die einzelnen Pegel bei verschiedenen Wasserständen von einander abweichen. Der wichtigste Umstand, der allein Berücksichtigung verdient, bezieht sich auf die unveränderte Beibehaltung desjenigen Nullpunktes, auf den sich lange Beobachtungsreihen bereits beziehen, und hierauf gründet sich die Regel, dass man an Pegeln keine Veränderungen vornehmen darf. Die Erfahrung hat namentlich in Holland gezeigt, dass eingeführte Aenderungen zu vielen Missverständnissen und dadurch wieder zu Unglücksfällen leicht Veranlassung geben. Die einzige Ausnahme, die sich hierbei zum Theil rechtfertigen lässt, findet statt,

wenn der Nullpunkt höher, als der kleinste Wasserstand liegt, und sonach beim Eintreten des letzteren negative Höhen notirt werden müssten, wobei die gewöhnlichen Stromaufseher oder andere Personen, welche die Beobachtung der Wasserstände übernommen haben, leicht falsche Angaben in die Tabellen einführen. Bei uns ist es vorgeschrieben, dass in diesem Falle eine Senkung um volle Fusse vorgenommen werden soll, damit die Reduction sich nur auf die Anzahl der Fusse beziehn darf und die einzelnen Zolle unverändert bleiben. Es musste hiernach an mehreren Pegeln des Düsseldorfer Regierungsbezirktes vor sieben und dreissig Jahren eine Senkung des Nullpunktes eingeführt werden, und zwar um 2 Fuss: man bezeichnet aber noch heut zu Tage die Wasserstände hier häufiger nach dem alten, als dem neuen Pegel, wiewohl die alten Pegel schon lange nicht mehr existiren. Nach dieser Erfahrung dürfte es zweifelhaft sein, ob selbst solche Aenderungen zu empfehlen sind und ob es nicht zweckmässiger gewesen sein würde, in den seltenen Fällen lieber die negativen Zahlen beizubehalten, als eine lange bestandene Bezeichnungsart, woran das Publikum sich gewöhnt hatte, und wobei die früheren Erfahrungen gleich die Grösse der Gefahr ins Gedächtniss riefen, mit einer andern zu vertauschen.

Wenn neue Pegel gesetzt werden, wo solche bisher noch gar nicht bestanden, oder wo dieselben weder regelmässig beobachtet, noch sonst benutzt wurden, da hat man in der Wahl des Nullpunktes ganz freie Hand, und man darf nur dafür sorgen, dass derselbe ganz sicher unter das kleinste Wasser trifft. Man pflegt ihn alsdann zwei Fuss tiefer, als dieses muthmasslich herabsinkt, zu legen. Sollen dagegen mehrere Pegel neu eingerichtet werden, so giebt es gewiss keinen Grund, der die absichtliche Einführung einer Ungleichmässigkeit dabei rechtfertigen würde, man stellt sie daher so auf, dass sie bei kleinem Wasser correspondiren. Eine besondere Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit in dieser Beziehung ist aber ohne Zweck, da die Uebereinstimmung doch nicht dauernd ist.

Wo Pegel neben Schiffsschleusen errichtet werden, ist es zweckmässig, dieselben mit den Drempeln in Verbindung zu setzen, wie dieses im Preussischen auch vorgeschrieben ist. Die Vorschrift besagt, dass beide Pegel, nämlich ebensowohl der im Ober-

Ausser den Wasserstands-Tabellen pflegt man auch noch Wasserstands-Scalen zusammenzustellen, das heisst es werden Curven gezeichnet, für welche die Zeiten die Abscissen, und die beobachteten Wasserstände die Ordinaten sind. Sie geben den Wechsel des Wasserstandes sehr übersichtlich zu erkennen, aber bei dem kleinen Maassstabe, den man für die Abscissen annehmen pflegt (wobei nämlich das ganze Jahr noch nicht 3 Zolle umfasst), kann man die einzelnen Tage nicht mehr erkennen, und sonach gewährt diese letzte Zusammenstellung nur eine allgemeine Uebersicht, und man muss jedesmal auf die Tabellen zurückgehn, sobald man die Verhältnisse sicher aufklären will. Die Scalen sind indessen von grosser Wichtigkeit, wenn sie in grösserem Maassstabe gezeichnet worden, und besonders wenn dasselbe Blatt verschiedene gleichzeitige Beobachtungen umfasst oder mehrere Zusammenstellungen enthält. In dieser Weise sind in Fig. 64 für den Anfang des Jahres 1842 die Wasserstände des Rheins, wie sie in Bacharach, Coblenz, Cöln, Düsseldorf, Wesel und Emmerich beobachtet wurden, zusammengetragen, und es stellt sich der Gang der Veränderungen und die verschiedene Höhe der Anschwellungen und Senkungen des Stroms dadurch sehr deutlich dar. Ausserdem kann man durch solche Scalen manche Eigenthümlichkeiten des Stroms und die darin eingetretenen Veränderungen erkennen, wie dieses bereits §. 57 mit Hinweisung auf die Figuren 64 bis 71 auf Tafel XXVIII. bis XXXI. ausführlich auseinandergesetzt ist.

§. 62.

Geschwindigkeits-Messungen.

Die Uferangriffe, sowie überhaupt die meisten Veränderungen, welche das Strombett erfährt, werden durch die Stärke der Strömung oder die Geschwindigkeit bedingt, womit das Wasser sich bewegt, und wenn man die Verhältnisse ändern will, so ist es zuweilen nicht genügend, die Geschwindigkeit im Allgemeinen zu bestimmen, vielmehr muss man sie häufig an einzelnen Stellen und zwar bei verschiednen Wasserständen messen. Ferner hat die Geschwindigkeit oft einen unmittelbaren Einfluss auf den Betrieb der Schifffahrt, und ausserdem kann man die Wassermenge der Flüsse und

Ströme mit einiger Sicherheit nicht anders, als aus ihr herleiten. In der letzten Beziehung stellt diese Messung sich bei Mühlenanlagen, Entwässerungen und bei vielen andern Gelegenheiten als höchst wichtig dar. Ihre grösste Wichtigkeit beruht aber darauf, dass sie vorzugsweise die Gesetze andeutet, nach welchen das Wasser in den Flussbetten sich bewegt und seine verschiedenen Wirkungen äussert. Die wenigen Erfahrungssätze, die hierüber gesammelt sind, beruhen auf Geschwindigkeitsmessungen, und nur durch Vervielfältigung derselben lässt sich ein Fortschritt in diesem Theile der Hydraulik erwarten. Diese Ansicht hat sich auch bereits seit langer Zeit geltend gemacht, und namentlich haben die Italiänischen Gelehrten, welche sich mit der Bewegung des Wassers im Strombette beschäftigten, sehr verschiedene Apparate zur Messung der Geschwindigkeiten erdacht. Die Anzahl dieser Instrumente ist noch in neuerer Zeit ansehnlich vermehrt worden. Ich will die wichtigsten derselben im Folgenden näher beschreiben und ihre Vorzüge und Mängel angeben.

Diese Instrumente zerfallen in zwei Classen, und dieselben unterscheiden sich dadurch von einander, dass sie entweder die Geschwindigkeit unmittelbar angeben, oder sie den Stoss des bewegten Wassers gegen gewisse Flächen messen. Dass dieser Stoss von der Geschwindigkeit abhängt, leidet keinen Zweifel, und zwar nimmt jener zu, sobald diese grösser wird: die Beziehung zwischen beiden ist indessen noch keineswegs vollständig aufgeklärt, und es scheint, dass dieselbe sehr complicirt sei. Die Reduction ist daher nicht leicht. Am sichersten verfährt man, wenn man das Instrument, welches den Stoss misst, vor dem eigentlichen Gebrauche an verschiedenen, bereits bekannten Geschwindigkeiten prüft, und aus den dabei beobachteten Werthen durch Interpolation eine Tabelle zusammenstellt, welche für die zwischenliegenden Werthe des Stosses die entsprechenden Geschwindigkeiten entnehmen lässt. Hat man auf solche Weise die Beobachtungen vorbereitet, so stellt sich gegen die erste Art der Instrumente der Vortheil heraus, dass man nur eine Ablesung vornehmen darf, während im andern Falle auch die Zeit, in welcher das Instrument den Impuls des Stroms empfangen hat, gemessen werden muss. Die erwähnte Prüfung ist indessen nicht leicht, und sie setzt wieder die Benutzung solcher Instrumente voraus, mit welchen man die Geschwindigkeit

unmittelbar messen kann. Die letzten sind daher im Allgemeinen als bequemer und sicherer, und sie werden heut zu Tage viel häufiger gebraucht, als jene, wiewohl es nicht in Abrede zu stellen ist, dass auch die ersteren unter gewissen Umständen sehr nützlich sein können.

Ich mache mit der Beschreibung derjenigen Instrumente den Anfang, welche die Geschwindigkeit unmittelbar angeben, und unter diesen erwähne ich zuerst die Apparate, welche man ganz frei im Strome treiben lässt. Bei Anwendung derselben treten manche Uebelstände ein, deren Einfluss zuweilen unschädlich bleibt, die jedoch in andern Fällen nicht so leicht zu beseitigen sind.

Jeder im Strome freischwimmende Körper gleitet in der Richtung des Gefälles wie auf einer geneigten Ebene herab. Die Geschwindigkeit, die er annimmt, ist aber nicht unmittelbar von der Neigung der Fläche, sondern vielmehr von der Geschwindigkeit des umgebenden Wassers abhängig: er kann sich weder viel schneller, noch viel langsamer, als dieses, dauernd bewegen, weil er sonst an der vordern oder der hintern Seite vom Wasser getroffen und sonach verzögert oder beschleunigt werden würde. Er muss daher ungefähr dieselbe Geschwindigkeit annehmen, die das umgebende Wasser hat, und dieses findet in der That in gewissem Grade auch immer statt; nichts desto weniger giebt sich zuweilen eine merkliche Differenz zu erkennen. Die Erfahrung lehrt, dass grosse schwimmende Körper, wie Schiffe, beim Herabfahren eines Stroms, wenn sie auch durch keine andre Kraft getrieben werden, augenscheinlich schneller, als das Wasser, sich fortbewegen, und daher die Wirkung des Steuerruders auf sie immer fühlbar bleibt. Letztere müsste ganz aufhören, wenn die Schiffe genau dieselbe Geschwindigkeit, wie das umgebende Wasser annähmen, oder sie relativ gegen dasselbe sich in Ruhe befänden. Die Erklärung dieser auffallenden Erscheinung stellt sich ausser allen Zweifel, wenn man darauf Rücksicht nimmt, dass die Wirkung des Steuerruders bei diesen Fahrten mit der Stärke des Stroms jedesmal zunimmt, und dass sogar ein sehr scharfes Steuern möglich ist, sobald das Schiff eine Stromschnelle passirt hat. Die Wirksamkeit des Steuerruders bezeichnet die Differenz zwischen der Geschwindigkeit des Schiffes und der des Wassers: beide waren in der Stromschnelle selbst nicht so verschieden, als un-

mittelbar darauf, aber gerade hier zerstört das Wasser auch am stärksten die ihm mitgetheilte lebendige Kraft durch seine innern Bewegungen und die vielfachen Wirbel, während das Schiff von gleicher Masse, wie derjenige Wasserkörper, den es verdrängt, hiervon frei bleibt und eben deshalb eine grössere Geschwindigkeit behält. In gleicher Weise, wenn auch weniger auffallend, conservirt das Schiff oder der schwimmende Körper fortwährend die erlangte Geschwindigkeit etwas vollständiger, als das Wasser, und wenn es dieselbe auch durch den Druck gegen das langsamer fließende Wasser immer zerstört, so erneuert sich unaufhörlich ein solcher Ueberschuss, und eben dadurch stellt sich die Geschwindigkeit des Schiffes beständig etwas grösser heraus.

Es kann wohl keinen Zweifel leiden, dass die erwähnte Differenz zwischen beiden Geschwindigkeiten mit der Grösse des schwimmenden Körpers zunehmen muss: sonach haben kleine Körper sehr genau dieselbe Geschwindigkeit, wie das Wasser, und man darf für die gewöhnlichen Apparate in dieser Beziehung keine Unrichtigkeit besorgen. Es war indessen nöthig, auf das Verhalten der zu Thal fahrenden Schiffe aufmerksam zu machen, damit deren Geschwindigkeit nicht unmittelbar als das Maass der mittlern Geschwindigkeit des Stroms angesehen werde. Es ist hierbei auch darauf Rücksicht zu nehmen, dass diese Schiffe gewöhnlich gerade in derjenigen Richtung geführt werden, wo schon das Wasser am schnellsten fliesst.

Ein zweiter Umstand, der die Anwendung der erwähnten Art von Geschwindigkeitsmessungen beschränkt, bezieht sich darauf, dass alle frei herabschwimmenden Körper sich nicht parallel zur Axe des Stroms bewegen, sondern nach und nach gegen die Linie der Hauptströmung oder nach dem Stromstriche hintreiben. Man kann daher in aller Schärfe nur in diesem eine Messung der erwähnten Art anstellen. Bei geraden und regelmässigen Stromstrecken ist jedoch die erwähnte Ablenkung der Körper nur sehr unbedeutend, und sonach ist es alsdann immer noch möglich, nach dieser Methode mit genügender Sicherheit die Geschwindigkeiten für verschiedene Sectionen zu finden. Fig. 72, Taf. XXXII. zeigt die sehr einfache Anordnung, welche zu diesem Zwecke erforderlich ist. In einer geraden Stromstrecke steckt man zwei Querschnitte *AB* und *CD* in solcher Entfernung von einander ab,

dass der herabschwimmende Körper etwa 2 bis 3 Minuten gebraucht, um aus der einen Linie in die andere zu gelangen. Alsdann lässt man in der Entfernung von 5 bis 10 Ruthen oberhalb des ersten Querschnittes den gewählten Apparat ins Wasser legen und beobachtet entweder selbst in beiden Querschnitten nach den ausgesteckten Signalen den Durchgang, oder dieses geschieht durch zwei Personen, welche mit Secunden-Uhren versehen sind, die vor und nach der Messung mit einander verglichen werden müssen. Vortheilhafter ist es immer, wenn man die eigentliche Messung selbst ausführt und dadurch das Resultat von der Aufmerksamkeit und Gewissenhaftigkeit der Gehülfen unabhängig macht. Wenn die Strömung nicht ungewöhnlich stark ist, so ist es auch leicht, den Durchgang des schwimmenden Körpers durch die erste Linie zu beobachten, und alsdann noch zeitig genug nach der zweiten Linie zu gelangen, um auch hier, und zwar mit Benutzung derselben Uhr, die zweite Beobachtung anzustellen. In diesem Falle sowohl, wie auch in manchen ähnlichen, bedient man sich zuweilen solcher Uhren, wobei der Secundenzeiger durch einen Riegel angehalten und wieder gelöst werden kann. Der Vortheil dieser Einrichtung ist indessen sehr geringe, denn bei einiger Uebung ist es leicht, die Secunden nach der Bewegung des Zeigers oder noch besser nach dem Schlage der Unruhe zu zählen, und in diesem Falle ist der Gang der Uhr weit gleichmässiger, als wenn man denselben durch Arretirung und Lösung des Secundenzeigers verändert. Auf Theile der Secunde kommt es bei diesen Messungen niemals an, vorausgesetzt, dass man die beiden Durchgangslinien in gehörige Entfernung von einander gelegt, oder die Zwischenzeit gross genug angenommen hat.

Wird der schwimmende Körper in den Stromstrich geworfen, so bleibt er darin: ist dieses aber nicht geschehn, so nähert er sich demselben immer mehr und mehr. Diese Annäherung erfolgt indessen in geraden Stromstrecken, wo der Stromstrich überhaupt wenig markirt ist, nur sehr langsam, also etwa nach den in der Figur angegebenen punktirten Linien. Man kann daher die Geschwindigkeit in verschiednen Sectionen des Stroms hinreichend genau bestimmen, wenn die beiden angenommenen Querschnitte, welche den Beobachtungsraum begrenzen, nicht weit von einander entfernt sind. Es giebt aber auch keine Veranlassung, den Ab-

stand derselben sehr gross anzunehmen, oder die Beobachtungszeit sehr weit auszudehnen, da eine grosse Genauigkeit, also etwa eine Schärfe der Messung, welche das Resultat bis auf ein Procent sicher angäbe, schon wegen der ungleichförmigen Bewegung des Wassers wohl nie zu erreichen ist. Das von Wiebeking angewandte Verfahren, den schwimmenden Körper vom Ufer oder von einem Nachen aus an einem Faden zu führen und dadurch seine Annäherung an den Stromstrich zu verhindern, ist wegen der dabei leicht möglichen Störungen nicht zu empfehlen.

Endlich muss noch erwähnt werden, dass der Körper, dessen Bewegung man misst, nicht weit über die Oberfläche des Wassers vorragen, und besonders keine grosse Fläche dem Winde darbieten darf, weil man sonst nicht mehr die Wirkung der Strömung allein beobachten würde.

Die angeführten Umstände bedingen die Wahl und Anordnung der Körper, die man zur Messung der Geschwindigkeit im Strome frei treiben lässt. Die Form dieser Körper ist ziemlich gleichgültig, und man darf daher bei gelegentlicher Anstellung solcher Messungen keinen Irrthum besorgen, wenn man Stückchen Holz, Flaschen u. dergl. gewählt hat: gewöhnlich giebt man aber der Kugel den Vorzug, insofern dieselbe bei jeder Lage, die sie auch annimmt, eine gleiche Oberfläche dem Drucke des vorangehenden wie des nachfolgenden Wassers darbietet. Wenn man daher einen besondern Apparat hierzu einrichten will, so lässt man eine Kugel aus verzinnem Eisenblech, oder weil dieses doch bald zu rosten pflegt, lieber aus Messing oder Kupferblech anfertigen. Die Kugel hat 6 bis 12 Zoll im Durchmesser und ist mit einer Oeffnung versehen, die entweder mit einer Schraube dicht verschlossen werden kann, oder sie wird mit einem vortretenden Rande umgeben, in welchen man einen Kork, wie in den Hals einer Flasche, stecken kann. Diese Oeffnung dient dazu, die erforderliche Beschwerung anzubringen, damit die Kugel nur etwa mit dem zehnten Theile ihres Durchmessers über die Oberfläche des Wassers hervorragt. Gewöhnlich wird Schrot hierzu angewendet, womit man die Kugel so weit füllt, dass sie bis zur angegebenen Tiefe eintaucht. Fig. 73 a zeigt eine solche Kugel. Die Farbe der Kugel ist nicht gleichgültig. Den metallischen Glanz darf sie nicht behalten, weil sie in diesem Falle von der spiegelnden

Oberfläche des Wassers nicht deutlich genug unterschieden werden könnte: man muss sie daher matt färben, und am angemessensten dürfte es wohl sein, wie dieses auch Krayenhoff gethan hat, die rothe Farbe zu wählen.

Die Kugel misst nur die Geschwindigkeit des Wassers in der Nähe der Oberfläche, und diese ist im Allgemeinen grösser, als die Geschwindigkeit, welche das Wasser in derselben Section des Stroms in grösserer Tiefe annimmt. Durch eine Aufstellung, wie solche Fig. 73 *b* angegeben ist, kann die Kugel aber auch zur Messung der Geschwindigkeit in einer bestimmten Tiefe dienen. Man versieht nämlich die oben beschriebene Kugel mit einer Oese und befestigt sie mittelst eines Fadens, dessen Länge der Tiefe gleichkommt, in welcher man die Geschwindigkeit messen will, an eine zweite Kugel. Die erste wird in diesem Falle so stark beschwert, dass sie nicht nur selbst ganz untersinkt, sondern auch die zweite Kugel so weit herabzieht, dass diese dem Einflusse des Windes entzogen wird. Die Geschwindigkeit, welche der so zusammengestellte Apparat annimmt, ist zum Theil durch die Geschwindigkeit des Wassers in der gewählten Tiefe und zum Theil durch die in der Oberfläche bedingt: insofern jedoch die letztere sich nur gegen eine viel kleinere Kugel äussert, so ist ihr Einfluss nur geringe auf die Bewegung, und der Apparat giebt ungefähr die Geschwindigkeit des Wassers an, welches die untere Kugel trifft. Genauer liesse sich die Beobachtung anstellen, wenn man zwei Kugeln von gleicher Grösse annähme und die obere einmal allein herabtreiben liesse, in welchem Falle sie die Geschwindigkeit in der Oberfläche des Wassers bezeichnen würde, alsdann aber sie mit der zweiten verbände, wodurch sich das arithmetische Mittel aus beiden Geschwindigkeiten beobachten liesse. Nennt man die obere Geschwindigkeit *a* und dieses arithmetische Mittel *c*, so ist die gesuchte Geschwindigkeit in der Höhe der untern Kugel gleich $2c - a$.

Mit der zuletzt beschriebenen Einrichtung des Apparates steht in naher Beziehung das Instrument, welches Cabeo angegeben hat, und das unter dem Namen des Cabeoschen Stabes oder des hydrometrischen Stabes bekannt ist. Wenn man nämlich die Geschwindigkeitsmessungen behufs der Ermittlung der Wassermenge anstellt, so kommt es darauf an, das arithmetische Mittel

aus allen Geschwindigkeiten zu finden, welche in derselben Section von dem Wasserspiegel abwärts in gleichen Abständen bis zum Bette des Stroms vorkommen. Eine solche wiederholte Messung in verschiedenen Tiefen ist immer sehr zeitraubend: der Cabeosche Stab giebt aber diese mittlere Grösse unmittelbar an. Fig. 74 zeigt denselben. Er besteht aus einem cylindrischen Stabe aus Blech, der in Fusse eingetheilt und unten mit einem gut schliessenden Deckel versehen ist. Man belastet ihn durch eingelegte Bleiplatten so stark, dass er bis gegen das Bette des Stroms herabreicht, ohne jedoch dasselbe während des Versuches irgendwo zu berühren, während er über der Oberfläche des Wassers um einige Zoll vorragt, damit man ihn mit Sicherheit erkennen, der Wind jedoch keinen merklichen Einfluss darauf äussern kann. Es ergibt sich hieraus, dass man für Messungen in verschiedenen Tiefen auch verschiedene Stäbe benutzen muss. In stehendem Wasser schwimmt der Stab, nachdem die Beschwerung eingelegt ist, lothrecht: im Strome dagegen stösst das schneller fliessende Wasser in der Nähe der Oberfläche ihn viel stärker fort, als das Wasser in der Nähe der Sohle: er kann jedoch dem ersten Impulse nicht unbedingt folgen, weil ihm unten das Wasser den Weg sperrt. Das letztere stösst er wirklich in dem Maasse zurück, wie er an seinem oberen Ende vorgedrängt wird. Er wird indessen nicht nur an seinem obern und untern Ende afficirt, sondern in seiner ganzen Länge verursacht die Differenz seiner Geschwindigkeit gegen die des Wassers, welches er gerade trifft, einen Druck, der ihn entweder vordrängt oder zurückhält, und da diese Pressungen sich gegenseitig aufheben müssen, indem keine sonstige Kraft seine Bewegung bedingt, so kann man aus dieser Ausgleichung der Pressungen auch auf die der Geschwindigkeiten schliessen, und insofern der Stab auf seine ganze Länge einen gleichen Querschnitt hat, so folgt daraus, dass er sich mit der mittlern Geschwindigkeit dieser Section des Stroms fortbewegen muss. Diese unmittelbare Darstellung des gesuchten Resultates, welches man sonst nur aus vielfachen Messungen herleiten kann, ist so wichtig, dass dieses Instrument besonders bei grösserer Wassertiefe wohl eine viel häufigere Anwendung zu verdienen scheint, als es bis jetzt gefunden hat. Auf dem Preussischen Niederrhein ist es mit grossem Vortheile oft benutzt worden. Es

treten freilich manche Unbequemlichkeiten bei demselben ein, und namentlich gehört dahin die Bedingung, dass der Stab nirgend den Boden berühren darf, weil er in diesem Falle augenscheinlich stark verzögert werden würde: man muss ihn also nur so tief eintauchen lassen, dass er selbst auf denjenigen Stellen seines Weges, wo die Wassertiefe am geringsten ist, mit seinem untern Ende noch einige Zolle vom Boden entfernt bleibt. Wenn man aber eine regelmässige Stromstrecke zur Messung ausgesucht hat, so können die Tiefen in dem jedesmaligen Wege des Stabes auch nicht sehr verschieden ausfallen, und der Uebelstand, dass die Geschwindigkeiten, die das Wasser unmittelbar über der Sohle des Bettes annimmt, unbeachtet bleiben, ist dieser Messungsart keineswegs eigenthümlich, sondern er tritt in gleicher Art bei allen sonstigen Methoden zur Messung der Geschwindigkeit ein. Sollte der Stab wider Erwarten während des Versuches irgendwo den Boden berühren, so giebt sich dieses sogleich sehr auffallend dadurch zu erkennen, dass er sich plötzlich überneigt: man darf also nicht besorgen, dass er vielleicht unbemerkt auf diese Art zurückgehalten und das Resultat dadurch entstellt werden könnte.

Aus der Beschreibung der Bewegung des Stabes folgt schon, dass derselbe nicht lothrecht schwimmt, sondern schräge nach vorn geneigt ist. Dieser Umstand ist sehr unwesentlich, da die Bedingung der gleichmässigen Einwirkung der verschiedenen Wassertheilchen hierdurch nicht aufgehoben wird. Die wirkliche Tiefe der Eintauchung vermindert sich zwar etwas, doch ist dieselbe dem Cosinus des Neigungswinkels gegen das Loth proportional und sonach schon bei auffallenden Neigungen noch ziemlich unbedeutend: sollte sie aber merklich gross werden, so kann man durch Vergrösserung des eingelegten Gewichtes die entsprechende tiefere Eintauchung wieder darstellen. Krayenhoff hat eine gewiss sehr unstatthafte Veränderung dieses Apparates bei seinen Messungen eingeführt, wodurch er das Ueberneigen des Stabes zu verhindern, oder vielmehr nur zu verstecken beabsichtigte. Er brachte nämlich am obern Ende des Stabes einen flachen Schwimmer an, der auf dem Wasserspiegel ruhte *): indem aber dieser Schwimmer

*) Verzameling von hydrographische en topographische Waarnemingen. Seite 193.

auch etwa zur Hälfte eintauchen müsste, um den sehr stark beschwerten Stab zu tragen, so folgt daraus, dass die Wassertheilchen in der Nähe der Oberfläche einen überwiegenden Einfluss auf die Bewegung des Apparates erhielten, und derselbe daher nicht mehr die mittlere, sondern sehr nahe die obere Geschwindigkeit angab.

Bei allen bisher erwähnten Messungen ist es nöthig, den Weg zu kennen, in welchem der Schwimmer sich bewegt, und namentlich die Annäherung desselben gegen den Stromstrich erfordert es, dass man sich überzeugen muss, wie gross diese bei der Beobachtung gewesen sei. Eine genaue Messung der Abstände von den Ufern verlangt vielfache Vorbereitungen, welche die sonstige Einfachheit und Leichtigkeit dieser Methode ausserordentlich beeinträchtigen würden. Am bequemsten dürfte es in dieser Beziehung sein, wenn man neben dem einen Ufer und zwar am besten in der Richtung des zweiten Querschnitts einen etwas erhöhten Beobachtungsort aufsucht, oder durch eine leichte Rüstung einen solchen darstellt, und von demselben aus die Winkel misst, unter welchen die Schwimmer beim Durchgange durch diesen Querschnitt unter dem Horizonte erscheinen, woraus sich ihre Entfernung vom Ufer leicht finden lässt.

Es ist schon früher erwähnt worden, wie die Anstellung von Geschwindigkeitsmessungen in einem Strome zur Zeit der hohen Anschwellungen ausserordentlich schwierig und oft unmöglich ist. Der Gebrauch der Schwimmer ist in solchem Falle auch sehr schwierig, wenn man nicht etwa die zufällig vorbeitreibenden Körper als solche benutzen will. Die Kugel und der Stab lassen sich nicht mehr gehörig einsetzen und noch weniger wieder auffangen: ausserdem sind sie, wenn die Thalfläche inundirt ist und man sich dem Hauptstrom nicht gehörig nähern kann, auch nicht sicher zu beobachten. Führt dagegen eine Brücke über den Strom, so kann man noch eine ziemlich sichere Messung mit einem Schwimmer anstellen, den man an einem Faden im Strome treiben lässt und dessen Geschwindigkeit nach der Länge des auslaufenden Fadens bestimmt wird. Wiebeking benutzte in dieser Weise die gewöhnliche Kugel; es ist indessen hierbei wohl der Gebrauch des Logs, wie dasselbe gemeinhin auf den Seeschiffen angewendet wird, vorzuziehen. Der Faden, welcher den Schwimmer

hält, wird nämlich, wenn man ihn auch möglichst frei folgen lässt, doch immer einen geringen Widerstand verursachen, der wenigstens so gross sein muss, dass der Faden gehörig ausgezogen wird, und dieser Zug ist alsdann schon hinreichend, den Schwimmer in einer bestimmten Stellung zu erhalten. Die Kugelform ist daher in diesem Falle nicht mehr als Erforderniss anzusehen, und man kann statt ihr eine Scheibe wählen, welche dem Angriffe des Wassers eine grosse Fläche darbietet und zugleich so wenig Masse hat, dass sie sogleich die Geschwindigkeit des Wassers annimmt. Das gewöhnliche Log ist in Fig. 75 dargestellt: es besteht aus einem leichten hölzernen Brettchen in Form eines gleichseitigen Dreiecks von etwa 9 Zoll Seite. Die Befestigung an drei Fäden, die sich in geringer Entfernung vereinigen, sichert demselben eine solche Stellung, dass es dem Stoss des Wassers seine breite Seite normal entgegenkehrt. Es schwimmt gewöhnlich in der in der Figur dargestellten Lage. In der Entfernung von einigen Ruthen ist der Faden mit einem Knoten versehen, und ähnliche Knoten folgen alsdann in bestimmten Abständen, während eingebundene Lederstreifen die Entfernungen bezeichnen. Wenn eine Messung gemacht werden soll, so wird das Brettchen über Bord geworfen, und sobald die Leine auszulaufen anfängt, der erste Knoten in der Hand festgehalten, bis die Zeitmessung gehörig vorbereitet ist. Zu dieser dient auf den Schiffen gewöhnlich eine Sanduhr, welche in einer halben Minute ausläuft: man dreht dieselbe um, so dass das Auslaufen des Sandes von der einen Seite nach der andern beginnt, und gleichzeitig öffnet man die Hand, mit der man bisher die Leine festhielt: diese wird nun frei, und gleitet durch die Hand in gleichem Maasse, wie sich der Beobachter vom ausgeworfenen Log entfernt. Im Augenblicke, wo die Sanduhr abgelaufen oder die halbe Minute verflossen ist, hält man die Leine wieder an, und die Bezeichnung des nächsten Knotens giebt die Länge des in Zwischenzeit vom Schiffe durchlaufenen Weges an. Um das Zurückziehen des Logs zu erleichtern, ist noch die Einrichtung getroffen, dass von den erwähnten drei Enden nur zwei festgeknüpft, das dritte aber in einen Spalt eingeklemmt ist. Sobald die Leine daher plötzlich scharf angezogen wird, so löst sich diese dritte Verbindung, und das Log schwimmt flach auf dem Wasser und lässt sich leicht zurückziehen. Ganz in gleicher

Weise, jedoch mit der Abänderung, dass statt der Sanduhr eine gewöhnliche Secundenuhr benutzt wird, kann man von Brücken aus auch die Geschwindigkeit in der Oberfläche des Hochwassers sehr leicht ermitteln.

Bei den folgenden Instrumenten, welche zur unmittelbaren Messung der Geschwindigkeit dienen, tritt der Vortheil ein, dass sie die Stärke der Strömung an einer bestimmten Stelle angeben und die Resultate sich nicht mehr wie bei den Schwimmern auf eine gewisse Ausdehnung des zurückgelegten Weges beziehen. Hierbei muss zuerst das hydrometrische Rad erwähnt werden, welches in seiner einfachsten Zusammenstellung Fig. 76 gezeichnet ist. Es besteht aus einer Axe, woran eine Scheibe befestigt ist, die an ihrem Umfange eine Reihe von Schaufeln, ähnlich einem unterschlächtigen Mühlenrade, trägt: dieselben sind unter sich zur Seite noch durch zwei Reifen verbunden, die überdiess es verhindern, dass nicht etwa der Faden, der die Anzahl der Umdrehungen angiebt, von den Schaufeln gefasst werden kann. Neben dem Rade befindet sich auf derselben Axe eine kleine Rolle, an welcher der erwähnte Faden befestigt ist. Man lässt das Rädchen während einer bestimmten Zeit in das Wasser etwas eintauchen, und wenn man es alsdann herauszieht, so zählt man die Windungen des Fadens auf der Rolle, woraus sich wieder die Anzahl der Umdrehungen und bei dem bekannten Radius auch die Geschwindigkeit des Mittelpunktes der Schaufeln ergibt, welche mit der des Wassers ungefähr übereinstimmt. Es ist klar, dass man mit diesem Apparate nur die Geschwindigkeit in der Oberfläche des Stromes messen kann, und dass die schräge Stellung der Schaufeln, wenn man auch die Tiefe der Eintauchung ganz scharf gemessen hat, manche Unregelmässigkeiten der Bewegung bedingt, woher das gefundene Resultat immer ziemlich unsicher bleiben muss. Nichts desto weniger ist dieser Apparat doch häufig angewendet, und in England bedient man sich desselben auch jetzt noch und zwar in ziemlich kleinen Dimensionen, so dass das Rädchen kaum 6 Zoll Durchmesser hat. Dubuat gebrauchte gleichfalls ein solches Rad, und zwar war dasselbe sehr leicht aus Tannenholz construirt: acht Speichen trugen eben so viele Schaufeln, die drei Zoll hoch und breit waren. Durch umgeschlungene feine Drähte waren die Schaufeln unter sich verbunden.

Der Durchmesser des Rades hielt 2 Fuss, dabei wog dasselbe mit Einschluss der Axe nur etwas über 11 Unzen *).

Weit grössere Genauigkeit gewährt der hydrometrische Flügel, den man gewöhnlich nach seinem Erfinder, den Woltmanschen Flügel nennt. Die Schärfe, sowie auch in gewisser Beziehung der sehr bequeme Gebrauch dieses Instrumentes haben demselben allgemeinen Eingang verschafft, und es wird gegenwärtig beinahe ausschliesslich angewendet, wenn man genaue Resultate erhalten will. Woltman beschrieb es schon im Jahre 1790 in einer eignen Schrift**). In Deutschland fand es sehr bald vielfache Anwendung, auch in Frankreich ist es in der letzten Zeit oft benutzt und seine Zweckmässigkeit anerkannt worden. In England wurde es wunderbarer Weise vor etwa 10 Jahren von einem gewissen Saxton noch einmal erfunden; nichts desto weniger scheint es daselbst noch ziemlich unbekannt zu sein, wiewohl das in der dortigen Marine jetzt allgemein eingeführte Patentlog wesentlich damit übereinstimmt.

Der Woltmansche Flügel wird auf dieselbe Weise, wie eine Windmühle in Bewegung gesetzt: die Axe, an welcher sich eine oder zwei Flügelruthen befinden, deren Flächen unter einem gleichen Winkel gegen die Drehungsebene geneigt sind, wird in die Richtung der Strömung gestellt. Die Geschwindigkeit, mit der die Axe sich dreht, ist sonach, wenn die Reibung nicht etwa einen wesentlichen Einfluss ausüben sollte, der Geschwindigkeit des Stroms proportional. An dieser Axe befinden sich, wie Fig. 77 *a* und *b* zeigt, einige Schraubengänge und dieselben entsprechen den Zähnen eines darunter befindlichen Rädchens. Letzteres kann man beliebig in jene eingreifen lassen und wieder gegen einen besondern Zahn feststellen. Dieser letzte Zahn dient zugleich als Zeiger, um die Bewegung zu messen, welche das Rädchen in der Zeit, wo es in die Schraube eingriff, gemacht hat. Jeder einzelne Radzahn entspricht sonach einer Umdrehung der Schraube oder der Flügelwelle. Die Beobachtung geschieht auf diese Art: man stellt das Rädchen so ein, dass der feste Zahn auf den mit Null,

*) *Dubuat, principes d'hydraulique* II. §. 441.

**) *Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels von R. Woltman. Hamburg 1790.*

oder in der vorliegenden Figur mit 100 bezeichneten Punkt trifft. Die Feder unter dem Rädchen drückt den kleinen Rahmen, worin das gezahnte Rad befestigt ist, herab, so dass es sich ohne äussere Veranlassung nicht lösen kann. Jetzt stellt man den Flügel an der gewählten Stelle in der beliebigen Tiefe auf. Von dem Augenblicke ab, dass der Flügel in den Strom eintaucht, wird er gedreht, aber da seine Welle mit dem Rade noch in keiner Verbindung steht, so sind diese Drehungen auf das letztere ohne Einfluss. Sobald man aber Alles zur eigentlichen Beobachtung vorbereitet hat, und etwa der Zeiger der Secundenuhr den Anfang einer neuen Minute markirt, so zieht man an einem Faden den erwähnten Rahmen mit dem Rade etwas herauf. Letzteres verlässt alsdann den festen Zahn und greift nunmehr in das Schraubengewinde, durch welches es bei jeder Revolution der Flügelwelle um einen Zahn sich weiter dreht. Ist die bestimmte Beobachtungszeit, also etwa eine Minute, verflossen, so lässt man den Rahmen mit dem Rade herabfallen, wodurch Letzteres sogleich wieder in den festen Zahn eingreift und in dieser Stellung unverändert gehalten wird, obgleich die Flügelwelle ihre Drehung fortsetzt. Sobald man hierauf das Instrument herausnimmt, so ergibt die Stellung des Rades gegen den Zeiger unmittelbar die Anzahl der Umdrehungen des Flügels während der Zeit, in welcher das Rad mit der Flügelwelle in Verbindung gehalten wurde, und man findet sehr leicht die Länge der Wassersäule, die während derselben Zeit vorübergezogen ist, wenn man den Werth der einzelnen Umdrehung kennt. Man kann sonach in jeder beliebigen, und selbst in sehr grosser Tiefe dieses Instrument gebrauchen, doch muss man jedesmal, nachdem eine Beobachtung angestellt ist, es herausziehen und die Ablesung vornehmen, weil man später, nachdem eine zweite Messung gemacht ist, den Werth der erstern nicht mehr erkennen kann. Dieser Umstand ist allerdings etwas unbequem und verzögert die Operation sehr merklich. Zunächst entsteht die Frage, auf welche Weise man den Werth der einmaligen Umdrehung der Flügelwelle finden könne, das heisst, wie die Länge des Wassercylinders zu ermitteln sei, der bei seinem Vorbeifliessen gerade einmal die Flügelwelle dreht. Woltman empfiehlt zu diesem Zweck, den Flügel an einer Stange wie zum beschriebenen Gebrauche zu befestigen und ihn in stehendem

Wasser eine gewisse Strecke hindurch, also etwa 200 Fuss zu bewegen. Die auf dem Ufer gemessene Länge dieses Weges dividirt durch die Anzahl der Umdrehungen, die man wieder in gleicher Weise an dem Rade abliest, giebt den gesuchten Werth jeder Umdrehung. Man kann sich bei dieser Gelegenheit auch noch davon überzeugen, ob die Anzahl der Umdrehungen von der Geschwindigkeit ganz unabhängig sei, womit das Wasser gegen die Flügel stösst, und ob es allein durch die Länge des begegnenden Wassercylinders bedingt sei. Bei den verschiedenen Flügeln die ich gebraucht habe, ist dieses immer der Fall gewesen.

Zuweilen lässt sich der erwähnte vorbereitende Versuch nicht ausführen, indem kein stehendes Wasser von hinreichender Ausdehnung in der Nähe befindlich ist. Es giebt alsdann noch ein andres Mittel, um eben so sicher den Werth der einzelnen Umdrehung des Flügels zu ermitteln. Man zieht nämlich auf Papier eine gerade Linie, und richtet die Flügelwelle auf einer passenden Unterlage genau darüber: nun stellt man die Flügelruthie lothrecht und verschiebt ein Lineal unter dem Flügel so lange, bis es von oben geschon mit der Fläche des Letzteren zusammenfällt. Man dreht alsdann die nächste Ruthie nach oben und so fort und überzeugt sich dadurch, dass wirklich alle Flügel unter gleichem Winkel gegen die Drehungsebene geneigt sind. Dieser Winkel wird durch die Richtung des Lineals gegen die Linie bezeichnet, mit welcher die Axe parallel gestellt wurde. Aus diesem lässt sich leicht der Werth der einzelnen Umdrehung des Flügels herleiten. Wenn nämlich das Instrument in Thätigkeit ist, so schrauben die Flügel sich gleichsam durch das Wasser hindurch, und vorausgesetzt, dass die Reibung keinen merklichen Einfluss äussert, so bildet die gesuchte Länge nichts anders, als die Weite des auf solche Art sich darstellenden Schraubenganges, und man findet diese leicht, wenn man den Umfang der Schraube mit dem Sinus des bereits gemessenen Neigungswinkels multiplicirt. Dabei tritt der Zweifel ein, wie gross man den Radius des Flügels anzunehmen habe, um den gesuchten Umfang zu ermitteln. Strenge genommen wird er etwas grösser sein, als der Abstand des Mittelpunktes der Flügelfläche von der Drehungsaxe, der Unterschied ist indessen so unbedeutend, dass man diesen ohne Nachtheil dafür annehmen kann und man wird sich durch Versuch in stehen-

dem Wasser leicht überzeugen, dass das auf solche Weise berechnete Resultat mit dem der Beobachtung so genau übereinstimmt, wie die Schärfe der Messung überhaupt ein Urtheil gestattet. Es ist hiernach aber sehr leicht, einen Flügel so einzurichten, dass seine Umdrehungen einen gewissen vorher bestimmten Werth haben; bei dem in Fig. 77 *a* und *b* dargestellten Instrument dreht sich die Flügelwelle genau einmal um, wenn 9 Zoll Wasser vorbeifliessen, und hierdurch vereinfacht sich ausserordentlich die Rechnung, die man nach jeder Beobachtung vornehmen muss.

Die Reibung der Flügelwelle, sowie auch die des Rades und der Schraube gegen das letztere ist im Vergleiche zu dem Stosse des Wassers immer so unbedeutend, dass ich sie niemals wahrnehmen konnte, wenn ich den Flügel auch sehr langsam durch stehendes Wasser bewegte. Das Wasser überzieht auch offenbar alle Theile des Instrumentes und es wirkt daher in ähnlicher Weise, wie eine Schmiere. Hiernach erscheinen die Vorsichtsmaassregeln, die man zuweilen behufs Verminderung der Reibung bei diesem Instrumente getroffen hat, ganz überflüssig, wie z. B. die Anwendung von recht feinen stählernen Axen und wohl gar von ausgebohrten Edelsteinen, worin dieselben laufen.

Wenn das Instrument in heftiger Strömung benutzt wird, so lässt es sich nicht immer vermeiden, dass es zuweilen gestossen, wenigstens stark erschüttert wird, und selbst der Druck des Wassers stellt schon bei einer Geschwindigkeit von etwa 7 Fuss in der Secunde die Festigkeit aller Theile auf die Probe. Man muss daher besonders darauf sehen, dass die ganze Zusammensetzung möglichst solide und fest sei. Die stählernen Axen zeigen aber den grossen Uebelstand, dass sie leicht rosten: ich habe es daher vorgezogen, den Flügel ganz aus Messing zusammensetzen. Die Reibung zwischen der Schraube und dem Rade kann sehr gross werden, wenn man letzteres scharf dagegen drückt, und dabei ist es noch leicht möglich, dass ein Verbiegen der Theile eintritt. Um dieses zu vermeiden, muss die Einrichtung getroffen sein, dass der Rahmen, welcher das Rad trägt, sich nur bis zu einer gewissen unschädlichen Höhe heben lässt: im vorliegenden Falle wird diese Höhe durch den Einschnitt in dem kleinen aufgeschrobenen Ringel bedingt, worin sich zugleich der Schlitz befindet, in welchen das hintere Seitenstück des Rahmens eingreift.

Die Aufstellung des Flügels geschieht auf sehr verschiedene Weise, häufig befestigt man ihn an einer Latte, die an einem eingerammten Pfahle oder in einem dazu vorgerichteten Baume zur Seite des Schiffes herabgeschoben werden kann. In beiden Fällen muss man dafür Sorge tragen, dass die Axe der Flügelwelle immer genau dem Strome entgegengekehrt sei. Man hat dafür zuweilen auch durch die in Fig. 77 c dargestellte Vorrichtung gesorgt, indem der Flügel sich um eine verticale Axe frei drehen kann und eine hinreichend grosse Fahne am hintern Ende ihn immer gehörig einstellt. Der kleine Flügel, den ich schon seit Jahren vielfach gebraucht habe, ist oben mit einer starken Schraubennutter versehen, welche auf eine Spindel am Spazierstocke passt. Soll aber in grösserer Tiefe die Messung vorgenommen werden, so lässt sich das Instrument leicht durch zwei Holzschrauben mit Flügelköpfen, die in demselben Kästchen aufbewahrt werden, auf jeder Latte befestigen.

Ueber die Einrichtung des Flügels und den Gebrauch desselben sind noch einige andere Umstände zu erwähnen. Man steckt die Flügelwelle oft lose auf die Ruthen auf, damit man ihnen jede beliebige Neigung geben könne, und häufig ist der Kasten, worin das Instrument verpackt wird, so eingerichtet, dass man beim jedesmaligen Einlegen die Flügel von den Ruthen lösen muss. Diese Anordnung ist höchst unzweckmässig, denn sie macht vor dem jedesmaligen Gebrauche einen neuen Probeversuch nothwendig. Bei dem in der Figur dargestellten Instrumente, sind die Flügelflächen auf die Ruthen aufgelöthet; letztere lassen sich indessen, wenn man die Schraube am Ende der Flügelwelle löst, abnehmen, und sie finden ihren Platz im Deckel des kleinen Kästchens, wodurch die Grösse desselben so sehr reducirt wird, dass man es sehr bequem in der Tasche tragen kann. In der Scheibe am vordern Ende der Axe, wogegen die beiden Ruthen sich lehnen, ist ein Stift eingesetzt, der in entsprechende Löcher dieser Ruthen eingreift, und ihnen daher die erforderliche Stellung sichert. Das erwähnte Instrument hat eine sehr grosse Festigkeit dadurch erhalten, dass die Flügelwelle und ebenso das Rad, zur Seite der Blechscheibe gelegt ist, gegen welche alle einzelnen Theile festgeschraubt sind. Es wurde dadurch möglich, einen starken Riegel dicht unter der Welle hindurchgeh'n zu lassen,

und wenn eine noch grössere Festigkeit erforderlich gewesen wäre, so hätte die Oeffnung in der Scheibe neben dem Rädchen ganz fortfallen können.

Von grösser Wichtigkeit ist ferner die passende Form der Zähne: man sieht oft hydrometrische Flügel, bei denen diese Form so gewählt ist, als ob das Rad in ein Getriebe eingreifen sollte. Auch dieses ist sehr unpassend, denn in solchem Falle geschieht es leicht, dass der Zahn mit seiner breiten Fläche gerade auf die Stirn des Schraubenganges trifft, und alsdann das starke Anziehen des Fadens eine solche Klemmung verursacht, dass das Instrument leidet, und wenigstens die Beobachtung vereitelt wird. Man muss um ein solches Zusammentreffen möglichst zu vermeiden, sowohl den Gang der Schraube als die Zähne des Rades recht scharf ausschneiden.

Endlich ist noch zu erwähnen, dass man zuweilen, um die Dauer der Beobachtung auf eine längere Zeit auszudehnen, die Axe des gezahnten Rades noch mit einem zweiten Rade in Verbindung setzt, welches die Umgänge des ersteren zählt. Diese Einrichtung ist indessen wohl gemeinlich überflüssig. Bei dem erwähnten kleinen Flügel der sich bedeutend schneller bewegt, als dieses bei grössern Instrumenten zu geschehn pflegt, entspricht dennoch die einmalige Umdrehung des Rades einem Wasserfaden von 75 Fuss Länge: wird also eine Geschwindigkeit von 7 Fuss gemessen, was doch nur sehr selten der Fall ist, so dreht sich das Rad in $7\frac{1}{2}$ Sekunden einmal um, und wenn diese Dauer des Versuches nicht für genügend angesehen wird, so ist sie gewiss zu einer vorläufigen Bestimmung der Geschwindigkeit ausreichend. Sobald diese aber näherungsweise bekannt ist, so kann man darüber nicht mehr in Zweifel sein, ob beim länger ausgedehnten Versuche das Rad sich zwei oder dreimal umgedreht hat. Sonach lässt sich ohne Schwierigkeit in den seltenen Fällen, wo dieses nöthig ist, die Messung auf eine etwas längere Zeit ausdehnen. Es liegt indessen durchaus kein wesentlicher Vortheil darin, wenn man die Beobachtungszeit recht gross annimmt: der unvermeidliche Fehler in der Bestimmung der Zeit wegen des nicht momentanen Anziehens und Nachlassens des Fadens erhält freilich einen um so geringeren Einfluss, je grösser die Dauer der ganzen Beobachtungszeit ist: und dasselbe findet auch mit dem unver-

meidlichen Verschieben des Rädchens statt, wenn dasselbe wie gewöhnlich nicht genau auf die Schraubengänge und den festen Zahn trifft. Diese Unsicherheit bleibt indessen wohl gewöhnlich unter derjenigen, welche durch die Ungleichmässigkeit in der Bewegung des Wassers besonders im heftigen Strome veranlasst wird. Dieselbe giebt sich schon durch das verschiedene und periodisch wiederkehrende Aufwallen zu erkennen: noch viel deutlicher zeigt sie sich aber in den Resultaten der Messung, wenn man eine grössere Anzahl von Beobachtungen unmittelbar nach einander, also unter ganz gleichen Umständen anstellt. Diese Abweichungen betragen in einem stärkeren Strome häufig 5 Procent und oft noch mehr: es erscheint daher zwecklos, die Apparate zur Darstellung einer grossen Schärfe der Beobachtung einzurichten, wenn in der Erscheinung selbst weit grössere Anomalien vorkommen.

Unter denjenigen Instrumenten, welche nicht unmittelbar die Geschwindigkeit des Wassers, sondern den Stoss messen, den dasselbe auf gewisse Flächen ausübt, ist zuerst die von Michelotti angegebene hydraulische Schnellwage zu erwähnen. Die Zeichnung in Fig. 78 erklärt ihre Einrichtung und ihren Gebrauch hinreichend, so dass nur zu erwähnen ist, dass das kleine verschiebbare Gewicht auf dem längern horizontalen Hebelsarme durch seinen Abstand von der Drehungsaxe den Stoss des Wassers misst. Ebenso wenig darf in eine nähere Beschreibung der von Ximenes benutzten Wasserfahne Fig. 79 eingegangen werden: dieselbe würde im stehenden Wasser vermöge des angehängten Gewichtes sich zugleich mit dem Zeiger links drehen, sobald sie aber von dieser Seite durch den Strom getroffen wird, so wird sie zurückgedrängt, und sie bleibt an derjenigen Stelle stehen, wo der Druck des Wassers gegen die schräge Fläche dem Zuge des Gewichtes gleich kommt. Beide Instrumente geben bei verschiedenen Strömungen die stärkere zu erkennen, und wenn man, wie oben erwähnt worden, mit ihnen Probeversuche bei bekannten Geschwindigkeiten angestellt hat, und dadurch auf empirischem Wege die Bedeutung verschiedener Ablesungen ermittelt ist, so lässt sich mit gehöriger Sicherheit auch umgekehrt aus diesen Ablesungen auf die zugehörige Geschwindigkeit des Stromes schliessen.

Häufigere Anwendung als die eben erwähnten Apparate hat der Stromquadrant Fig. 80 gefunden, dessen Gebrauch namentlich zur Messung der Geschwindigkeiten in der Nähe der Oberfläche recht bequem ist, wiewohl auch für ihn die Bemerkung über die Reduction des Stosses auf die Geschwindigkeit des Wassers gelten muss. In dem Mittelpunkte eines Quadranten wird an einem dünnen Faden eine Kugel angehängt, welche dem Stosse des Wassers ausgesetzt ist. Ausserdem ist der Quadrant mit einem Lothe versehen, welches nicht ins Wasser herabreicht, das also zur Controlirung der Aufstellung des Apparates dient. Nimmt man an, wie dieses gewöhnlich geschieht, dass der Stoss dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sei, so findet man leicht, dass diese Geschwindigkeit wieder der Quadratwurzel aus der Tangente des Winkels, den der Faden mit dem Lothe bildet, proportional sein muss. Unter der eingeführten Voraussetzung darf man nur eine Beobachtung anstellen, um den constanten Factor zu finden, und wenn dieser bekannt ist, so lässt sich leicht aus jeder beobachteten Neigung des Fadens die zugehörige Geschwindigkeit berechnen. Eytelwein hat durch mehrere Beobachtungen nachgewiesen*), dass für kleinere Geschwindigkeiten die Versuche ziemlich genau mit der Rechnung übereinstimmen: damit aber die Neigung des Fadens gegen das Loth nicht zu gross wird, empfiehlt derselbe bei grösseren Geschwindigkeiten hohle Metallkugeln zu benutzen, deren Gewicht etwa viermal so gross, als das des verdrängten Wassers ist, während bei kleineren Geschwindigkeiten Elfenbeinkugeln gebraucht werden sollen.

Wenn man mittelst dieses Instrumentes die Geschwindigkeiten in einiger Tiefe unter der Oberfläche messen will, so stellt sich der grosse Uebelstand ein, dass der Faden durch das dagegen stossende Wasser gekrümmt wird, wie in der Figur angedeutet ist: und in diesem Falle liest man den Neigungswinkel des Fadens grösser ab, als er sein würde, wenn die Kugel an einer steifen Linie befestigt wäre. Die Krümmung des Fadens nimmt aber für grössere Tiefen immer zu, man gelangt daher durch diese Beobachtungen zu dem Resultate, dass die Geschwindigkeit des Wassers

*) Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten die Baukunst betreffend. 1799. II. Seite 53 ff.

im Strome mit der Tiefe wächst. In der That haben die Messungen mit dem Stromquadranten dazu beigetragen, dass diese irrige Ansicht, welche namentlich von den ältern Italienischen Gelehrten aufgestellt war, um so leichter Eingang fand, als sie sich durch die Erfahrung zu bestätigen schien.

Ich komme nunmehr zur Beschreibung eines Instrumentes, welches sehr häufig angewendet ist, und in Frankreich auch noch vielfältig benutzt wird. Dieses ist die Pitotsche Röhre, die namentlich in ihrer ursprünglichen Gestalt so einfach war, wie kaum ein anderer Apparat, der zum messen der Geschwindigkeit dienen kann. Fig. 81 *a* zeigt die Anordnung, welche Pitot wählte*), als er die Geschwindigkeit des Stromes unter einer Brücke beobachten wollte. Die Schwimmer, die er sonst benutzt hatte, waren hier nicht brauchbar, indem sie nur ein Resultat gaben, wenn sie einen gewissen Weg zurücklegten, hier aber kam es darauf an, an einem bestimmten Punkte die Messung vorzunehmen. Eine Glasröhre, welche an beiden Enden offen, und unten im rechten Winkel gebogen war, bildete den ganzen Apparat. Dieses umgebogene Ende wurde nämlich dem Strome entgegengerichtet, während der längere Schenkel senkrecht gestellt war. Der Druck des strömenden Wassers erhob das Wasser in der Röhre und die Differenz des Wasserspiegels in derselben gegen den äussern bezeichnete die Stärke der Strömung. Lässt man alle Nebenumstände unberücksichtigt, so ist die Theorie dieses Instrumentes höchst einfach. Die Erhebung des Wasserspiegels in der Röhre über das äussere Wasser würde, wenn die Strömung nicht stattfände, sogleich ein Ausfliessen des Wassers veranlassen und zwar würde dieses mit derselben Geschwindigkeit erfolgen, welche ein Körper beim freien Herabfallen von derjenigen Höhe erlangt, welche der erwähnten Niveaudifferenz gleich kommt. Diese Geschwindigkeit wird aber im vorliegenden Falle vollständig aufgehoben, und dieses kann nur geschehn, wenn das horizontal dagegen strömende Wasser eine gleiche Geschwindigkeit hat, denn nur in diesem Falle ist der Stoss des Wassers von beiden Seiten gleich gross. Das Wasser steigt also in der Pitotschen Röhre zu derjenigen Höhe über das äussere Wasser, welche als Fallhöhe der Geschwindigkeit des

*) *Mémoires de l'Académie*, 1732.

Stroms entspricht. Hiernach würden z. B. die Geschwindigkeiten der Strömung von 1, 2, 3 und 4 Fuss sich durch eine Erhebung des Wasserstandes in der Röhre von resp. $2\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{4}$, $20\frac{1}{4}$, und $36\frac{1}{4}$ Linien zu erkennen geben.

Auf die Sicherheit der Beobachtung haben jedoch manche fremdartige Einwirkungen einen bedeutenden Einfluss, und ausserdem ist die Ablebung, insofern sie unmittelbar über dem Wasserspiegel des Stroms stattfinden muss, höchst unbequem, namentlich da die Grössen, welche man messen soll, bei geringen Geschwindigkeiten sehr unbedeutend bleiben und unter diesen Umständen kaum wahrzunehmen sind. Der Einfluss der Capillar-Attraction der Röhre lässt sich in stehendem Wasser leicht ermitteln, und sonach für jede Beobachtung in Abzug stellen, wobei aber auf die etwa stattfindende Verschiedenheit der Weite der Röhre Rücksicht genommen werden muss. Weit wichtiger sind jedoch andere Umstände, welche eine verschiedene Erhebung des Wasserspiegels in der Röhre bedingen, und welche in der Richtung des vorbeiströmenden Wassers, sowie auch vielleicht in manchen Hindernissen der Bewegung ihren Grund haben. Dubuat verband die Glasröhre mit einem Gefässe, dessen breite Seite mit einer grossen Anzahl von Oeffnungen versehen war*), wie Fig. 81 b zeigt. Diese Seite wurde dem Strome entgegengerichtet, und je nachdem die verschiedenen Oeffnungen geschlossen oder frei waren, erhob sich das Wasser zu verschiedenen Höhen in der Röhre. Im Allgemeinen stellte sich das Gesetz heraus, dass die Oeffnungen in der Nähe des Randes den Wasserstand in der Röhre verminderten, und dagegen die mittlern Oeffnungen ihn erhoben. Wenn alle Oeffnungen frei waren, erhob sich das Wasser auf 2 Zoll $7\frac{1}{2}$ Linien. Am tiefsten sank es, wenn die unterste Oeffnung in der Mitte allein offen blieb: seine Erhebung betrug alsdann nur noch 2 Zoll 3 Linien. Es erreichte aber den höchsten Stand, nämlich von 3 Zoll 5 Linien, wenn alle Oeffnungen mit Ausnahme der mittlern geschlossen wurden. Dubuat gelangt durch diese und einige ähnliche Versuche zu dem Resultat, dass man, um eine recht starke Erhebung des Wasserspiegels einzuführen, den untern Schenkel der Röhre konisch erweitern und mit einer Platte schliessen

*) *Principes d hydraulique* II. pag. 443 ff.

muss, welche in ihrer Mitte mit einer feinen Oeffnung versehen ist. In diesem Falle erreicht der Wasserstand in der Röhre nach Dubuats Untersuchung nicht nur die Höhe, welche der Geschwindigkeit entspricht, sondern übertrifft dieselbe noch um die Hälfte. Darauf gründet er die Regel, dass man von der beobachteten Höhendifferenz zuerst den dritten Theil abziehn, und alsdann die zugehörige Geschwindigkeit berechnen müsse. Diese Aenderung des Apparates gewährt noch den wesentlichen Nutzen, dass das Wasser in der Röhre nicht mehr so stark schwankt, sondern ziemlich unverändert seinen Stand behält.

Fig. 81 c zeigt endlich das Instrument in derjenigen Einrichtung, die Mallet demselben gab, und wie es heut zu Tage gewöhnlich in Frankreich benutzt wird*). Eine blecherne Röhre von 5 bis 6 Fuss Länge und 2 Zoll Weite ist am untern Ende unter einem rechten Winkel gebogen und läuft hier konisch aus, so dass die Oeffnung in der Spitze 1 Millimeter oder nahe $\frac{1}{2}$ Linie im Durchmesser hält. In der Röhre befindet sich ein Schwimmer, dessen Stiel mit einer Eintheilung versehen ist, welche eine bequeme Ablesung in einer angemessenen Höhe gestattet. Man taucht die Röhre bis zu derjenigen Tiefe, in welcher man die Geschwindigkeit messen will, senkrecht ein, und indem es darauf ankommt, dass der untere Schenkel ganz genau gegen den Strom gekehrt sei, in welchem Falle grade das Wasser in der Röhre am höchsten steigt, so dreht man sie langsam um ihre verticale Axe und beobachtet dabei den Stand des Schwimmers: das Maximum seiner Höhe ist die gesuchte Grösse. Damit man aber eine noch grössere Höhendifferenz erhält, und zugleich der Mühe überhoben wird, die Höhe des äussern Wasserstandes ganz scharf zu messen, so wird nach der erwähnten Operation sogleich der kurze Schenkel stromabwärts gekehrt und wieder durch langsame Drehung das Minimum der Höhe des Schwimmers gemessen, wobei man jedoch sehr sorgsam darauf achten muss, dass die Röhre weder gehoben noch gesenkt wird. Bei der letzten Stellung des Apparates sinkt das Wasser in der Röhre eben so tief unter den äussern Wasserspiegel, als es früher darüber stand. Die Differenz zwischen dem

*) *Genieys, essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux.* Paris 1829, pag. 72.

gefundenen Maximum und Minimum ist also doppelt so gross, als die Erhebung des Niveaus in der Röhre sonst zu sein pflegt. Der Einfluss der Capillar-Attraction wird bei dieser Beobachtungsart ganz beseitigt. Ein allgemein gültiger Coefficient zur Reduction der beobachteten Höhe auf die der Geschwindigkeit entsprechende Fallhöhe lässt sich indessen nicht darstellen, wie Dubuat dieses vermuthete, und sonach ist es nothwendig, für jedes Instrument dieser Art denselben durch besondere Versuche zu ermitteln.

Endlich erwähne ich noch des Brüningschen Tachometers, oder desjenigen Apparates, welcher von Brünings angegeben und in Holland zur Messung der Wassermenge des Rheins vielfach benutzt ist. Fig. 82 stellt denselben dar*): er stimmt im Wesentlichen mit der hydrometrischen Schnellwage überein, hat aber vor derselben, wie vor den meisten andern Apparaten den wichtigen Vorzug, dass man die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen derselben Perpendiculäre unmittelbar nach einander messen kann, ohne dass man, wie es sonst nothwendig ist, das Instrument jedesmal herausnehmen muss, um die Ablesung zu bewirken. Eine kupferne quadratische Scheibe von 6 Zoll Seite empfängt den Stoss des Wassers: ein gleichfalls kupferner Stiel derselben von quadratischem Querschnitt liegt in entsprechenden Löchern zweier Halter, so dass er sich leicht vor- und zurückschiebt. Am hintern Ende ist dieser Stiel mit einem aufwärts gekehrten Arme versehen und von hier geht eine Leine über eine Rolle bis zum obern Theile des Apparates, wo der Beobachter die Spannung der Leine, welche mit dem Druck des Wassers gegen die Scheibe übereinstimmt, an einer Schnellwage misst. Will man die Geschwindigkeit in einer andern Tiefe messen, so dreht man die in der Figur angegebene Curbel: dieselbe ist mit einem Getriebe verbunden, welches in eine gezahnte eiserne Stange eingreift. Die letzte befindet sich in der Axe des Pfables und an ihrem untern Ende ist die erwähnte Scheibe mit ihren Haltern

*) Verhandeling over de Snelheid van stroomend Water door Chr. Brünings. In den Abhandlungen der Holländischen Societät. Band 26. — Kröncke hat 1798 die Schrift ins Deutsche übersetzt, auch befindet sich in Woltmans Beiträgen Band III. ein sehr vollständiger Auszug aus derselben.

und der Rolle befestigt: alle diese Theile folgen daher jedesmal der Bewegung der Stange. Die Leine muss dabei nach Maassgabe der grössern oder geringern Tiefe verlängert oder verkürzt werden. Nach den Resultaten, welche Woltman über diesen sehr complicirten Apparat mittheilt, darf man seine Brauchbarkeit nicht in Zweifel stellen, nichts desto weniger scheint es, dass kaum in irgend einem der vorher beschriebenen Apparate die Reibung und andere zufällige Umstände einen so grossen Einfluss auf die Resultate behalten, als grade bei diesem.

Aus den an verschiedenen Stellen desselben Querprofils angestellten Geschwindigkeits-Messungen kann man die mittlere Geschwindigkeit und die ganze durchfliessende Wassermenge berechnen. Man findet die erstere unmittelbar durch das arithmetische Mittel aus allen einzelnen Geschwindigkeiten, wenn die Beobachtungen ganz gleichmässig über die Fläche des Profils vertheilt waren. Gewöhnlich ist dieses nicht der Fall, und man pflegt alsdann zunächst für jede einzelne Section, oder für jede Perpendicularäre, worin Messungen angestellt sind, die betreffende mittlere Geschwindigkeit zu suchen. Hierbei darf man wieder nur dann das arithmetische Mittel nehmen, wenn die Beobachtungspunkte gleiche Abstände von einander haben, und sich über die ganze Länge des Perpendikels gleichmässig vertheilen. Findet dieses nicht statt, so muss man auch die Höhe, welche zu jeder einzelnen Beobachtung gehört, berücksichtigen. Man theilt nämlich die ganze Länge der Perpendicularäre in so viel einzelne Theile, als Beobachtungen darin angestellt sind, und zwar wählt man die Eintheilung so, dass die Beobachtungspunkte möglichst in die Mitte der zugehörigen Theile treffen. Alsdann ergibt sich für jede einzelne Section die mittlere Geschwindigkeit, wenn man die Höhe jedes Theiles mit der gemessnen Geschwindigkeit multiplicirt, und die Summe dieser Producte durch die ganze Tiefe dividirt. Multiplicirt man ferner diese mittlere Geschwindigkeit mit der Fläche der Section, so erhält man die zugehörige Wassermenge, und die Summe aller ähnlichen Produkte giebt die ganze gesuchte Wassermenge.

Es ist leicht begreiflich, dass die Berechnung der mittlern Geschwindigkeit für jede Section bei diesem Verfahren überflüssig war. Man gelangt unmittelbar, und wenn die Beobachtungs-

punkte sehr ungleichmässig vertheilt sind, auch sicherer zum Resultate, wenn man alle Beobachtungspunkte in das Profil einträgt, und dieses in eine gleich grosse Anzahl von Theilen zerlegt, so dass die Beobachtungspunkte immer möglichst in die Mitte eines Theiles fallen. Alsdann ergibt sich die ganze Wassermenge aus der Summe aller einzelnen Geschwindigkeiten multiplicirt in die Fläche jedes zugehörigen Theiles. Die mittlere Geschwindigkeit für das ganze Profil findet man endlich, wenn man die Wassermenge durch den Flächeninhalt dividirt.

Das vor an verschiedenen Stellen beschriebene Verfahren zu stellen Geschwindigkeits-Messungen kann man die mittlere Geschwindigkeit und die ganze durchfließende Wassermenge bestimmen. Man findet die erste unmittelbar durch das mittlere Mittel aus allen einzelnen Geschwindigkeiten, wenn die Beobachtungen ganz gleichmässig über die Fläche des Profils vertheilt waren. Gewöhnlich ist dieses nicht der Fall, und man geht also an zunächst für jede einzelne Station, oder für jede Profilstelle, wenn diese ungleichmässig sind, die betreffende mittlere Geschwindigkeit zu suchen. Hierbei darf man wieder nur dann das mittlere Mittel nehmen, wenn die Beobachtungspunkte gleiche Abstände von einander haben, und sich über die ganze Länge des Profils gleichmässig vertheilen. Fällt dieses nicht aus, so muss man nach die Höhe, welche zu jeder einzelnen Beobachtung gehört, berücksichtigen. Man theilt nämlich die ganze Länge der Profilstelle in so viel einzelne Theile, als Beobachtungen darin angebracht sind, und zwar wählt man die Einteilung so, dass die Beobachtungspunkte möglichst in die Mitte der zugehörigen Theile treffen. Alsdann ergibt sich für jede einzelne Station die mittlere Geschwindigkeit, wenn man die Höhe jedes Theiles mit der gemessenen Geschwindigkeit multiplicirt, und die Summe dieser Produkte durch die ganze Tiefe dividirt. Gleichwohl man für nur diese mittlere Geschwindigkeit mit der Mittelhöhe theilt, so erhält man die zugehörige Wassermenge, und die Summe aller ähnlichen Produkte giebt die ganze gesuchte Wassermenge.

Es ist leicht begreiflich, dass die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit für jede Station bei diesem Verfahren überflüssig war. Man gelangt unmittelbar, und wenn die Beobachtungs-

Neunter Abschnitt.

Bewegung des Wassers in Strömen.

ganzlich nicht annehmbar ist, und dass man
bedenkt, dass man die Beobachtungspunkte in den
Tiefen nicht genau genug kennen kann, und dass
die Beobachtungspunkte nicht genau genug
sind, um die Geschwindigkeit der Bewegung
zu bestimmen. In Folge dieser Umstände
muss man die Beobachtungspunkte in den
Tiefen nicht genau genug kennen, und
die Beobachtungspunkte nicht genau genug
sind, um die Geschwindigkeit der Bewegung
zu bestimmen.

Zweiter Abschnitt

Bewegung des Wassers in Strömen.

Die Bewegung des Wassers in Strömen ist
eine sehr interessante Erscheinung, die
sich durch die Beobachtung der Strömung
feststellen lässt. In Folge dieser Umstände
muss man die Beobachtungspunkte in den
Tiefen nicht genau genug kennen, und
die Beobachtungspunkte nicht genau genug
sind, um die Geschwindigkeit der Bewegung
zu bestimmen.

das man den Widerstand, den das Wasser bei seinem Bewegung erfährt nicht unberücksichtigt lassen darf. Wollte man von demselben absehen, so würde man zu dem Resultate gelangen, dass die Geschwindigkeit im Verhältnisse zum Querschnitt der Röhren bilinear gegen das Quadrat der Länge fortschreitend zunehmen müsste, wie Galiläi dieses wirklich ausprobiert hat. Der Widerstand kommt indessen fortwährend weniger einem Theile der Länge zu, welche dem als einem schweren Körper beim Herabfallen entspricht, als der andern, welche zum Aufsteigen und Zurückgehen des Wassers erforderlich ist.

§. 63.

Ursache der Bewegung.

Die Schwierigkeiten, welche sich bei der Untersuchung der Bewegung des Wassers in Röhren zu erkennen geben, wiederholen sich, und vermehren sich sogar, wenn man die Bewegung des Wassers in Strombetten oder überhaupt in offenen Leitungen verfolgt. Im ersten Falle war der Querschnitt des durchfliessenden Wasserprismas oder Wassercylinders an jeder Stelle mit dem der Röhre übereinstimmend und folglich bekannt: hatte diese überall eine gleiche Weite, so stellte sich sogar auf die ganze Länge der Röhre eine gleich grosse mittlere Geschwindigkeit ein. Dazu kam noch der günstige Umstand, dass die regelmässige Form der Röhre, die fast immer cylindrisch ist, und ihre vollständige Anfüllung mit Wasser, den Widerstand gleichmässig auf den ganzen Umfang vertheilt, so dass die obere Decke genau in derselben Art einwirkt, wie die Sohle der Röhre.

Bei offenen Wasserleitungen sind die Verhältnisse wesentlich verschieden: hier bildet sich eine freie Oberfläche, d. h. das Wasser füllt die Leitung an jeder einzelnen Stelle bis zu einer solchen Höhe an, wo der Druck, wie er sich auf das Piezometer zu erkennen geben würde, gleich Null ist. Dieses findet nach dem Bernouillischen Lehrsätze*) in dem Falle statt, wenn die Geschwindigkeit des Wassers der Druckhöhe entspricht. Die Druckhöhe wird gemessen durch die Differenz des Wasserspiegels an der untersuchten Stelle, gegen irgend eine andere oberhalb belegene, von welcher man annimmt, dass sie den Druck verursacht.

Zur Vermeidung von Missverständnissen müssen hierbei manche Umstände noch näher erklärt werden. Dahin gehört zunächst,

*) Theil I. pag. 223.

dass man den Widerstand, den das Wasser bei seiner Bewegung erfährt, nicht unberücksichtigt lassen darf. Wollte man von demselben abstrahiren, so würde man zu dem Resultate gelangen, dass die Geschwindigkeit im Verhältniss zum Quadrate der Niveaudifferenz gegen das Speisebassin fortwährend zunehmen müsse, wie Galiläi dieses wirklich ausgesprochen hat. Der Widerstand consumirt indessen fortwährend wenigstens einen Theil der Beschleunigung, welche dem Wasser als einem schweren Körper beim Herabfallen ertheilt wird. Gewöhnlich wird letztere ganz aufgehoben und sehr häufig genügt sie noch nicht zur Darstellung derjenigen lebendigen Kraft, welche zur Ueberwindung der Widerstände erforderlich ist: alsdann wird hierzu noch ein Theil der Geschwindigkeit, womit das Wasser ankommt, verwendet, oder der Strom fliesst an einer Stelle langsamer, als er oberhalb floss. Dieser Fall ereignet sich jedesmal unterhalb der sogenannten Stromschnellen oder derjenigen Stellen, wo die Geschwindigkeit besonders gross ist, und wo eben diese grosse Geschwindigkeit bei Ueberwindung der Widerstände einen ungewöhnlichen Verlust an lebendiger Kraft verursacht. Die der Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe oder die sogenannte Geschwindigkeitshöhe ist daher für eine gewisse Stelle *B* im Ströme gleich der Summe aus der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit an einer andern oberhalb belegenen Stelle *A* entspricht, und aus der Niveaudifferenz zwischen *A* und *B* nach Abzug derjenigen Druckhöhe, welche zur Ueberwindung der Widerstände auf dieser letzten Stromstrecke consumirt wird. Wenn die Beschleunigung, welche aus der erwähnten Niveaudifferenz entspringt, vollständig durch die Widerstände vernichtet wird, so dass das letzte Glied gleich Null ist, so bleibt die Geschwindigkeit in *B* eben so gross, wie sie in *A* war, und man nennt in diesem Falle die Bewegung des Wassers gleichförmig.

Bei einer solchen gleichförmigen Bewegung ist die Niveaudifferenz zwischen beiden Stellen *A* und *B*, welche das Maass der lebendigen Kraft angiebt, den Widerständen auf der zwischenliegenden Stromstrecke gleich und wenn das Bette eine regelmässige Form hat, so kann man annehmen, dass die Widerstände auf die ganze Länge vertheilt sind: hieraus folgt, dass in diesem Falle auch die Niveaudifferenzen den Längen des Stromlaufes

proportional sein müssen, oder dass für die ganze Strecke, wo die gleichförmige Bewegung stattfindet, das relative Gefälle constant ist. Der Abstand des oberhalb belegenen Profiles A, von welchem aus die Druckhöhe gemessen wurde, ist sonach in diesem Falle gleichgültig, und es kommt nicht mehr auf das absolute, sondern auf das relative Gefälle des Stromes an.

Wenn dagegen das Wasser nicht gleichförmig, sondern mit beschleunigter oder verzögerter Geschwindigkeit fliesst, so lässt sich in offenen Leitungen eine unmittelbare Uebertragung des Drucks auf messbare Entfernungen nicht annehmen. In Röhrenleitungen giebt sich eine solche freilich, und selbst auf grosse Entfernungen oft sehr auffallend zu erkennen, so z. B. werden die springenden Strahlen durch den unmittelbar übertragenen Druck hervorgebracht, und dieselben verlieren sehr wenig an Sprunghöhe, wenn das hochgelegene Speisebassin auch ziemlich weit abliegt. Die freie Oberfläche der offenen Leitungen veranlasst dagegen, dass jede einzelne Stelle, welche man als Speisebassin ansehen will, den Druck nicht unvermerkt durch die nächste Stelle der Leitung fortsetzen kann, wie dieses in einer Röhre geschieht, sondern sie hebt gleich in dieser Stelle den Wasserspiegel so hoch, dass sich daselbst ein gleicher Gegendruck darstellt. In dieser Weise ist der Druck, der in jedem einzelnen Profile stattfindet, aus der Niveaudifferenz gegen das nächst vorhergehende gegeben, oder da man diese unendlich kleinen Grössen nicht mehr absolut, sondern nur vergleichungsweise messen kann, so wird er wieder durch das relative Gefälle bezeichnet.

Betrachtet man zwei Querschnitte in einem Strome, die so nahe neben einander liegen, dass sich noch eine unmittelbare Uebertragung des Drucks zwischen denselben denken lässt, so ist es zunächst klar, dass dieser Druck gegen den zweiten Querschnitt sich nicht nur in der Oberfläche darstellen wird, sondern dass er auch in jeder beliebigen Tiefe unverändert derselbe bleiben muss, weil die Niveaudifferenz zwischen je zwei Wassersäulen, die von der einen und der andern Seite gegen jeden tiefer liegenden Punkt in einer beliebigen Section des Querschnitts drücken, gleich gross ist. Wenn also die beiden angenommenen Querschnitte oben durch horizontale Linien begrenzt sind, so üben sie in ihrer ganzen Ausdehnung auf gleiche Flächen, z. B. von

1 Quadralfuss Grösse, einen vollkommen gleichen Druck gegen einander aus. Dieser Druck kann auf zwei verschiedene Arten sich äussern, nämlich entweder bewirkt er eine vermehrte Geschwindigkeit des Wassers, falls die Beschleunigung grösser ist, als die Widerstände an dieser Stelle; und falls das Strombette weiter unterhalb so beschaffen ist, dass das Wasser leicht abfließen kann. Findet dagegen der freie Abfluss in der folgenden Strecke ein Hinderniss, so verursacht der Druck des ersten Profils gegen das zweite in dem letzten ein Steigen des Wassers bis zu einer entsprechenden Höhe, wodurch das früher hier bestandene relative Gefälle vermindert wird. Diese letzte Erscheinung setzt irgend eine Aenderung, entweder im Strombette oder im Zuflusse, voraus. Sie kann im Beharrungsstande des Stromes nicht eintreten, derselbe stellt vielmehr die bereits erfolgte Ausgleichung des Druckes oder des Gefälles gegen die Geschwindigkeiten dar. Aenderungen der Geschwindigkeit können indessen auch in diesem Zustande vor sich gehen, wenn man den Weg betrachtet, den das Wasser durchfliesst: an jeder einzelnen Stelle dieses Weges muss die Geschwindigkeit aber constant sein, sobald der Zufluss und alle Umstände, welche die Strömung bedingen, unverändert bleiben.

Auf die erwähnte Weise findet auch in der Untersuchung der offenen Leitungen und der Ströme der Bernoullische Satz seine Anwendung: er bedingt eine gewisse Beziehung zwischen der Beschleunigung und der Erhebung des Wasserspiegels oder dem Gefälle. Die Widerstände, welche indessen hierbei von Einfluss sind, und welche die Beschleunigung, sowie die frühere Geschwindigkeit des Wassers aufheben, stellen sich so complicirt dar und sind ihrer Natur nach bis jetzt so unbekannt geblieben, dass es unmöglich ist, ihre Wirkungen speciell zu verfolgen oder dieselben a priori anzugeben. Diese Untersuchung zeigt nur, dass die grössere Geschwindigkeit im Strome mit dem stärkeren Gefälle zusammenfallen muss, und umgekehrt, was die Erfahrung auch wirklich bestätigt.

Dass die Gestaltung des Strombettes den wesentlichsten Einfluss auf die Bewegung des Wassers ausübt, ist an sich klar: man darf aber nicht annehmen, dass das Gefälle des Stroms, also das Gefälle im Wasserspiegel, dem Abhange des Bettes

überall entsprechen sollte. Wenn man die ganze Länge des Stromlaufes betrachtet, wird freilich durch die Angriffe des Wassers gegen den Boden, sowie durch die Ablagerungen, die an den tiefsten Stellen erfolgen, das eine sich nahe genug eben so gross, wie das andere herausstellen. Auf den einzelnen Stromstrecken zeigen sich aber sehr häufig die wesentlichsten Verschiedenheiten, und das Strombette liegt oft ganz horizontal, oder steigt wohl gar in der Richtung der Strömung an, während der Wasserspiegel beständig in dieser Richtung geneigt sein muss, weil sonst die Strömung zugleich mit dem Drucke aufhören würde. Nur in Folge sehr heftiger Wasserstürze bilden sich zuweilen unmittelbar unter denselben einzelne Wellen, in deren gegen den Strom gekehrten Fläche das Gefälle negativ wird. Bei kleineren Flüssen und namentlich neben Freigerinnen sieht man dieses zuweilen: bei grösseren Strömen kommt es wohl nie vor. Wenn aber durch die Einwirkung der Fluth oder in Folge heftiger Stürme vor den Ausmündungen der Ströme der Wasserspiegel der See gehoben wird, und auf diese Art das Gefälle stromaufwärts geneigt ist, so bildet sich auch sogleich eine entgegengesetzte Strömung, und der Strom fliesst auch in diesem Falle wieder in derselben Richtung, welche der Abhang des Wasserspiegels bedingt. Dieses Zurückströmen erfolgt soweit stromaufwärts, als das Gefälle umgekehrt ist: wo der Wasserspiegel horizontal ist, hört auch die Strömung auf und oberhalb dieser Stelle ist das Gefälle und zugleich der Strom nach der See gekehrt. Die besonderen hierbei eintretenden Umstände sollen später auseinander gesetzt werden, die Erscheinung wird hier nur deshalb erwähnt, um zu zeigen, dass sie keine Ausnahme von der allgemeinen Regel macht, und dass die Richtung und Stärke des Stroms unter allen Umständen von dem Gefälle des Wasserspiegels abhängt.

Wenn das Strombette an einer Stelle stark geneigt ist, weiter unterhalb aber wieder ansteigt, so kann das Wasser nicht früher abfliessen, als bis es den Rücken an der letzten Stelle erreicht hat: es muss also ganz unabhängig von der Neigung des Bettes und von der Geschwindigkeit, womit es ankommt, sich so lange in der Vertiefung ansammeln, bis es über jene Höhe überfliessen kann. Hierbei ereignet es sich gewöhnlich, dass diese Vertiefung

auch nach der Breite weit ausgedehnt ist, wodurch sich ein See bildet. Beim Durchgange durch Seen verliert der Strom seine Geschwindigkeit beinahe ganz. Die mittlere Geschwindigkeit ist umgekehrt der Grösse des Profils proportional, wenn daher das Profil des Sees in der gegen die Strömung normalen Richtung gemessen, im Vergleich zum frühern Profile des Stromes unverhältnissmässig gross ist, so wird die Geschwindigkeit unmerklich klein ausfallen und zugleich das Gefälle verschwinden. Diese Verminderung der Geschwindigkeit beim Eintritt des Stroms in den See, oder überhaupt in ein weiteres Bette, muss jedesmal mit einem grossen Verluste an lebendiger Kraft verbunden sein, weil die in jeder Secunde abgeführte Wassermenge an beiden Stellen gleich gross, ihre Geschwindigkeit aber sehr verschieden ist. Dieser Verlust an lebendiger Kraft erfolgt in solchem Falle keineswegs allein durch die Widerstände, welche die Seitenwände und die Sohle des Bettes verursachen, denn diese würden nicht genügen, um die mittlere Geschwindigkeit, soweit es hier erforderlich ist, zu reduciren. Es müssen daher noch andere Umstände eintreten, die diesen Erfolg herbeiführen, und als solche kann man nur die innern Bewegungen ansehen, die im Wasser selbst vorkommen und die gerade in diesem Falle sich sehr auffallend zu zeigen pflegen.

Das Wasser besitzt, wie schon früher erwähnt worden, eine starke Adhäsion: ein Wasserfaden, der in Bewegung ist, reisst daher die nächstliegenden mit sich fort, so dass an der Stelle, wo die letzteren sich befanden, eine Senkung des Wasserspiegels erfolgt. Dadurch bildet sich wieder ein Gefälle in entgegengesetzter Richtung, und dieses veranlasst das Wasser von der andern Seite her an dieselbe Stelle hinzuströmen, wo es vom Hauptstrome sogleich gefasst und aufs Neue fortgeführt wird. Die Wirbel, welche unter solchen Verhältnissen sich bilden, sind immer um so heftiger, je grösser die Differenz der mittleren Geschwindigkeit in dem ober- und unterhalb belegenen Profile ist. Im Unterwasser der Freiarchen und der natürlichen Wasserfälle, wo sich gemeinhin eine grosse Verbreitung und Vertiefung des Bettes in Folge des heftigen Wassersturzes gebildet hat, zeigen sich diese Wirbel besonders auffallend. Sie geben sich indessen bei jedem strömenden Wasser zu erkennen, und die Ursache ihrer Entstehung muss

man alsdann darin suchen, dass niemals eine ganz gleichmässige Bewegung im Wasser stattfindet und vielmehr in jedem Profile sehr verschiedenartige Geschwindigkeiten, wie auch ganz verschiedene Richtungen der Bewegung vorkommen. Die Widerstände, welche die Beschleunigung aufheben und welche das Wasser nicht diejenige Geschwindigkeit annehmen lassen, die ihm in Folge seines Falles nach den Gesetzen der Mechanik zukömmt, darf man daher keineswegs ausschliesslich in einer gewissen Einwirkung des Flussbettes suchen, die man sich als Reibung oder auf andere Weise denkt, sondern ausserdem zerstört sich die lebendige Kraft auch im Innern des Stroms selbst durch die hier stattfindenden Bewegungen, die immer aufs Neue entstehen und sich unaufhörlich gegenseitig zerstören. Einen sehr sichern Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht giebt die schon oben erwähnte Erscheinung, dass grosse mit dem Strome schwimmende Massen, wie Schiffe, sich schneller als das Wasser bewegen. Das Gewicht des Schiffes stimmt genau mit demjenigen der Wassermasse überein, die es verdrängt hat: denkt man also, dass nebeneinander ein Schiff und eine gleich schwere Wassermasse von derselben Form herabtreiben, so ist die Beschleunigung ebenso, wie der Widerstand, den beide erfahren, ganz gleich, wenigstens kann man wohl nicht annehmen, dass das Schiff weniger Widerstand, als das Wasser erfahren sollte, und nichts desto weniger eilt das Schiff jedesmal dem Wasser voran. Der Grund davon kann nur in dem Umstande liegen, dass das Schiff die lebendige Kraft, welche es beim Herabgleiten von der Ebene erhält, vollständiger conservirt, als das Wasser, und die stärkere Kraftconsumtion des letztern lässt sich nur durch die innern Bewegungen erklären. Die Erfahrung zeigt auch in der That, dass gerade an den Stellen, wo diese innern Bewegungen am grössten werden, wie z. B. unterhalb einer Stromschnelle, der Unterschied der Geschwindigkeit sich am auffallendsten darstellt, und das Schiff, obgleich es nur vom Strome getrieben wird, sich hier sehr scharf und sicher steuern lässt.

Durch die erwähnten innern Bewegungen wird der ganze Impuls, den das Wasser durch den Sturz erhielt, schnell zerstört: man sieht bald unterhalb solcher Stellen das Wasser ruhig und sanft abfliessen. Die Geschwindigkeit des Stroms ist daher von dem Gefälle der oberhalb belegenen Stellen nur in sehr geringem

Maasse abhängig, und wird vielmehr beinahe ausschliesslich durch das Gefälle bedingt, welches an derjenigen Stelle stattfindet, wo man gerade die Geschwindigkeit untersucht.

Es ergiebt sich aus dem Angeführten, dass die ganze Wassermasse, welche sich gleichzeitig in einem Profile befindet, keineswegs gleichmässig und in paralleler Richtung sich fortbewegt. Besonders an den Stellen, wo das Strombette plötzlich seine Breite oder Tiefe verändert, stellen sich sehr verschiedene Geschwindigkeiten und oft in gerade entgegengesetzter Richtung in demselben Querschnitt ein. Vor den Köpfen eines weit in den Strom reichenden Einbaues bildet sich eine heftige Strömung, an welcher die ihr zur Seite befindliche, eingeschlossene Wassermasse nicht weiter Theil nimmt, als dass sie da, wo der Strom sie berührt, fortgerissen wird und auf solche Weise in drehende Bewegung kommt, so dass neben dem Ufer das Wasser aufwärts fliesst oder einen sogenannten Widerstrom bildet. Wenn man daher, wie es immer geschieht, nur die mittlere Geschwindigkeit für jedes gewählte Profil betrachtet, so fasst man die Verhältnisse ganz unpassend auf, und es ist durchaus nicht zu erwarten, dass man auf diesem Wege zu allgemein gültigen und richtigen Resultaten gelangen sollte. Nur wenn das Bette sehr regelmässig gestaltet und von allen plötzlichen Verengungen oder Erweiterungen frei ist, darf man hoffen, zu Resultaten zu gelangen, die einigermaassen übereinstimmen. Dieses ist gerade der Fall, auf welchen die Theorie der Bewegung des Wassers in Strombetten sich fast ausschliesslich beschränkt. Bevor ich dieselbe mittheile, scheint es aber nöthig, über die Verminderung der Geschwindigkeit in der Tiefe zu sprechen, weil dieselbe wenigstens den Beweis liefert, dass nicht die inneren Bewegungen allein die lebendige Kraft zerstören, sondern auch die Wände und die Sohle des Strombettes die Bewegung hindern. Diese letzte Untersuchung würde, wenn sie zu sichern Resultaten geführt hätte, den wesentlichen Vortheil gewähren, dass man aus der an der Oberfläche gemessenen Geschwindigkeit in irgend einer Section und aus der Tiefe dieser Section deren mittlere Geschwindigkeit finden könnte.

§. 64.

Mittlere Geschwindigkeit.

Die Versumpfung, welche der Po mit seinen Nebenflüssen in der Nähe der Ausmündung in das Adriatische Meer verursachte, lenkte schon sehr frühe die Aufmerksamkeit der Italiänischen Gelehrten auf die Bewegung des Wassers in Strömen. Wie geringe indessen die Resultate dieser Untersuchungen in wissenschaftlicher Beziehung auch blieben, so bestätigten sie wenigstens Lorgna's Aeusserung, dass theoretische Speculationen zu nichts führen können, so lange man gezwungen ist, immer von unbegründeten und ganz willkürlichen Voraussetzungen auszugehen: man müsse zuerst durch Beobachtungen das wahre Sachverhältniss aufklären. Bei der spätern Behandlung desselben Gegenstandes hat man diesen letzten Weg in der That gewählt, und wie wenig auch die bis jetzt aufgefundenen Gesetze über die Bewegung des Wassers in offenen Betten als vollständig und selbst als sicher angesehen werden dürfen, so gewähren sie doch einigen Anhalt und stehen wenigstens nicht in directem Widerspruche mit den Erfahrungen.

Bei jenen älteren Untersuchungen kam es vielfach darauf an, die Wassermenge der Ströme kennen zu lernen. Hierzu war es nöthig, die Geschwindigkeiten zu ermitteln, und ein grosser Theil der oben (§. 62) beschriebenen Instrumente wurde bei dieser Gelegenheit erfunden. Insofern dieselben indessen zum Theil nur an der Oberfläche benutzt werden konnten, und andererseits solche Messungen sehr mühsam und zeitraubend ausfallen, wenn man in jedem Profile an einer grossen Anzahl von Punkten die Geschwindigkeit bestimmen will, so lag die Frage sehr nahe, ob die Geschwindigkeit durchweg dieselbe sei, oder nach welchem Gesetze sie von der Tiefe abhängt. Vielfache Hypothesen wurden hierüber gemacht, deren Anzahl bis auf die neueste Zeit noch immer durch andere vermehrt ist.

Castelli hatte sich durch Versuche davon überzeugt, dass beim Ausfluss des Wassers aus Gefässen die Geschwindigkeit der ersten Potenz der Druckhöhe proportional sei. Offenbar beruhte dieses Resultat auf einem Irrthume, derselbe wurde aber dadurch noch vergrössert, dass Castelli den Unterschied zwischen dem freien Ausfluss des Wassers aus einem Gefässe, und der Bewegung

im Strome ganz unbeachtet liess, und dieses Gesetz unmittelbar auf den letzten Fall anwandte. Man kann ohne Zweifel jeden beliebig angenommenen Querschnitt im Strome als Seitenwand eines Gefässes ansehen, aber das Wasser strömt durch die Oeffnungen in dieser imaginären Seitenwand nicht mehr frei aus, sondern es tritt in das nächst unterhalb befindliche Wasser, und erfährt von diesem einen Gegendruck, der für die tiefer liegenden Wasserfäden in derselben Art zunimmt, wie der Druck auf der stromaufwärts gekehrten Seite der Wand grösser wird. Die Differenz beider ist sonach constant, oder von der Tiefe unabhängig, und sie bedingt allein denjenigen Druck, der eine Beschleunigung verursachen kann.

Der zuletzt erwähnte Irrthum wurde lange Zeit hindurch nicht bemerkt und auf die nächsten Theorien übertragen. Nachdem Torricelli gefunden hatte, dass die Geschwindigkeit des aus einem Gefäss ausfliessenden Wassers eben so gross sei, als wenn dieses von dem Wasserspiegel bis zur Ausflussöffnung frei herabgefallen wäre, oder dass die Geschwindigkeit des Strahles der Quadratwurzel aus der Druckhöhe proportional sei; so übertrug Guglielmini dieses Gesetz unmittelbar auf die Bewegung des Wassers in Strömen, und nahm hiernach an, dass die Geschwindigkeit des Wassers von der Quelle des Stromes bis zu seiner Mündung, und an jeder einzelnen Stelle wieder von dem Wasserspiegel bis zum Boden im Verhältnisse der Wurzel aus der ganzen Fallhöhe zunehme.

Dass der erste Theil dieser Voraussetzung unrichtig sei, musste schon der Augenschein an jedem Flusse zeigen: Grandi meinte daher, dass der Satz nur in Bezug auf die Zunahme der Geschwindigkeit von der Oberfläche bis zur Sohle des Stroms an jeder Stelle Anwendung finden könne, indem die fortwährende Vergrösserung der Geschwindigkeit, welche dem ganzen Gefälle zukommt, durch vielfache Hindernisse aufgehoben werde. Hiernach müssten an jeder beliebigen Stelle eines Stroms die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen sich wie die Quadratwurzeln aus diesen Tiefen verhalten, oder indem durch dieselbe Bedingung die Ordinaten einer Parabel gegeben werden, so sollten die Geschwindigkeiten, wenn man sie in der Richtung der Strömung aufgetragen denkt, durch eine Parabel begrenzt werden. In neuerer

Zeit nennt man eine solche graphische Darstellung der verschiedenen unter einander vorkommenden Geschwindigkeiten eine Geschwindigkeits-Scale.

Nach dieser Ansicht müsste die Geschwindigkeit des Wassers in der Oberfläche gleich Null sein, was offenbar unrichtig war. Grandi legte daher den Scheitel der Parabel in eine etwas grössere Höhe, und zwar soweit über den Wasserspiegel, dass die in denselben fallende Ordinate der hier gemessenen Geschwindigkeit gleich wurde. Insofern man hierbei von den Beobachtungen über den freien Ausfluss des Wassers aus Gefässen ausging, so war die Parabel für alle Fälle gegeben, nämlich ihr Parameter musste immer $= 4.g$ sein, und alle Geschwindigkeiten waren darnach leicht zu berechnen, sobald man nur die Höhe des Scheitelpunktes kannte. Letztere liess sich aber nach Grandi's Voraussetzung auch leicht finden.

Zendrini versuchte es zuerst, aus den Beobachtungen die Form der Geschwindigkeits-Curve herzuleiten: und bediente sich dazu des Strom-Quadranten. Dieses Instrument gab aber für grössere Tiefen wegen der stärkern Biegung des Fadens, wie schon oben erwähnt worden, eine zu grosse Geschwindigkeit an. Das Resultat der Untersuchung war daher mit allen frühern Hypothesen insofern übereinstimmend, dass eine Zunahme der Geschwindigkeit für grössere Tiefen dadurch bestätigt wurde. Das Gesetz stellte sich indessen nicht so einfach dar, und Zendrini änderte dasselbe nach spätern Messungen wieder ab, so dass es theils nicht als ganz sicher angesehen, theils aber auch desshalb nicht angenommen wurde, weil die Anwendung desselben zu un bequem war.

Grandi's Annahme fand dagegen längere Zeit hindurch vollen Glauben. Frisi, der die verschiedenen vorerwähnten Theorien namhaft macht und seine Ansichten darüber ausspricht, erklärt sich zuletzt mit Grandi ganz einverstanden, wiewohl er selbst den Zweifel andeutet, dass es nicht recht erklärlich sei, wie bei einer sehr geringen Geschwindigkeit in der Oberfläche die Strömung in den untern Schichten, besonders bei grosser Tiefe, noch immer sehr stark bleiben könne, und sogar ohne allmähliche Verminderung mit einem Male ganz aufhören solle, sobald die nach und nach verminderte Geschwindigkeit in der Oberfläche gleich Null wird.

Es muss hierbei noch erwähnt werden, dass die von Grandi vorausgesetzte Zunahme der Geschwindigkeiten für grössere Tiefen, welche durch die Messungen mit dem Strömquadranten sich nicht gehörig bestätigten, bei Anwendung eines andern Instrumentes eine sehr auffallende Bestätigung fanden. Ich habe dieses Instrument früher nicht erwähnt, weil es zur Ermittlung der Geschwindigkeiten, womit das Wasser in dem Strome sich bewegt, ganz unbrauchbar ist und man nur in der Kindheit der Hydrotechnik den Einfall haben konnte, damit Geschwindigkeitsmessungen anzustellen. In der Geschichte der Wissenschaft ist es aber gerade wegen dieses Irrthums von Wichtigkeit, woher ich die Vorrichtung hier kurz beschreiben will. Es rührt von Nadi her, und wird die Nadische Flasche genannt. Es besteht aus einem Kasten von Blech, der an einer Seite mit einer Oeffnung versehen ist, durch welche das Wasser einströmt. Man kann diese Oeffnung durch Anziehn eines Drahtes willkürlich schliessen und frei machen, wenn auch der Kasten bis zu ansehnlicher Tiefe versenkt ist. Eine Röhre, die oben offen und unten mit dem Kasten verbunden ist, ist an der Decke desselben befestigt: sie dient theils zum Herablassen des Kastens, und ist von aussen mit einer Eintheilung in Fusse versehen, damit man daran die Tiefe der Einsenkung ablesen kann, andernteils hat sie aber auch den Zweck, die Luft herauszulassen, welche sonst das Einströmen des Wassers verhindern würde. Der Gebrauch dieses Instruments ist folgender: man lässt es in diejenige Tiefe herab, wo man die Geschwindigkeit messen will, und richtet es so, dass die Einflussöffnung, die Anfangs geschlossen bleibt, dem Strome gerade entgegengekehrt ist. Sodann schiebt man mittelst des erwähnten Drahtes das Ventil von der Oeffnung fort und lässt während einer gewissen Zeit das Wasser einströmen. Diese Wassermenge wird alsdann durch Nachwiegen gemessen, und indem man die Grösse der Einflussmündung kennt, so lässt sich die Geschwindigkeit leicht finden, mit der das Wasser einströmte. Eine ganz unstatthafte Voraussetzung war es aber, dass diese Geschwindigkeit dieselbe sei, mit der sich das Wasser im Strome bewegt. Man hatte durch diesen Apparat offenbar denselben Fall dargestellt, als wenn das Wasser durch eine Oeffnung in der Seitenwand eines Gefässes ausströmte, und die Resultate mussten daher in beiden Fällen übereinstimmen. Die

Gültigkeit der Schlussfolge auf die Bewegung des Wassers im Strome wurde auch sogleich angefochten, und der Versuch, das Instrument in stehendes Wasser, oder bei strömendem Wasser in entgegengesetzter Richtung einzutauchen, so dass die Oeffnung stromabwärts gekehrt war, zeigte bald durch die Uebereinstimmung der Resultate in diesen verschiedenen Fällen, dass die Geschwindigkeit der Strömung im Flusse ganz ohne wahrnehmbaren Einfluss sei.

Mariotte wies im Anfange des vergangenen Jahrhunderts durch Beobachtungen nach, dass die Geschwindigkeit weit entfernt in grösserer Tiefe zuzunehmen, sich im Gegentheile von der Oberfläche nach der Sohle des Strombettes vermindere. Er kam zu diesem Resultate, welches durch alle spätern Messungen bestätigt worden ist, indem er zwei Wachskugeln in ähnlicher Weise, wie Fig. 73 *b* zeigt, mit einander verband und sie zusammen in einem Bache von 3 Fuss Tiefe treiben liess. In die untere Wachskugel war ein Steinchen eingedrückt, welches ein hinreichendes Gewicht hatte, um diese Kugel zum Sinken zu bringen: sie wurde indessen durch die andere Kugel gehalten, mit der sie mittelst eines Fadens von 1 Fuss Länge verbunden war. Der Bach, welcher etwa 3 Fuss Tiefe hatte, war so klar, dass man auch die untere Kugel noch deutlich sehen konnte, und es zeigte sich hierbei, wie die untere in den regelmässigen Strecken immer zurückblieb, und die obere ihr am weitesten voraneilte, sobald Gras oder andere weit vorragende Gegenstände den Widerstand am Boden vermehrten. Nur in dem Falle, wenn eine plötzliche Verengung des Bettes von der Seite eintrat und man ein Anschwellen der Oberfläche wahrnehmen konnte, wie dieses bei engen Brücken der Fall war, da blieb die obere Kugel zurück und die untere eilte derselben vor *). Ueber diese letzte auffallende Erscheinung, die nach andern Untersuchungen sich viel allgemeiner zeigt, soll später die Rede sein. Nachdem auf solche Weise ein ganz anderes Sachverhältniss nachgewiesen war, als man früher erwartet und wahrzunehmen geglaubt hatte, konnte die Hypothese der Zunahme des Drucks bei grösserer Tiefe nicht länger als richtig gelten. Man sah es jetzt ein, dass der Druck, welchen ein Querschnitt des Stromes gegen den nächst unterhalb liegenden ausübt, in allen Tiefen

*) *Mariotte traité du mouvement des eaux. Partie II. Discours 3.*

gleich gross sein müsse. Wenn aber eine verminderte Wirkung dieses Drucks, oder eine geringere Geschwindigkeit in der Tiefe eintrat, so liess sich der Grund davon nur in der Einwirkung des Bettes suchen, wie dieses auch Mariotte schon voraussetzte.

Pitot stellte mit seiner Röhre gleichfalls Geschwindigkeitsmessungen in verschiedener Tiefe an, und kam dabei zu demselben Resultate, dass nämlich dicht unter der Oberfläche (in der Oberfläche selbst gestattete dieses Instrument keine Messung) die Geschwindigkeit am grössten sei und von hier nach der Tiefe stätig abnehme. Auch unter Brücken fand Pitot dieses Gesetz noch gültig: er konnte keine Abnahme der Geschwindigkeit an der Oberfläche bemerken, wie solche Mariotte beobachtet hatte.

Als Dubuat seine wichtigen Beobachtungen über die Bewegung des Wassers anstellte und daraus die Grundsätze der Hydraulik herzuleiten versuchte, war es bereits eine ausgemachte Thatsache, dass in einer offenen Wasserleitung oder in einem Strome die Geschwindigkeit in der Oberfläche selbst, oder dicht unter derselben am grössten, und unmittelbar über der Sohle am kleinsten sei. Dubuat ging davon aus, dass die mittlere Geschwindigkeit, oder das arithmetische Mittel aus allen verschiedenen, über einander liegenden Geschwindigkeiten, bei der ununterbrochenen Abnahme derselben, an irgend einer Stelle wirklich vorkommen müsse, und er stellte sich die Aufgabe, die Tiefe, in welcher die mittlere Geschwindigkeit jeder einzelnen Perpendiculäre liegt, zu finden, oder vielmehr für ein gegebenes ganzes Profil die Lage des Punktes zu ermitteln, wo die mittlere Geschwindigkeit wirklich vorkommt. Eine sichere Beantwortung dieser Fragen würde ohne Zweifel für den Strombau sehr wichtig sein, weil dadurch die Wassermenge des Stroms durch eine einzige Geschwindigkeitsmessung sich finden liesse. Eine allgemein gültige und einfache Regel zur Auffindung dieses Punktes ist indessen nach dem, was oben über die wirklich vorkommenden verschiedenartigen Strömungen gesagt ist, durchaus nicht zu erwarten, und Dubuat gelangte auch zu keinem Resultate. Dagegen glaubte er eine gewisse Beziehung zwischen der Geschwindigkeit in der Oberfläche zu der mittleren und zu der am Boden aufgefundenen zu haben *), welche von der Ausdehnung

*) *Principes d'Hydraulique* I. §. 65 und 66.

des Bettes und vom Gefälle ganz unabhängig sei, so dass unter allen Umständen zu gleichen Geschwindigkeiten in der Oberfläche auch gleiche mittlere und gleiche Geschwindigkeiten am Boden gehören. Diese Beziehung giebt Dubuat in folgender Art an. Wenn u die Geschwindigkeit in der Oberfläche, u' die am Boden, und v die mittlere bezeichnet, so ist, wenn alle diese Grössen in Pariser Zollen ausgedrückt werden

$$\sqrt{u'} = \sqrt{u} - 1$$

$$\text{oder } u' = (\sqrt{u} - 1)^2$$

$$\text{und } v = \frac{1}{2}(u + u')$$

$$= u - \sqrt{u} + \frac{1}{2}$$

Dieses Resultat ergab sich aus acht und dreissig vollständigen Beobachtungen, die an kleinen künstlichen Canälen von 2 bis 10 Zoll Tiefe angestellt waren *). Dabei wurden die Geschwindigkeiten an der Oberfläche durch kleine Stückchen Holz, und die am Boden Anfangs durch Kügelchen aus Mastix gemessen; da diese aber nicht recht rund zu sein schienen und wegen ihrer matten Farbe in der Tiefe von etwa 9 Zoll sich auch nicht mehr gehörig wahrnehmen liessen, so benutzte Dubuat in den letztern Versuchen statt ihrer rothe Johannisbeeren, die er sehr brauchbar zu diesem Zwecke fand. Endlich bestimmte er die mittlere Geschwindigkeit, indem er die in jeder Secunde abfliessende Wassermenge durch den Querschnitt des Canals dividirte.

Woltman erklärt sich gegen die von Dubuat aufgestellte Hypothese, weil sie nur aus einigen Beobachtungen abgeleitet sei und einer wissenschaftlichen Begründung entbehre, ausserdem bezweifelt er, dass die Strömung sich jederzeit bis zur Sohle des Bettes fortsetze, und meint dagegen, dass sie bei grossen Strömen schon in einer gewissen Tiefe aufhöre **). Dagegen hatte Woltman schon früher, ehe er die Hauptsätze aus dem Dubuatschen Werke den deutschen Baumeistern bekannt machte und dieselben zugleich einer gründlichen Kritik unterwarf, selbst eine andere Hypothese über die Abnahme der Geschwindigkeiten ausgesprochen ***). Aus

*) *Principes d'Hydraulique* II. §. 384—389.

**) Beiträge zur hydraulischen Architectur, I. Band. Seite 174.

***) Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamb. 1790.

eilf Beobachtungsreihen, die Brünings im Niederrhein, und einer Beobachtungsreihe, die Ximenes im Arno angestellt hatte, zog er den Schluss, dass die Abnahme der Geschwindigkeiten nicht eine gerade Linie, sondern eine krumme sei, und dass „analoge Gründe“, die jedoch nicht näher bezeichnet werden, vermuthen lassen, dass die Curve eine Parabel sei, deren Axe vertical und deren Scheitel in derjenigen Tiefe unter dem Wasserspiegel liege, wo die Geschwindigkeit ganz aufhöre. Diese Annahme wird mit den erwähnten Beobachtungen verglichen, wobei sich indessen keine sonderliche Uebereinstimmung zu erkennen giebt. Die Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Geschwindigkeiten stellen sich sogar grösser dar, als der Unterschied zwischen der Parabel und der geraden Linie. Der Scheitel der Parabel liegt aber 130 bis 160 Parameter unter dem Wasserspiegel, wodurch die Krümmung der Linie sehr geringfügig ausfällt und man dieselbe wohl ohne Nachtheil als gerade Linie ansehen dürfte. Eine am Schlusse mitgetheilte Berechnung derjenigen Tiefe, bis zu welcher nach der aufgestellten Hypothese eine Strömung von 12 Fuss Geschwindigkeit in der Oberfläche sich erstrecken würde, lässt vermuthen, dass Woltman der Ansicht war, es sei der Parameter und sonach die Parabel für alle Ströme dieselbe. Es ist indessen die ganze Hypothese nur als eine sehr unsichere Vermuthung mitgetheilt, und der Verfasser sagt selbst, dass sie noch fernerer Bestätigung bedürfe: eine Vergleichung mit andern Beobachtungen und Erfahrungen wäre demnach nur in dem Falle statthaft, wenn diese Hypothese sich dabei bestätigen sollte, was wohl nicht geschehn ist.

Eytelwein empfiehlt, gewiss mit Recht, kein complicirtes Gesetz über die Abnahme der Geschwindigkeit aufzusuchen, so lange man nicht die Ursache der vielfachen Abweichungen, welche die Beobachtungen zeigen, genauer kennt. Er schlägt daher vor, die Geschwindigkeits-Scale als eine gerade Linie anzusehn, und findet durch Vergleichung verschiedener Messungen *), dass die Geschwindigkeit durchschnittlich bei 1 Fuss Tiefe um $0,008 \cdot u$ abnimmt, wo u wieder die Geschwindigkeit in der Oberfläche bedeutet.

*) Dubuat's Grundlehren der Hydraulik, übersetzt von Kosmann, mit Zusätzen von Eytelwein. Berlin 1801. Seite 125 und Eytelwein's Handbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin 1801. Seite 198.

Wenn also h die ganze Tiefe der Section und zwar in Preussischem Fussmaasse bezeichnet, so ist die mittlere Geschwindigkeit

$$v = 0,004 \cdot hu.$$

Eine allgemeine Gültigkeit darf man von diesem Ausdrucke schon insofern nicht erwarten, als er bei sehr grossen Tiefen offenbar zu unpassenden Resultaten führt: für die Tiefe von 125 Fuss würde nämlich die Geschwindigkeit jedesmal gleich Null, und für noch grössere Tiefen sogar negativ werden. Dieser Umstand ist indessen ziemlich gleichgültig, da solche Tiefen in den Strömen gar nicht vorkommen, oder wo sie vielleicht stellenweise vorhanden sind, immer die Veranlassung fehlen wird, gerade dort die Wassermenge des Stromes bestimmen zu wollen. Ausserdem darf man von einem Ausdrucke, der nur als Näherungswerth aus einzelnen Beobachtungen hergeleitet ist, nicht erwarten, dass er in allen Fällen, und auch in solchen, die von den zum Grunde gelegten Beobachtungen wesentlich verschieden sind, noch brauchbare Resultate geben werde.

Prony *) macht darauf aufmerksam, dass das von Dubuat angegebne Gesetz über die Abnahme der Geschwindigkeit augenscheinlich zu unrichtigen Resultaten führe, sobald die Strömung sehr schwach wird. Wenn nämlich die Geschwindigkeit an der Oberfläche 1 Zoll beträgt, so ist dieselbe am Boden gleich Null: bei $\frac{1}{4}$ Zoll sind beide einander gleich, wenn die erstere aber noch kleiner wird und endlich ganz aufhört, so vergrössert sich die letzte wieder und erreicht endlich den Werth von 1 Zoll. Prony meint ferner, dass es nicht leicht darauf ankomme, die Geschwindigkeit in einer gewissen Tiefe zu bestimmen, und dass es sich vielmehr immer nur um die Auffindung der mittleren Geschwindigkeit handle. Zu diesem Zwecke wird für die letztere der Ausdruck

$$v = \frac{u+a}{u+b} u$$

vorgeschlagen, und nach den von Dubuat angestellten Beobachtungen werden die Werthe von a und b ermittelt. Es ergiebt bei Einführung des Metermaasses $a = 2,372$ und $b = 3,153$. Durch Anwendung dieser Berechnungsart stellen sich die zum Grunde

*) *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*, par R. Prony. Paris 1804. Seite 73 ff.

gelegten Beobachtungen noch besser dar, als nach der von Dubuat angegebenen Methode. Indem aber die Geschwindigkeiten an der Oberfläche oder die Werthe von u in diesen Beobachtungen viel kleiner als a und b bleiben, so ist der zweite Factor des Ausdrucks ziemlich nahe constant, und dieser Umstand veranlasste Prony, den Versuch zu machen, die Form

$$v = \alpha u$$

einzuführen. Es ergab sich alsdann $\alpha = 0,816$ und auch hierdurch wurde noch eine grössere Annäherung, als nach dem Dubuat'schen Ausdrucke erreicht. Für diese letzte Formel ist die Wahl des Maasses ganz gleichgültig: ich versuchte dieselbe auf andere, an grössern Strömen angestellte Beobachtungen anzuwenden, dabei zeigte sich indessen keine genügende Uebereinstimmung, auch gab sich überhaupt kein constantes Verhältniss zwischen der obern Geschwindigkeit und der mittleren zu erkennen.

Endlich ist die von Funk aufgestellte Theorie *) zu erwähnen, wonach die Geschwindigkeits-Scale eine logarithmische Linie wäre.

*) Darstellung der wichtigsten Lehren der Hydrotechnik von Funk. Berlin 1820. Seite 33 ff. — Bei flüchtiger Untersuchung scheint dieses Buch sehr wissenschaftlich und gründlich und für den Strombau höchst wichtig zu sein: eine grosse Anzahl von Beobachtungen wird darin mitgetheilt, die Berechnung und Vergleichung derselben erfolgt mit einem Aufwande von mathematischen Formeln, und die Resultate stellt der Verfasser als ganz sichere und sehr wichtige neue Entdeckungen dar. Das Durchlesen des Buches ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden. Man bemüht sich vergebens, dem Ideengange des Verfassers zu folgen und den Sinn oder Zweck der complicirten Rechnungen aufzufinden. Nur ein mühsames Studium, das ohne Zweifel viel zeitraubender ist, als die Zusammenstellung und Abfassung des Buches war, führt zu der Ueberzeugung, dass es ganz gehaltlos ist und in ununterbrochener Folge nur Fehlschlüsse, Irrthümer und selbst Rechnungsfehler enthält. — Wenn man solche Untersuchungen Theorien nennt, so darf man sich nicht wundern, dass diese in Misscredit gekommen sind, aber gegen ähnliche Verirrungen gewährt ein vernünftiges Studium der Mathematik den sichersten Schutz, und giebt zugleich die Mittel an die Hand, den wahren Werth solcher Speculationen zu erkennen. Die Kunst des Mathematikers besteht nicht in Formen und Formeln, sondern in der klaren Auffassung der Verhältnisse. Der grösste Mathematiker ist derjenige, der den Gesichtspunkt richtig zu wählen versteht, wodurch die Rechnungen vereinfacht werden. In der angewandten

Diese Annahme soll nach der Meinung des Verfassers „aufs Befriedigendste“ der Erfahrung entsprechen. Bei allen Beobachtungsreihen, die er aber verglichen hat, oder die er dem Leser zur beliebigen Berechnung und Vergleichung mittheilt, fällt die logarithmische Linie so nahe mit der geraden zusammen, dass der Unterschied zwischen beiden kaum dem fünfzigsten Theile derjenigen Differenz gleichkommt, welche zwischen der logarithmischen Linie und den Beobachtungen noch bleibt. Auch wenn man die Rechnungsfehler des Verfassers corrigirt und den möglichst besten Anschluss darzustellen sich bemüht, zeigt sich keine Uebereinstimmung.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, dass das Gesetz, wonach die Geschwindigkeit bei grösserer Tiefe sich vermindert, keineswegs bereits aufgefunden ist: die angestellten Beobachtungen zeigen im Gegentheil unter sich so wesentliche Differenzen, dass man entweder die Voraussetzung machen muss, das gesuchte Gesetz sei viel complicirter, als irgend eine der benannten Theorien, oder man muss den Grund der Abweichungen in den Messungen selbst suchen. Das Letzte scheint in der That der Fall zu sein: doch darf man desshalb die angestellten Messungen nicht als fehlerhaft ansehen, vielmehr ist es wohl anzunehmen, dass sie die Geschwindigkeit für die Dauer der Beobachtungszeit richtig angegeben haben. Aber diese Geschwindigkeit ist nicht constant, sie ändert sich in kürzern oder längern Perioden, und so kann es sich leicht treffen, dass man bei den Messungen in verschiedenen Tiefen derselben Verticale an einem Punkte gerade das Maximum der daselbst vorkommenden Geschwindigkeiten und an einem andern wieder das Minimum beobachtet hat, wodurch natürlich der Zusammenhang zwischen den gefundenen Resultaten aufgehoben werden muss. Von dem Vorhandensein solcher Schwankungen im strömenden Wasser überzeugt man sich leicht, wenn man einige Zeit hindurch die Strömung an einer Stelle aufmerksam

Mathematik, also beim Aufsuchen der Resultate aus Beobachtungen und bei Benutzung derselben in ähnlichen Fällen, fehlt die absolute Schärfe. Es ist alsdann nothwendig, bei jedem Schritte die Sicherheit der Schlussfolgen zu prüfen, wozu wieder die Wahrscheinlichkeitsrechnung die Mittel darbietet. — Von allem Diesen findet sich im Funkschen Werke keine Spur.

290 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

betrachtet. Es zeigen sich an der Oberfläche abwechselnd ganz verschiedenartige Bewegungen: das Aufwallen wechselt mit der Bildung von Wirbeln, und die Richtung, in welcher stellenweise das Wasser fliesst, ist einer fortwährenden Aenderung unterworfen. Dabei senkt und hebt sich der Wasserspiegel ununterbrochen am Ufer, und häufig giebt sich sogar die veränderte Strömung durch abwechselndes Rauschen dem Ohre merklich zu erkennen. Durch wiederholte Geschwindigkeitsmessungen, die man an demselben Punkte unmittelbar nach einander anstellt, überzeugt man sich auch leicht, dass die Abweichungen in den Resultaten weit stärker sind, als dass sie für Beobachtungsfehler angesehen werden können. Das Wasser bewegt sich daher nicht nur an den verschiedenen Stellen desselben Profils verschiedenartig, sondern die Schwankungen oder Wellen, die sich darin bilden, bringen an derselben Stelle abwechselnd sehr merklich verschiedene Strömungen hervor. Solche Wellenbewegungen können sich indessen nur in grossen Wassermassen gehörig ausbilden, und namentlich erfordern sie eine bedeutende Wassertiefe. Wo die Einwirkung des Bettes oder der Ufer, welche keiner Veränderung unterworfen ist, sich schon überwiegend zeigt, da verschwinden jene Schwankungen und man kann sie aus diesem Grunde in kleinen Bächen gar nicht und in kleineren Flüssen nur wenig bemerken. Zur Ermittlung der Beziehung, welche zwischen der Geschwindigkeit an der Oberfläche und in einer gewissen Tiefe darunter stattfindet, würden meines Erachtens vorzugsweise die Messungen mit schwimmenden Körpern dienlich sein, wobei wegen des grösseren durchlaufenen Weges schon eine gewisse Ausgleichung der localen Schwankungen eintreten und zugleich die temporären Ungleichmässigkeiten ihren Einfluss verlieren müssen. So lange indessen diese Ungleichmässigkeit nicht aus den Beobachtungen entfernt wird, so bemüht man sich gewiss vergebens, ein allgemein gültiges Gesetz aufzufinden.

Bei Aufstellung der vorstehend erwähnten Theorien war man häufig von der Absicht ausgegangen, die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit an der Oberfläche und der mittlern Geschwindigkeit anzugeben, um die letztere und sonach die Wassermenge der ganzen Section aus der ersten berechnen zu können. Der Nutzen dieser Untersuchung, wenn sie zu einem sichern Resultate führte, würde ohne Zweifel sehr gross sein und die Bestimmung

der Wassermenge ausserordentlich erleichtern. Es tritt indessen hierbei noch eine besondere Schwierigkeit ein, die näher beschrieben werden muss. Die meisten Beobachtungsreihen ergeben nämlich, dass die Geschwindigkeiten, wenn sie im Allgemeinen auch von oben nach unten abnehmen, doch nicht in der Oberfläche selbst am grössten sind, sondern in einer gewissen Tiefe darunter, vielleicht bei 1 Fuss, das Maximum sich vorfindet. Bei Messungen mit dem kleinen Woltmanschen Flügel, den ich oben beschrieben habe, habe ich mich wiederholentlich davon überzeugt, dass die Geschwindigkeit etwa in 6 Zoll Tiefe geringer war, als in der Tiefe von 1 Fuss. Diese Messungen wurden indess auf einem Nachen angestellt, der ohne Zweifel in ähnlicher Weise, wie das Flussbett selbst, oder wie das Ufer die Bewegung des Wassers hinderte und möglicher Weise gerade auf die obersten Wasserschichten den stärksten Einfluss ausübte. Derselbe Fall ist wahrscheinlich auch bei den meisten andern Beobachtungen vorgekommen, und wenn dieses allein der Grund von der Verzögerung des Wassers in der Oberfläche wäre, so könnte man sich demselben leicht entziehen, indem man die Geschwindigkeit daselbst durch die schwimmende Kugel ermittelt. Es kommen indessen manche Erscheinungen vor, welche sich auf diese Art nicht erklären lassen: ich habe an mehreren Bächen, wo eine hinreichende Wassertiefe stattfand, um die verschiedene Geschwindigkeit bemerken zu lassen, mich davon überzeugt, dass ohne irgend eine äussere Hemmung in der Oberfläche die Bewegung hier minder lebhaft, als in einiger Tiefe ist. In dem sogenannten Landgraben, der die Wasserleitungen in Königsberg speist, und dessen ich schon oben (Theil I. Seite 235) erwähnte, habe ich vielfach diese Erscheinung wahrgenommen. Der Graben fliesst grossentheils durch Waldungen, es fällt daher eine Menge Laub hinein, und wenn die Blätter einige Zeit im Wasser gelegen haben, so ist ihr specifisches Gewicht dem des Wassers beinahe gleich, so dass sie nach Umständen bald oben, bald unten und häufig auf lange Strecken in einer mittlern Tiefe schwimmen, wobei sie unmittelbar für diese Tiefen die Geschwindigkeiten bezeichnen. Wenn es sich nun traf, dass ein frisch herabgefallenes Blatt oben schwamm, oder auch ein schon getränktes Blatt, das aber noch die Oberfläche berührte, gleichzeitig mit einem andern Blatte herab-

trieb, welches etwas unter der Oberfläche sich hielt, so eilte das letztere jedesmal dem ersteren stark voraus. Es zeigte sich also auch hier die Verzögerung der obersten Wasserschicht, obgleich die Ufer wegen der Dossirung den geringsten Einfluss auf diese Schicht voraussetzen liessen. Die Erscheinung war auch nicht durch die Einwirkung des Windes zu erklären, indem die geschützte Lage des Grabens den Wind abhielt: ich habe aber auch bei schwachem Winde gerade in der Richtung der Strömung, wobei also die Geschwindigkeit des oben schwimmenden Körpers noch etwas vergrössert werden musste, genau dasselbe wahrgenommen.

In einem kleinen Canal mit gläsernen Seitenwänden, worin ich Wasser langsam fließen liess, zeigte sich gleichfalls die Verzögerung der Bewegung in der Oberfläche. Wenn man einen Pinsel, der mit recht dicker Tusche gefüllt ist, mit der Oberfläche des Wassers auf einen Augenblick in Berührung bringt, so sinkt die Tusche, die sich sogleich ablöst, vermöge ihres grösseren specifischen Gewichtes nach und nach in einem ziemlich scharf markirten Streifen herab, und indem derselbe an allen Bewegungen des Wassers Theil nimmt, so kann man diese durch die Richtung des Streifen sehr sicher erkennen, doch muss die Bewegung des Wassers nicht sehr stark sein, weil sich sonst die Tusche so sehr zertheilt, dass man sie nicht weiter verfolgen kann. Senkte ich den gefüllten Pinsel auf das im erwähnten Canale fliessende Wasser, so gab der herabsinkende Streifen wieder sehr deutlich die Verzögerung der Oberfläche zu erkennen: bis zur Tiefe von einigen Linien zog er sich schräge nach der Richtung der Strömung hin, ein Beweis, dass hier die Geschwindigkeit grösser war, als oben, alsdann nahm er aber ohne weitere Unterbrechung eine entgegengesetzte Richtung an und gab dadurch die Abnahme der Geschwindigkeit für grössere Tiefen zu erkennen.

Fragt man nach der Ursache dieser Erscheinung, so ist dieselbe meines Erachtens darin zu suchen, dass die Oberfläche des Wassers ein ganz anderer Körper, als das Wasser selbst ist, wie dieses schon von Rumford als sehr wahrscheinlich bezeichnet worden ist. Will man den Begriff der Flüssigkeit feststellen, so ist es am natürlichsten anzunehmen, dass die einzelnen Theilchen der Masse nicht unmittelbar auf einander liegen, sondern sich vielmehr durch gegenseitige Anziehung und Abstossung schwebend

erhalten. Dieser Zustand ist aber nur da denkbar, wo die Theilchen von andern rings umgeben sind, und sie also von allen Seiten aus eine gleiche Einwirkung erfahren. In der Oberfläche hört diese Art von Gleichgewicht auf: dasselbe muss also auf andere Weise wieder hergestellt werden, und wahrscheinlich tritt daselbst eine grössere Annäherung der Theilchen gegen einander ein. Die Oberfläche verliert sonach die Eigenschaft des flüssigen Körpers ganz oder wenigstens in gewissem Grade. Diese Voraussetzung steht mit vielen Erscheinungen im Einklange, und genügt zur Erklärung der Verzögerung der Wasseroberfläche bei kleinen Canälen und Gräben, die bei geringer Breite eine mässige Strömung zeigen. Man darf indessen hiernach nicht erwarten, dass bei einem grossen und schnell fliessenden Strome von den Ufern aus noch eine Verzögerung der Oberfläche veranlasst werden sollte. Wenn man also die obere Geschwindigkeit mittelst schwimmender Kugeln misst, so wird man wahrscheinlich sie nie kleiner finden, als in irgend einer Tiefe darunter.

§. 65.

Gleichförmige Bewegung.

Eine gleichförmige Bewegung des Wassers stellt sich in einem Strome oder in einer künstlichen Leitung an denjenigen Stellen ein, wo das Bette eine constante Breite und Tiefe hat. Der letzte Umstand setzt voraus, dass das Bette dem Wasserspiegel parallel geneigt ist: in einem Canale mit horizontalem Boden wird sich daher bei gleicher Weite desselben eine gleichförmige Bewegung in aller Schärfe nicht darstellen können. Eben so wenig wird dieselbe in einem Strome eintreten, wenn die auf einander folgenden Profile einen verschiedenen Flächeninhalt haben, denn die Bedingung, dass die mittlere Geschwindigkeit bei gleicher Wassermenge gleich bleiben soll, kann nur dadurch erfüllt werden, dass die Profile dem Flächeninhalte nach unter sich übereinstimmen. Für diesen Fall hat man verschiedentlich versucht, die Beziehung zwischen dem Gefälle und der Geschwindigkeit, mit Rücksicht auf einige andere dabei in Betracht kommende Umstände, aufzufinden: die Sicherheit der Untersuchung wird aber in hohem Grade beeinträchtigt, wenn man die Form der Profile ganz unbeachtet lässt,

294 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

oder nur die mittlere Geschwindigkeit betrachtet, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, ob dieselbe vielleicht sich stellenweise aus sehr verschiedenen, wohl gar zum Theil aus negativen, das heisst stromaufwärts gerichteten, Geschwindigkeiten zusammensetzt. Die Verhältnisse werden alsdann, wie schon oben bemerkt, so complicirt, dass man die Gesetze der Bewegung nicht mehr durch einen einfachen Ausdruck darzustellen hoffen kann. Die Untersuchung über die gleichförmige Bewegung findet daher nur auf solche Stromstrecken Anwendung, die nicht allein gleich grosse, sondern auch gleichgeformte Profile haben. Man überzeugt sich aber leicht, dass geringe Abweichungen keinen wesentlichen Einfluss haben können. Indem man nämlich die mittleren Geschwindigkeiten überhaupt nur bis auf einige Procente genau ermitteln kann, so darf man Differenzen zwischen den Profilen innerhalb dieser Grenze auch unbeachtet lassen. Diese Ausdehnung ist nothwendig, wenn man die folgenden Sätze überhaupt benutzen will.

Der erste Versuch zur Auffindung des Gesetzes, wonach die Geschwindigkeit vom Gefälle und Profile eines Stroms abhängt, rührt, so viel mir bekannt, von Brahms her. Dieser Versuch fällt aber schon so vollständig aus, dass Alles, was man heut zu Tage hierüber weiss, ungefähr darin enthalten ist. Brahms führt an*), dass die fortwährende Beschleunigung, welche man nach den Gesetzen der Mechanik erwarten sollte, bei den Strömen in der Wirklichkeit nicht vorkommt, und dass das Wasser vielmehr eine constante Geschwindigkeit in denselben annimmt. Er bezeichnet ferner die Reibung an den Seitenwänden und auf dem Boden des Bettes als diejenige Kraft, welche der Beschleunigung entgegen wirkt, und sagt, dass sie dem Flächeninhalte des Profils dividirt durch den Umfang desselben längs dem Strombette proportional sein müsse. Später**) theilt Brahms zwei Geschwindigkeitsmessungen mit. In einem Strome von 10 Fuss Tiefe der auf die deutsche Meile 4 Zoll Fall hatte, betrug die Geschwindig-

*) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst von A. Brahms. Aurich. I. Theil (ohne Jahreszahl, die Kupfer sind mit der Jahreszahl 1753 und 1756 versehen) §. 115.

**) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst anderer Theil. Aurich 1757. §. 208.

keit $1\frac{1}{6}$ Fuss in der Secunde: in einem andern Strome von gleicher Tiefe, dessen Gefälle 32 Zoll auf die Meile betrug, war die Geschwindigkeit aber $3\frac{1}{4}$ Fuss. Dabei wird erwähnt, dass diese Geschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus dem Gefälle proportional sind, oder der Quotient aus der ersten Grösse durch die letzte eine constante Zahl ist. Es ergibt sich in der That

$$1\frac{1}{6} : \sqrt{4} = 0,583$$

$$\text{und } 3\frac{1}{4} : \sqrt{32} = 0,575$$

also sehr genau übereinstimmend. Wenn man diesen Quotient durch die Quadratwurzel aus der Tiefe, also durch $\sqrt{10}$ dividirt, so erhält man dieselbe Constante, welche man auch sonst in dem Ausdruck der Geschwindigkeit einzuführen pflegt. Man muss indessen, um die Uebereinstimmung mit der üblichen Bezeichnungart darzustellen, das relative Gefälle und nicht das absolute Gefälle für eine Meile einführen. Brahm's rechnet die Meile zu 23680 Fuss, oder 284160 Zoll: man muss also die gefundene Constante, deren Werth im Mittel 0,579 ist mit $\sqrt{\frac{284160}{10}} = 168,57$ multipliciren: sie wird alsdann 97,6 also mit dem Werthe, den spätere Untersuchungen dafür ergeben haben, nahe übereinstimmend.

Im Jahre 1775 beschäftigte sich Chézy mit derselben Aufgabe. In Gemeinschaft mit Perronet bearbeitete er das Project, den Yvette-Fluss nach Paris zu führen, und dabei soll er, wie Prony*) erzählt, zur Bestimmung der passenden Profile den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional angenommen und überhaupt dieselben Voraussetzungen eingeführt haben, die man auch heute noch bei uns zu wählen pflegt. Welche Beobachtungen Chézy angestellt und welchen Werth für die Constante er daraus gefunden, oder ob dieses ganz unterblieben sein mag, wird nicht mitgetheilt. Perronet erwähnt nur kurz, dass Chézy dabei beschäftigt gewesen sei, die von demselben angestellten Untersuchungen übergeht er ganz.

Dubuat behandelt die Bewegung des Wassers in Strömen und künstlichen Canälen gemeinschaftlich mit der in Röhren-

*) *Recherches physico-mathématiques etc.* in der Einleitung pag. IV. und V. und §. 133 und 136.

leitungen, und giebt für beide dasselbe Gesetz an, welches ich schon oben (Theil I. Seite 207) mitgetheilt habe. Wichtig ist es indessen, dass bei dieser Gelegenheit einige Beobachtungen beschrieben werden, die am Canal du Jard und am Hayne-Flusse angestellt wurden: dieselben sind besonders insofern interessant, als zwischen den Beobachtungen die Reinigung des Jard-Canales vorfiel, und man also aus den vorher und nachher gefundenen Resultaten erkennen kann, welchen Einfluss das im Bette wachsende Gras auf die Bewegung des Wassers ausgeübt hat.

Bei Mittheilung von Dubuats Untersuchung bemühte sich Woltman, wie schon oben erwähnt ist, einfachere und bequemere Ausdrücke darzustellen: er fand aber, dass für offene Wasserleitungen und Flüsse die Einführung der zweiten Potenz der Geschwindigkeit angemessener sei, als wenn man in gleicher Weise, wie für Röhrenleitungen den Exponent $\frac{7}{4}$ wählt. Woltman findet hiernach die Grösse des constanten Factors gleich $0,868 \cdot g$ oder wenn der Zahlenwerth für g eingeführt und die Reduction auf Preussisches Maass vorgenommen wird, gleich 92,3. Bei dieser Herleitung sind indessen die sämmtlichen sowohl an Röhren, wie an offenen Leitungen angestellten Beobachtungen, welche Dubuat (I. §. 55) mittheilt, mit Ausnahme der ersten acht und dreissig (die sich auf sehr enge Röhren beziehen) benutzt worden. Es wurden also sieben und achtzig Beobachtungen verglichen, von denen ein und funfzig an verschiedenen Röhren und sechs und dreissig an offenen Canälen angestellt waren. Für alle diese Beobachtungen bestimmte Woltman den constanten Factor unter den beiden angeführten Voraussetzungen in Betreff des Exponent der Geschwindigkeit, und die vorstehend angegebene Grösse des Factors ist die Mittelzahl aus den Werthen, die sich bei Einführung der zweiten Potenz für die Geschwindigkeit ergaben. Indem Woltman sich davon überzeugte, dass der Ausdruck eine verschiedene Form annehmen müsse, je nachdem man die Geschwindigkeit in Röhren oder in offenen Leitungen berechnet, so dürften eigentlich die Constanten für den einen oder den andern Fall nur aus den entsprechenden Beobachtungen hergeleitet werden: die Beobachtungen, die sich auf die Röhren bezogen, hätten also hierbei unberücksichtigt bleiben müssen. Diese ganze Unter-

suchung hatte indessen, wie es scheint, vorzugsweise nur den Zweck, den Exponent der Geschwindigkeit zu bestimmen. Eytelwein berechnete später aus den sechs und dreissig Dubuatschen Beobachtungen, welche an offenen Canälen angestellt sind, und zwar unter Zugrundelegung der zweiten Potenz der Geschwindigkeit, den Werth der Constante, und fand denselben gleich 90,9.

Alle diese Herleitungen stimmen mit Ausnahme der von Dubuat gewählten sehr genau unter sich überein, und selbst der Werth der Constante stellt sich jedesmal ziemlich gleich heraus. Man ging von der Idee aus, dass bei der vorausgesetzten gleichförmigen Bewegung die Beschleunigung durch die Hindernisse, die sich der Bewegung entgegensetzen, aufgehoben wird. Die Beschleunigung kann daher als Maassstab dienen, woran man die Grösse dieser Hindernisse misst. Wenn man annimmt, dass die letzteren nur durch die Reibung des Wassers gegen das Flussbette veranlasst werden, so rechtfertigt sich die Annahme, dass sie der Grösse der berührenden Fläche proportional sind, oder wenn die Länge der untersuchten Stromstrecke gleich Eins ist, so wird der Widerstand dem Umfange des Profils oder p (natürlich mit Ausschluss der freien Oberfläche) proportional sein. Demnächst hängt der Widerstand ohne Zweifel auch von der Geschwindigkeit oder c ab, und zwar ist in den vorstehenden Untersuchungen jedesmal angenommen worden, dass es die zweite Potenz der Geschwindigkeit sei, die man wählen müsse. Man findet sonach den Widerstand oder

$$W = k^1 \cdot c^2 p$$

wo k^1 einen noch unbekanntem constanten Factor bedeutet. Die Beschleunigung ist für jede Einheit der untersuchten Wassermasse gleich αg , wenn α das relative Gefälle bedeutet: also für die ganze Masse gleich $\alpha g q$, wo q den Flächeninhalt des Querprofils und zugleich den körperlichen Inhalt der untersuchten Flussstrecke von 1 Fuss Länge bezeichnet. Man hat sonach

$$k^1 c^2 p = \alpha g q$$

die beiden Constanten k^1 und g kann man mit einander verbinden, indem man eine andere Constante k einführt, und

$$k^2 k^1 = g$$

setzt. Es ergibt sich alsdann der einfache Ausdruck

$$c = k \sqrt{\frac{\alpha q}{p}}$$

298 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

Nimmt man endlich darauf Rücksicht, dass bei grossen Strömen die Tiefe im Verhältniss zur Breite sehr geringe ist und nicht leicht mehr, als den dreissigsten Theil, oft aber nur den hundertsten Theil der letztern oder noch weniger beträgt, so kann man den Umfang des Profils oder p mit der Breite desselben verwechseln, der Factor $\frac{q}{p}$ ist alsdann nichts andres, als die mittlere Tiefe oder t . Dadurch verwandelt sich der gefundene Ausdruck in

$$c = k \sqrt{\alpha \cdot t}$$

Durch die letzte Aenderung war es möglich geworden, aus den Beobachtungen, welche Brahm's mitgetheilt hat, die Grösse des Factors k zu bestimmen. Dieser Factor ist nach dem Vorstehenden

$$\text{nach Brahm's} = 97,6$$

$$\text{nach Woltman} = 92,3$$

$$\text{nach Eytelwein} = 90,9$$

Einer gegebenen Reihe von Beobachtungen, die sämmtlich mit ihren Beobachtungsfehlern oder mit sonstigen Abweichungen behaftet sind, wird sich ein Ausdruck im Allgemeinen immer um so besser anschliessen, je mehr Constanten er enthält. Es ist sonach natürlich, dass auch die von Dubuat gemachten Beobachtungen sich besser darstellen lassen, wenn man den Ausdruck etwas mehr complicirt. Der bessere Anschluss, das heisst die Verminderung der Summe der Quadrate der noch bleibenden Differenzen, ist indessen an sich noch kein Grund zur Annahme, dass eine solche Complication oder die Einführung eines zweiten Gliedes begründet sei, man muss vielmehr die wahrscheinlichen Fehler der Constanten mit der Grösse der Constanten vergleichen, und nur wenn die ersteren unter den Werthen der letzteren bleiben, oder wenigstens nicht grösser sind, ist einige Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass die Einführung derselben wirklich durch die Verhältnisse geboten sei.

Indem man auf diesem Wege eine bessere Uebereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung erreichen wollte, so war man vorzugsweise auf die Beziehung zwischen dem Widerstande und der Geschwindigkeit aufmerksam. Brahm's hatte dieselbe nicht aus irgend einem Raisonement, sondern allein aus der Erfahrung abgeleitet: und Woltman hatte ungefähr dasselbe gethan. Die Annahme, dass der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit

proportional sei, war also bereits durch die vorliegenden Beobachtungen bestätigt, als man in Frankreich hiergegen Zweifel zu hegen anfang. Letztere würden meines Erachtens vollkommen begründet gewesen sein, wenn man zu diesem Satze allein durch das Raisonement gelangt wäre, welches ich oben (Theil I. Seite 213) näher beleuchtet habe. Coulomb und nach ihm Prony machten in dem Widerstande, den das Wasser an den Wänden erfährt, einen Unterschied zwischen der Klebrigkeit und der eigentlichen Reibung, und meinten, dass erstere der ersten Potenz, und letztere der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional sein müsse. Dadurch entstand der Ausdruck

$$\frac{\alpha q}{p} = r c + s c^2$$

Durch Vergleichung mit zwei von Chézy und sechs von Dubuat angestellten Beobachtungen, die sich sämmtlich auf Canäle oder kleine Flüsse beziehn, bestimmte Prony*) nach einer nicht ganz richtigen Methode die beiden Constanten, und gelangte dadurch zu dem Ausdrücke

$$c = -0,1748 + \sqrt{(0,03056 + 3687,5 \cdot \alpha t)}$$

wo t wie oben für $\frac{q}{p}$ gesetzt ist. Hierbei ist das Metrische Maass zum Grunde gelegt, auf Preussisches Fussmaass reducirt, verwandelt sich der Ausdruck in

$$c = -0,2230 + \sqrt{(0,0508 + 10301 \cdot \alpha t)}$$

Dieses ist die Formel, welche in Frankreich ganz allgemein zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in Canal- und Flussbetten angewendet wird.

Endlich ist noch eine Untersuchung von Eytelwein zu erwähnen, welche vor allen übrigen sich dadurch auszeichnet, dass eine Menge Beobachtungen, die an grossen Strömen angestellt sind, zur Herleitung der Constante benutzt wurden. Die Anzahl der Beobachtungen beträgt ein und neunzig, darunter befinden sich zunächst wieder die sechs und dreissig Beobachtungen, welche Dubuat über die Bewegung des Wassers in Canälen und kleinen Flüssen angestellt hat; ausserdem aber rühren sechzehn Beobachtungen von Brünings her, die an der Whaal, der Yssel und

*) *Recherches physico-mathématiques. pag. 64.*

300 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

dem Rhein gemacht wurden, vier von Woltman an den Entwässerungs-Canälen bei Kuxhafen und Ritzebüttel und fünf und dreissig an der Weser von Funk. Dieselben umschliessen so ziemlich alle Verhältnisse, welche in der Praxis vorzukommen pflegen, indem die Geschwindigkeiten von 2 Zoll bis zu $7\frac{2}{3}$ Fuss in der Secunde wechseln und die Grösse der Profile zwischen 24 Quadrat Zoll und 19000 Quadratfuss liegt. Die Abweichungen, welche der hieraus hergeleitete Ausdruck gegen die einzelnen Beobachtungen zeigt, sind keineswegs auffallend gross: er beträgt durchschnittlich etwa 10 Procent, einzelne Beobachtungen und namentlich die von Funk herrührenden, weichen aber viel stärker und sogar bis 40 Procent von dem Resultate der Rechnung ab.

Diese Arbeit scheint sonach nicht nur höchst wichtig, sondern fast erschöpfend zu sein. Wenn sie von den deutschen Hydrotecten wenig benutzt worden ist, so liegt der Grund allein darin, dass sie nur in den Schriften der Berliner Academie*) bekannt gemacht wurde. Prony theilte sie dagegen sogleich in einem Nachtrage zu seiner oben erwähnten Schrift den Französischen Ingenieuren mit**). Erst in der neusten Ausgabe des Handbuches der Mechanik und Hydraulik (von 1842) hat Eytelwein diese Abhandlung als Anhang beigefügt. In Frankreich fand diese Untersuchung grosse Anerkennung, da sie die von Prony gefundenen Resultate sehr befriedigend bestätigte. D'Aubuisson***) theilt die Constanten nur in der Art mit, wie sie Eytelwein gefunden hatte, und giebt dabei zugleich eine kurze Beschreibung der zum Grunde liegenden Beobachtungen.

Eytelwein befolgte das von Prony gewählte Verfahren, er setzte nämlich voraus, dass der Widerstand aus zweien Gliedern bestehe, von denen das eine die erste, und das andere die zweite Potenz der Geschwindigkeit als Factor enthält. Es kam darauf an, aus einer grossen Anzahl von Gleichungen (die mit der Anzahl der Beobachtungen übereinstimmt) zwei unbekannte Grössen

*) Untersuchung über die Bewegung des Wassers u. s. w. in den Abhandlungen der mathematischen Classe der Academie der Wissenschaften. Jahrgang 1813 und 1814.

***) *Recueil de cinq tables pour faciliter et abrégér les calculs des formules relatives aux mouvements des eaux.* Paris 1825.

****) *Traité d'hydraulique.* Paris 1834. §. 100.

zu ermitteln. Die wahrscheinlichsten Werthe der letztern wären diejenigen gewesen, für welche die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Geschwindigkeiten ein Minimum geworden wäre. Eytelwein führte aber statt dieser Bedingung die beiden folgenden ein: 1) die Summe dieser Abweichungen sollte ohne Rücksicht auf das algebraische Zeichen ein Minimum sein, und 2) ihre algebraische Summe sollte gleich Null werden, so dass die positiven Abweichungen sich gegen die negativen aufheben. Die Vergleichung der Rechnung mit der Beobachtung bezog sich auf die Grösse der Geschwindigkeit, dieselbe war aber, wie schon bemerkt ist, in den verschiedenen Beobachtungen bis auf das Funzigfache verschieden, es würden also die grössern Geschwindigkeiten einen ganz überwiegenden Einfluss erhalten haben, und die Werthe der Constanten würden ausschliesslich nach diesen bestimmt worden sein, wenn man die absolute Grösse der Abweichungen unmittelbar und gleichmässig berücksichtigt hätte. Das einfachste Mittel zur Vermeidung dieses Uebelstandes würde unstreitig die Einführung der relativen Werthe der Abweichungen gewesen sein: Eytelwein wählte dagegen den Ausweg, dass er die zweite Bedingung ausschliesslich auf diejenigen zehn Beobachtungen anwandte, welche die kleinste Geschwindigkeit ergaben. Das Resultat war

$$c = -0,1057 + \sqrt{(0,01118 + 8715,6 \cdot \alpha t)}$$

Die der Rechnung zum Grunde gelegten Bedingungen sind ohne Zweifel nicht die richtigen und ausserdem auch sehr willkürlich gewählt. Durch Verfolgung eines methodischen Verfahrens würden daher die Constanten etwas andere und etwas wahrscheinlichere Werthe erhalten haben. Die Aenderung bleibt indessen vergleichungsweise gegen die sonstige Unsicherheit der Resultate ziemlich geringfügig, daher verliert der vorstehende Ausdruck aus diesem Grunde nicht viel an Brauchbarkeit. Ein anderer Umstand kommt dabei indessen in Betracht, der von viel grösserem Einfluss ist, nämlich die Glaubwürdigkeit der Beobachtungen selbst.

Ich habe die Untersuchung dieses Gegenstandes, welche zu mehrfacher Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung Gelegenheit bot, als Beispiel dieser Rechnungsart bereits früher bekannt

302 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

gemacht*): die Hauptresultate sind folgende. Die sechszehn von Brünings angestellten Beobachtungen beziehn sich nach der Mittheilung von Wiebeking**) und ebenso nach der von Woltman***) nur auf Bestimmung der Wassermenge, indem man ermitteln wollte, in welchem Verhältnisse die ganze Wassermenge des Rheins sich auf dessen drei Hauptarme, die Whaal, den Leck und die Yssel vertheilte. Die angestellten Messungen ergeben den Flächeninhalt, sowie den Umfang der Profile und zugleich die mittlere Geschwindigkeit. Es fehlt indessen das Gefälle, welches man nothwendig braucht, wenn man diese Beobachtungen zur Herleitung der constanten Factoren benutzen will. Das Gefälle stand aber mit dem eigentlichen Zweck der Messung in keiner Beziehung, und es ist, wie es scheint, auch gar nicht gemessen worden. Funk†) führt dieselben Beobachtungen gleichfalls an, und zwar mit Beifügung des Gefälles. Man muss vorläufig voraussetzen, dass Funk dasselbe auf andere Weise erfahren habe. Die Angaben von Eytelwein, welche das Gefälle gleichfalls enthalten, stimmen mit denen von Funk sehr genau überein, es haben sich sogar einige Rechnungsfehler aus diesen in jene übertragen.

Die Gefälle, wie sie Funk für diese 16 Beobachtungen angiebt, sind immer für je zwei und einmal für vier Beobachtungen genau dieselben. Dieser Umstand muss schon Verdacht erwecken, denn zunächst ist es unwahrscheinlich, dass eine Aenderung des Wasserstandes um 6 und sogar um 10 Fuss gar keinen Einfluss auf das Gefälle an der Beobachtungsstelle haben sollte. Noch unwahrscheinlicher ist es aber, dass die zu verschiedenen Zeiten ausgeführten Nivellements den Neigungsquotienten, der zwischen 4000 und 9000 ist, immer bis auf die Einheit in gleicher Grösse dargestellt haben sollten.

Dieses Alles würde noch immer nicht Veranlassung geben, die Gefälle als unrichtig oder gar als fingirt anzusehn, aber eine höchst auffallende Erscheinung, die sich regelmässig wiederholt,

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin 1837. §. 37 ff.

**) Allgemeine Wasserbaukunst. Ausgabe von 1798. Theil I. Seite 344—388.

***) Beiträge zur hydraulischen Architectur. III. Seite 350—361.

†) Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst. Lemgo 1808. Seite 97.

hebt alles Zutrauen zu diesen Angaben auf. Ich versuchte nämlich diese Beobachtungen mit der vorerwähnten einfachen Formel, welche den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt, zu vergleichen, und ermittelte zu diesem Zweck aus jeder einzelnen Beobachtung die Grösse des constanten Factors k . Dabei zeigte es sich nun, dass bei der von Funk gewählten Reihenfolge die letzte Beobachtung in jeder einzelnen Gruppe diesen Factor gleich 90,9 ergab (die äussersten Grenzen sind 90,888 und 90,919), wogegen die übrigen Beobachtungen jedesmal viel stärker und durchschnittlich etwa um acht Einheiten davon abweichen. Die Wahrscheinlichkeit, dass für sieben Gruppen von Beobachtungen, die im Allgemeinen sehr abweichende Resultate geben, die letzte Beobachtung jeder einzelnen Gruppe sich immer demjenigen Werthe, den man als Mittelzahl anzusehn gewohnt ist, durch blossen Zufall soweit nähern sollte, wie es hier geschieht, ist unendlich klein: man kann nahe 56 Millionen mal Billionen gegen Eins wollen, dass der Zufall ein solches Zusammentreffen beim einmaligen Anstellen der Beobachtung nicht zeigen wird. Es ist also nach menschlichen Begriffen absolut unmöglich, dass diese Erscheinung zufällig gewesen sei: vielmehr ist es ausser allem Zweifel, dass Funk zuerst das Gefälle aus der letzten Beobachtung jeder Gruppe unter Zugrundelegung des von Eytelwein angegebenen constanten Factors berechnete, und dieses Resultat auf die übrigen Beobachtungen der ganzen Gruppe übertrug. Unbegreiflicher Weise hat aber Funk hieraus wieder die Relation zwischen dem Gefälle und der Geschwindigkeit darzustellen versucht. Wäre die Berechnung des Gefälles für jede einzelne Beobachtung angestellt worden und wären Rechnungsfehler dabei vermieden, so würde die umgekehrte Rechnung natürlich eine vollkommene Uebereinstimmung mit jeder beliebigen zum Grunde gelegten Hypothese ergeben haben.

Die von Brünings angestellten Beobachtungen, welche die wichtigsten in der ganzen Reihe sind, fallen sonach aus. Demnächst hat Eytelwein ein und funfzig Beobachtungen von Funk benutzt. Die ganze Anzahl derselben ist noch grösser, aber einige sind nicht mit aufgenommen, weil sie gar zu abweichende Resultate gegeben haben sollen. Dieser Umstand durfte eigentlich nicht Veranlassung sein, einzelne Beobachtungen auszuschliessen: der

304 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

wahrscheinlichste Werth des Resultates ist mehr durch diejenigen Beobachtungen bedingt, welche am meisten davon abweichen, als durch diejenigen, die sich am besten demselben anschliessen. Dagegen müssen die sämmtlichen Funkschen Beobachtungen ausfallen, weil hier wieder in jeder Gruppe, für welche ein gleiches Gefälle angegeben ist, einmal der constante Factor sehr genau 90,9 ist, und sonst immer sehr stark davon abweicht. Funk hat dabei nur die Aenderung eingeführt, dass nicht immer die letzte Beobachtung in jeder Gruppe zur Berechnung des Gefälles gewählt worden ist, sondern einmal eine in der Mitte liegende und in einer, die nur aus zwei Beobachtungen besteht (Funk bezeichnet sie auf Seite 98 mit dem Buchstaben L), ist die Rechnung auf beide Beobachtungen ausgedehnt und aus den Resultaten ist das Mittel genommen worden.

Die Uebereinstimmung der von Eytelwein gefundenen Resultate mit denen, welche Prony dargestellt hatte, erklärt sich hienach sehr einfach dadurch, dass Prony vorzugsweise die Beobachtungen von Dubuat benutzte; aus diesen ist aber auch die Constante 90,9 hergeleitet, und durch Einführung derselben sind wieder die Beobachtungen von Brünings und Funk ergänzt worden, welche Eytelwein seiner Untersuchung zum Grunde legte.

Es bleiben sonach ausser den von Dubuat angestellten Beobachtungen nur noch vier andere übrig, welche Woltman*) mitgetheilt hat. Die letztern beziehn sich nur auf Entwässerungsgräben von 8 bis 14 Fuss Breite, nichts desto weniger sind sie vollständig angegeben und der Name des Autors bürgt für ihre Genauigkeit. Bei Dubuats Beobachtungen am Hayne-Flusse und Jard-Canale tritt der Uebelstand ein, dass die Geschwindigkeit an der Oberfläche und nicht die mittlere gemessen ist, ausserdem müssen die Beobachtungen Nro. 175, 176 und 181 ausfallen, weil dabei das Bett sehr verwachsen oder die Strömung durch unvollständige Oeffnung einer Schleuse unterbrochen war. Es bleiben alsdann nur noch sieben Beobachtungen übrig. Diese habe ich mit den von Woltman angestellten in der Art verbunden, dass ich den letztern den doppelten Werth der ersten gegeben habe, oder

*) Beiträge zur Baukunst schiffbarer Canäle. Göttingen 1802. Seite 286—287.

ich habe vergleichungsweise angenommen, dass jene vier Beobachtungen das arithmetische Mittel aus je zwei Messungen enthalten. Alsdann finde ich nach der Methode der kleinsten Quadrate

$$\alpha t = 0,000\ 05783 \cdot c + 0,000\ 06844 \cdot c^2$$

$$\text{oder } c = -0,4225 + \sqrt{0,1785 + 14611 \cdot \alpha t}$$

Diese Ausdrücke beziehn sich wieder auf Preussisches Fussmaass. So wenig dieses Resultat wegen der beschränkten Anzahl von Beobachtungen, aus welchen es hergeleitet ist, als allgemein gültig angesehen werden darf, so verdient es doch wohl mehr Glauben, als die früher angeführten Ausdrücke. Etwas einfacher wird in vielen Fällen die Rechnung, wenn man zu der obigen Form

$$\alpha t = k \cdot c^2$$

zurückkehrt und darauf Rücksicht nimmt, dass k nicht constant, sondern von der Grösse der Geschwindigkeit abhängig sei. Vergleicht man diesen Ausdruck mit dem letzten, nämlich

$$\alpha t = r \cdot c + s \cdot c^2$$

und setzt beide einander gleich, so folgt

$$k = \sqrt{\frac{c}{r + s \cdot c}}$$

Hiernach findet man

für $c = 0,5$	...	$k = 74$
$= 1,0$	...	$= 89$
$= 1,5$	...	$= 97$
$= 2,0$	...	$= 101$
$= 2,5$	...	$= 104$
$= 3,0$	...	$= 107$
$= 3,5$	...	$= 109$
$= 4,0$	...	$= 110$

Aus den beiden Beobachtungen von Dubuat, welche sich auf die Bewegung in einem stark verwachsenen Strombette beziehn, findet man den Werth von k um den vierten bis fünften Theil kleiner, als nach dieser Tabelle.

Die von Funk aus den Beobachtungen hergeleitete Theorie übergehe ich, und ebenso auch den Versuch Krayenhoff's*);

*) Verzameling van hydrographische en topographische Waarnemingen, door Krayenhoff. Amsterdam 1813. Seite 193 ff.

306 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

nach den in Holland angestellten Messungen die Constanten in der Pronyschen Formel zu corrigiren. Die letzte Untersuchung lässt insofern kein sicheres Resultat erwarten, als die Gefälle nicht speciell an der Beobachtungsstelle und zur Zeit der Beobachtung gemessen sind, sondern nur das General-Nivellement der Ströme zum Grunde gelegt ist.

Schliesslich will ich noch die Resultate aus einer grossen Reihe von Beobachtungen anführen, welche in den Jahren 1820 bis 1822 an der Elbe im Merseburger Regierungsbezirke zu wissenschaftlichen Zwecken angestellt sind. Ich habe indessen über dieselben das Nähere nicht erfahren können, und weiss auch nicht, ob sie wirklich nur an solchen Stellen gemacht sind, wo der Strom ein ziemlich regelmässiges Bette hat, und ob die Geschwindigkeitsmessungen vollständig angestellt sind, oder vielleicht nur die Geschwindigkeit an der Oberfläche gemessen und die mittlere daraus hergeleitet sein mag. Die Werthe der Constante k ergeben sich aus denselben für die verschiedenen Geschwindigkeiten

Anzahl der Beobachtungen	Geschwindigkeiten	k im Mittel	äusserste Grenzen von k
3 . . .	1,5 . . .	104,8 . . .	75,6 bis 125,4
8 . . .	2,0 . . .	77,4 . . .	56,6 bis 87,2
15 . . .	2,5 . . .	84,3 . . .	69,4 bis 150,4
7 . . .	3,0 . . .	82,5 . . .	66,0 bis 120,3

Man sieht, dass ungeheure Abweichungen hierbei vorkommen. Wahrscheinlich sind die Beobachtungen wenigstens zum Theil in sehr unregelmässigen Stromstrecken angestellt, woraus es sich auch erklärt, dass der Werth von k im Allgemeinen viel geringer ausfällt, als er sonst gefunden worden ist.

Es ergibt sich aus der vorstehenden Zusammenstellung der verschiedenen Theorien, dass selbst der Satz über die Bewegung des Wassers in regelmässigen Strom- oder Canalbetten noch sehr unsicher ist und einer Bestätigung oder Berichtigung durch sorgfältige Beobachtungen dringend bedarf. Bis dahin bleibt es zweifelhaft, ob der Widerstand der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist, oder ob man noch ein anderes Glied, welches die erste Potenz derselben enthält, einführen muss. Aus diesem Grunde scheint wenig Veranlassung vorhanden zu sein, von dem durch Prony und Eytelwein angegebenen complicirteren Ausdrücke

Gebrauch zu machen: die einfache Formel, welche Brahm's zuerst vollständig andeutete, wenn auch nicht algebraisch ausdrückte, wird bei der noch bleibenden Unsicherheit über die Verhältnisse als ganz ausreichend angesehen werden können, besonders wenn man den Werth der Constante nach der grössern oder mindern Geschwindigkeit, die man entweder schon kennt oder erwartet, verschieden annimmt. Der wahrscheinliche Fehler dieser Constante in der obigen Tabelle (nach den Beobachtungen von Dubuat und Woltman) ist sehr bedeutend, er ergibt sich schon aus der Vergleichung mit den zum Grunde gelegten Beobachtungen gleich dem sechsten Theile der Constante, wenn man daher in dem Falle, dass die Geschwindigkeit gesucht wird, die Constante auch um mehrere Einheiten zu gross oder zu klein angenommen haben sollte, so ist der daraus hervorgehende Fehler im Vergleiche zu der noch bleibenden Unsicherheit ziemlich geringfügig.

Einige Umformungen dieses Ausdrucks finden häufige Anwendung: ich will dieselben hier mittheilen und zugleich darauf aufmerksam machen, dass man sich der Formel mit Vorsicht bedienen muss, weil eine unbedingte Benutzung derselben in manchen Fällen leicht bedeutende Fehler veranlassen kann. Es bedeutet

- q den Flächeninhalt des Querprofiles,
- p den Umfang desselben längs dem Strombette,
- b die Breite des Profiles, welches gewöhnlich gleich p ist,
- t die mittlere Tiefe, nämlich $q = b t$,
- c die mittlere Geschwindigkeit,
- l die Länge der untersuchten Stromstrecke,
- h das absolute Gefälle derselben,
- α das relative Gefälle, nämlich $\alpha = \frac{h}{l}$
- M die Wassermenge $= c q$ und
- k der constante Factor, dessen Werth in vorstehender Tabelle angegeben ist.

Die Hauptformel ist

$$c = k \sqrt{\left(\frac{h \cdot q}{l \cdot p}\right)} = k \sqrt{(\alpha \cdot t)}$$

Die Annahme von Brahm's, dass nämlich bei gleichen Tiefen die Gefälle sich wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten, ist durchaus gerechtfertigt. Die häufig gemachte Voraussetzung, dass bei verschiedenen Anschwellungen in derselben Stromstrecke

die mittleren Geschwindigkeiten sich wie die Quadratwurzeln aus den mittleren Tiefen verhalten, ist dagegen höchst gewagt, indem man nicht annehmen darf, dass bei verschiedenen Wasserständen die Gefälle unverändert bleiben. Ich habe schon früher (§. 57) aus den Wasserstandsbeobachtungen nachgewiesen, dass selbst für längere Stromstrecken, die nämlich zwischen zwei Pegeln liegen, die Gefälle zur Zeit des hohen Wassers anders sind, als zur Zeit des kleinen Wassers. Bei solchen langen Strecken findet aber noch eine gewisse Ausgleichung statt, welche bei kürzeren Stromstrecken nicht vorkommt, woselbst die Differenzen sich daher viel bedeutender herausstellen. Im Allgemeinen darf man annehmen, dass die Vertheilung des Gefälles bei höherem Wasserstande gleichmässiger wird. Die sehr starken und sehr schwachen Gefälle zur Zeit des niedrigen Wassers, vermindern und vergrössern sich bei eintretenden Fluthen, so dass sie sich dem mittleren Gefälle des Stromes für grössere Strecken nähern. Daher verringert sich bei Wehren der Unterschied zwischen dem Ober- und Unterwasser und hört oft beinahe ganz auf, sobald der Strom in grosser Höhe darüber fortgeht. Andererseits kann aber eine starke Verengung oder Verbreitung des Flussbales auch beim hohen Wasser stellenweise das Gefälle ungleichmässiger machen, als es zur Zeit des niedrigen Wasserstandes war: dieser Fall ist freilich der seltner. Ferner muss hierbei auch noch auf das verschiedenartige Gefälle beim Steigen und Fallen des Wassers aufmerksam gemacht werden.

Wenn man alle diese Umstände unberücksichtigt lässt und ohne Weiteres annimmt, dass das Gefälle an jeder Stelle unverändert dasselbe bleibt, so kann man leicht zu ganz unrichtigen Resultaten kommen. Dieses ist auch gewiss sehr häufig geschehn, namentlich bei Ermittlung der Wassermenge, welche ein Fluss zur Zeit der höchsten Anschwellungen abführt. Viel sicherer fällt eine solche Untersuchung aus, wenn man die Höhe des Wasserstandes gleichzeitig an zwei verschiedenen Stellen markirt, woraus man auf das Gefälle schliessen kann. Dabei muss aber noch erwähnt werden, dass das Gefälle, insofern es dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, einen sehr grossen Einfluss auf die letztere hat. Man muss daher besonders sorgfältig bei der Ermittlung des Gefälles verfahren, und wenn man auch meint,

dass es ungefähr noch eben so gross, wie zu einer andern Zeit sei, so kann eine geringe Differenz desselben doch in der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit und sonach der Wassermenge schon grosse Irrthümer veranlassen.

Führt man die Wassermenge statt der Geschwindigkeit in den obigen Ausdruck ein, so erhält man

$$M = kq \sqrt{\left(\frac{hq}{lp}\right)}$$

$$\text{oder } M = kbt \sqrt{\left(\frac{ht}{l}\right)}$$

$$\text{und hieraus } h = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{M^2 l}{b^2 t^3}$$

von diesem letzten Ausdrucke ist schon oben bei Gelegenheit der Bestimmung des Gefälles in den Abzugsgräben Gebrauch gemacht worden. (Theil I. §. 28.)

Wenn in einem breiten Strombette die Wassertiefe sehr verschieden ausfällt, so ist es nicht mehr statthaft, das ganze Profil im Zusammenhange zu betrachten, man muss vielmehr für einzelne Theile oder Sectionen, die ungefähr gleiche Tiefe haben, die Rechnung besonders führen. Man darf in der That in diesem Falle nicht annehmen, dass ein inniger Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen des Profiles bestehe. Das folgende Beispiel zeigt, zu welchen unpassenden Resultaten man gelangt, wenn man diese Vorsicht unbeachtet lässt.

Ein Strombett sei bordvoll angefüllt, das heisst das Wasser in demselben stehe mit der Thalfäche gleich hoch: seine Breite sei 500 Fuss und seine mittlere Tiefe 20 Fuss. Das Wasser steige hierauf noch einen Fuss höher und verbreite sich dadurch auf beiden Seiten der horizontal angenommenen Thalsole noch um 2000 Fuss. Nimmt man an, dass in beiden Fällen das relative Gefälle, sowie auch der Factor k derselbe bleibe, so hängt die Wassermenge, welche abgeführt wird, nur noch von dem Producte

$$b \cdot \sqrt{t^3} = u$$

ab. Im ersten Falle war $b = 500$ und $t = 20$, also $u = 44720$. Im letzten Falle dagegen ist $q = 12500$, $b = 2500$, daher $t = 5$, und hieraus ergibt sich $u = 27950$. Nach dieser Rechnung würde also der Strom, sobald er noch einen Fuss höher anschwillt,

310 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

und während er dasselbe Gefälle behält, weit weniger Wasser, nämlich nur etwas über die Hälfte des früheren abführen, was offenbar unrichtig ist. Dasselbe Resultat würde sich noch viel auffallender herausstellen, wenn man statt der Vergrößerung des Wasserstandes um einen vollen Fuss, nur ein Wachsen von wenigen Zollen angenommen hätte. Wenn man dagegen nach der angegebenen Regel die verschiedenen Theile des Profiles besonders behandelt, so findet man für das höhere Wasser den Werth von u

im eigentlichen Strombette . . . 48120

in der inuindirten Thalfläche . . . 2000

also zusammen 50120.

Dieses Resultat enthält keinen Widerspruch, und ebenso giebt bei dieser Berechnungsart jede noch so geringe Vermehrung des Wasserstandes eine Vermehrung der Wassermenge zu erkennen, wie dieses ohne Zweifel auch geschehn muss, weil das über die Thalfläche fließende Wasser unmöglich den Strom im eigentlichen Bette verzögern kann, wenn es auch selbst langsamer fließt.

Schliesslich muss noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die vorstehenden Gesetze über die gleichförmige Bewegung noch Anwendung finden können, wenn auch das relative Gefälle oder α nicht constant ist. Die Voraussetzung, welche bei der Herleitung dieser Gesetze gemacht wurde, bezog sich nämlich allein darauf, dass die mittlere Geschwindigkeit oder c in den auf einander folgenden Profilen sich nicht ändere, denn nur in diesem Falle durfte man annehmen, dass der Widerstand genau so gross sei, wie die Beschleunigung. Indem nun

$$q = \frac{M}{c}$$

so folgt auch, dass bei gleicher Wassermenge die Flächeninhalte der Profile, oder die Werthe von q einander gleich sein müssen. Die früher angegebene Formel ergibt aber

$$\frac{c^2}{q \cdot k^2} = \frac{\alpha}{p}$$

Der Werth des Bruches auf der linken Seite ist wegen der Bedingung der gleichförmigen Bewegung constant, daher muss auch der auf der rechten Seite stehende Ausdruck constant sein, und dieses geschieht nicht nur, wenn α und p an sich unverändert

bleiben, sondern auch wenn sie einander proportional sind, oder mit andern Worten, wenn das Gefälle zu der Breite des Stromes im geraden, oder zu der mittleren Tiefe im umgekehrten Verhältnisse steht. Wird diese Bedingung erfüllt, so ist andererseits auch

$$\frac{c^2}{q \cdot k^2} \text{ oder } \frac{c^3}{M \cdot k^2} \text{ oder } c^3$$

und folglich auch c oder die mittlere Geschwindigkeit constant, oder es tritt die gleichförmige Bewegung ein. Dieses Resultat setzt aber keineswegs voraus, dass der Widerstand dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit proportional sein müsse, es folgt vielmehr in ganz gleicher Weise aus jeder andern Beziehung, die man zwischen dem Widerstande und der Geschwindigkeit annehmen mag.

Anmerkung. Es sei mir erlaubt, darauf aufmerksam zu machen, dass nach einer Mittheilung des Herrn Lahmeyer in Hannover derselbe sowohl aus fremden, wie auch aus einer grossen Anzahl eigner Messungen die Werthe der Constanten in der Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers in Strombetten nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet hat. Die ganze, gewiss sehr interessante Untersuchung wird in Kurzem durch den Verfasser dem Publikum vorgelegt werden, sie bezieht sich aber nicht allein auf die Bestimmung der Constanten, sondern auch auf die Form des Ausdrucks. Manche Veränderungen desselben, und namentlich die Einführung einiger Umstände, die man dabei bisher unberücksichtigt gelassen hat, wie z. B. den Krümmungshalbmesser des Stromlaufes, machten es möglich, die Beobachtungen mit den Resultaten der Rechnung in bessere Uebereinstimmung zu bringen.

§. 66.

Ungleichförmige Bewegung.

Die geringen Erfolge, welche man bei Untersuchung der gleichförmigen Bewegung des Wassers in Strom- und Canalbetten bisher erreicht hat, lassen nicht erwarten, dass man in der Aufindung der Gesetze für die ungleichförmige Bewegung, oder für den Fall, dass die mittlere Geschwindigkeit sich verändert, glücklicher gewesen sei. Die allgemeinen hydrodynamischen Be-

dingungen, wie sie von Euler *) und Andern angegeben und durch Differenzial-Gleichungen ausgedrückt sind, bieten nicht nur sehr grosse und oft ganz unüberwindliche Schwierigkeiten in der Rechnung, wenn man sie auf bestimmte Fälle anwenden will, sondern ausserdem können sie auch nur dadurch brauchbar werden, dass man die Kraft, womit die Wassertheilchen gegenseitig an einander haften, gehörig in Rechnung stellt, und auf diese Weise versucht, alle einzelnen Systeme der Bewegung, welche sich erfahrungsmässig wirklich bilden, mit dem Calcül zu verfolgen, und deren Zusammenhang und Einwirkung unter sich nachzuweisen. Eine solche Untersuchung ist so wenig vorbereitet, und erscheint auch so übermässig verwickelt, dass man sich davon kein Resultat versprechen kann, und auch wohl noch nie der Versuch gemacht ist, sie durchzuführen. Es bleibt daher nur übrig, gewisse einfache Combinationen zum Grunde zu legen und aus diesen andere mehr complicirte zusammzusetzen. Wenn dieser Weg, der allerdings leicht irre führen kann, mit gehöriger Vorsicht verfolgt und beständig an Beobachtungen angeschlossen wird, so erscheint er keineswegs verwerflich; er ist vielmehr wohl der einzige, von dem man einige Erfolge erwarten kann, aber man darf dabei nie vergessen, dass die Voraussetzungen, welche man einführen muss, nur innerhalb gewisser Grenzen als richtig angesehen werden dürfen und die strenge mathematische Schärfe denselben abgeht.

Die französischen Ingenieure haben in neuerer Zeit wiederholentlich diesen Weg versucht, und auf demselben eine Aufgabe zu lösen sich bemüht, welche ohne Zweifel für den Strombau sehr wichtig ist, nämlich die der permanenten Bewegung des Wassers. Man versteht darunter diejenige gleichförmige oder ungleichförmige Bewegung, welche bei constantem Zuflusse eintritt. Die letzte Bedingung setzt voraus, dass in jeder einzelnen Stelle des Stromlaufes die Geschwindigkeit, sowie auch alle übrigen Umstände unverändert dieselben bleiben, weil das Wasser immer auf ganz gleiche Weise zufließt, und daher jedes einzelne

*) Euler machte diese Arbeiten in den neuen Commentarien der Petersburger Academie bekannt. Brandes hat sie übersetzt, und unter dem Titel: „Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper, dargestellt von Leonhard Euler, übersetzt von H. W. Brandes. Leipzig 1806.“ herausgegeben.

Wassertheilchen, wenn es auch bald schneller und bald langsamer fortschreitet, sich doch genau ebenso bewegen muss, wie das vorhergehende und das nachfolgende. Jeder Wasserfaden, der den Weg der in ihm befindlichen Theilchen bezeichnet, nimmt daher eine constante Form an, und seine Richtung, sowie auch seine verschiedenen Querschnitte, welche umgekehrt der Geschwindigkeit an jeder einzelnen Stelle proportional sind, sind von der Zeit ganz unabhängig und zeigen an jedem einzelnen Punkte keine Veränderung. Diese Annahme stimmt mit der Erfahrung nicht ganz überein, insofern bei grössern Strömen, wo die Adhäsion des Wassers oder andere Kräfte ihren überwiegenden Einfluss verlieren, eine periodische Schwankung oder eine Art von Wellenbewegung einzutreten pflegt. Nichts desto weniger kann man hiervon wohl absehn, und die Resultate würden noch brauchbar sein, wenn die übrigen Voraussetzungen richtig wären.

Prony hatte die Gesetze für diese Art von Bewegung nur im Allgemeinen angedeutet: Belanger *) ist, soviel mir bekannt, der Erste, der sie speciell angab, und ihm folgten Vauthier **), Coriolis ***)) und Saint-Guilhem ****). Im Allgemeinen kommen diese sämmtlichen Untersuchungen auf Folgendes heraus.

Bei der gleichförmigen Bewegung wird die Beschleunigung vollständig durch die Widerstände aufgehoben, man findet daher mit Einführung der frühern Bezeichnung

$$\alpha = \frac{p}{q} \cdot \frac{c^2}{k^2}$$

oder nach dem von Prony angegebenen Ausdruck

$$\alpha = \frac{p}{q} \cdot (rc + sc^2)$$

In beiden Fällen ist der zweite Factor auf der rechten Seite eine Function von c , daher ist allgemein

$$\alpha = \frac{p}{q} \cdot fc$$

*) *Essai sur la solution numérique de quelques problèmes, relatifs au mouvement permanent des eaux courantes* par Belanger. Paris 1828.

**) *Annales des ponts et chaussées*. 1836. I. p. 241 ff. und 1836. II. p. 362 ff.

***)) Ebendasselbst 1836. I. p. 314 ff.

****) Ebendasselbst 1838. I. p. 249 ff.

314 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

Das Gefälle kann man aber auch ausdrücken durch

$$\alpha = \frac{dh}{dl}$$

daher folgt für die gleichförmige Bewegung

$$dh = \frac{p}{q} \cdot fc \cdot dl$$

Wenn dagegen die Bewegung nicht gleichförmig ist, sondern die Geschwindigkeit zunimmt, so muss das Gefälle gleichfalls grösser werden, und zwar um so viel, dass seine Zunahme der Zunahme der Geschwindigkeit entspricht. Bezeichnet man daher die Druckhöhe, welche zur Darstellung dieser Zunahme der Geschwindigkeit erforderlich ist, durch h' , so hat man

$$dh = \frac{p}{q} \cdot fc \cdot dl + dh'$$

oder wenn man endliche Differenzen statt der Differenziale einführt

$$\Delta h = \frac{p}{q} \cdot fc \cdot \Delta l + \Delta h'$$

Um ein Beispiel von der Anwendung dieser Gleichung zu geben, nehme ich an, dass in einem Strome die mittlere Tiefe, sowie auch die mittlere Geschwindigkeit 2 Fuss beträgt, und letztere sich in einer Strecke von 10 Ruthen Länge um 1 Fuss vergrössert. $\Delta h'$ ist demnach die Fallhöhe, welche der Geschwindigkeit von 1 Fuss entspricht, oder

$$\Delta h' = 0,016$$

ferner
$$\frac{p}{q} = \frac{1}{t} = 0,5$$

$$fc = \frac{c^2}{k^2} = \frac{2^2}{100^2} = 0,0004$$

$$\Delta l = 120$$

folglich
$$\Delta h = 0,024 + 0,016 = 0,04 \text{ Fuss.}$$

Das Zeichen von $\Delta h'$ verwandelt sich in Minus, wenn die Geschwindigkeit in dem unterhalb liegenden Querschnitte geringer, als in dem obern ist. Wenn man die Querschnitte und sonach die Geschwindigkeiten schon vorher kennt, so kann man, wie es im gewählten Beispiele geschehn ist, den Werth von $\Delta h'$ unmittelbar berechnen; man kann dasselbe aber auch unter Zugrundelegung der allgemeinen dynamischen Gesetze auf andere Art aus-

drücken, und hierauf beruht der wesentlichste Unterschied in den Resultaten der verschiedenen Untersuchungen.

Ein näheres Eingehn in diesen Gegenstand erscheint insofern entbehrlich, als es bisher nicht geglückt ist, diese Ausdrücke mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen *). Der Grund, weshalb die Resultate der Beobachtung so wesentlich von denen der Rechnung abweichen, liegt ohne Zweifel zum Theil in der bereits nachgewiesenen Unsicherheit des Gesetzes über die gleichförmige Bewegung des Wassers, zum Theil aber auch gewiss in der Annahme, dass das Gefälle nur die Geschwindigkeit in der Richtung des Stromlaufes hervorbringen soll, welche sich in der mittleren Geschwindigkeit zu erkennen giebt, während in der Wirklichkeit sich auch noch die verschiedensten innern Bewegungen bilden, die oft den grössten Theil der lebendigen Kraft des Wassers consumiren, und die gleichfalls nichts anderes, als eine Wirkung des Gefälles sind. Namentlich zeigt sich dieses, wie bereits erwähnt, unterhalb der Stromschnellen oder der Wasserstürze, wo gemeinhin auf einem sehr beschränkten Raume die ganze mitgetheilte lebendige Kraft zerstört wird, so dass das Wasser schon in geringer Entfernung seine Beschleunigung vollständig verloren hat und sehr sanft abfließt. Wollte man die angegebene Formel noch auf diesen Fall anwenden, so würde man ganz unstatthafte Resultate erhalten, und überhaupt scheint dieser Grund es auch zu rechtfertigen, wenn man annimmt, dass wenigstens in allen Fällen, wo eine Verminderung der Geschwindigkeit eintritt, die mittlere Geschwindigkeit mehr durch das Gefälle an jeder Stelle, als durch die Geschwindigkeit bedingt wird, womit das Wasser ankommt. Die innern Bewegungen, welche sich bei jeder Veränderung der Strömung sehr stark zeigen, sind in der aus der Erfahrung abgeleiteten Formel für die gleichförmige Bewegung bereits berücksichtigt worden, und wahrscheinlich heben sie den grössten Theil der Beschleunigung auf, oder sie veranlassen den stärksten Widerstand in der Strömung des Wassers. Besonders heftig werden sie da, wo der Strom aus einem engeren Profile in ein weiteres übergeht, oder wo seine mittlere Geschwindigkeit

*) Vergleiche *Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières*, par M. Minard. Paris 1841. p. 38 bis 42.

sich vermindert. Indem es an allen Beobachtungen noch fehlt, dürfte sich für diesen Fall die einfachste Voraussetzung rechtfertigen, dass der Ueberschuss der Geschwindigkeit des ankommenden Wassers sich in diesen innern Bewegungen consumirt, und sonach die mittlere Geschwindigkeit nur von dem Gefälle an jeder einzelnen Stelle abhängt, ebenso wie dieses auch bei der gleichförmigen Bewegung geschieht.

Bei der Anlage von Wehren wird der Baumeister am häufigsten in die Nothwendigkeit versetzt, die ungleichförmige Bewegung des Wassers in einem Strome zu untersuchen. Es ist in diesem Falle auch durchaus erforderlich, die Aenderungen, welche durch einen solchen Bau in der Strömung und namentlich im Wasserstande veranlasst werden, schon vorher zu kennen, weil man sonst besorgen muss, dass entweder der Zweck der Anlage verfehlt wird, oder die angrenzenden Ländereien durch Versumpfung leiden. Die hierbei eintretenden Erscheinungen sind schon vielfach untersucht worden, doch unglücklicher Weise mehr auf speculativem, als auf empirischem Wege. Sie beziehn sich theils auf die Stauhöhe oder diejenige Höhe, zu welcher der Wasserspiegel unmittelbar vor dem Wehre gehoben wird, und theils auf die Stauweite, oder die Entfernung, in welcher sich noch eine Erhebung des Wassers zu erkennen giebt.

Die Bestimmung der Stauhöhe ist vergleichungsweise ziemlich leicht: der Wasserspiegel erhebt sich nämlich so hoch über den Rücken des Wehrs, bis das Durchflussprofil und die Geschwindigkeit hinreichend gross wird, um die ganze zufließende Wassermasse abzuführen. Die Geschwindigkeit des überstürzenden Wassers hängt aber von dem Drucke, also von der Höhe des Staus ab, und letztere bedingt daher ebensowohl diese Geschwindigkeit, wie die Grösse des Profils. Die Schwierigkeit, der man begegnet, liegt nur in der Bestimmung des Contractions-Coefficienten, von dem es natürlich zweifelhaft ist, ob er bei grossen Wehren sich noch eben so herausstellt, wie bei kleinen Seitenöffnungen eines Gefässes. Es fehlt hierüber noch sehr an entscheidenden Versuchen, und meines Erachtens ist es sehr wahrscheinlich, dass dieser Coefficient sich immer um so mehr der Einheit nähern wird, je grösser das ganze Profil im Verhältnisse zu dem durch das Wehr gesperrten Theile desselben ist.

Die von Castel *) angestellten Untersuchungen haben für geringe Durchflussprofile die Grösse des Coefficienten und zugleich seine Abhängigkeit von manchen Umständen ergeben, ob man aber diese Resultate unmittelbar auf die Wehre in Flüssen und Strömen übertragen darf, ist doch zu bezweifeln. Nichts desto weniger verdienen sie mitgetheilt zu werden. Die Versuche bezogen sich sämmtlich auf den Fall, dass der Unterwasserspiegel den Rücken des Wehrs nicht erreichte, und sonach ein freier Ueberlauf, oder wie man zu sagen pflegt, ein vollkommener Ueberfall stattfand. Bedeutet k den noch unbekanntem Contractions-Coefficienten, b die Breite der Oeffnung, und H den Wasserstand darüber oder unmittelbar davor, so ist nach dem früher entwickelten Ausdruck (Theil I. Seite 175) die überfliessende Wassermenge, oder

$$M = \frac{4}{3} k b H \sqrt{g H}$$

Hiernach sollte man erwarten, dass die Wassermenge theils der Breite der Oeffnung und theils der Quadratwurzel aus der dritten Potenz des Wasserstandes proportional sei. Daß letzte fand in der That statt, das erste jedoch nicht: man muss daher für den Coefficienten eine gewisse Abhängigkeit von der Breite der Oeffnung annehmen. Zwei Reihen Beobachtungen, welche an Canälen von $1\frac{1}{6}$ und $2\frac{1}{3}$ Fuss Breite angestellt wurden, ergaben, dass der Coefficient nicht von der absoluten Breite der Oeffnung, sondern von dem Verhältnisse derselben zur Breite des Oberwassers abhängig. Hatte der Ueberfall nur den dritten Theil der Breite des Oberwassers, so war der Coefficient 0,60

bei der halben Breite 0,61

bei drei Viertel derselben 0,64

und wenn beide gleiche Breite hatten 0,665

War dagegen die Breite des Ueberfalles unter 3 Zoll, und hatte der Obercanal wenigstens eine viermal so grosse Breite, so nahm der Coefficient wieder zu, und er wurde sogar gleich 0,67, wenn der Ueberfall nur $4\frac{1}{2}$ Linien breit war. Endlich verdient hier

*) *Expériences sur l'écoulement de l'eau par des déversoirs faites à Toulouse par M. Castel: communiquées par d'Aubuisson. Annales des Mines III. Série. Tome XI. 1837. II.* — Die frühere Untersuchung von Castel ist in den *Annales des ponts et chaussées* 1837. I. pag. 113 ff. mitgetheilt.

318 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

auch noch erwähnt zu werden, dass das Wasser zur Seite des Wehrs, in Folge der plötzlichen Unterbrechung seiner Bewegung, an dieser Stelle etwas höher, als vor dem Wehre stand. Der Unterschied betrug nach diesen Beobachtungen im Maximum etwa $1\frac{1}{2}$ Linien, und er verminderte sich, sobald weniger Wasser über das Wehr abgeführt wurde: die Breite des Wehrs war dabei etwa 1 Fuss.

Hat das Wasser schon vor dem Wehre eine merkliche Geschwindigkeit, so wird diese ohnstreitig den Uebersturz befördern, oder bei gleicher Stauhöhe die Wassermenge vergrössern. In den meisten Fällen, und namentlich wenn die Höhe des Wasserstandes auf dem Wehrrücken nicht gross ist, wird der Einfluss dieser Geschwindigkeit gleichfalls unbedeutend sein, und wenn man von demselben Rechnung tragen will, so tritt gemeinhin noch der Uebelstand ein, dass man nicht weiss, wo man die Geschwindigkeit messen soll, um sie noch unabhängig von der Einwirkung des Wehrs zu ermitteln. Aus der Wassermenge und dem Flächeninhalte des Querprofils darf man sie nicht füglich berechnen, weil man dadurch die Voraussetzung einführt, dass das Wasser sich in dem untern Theile des vom Wehre abgeschlossenen Kessels noch eben so schnell, wie oben bewegt, was doch nicht anzunehmen ist. Man würde hierdurch die Geschwindigkeit der obern Schichten und sonach eben die gesuchte Beförderung des Wasserzudranges geringer finden, als sie wirklich ist. D'Aubuisson*) sagt, dass die Resultate der Beobachtungen von Eytelwein und Bidone mit der Rechnung besser übereinstimmen, wenn man den Einfluss der Geschwindigkeit unberücksichtigt lässt, und er erklärt dieses dadurch, dass in der Stauhöhe vor dem Wehre wirklich schon der Einfluss dieser Geschwindigkeit mit enthalten ist, indem die lebendige Kraft des Wassers, sobald es in den Wirkungskreis des Wehres tritt, sich nur in einem gewissen Drucke äussern kann, der eben den Wasserstand erhöht. So wenig hiergegen auch zu erinnern wäre, so lange das Durchflussprofil über dem Wehre im Vergleiche zum Profil des Stromes unbedeutend bleibt, so erscheint doch diese Ansicht nicht mehr statthaft, wenn die Anschwellung des Stroms so gross wird, dass der Stau des

*) *Traité d'Hydraulique*. §. 142.

Wehrs beinahe ganz verschwindet, und dieser Fall ist es gerade, der bei der Anlage von Wehren eine vorzügliche Berücksichtigung verdient.

Wäre das Wasser vor dem Wehre stillstehend, so würde der frühere Ausdruck gelten. Das Wasser kommt indessen schon mit der Geschwindigkeit c an, und in Folge derselben fließt noch die Wassermasse $= b H c$ über das Wehr. Die ganze Wassermasse würde sonach betragen

$$M = b H \left(\frac{4}{3} k \sqrt{g H} + c \right)$$

dieser Ausdruck verwandelt sich

$$\text{für } k = 0,64 \text{ in } M = b H (3,37 \sqrt{g H} + c)$$

$$\text{und für } k = 1 \text{ in } M = b H (5,27 \sqrt{g H} + c)$$

D'Aubuisson führt dagegen eine Vergrößerung der Druckhöhe ein, um den Ausdruck unter eine etwas einfachere Form zu bringen, und nimmt an, dass

$$M = k b H \sqrt{\left(\frac{16}{9} g H + c^2 \right)}$$

sei, was sich jedoch wohl nicht rechtfertigt.

Alles was hier über die Stauhöhe gesagt ist, bezieht sich auf den Fall, dass das Unterwasser den Wehrrücken nicht erreicht; wenn das Unterwasser dagegen höher steht, als der Wehrrücken, so bildet sich ein sogenannter unvollkommener Ueberfall und man muss alsdann darauf Rücksicht nehmen, dass das vorstehende H die Niveaudifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser bezeichnet. Zwischen dem Unterwasserspiegel und dem Wehrrücken strömt aber ausserdem noch das Wasser unter gleichem Drucke fort, also mit einer Geschwindigkeit, die der erwähnten Niveaudifferenz als Druckhöhe entspricht. Bei starken Anschwellungen pflegen die Wehre sich in unvollkommene Ueberfälle zu verwandeln, und die Hemmung des Wasserabflusses, die sie verursachen, wird mit der Zunahme des Wasserstandes immer unbedeutender, man darf daher bei Untersuchung dieses Falles die Geschwindigkeit, mit der das Wasser vor dem Wehre ankommt, nicht unberücksichtigt lassen.

Auch durch Verengung des Strombettes können Anstauungen hervorgebracht werden, welche mit denjenigen, die durch Wehre verursacht sind, in ihren Wirkungen übereinstimmen,

320 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

und auf gleiche Weise, wie diese berechnet werden müssen. Wenn das Wasser nämlich in einem unbeschränkten Strome bisher frei abfloss, später aber durch einen Einbau das Profil beschränkt wird, so wird die bisherige Geschwindigkeit nicht mehr zur vollständigen Abführung des Wassers genügen. Dieselbe muss also vergrössert werden, damit auch an dieser Stelle der Abfluss dem Zuflusse gleich wird, oder der Beharrungsstand eintritt. Dieses kann nur dadurch geschehn, dass das ankommende Wasser unmittelbar nach der erfolgten Veränderung des Bettes aufgehalten wird, und anschwillt, bis eben durch diese Anschwellung diejenige Druckhöhe sich erzeugt, welche eine hinreichende Vergrösserung der Geschwindigkeit bewirkt, und dadurch die ganze Wassermasse abführt. Wenn man die ursprüngliche, sowie auch die spätere Geschwindigkeit als bekannt voraussetzt, so ist die durch den Einbau verursachte Stauhöhe gleich der Differenz der beiden zu diesen Geschwindigkeiten gehörenden Druckhöhen, wobei aber zugleich auf die Vergrösserung der Wassertiefe in Folge dieses Staues Rücksicht genommen zu werden pflegt. Diese Rechnung ist so einfach, dass sie nicht weiter angegeben werden darf, es tritt indessen dabei wieder der Zweifel ein, ob man noch eine Contraction annehmen darf, und wie gross ihr Werth zu wählen sei.

Viel schwieriger ist es die Stauweite oder die Entfernung zu bestimmen, bis zu welcher der durch ein Wehr oder durch Verengung des Stromes verursachte Stau sich aufwärts erstreckt. Dubuat hat diese Aufgabe schon zu lösen versucht, und weil man demselben auch heut zu Tage noch immer zu folgen pflegt, so ist es nöthig, den Gang dieser Untersuchung speciell zu bezeichnen.

Dubuat nimmt an*), dass das Flussbett, in welchem der Stau erzeugt wird, nicht nur an sich ein gleichmässiges Gefälle, sondern auch verticale Seitenwände hat, so dass die Breite des Bettes, nachdem der Stau sich gebildet hat, noch immer unverändert dieselbe bleibt. Daraus folgt unmittelbar, dass an jeder Stelle die Geschwindigkeit umgekehrt der Tiefe proportional wird. Indem nun die Tiefe in der ganzen Ausdehnung des Staues

*) *Principes d'Hydraulique* I. §. 150—157.

stromabwärts zunimmt, so muss in entsprechender Weise das Gefälle geringer werden, oder das Längenprofil des Flusses muss eine Curve bilden, deren concave Seite nach oben gekehrt ist. Es kommt darauf an, die Form dieser Curve zu bestimmen. Sie geht unstreitig im obern Anfangspunkte des Staues in den unveränderten Wasserspiegel des Flusses über, so dass der letztere, im Längenprofile mit der an diesen Punkt der Curve gezogenen Tangente zusammenfällt. Eine zweite Tangente und zwar an das untere Ende der Curve stellt sich dar, wenn man an der Stelle, wo der Stau am grössten oder das Gefälle am kleinsten ist, also über oder unmittelbar vor dem Wehre das Gefälle aufsucht und in der Richtung desselben durch den Wasserspiegel eine gerade Linie zieht. Wenn die Curve ein Kreis wäre, so würden beide Tangenten, von ihrem gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte ab gemessen, gleich gross sein, und das Gefälle über diesem Durchschnittspunkte oder in der halben Länge der Stauweite müsste ungefähr das arithmetische Mittel aus dem natürlichen Gefälle des Flusses und dem Gefälle an dem Wehre sein. Unter Voraussetzung eines willkürlich gewählten Beispieles und unter der Annahme, dass das Wasser auch in diesem Falle, noch den Gesetzen der gleichförmigen Bewegung folgt, berechnet Dubuat die Wassermenge, welche in dieser mittleren Stelle unter Voraussetzung des Kreisbogens abfliessen würde. Er findet dieselbe etwa um den sechsten Theil grösser, als sie der Rechnung zum Grunde gelegt war, und hieraus schliesst er, dass die Curve wirklich kein Kreis, sondern eine andere Linie sei. Da diese aber weder eine Parabel noch eine Hyperbel sein könne, so müsse sie eine Ellipse sein. Für die beiden erwähnten Tangenten giebt er aber das Verhältniss in der Art an, dass die obere Tangente sich zur untern, wie 9 zu 10 verhalten soll. Hierauf beruht demnach die Regel, dass man die Stauweite findet, wenn man im Punkte des höchsten Staues eine Tangente an den Wasserspiegel legt, und dieselbe bis dahin verlängert, wo sie den Wasserspiegel des Flusses in seinem natürlichen Zustande trifft, und die Länge derselben mit 1,9 multiplicirt. Bei der Anwendung dieser Regel kommt es darauf an, das kleinste Gefälle, welches sich vor dem Wehre bildet, zu ermitteln: eine unmittelbare Messung desselben kann nur vorgenommen werden, wenn der Stau bereits existirt.

Gemeinhin kommt es darauf an, die Wirkung des Wehres schon vor der Ausführung zu beurtheilen. Das Verfahren, welches man hierbei zu wählen pflegt, besteht darin, dass man nach Vorstehendem die Stauhöhe berechnet, und unter Zugrundelegung der Gesetze, für die gleichförmige Bewegung des Wassers, aus dem bekannten Querschnitte vor dem Wehre und aus der gegebenen Wassermenge das gesuchte Gefälle ableitet.

Man darf sich nicht wundern, wenn die Resultate einer auf solche Weise geführten Rechnung mit der Erfahrung nicht übereinstimmen. In einigen mir bekannt gewordenen Fällen, wo man behufs der Hebung des Wasserspiegels Wehre ausführte, und ihre Wirksamkeit nach der von Dubuat angegebenen Regel vorher berechnet hatte, ergab es sich, dass der Stau sich lange nicht soweit aufwärts erstreckte, als man erwartete.

D'Aubuisson schlägt noch eine Vereinfachung in der vorstehenden Berechnungsart vor. Wenn nämlich β das ursprüngliche Gefälle des Flusses, und α dasjenige ist, welches dicht vor dem Wehre stattfindet, und wenn ausserdem H die Stauhöhe bezeichnet; so ergibt sich nach Dubuat die Stauweite

$$S = \frac{19 \cdot H}{\beta - \alpha}$$

D'Aubuisson meint, man könne α als sehr klein gegen β ganz vernachlässigen, und um den dadurch eingeführten Fehler ungefähr aufzuheben, solle man statt des Factors 1,9 die volle Zahl 2 einführen. Man erhält alsdann den Ausdruck $2 \frac{H}{\alpha}$. Die Grösse $\frac{H}{\alpha}$

ist aber nichts anders, als die sogenannte hydrostatische Stauweite, nämlich die Länge derjenigen horizontalen Linie, welche durch die Stauhöhe vor dem Wehre soweit stromaufwärts gezogen wird, bis sie den ursprünglichen Wasserspiegel des Flusses trifft.

Die Theorie, welche Funk*) über die Form des Wasserspiegels der Ströme aufgestellt hat, könnte nach dem was oben bereits mitgetheilt worden, mit Stillschweigen übergangen werden: da aber gerade diese Entdeckung in Frankreich Aufsehn erregt und selbst in d'Aubuisson's mehrfach citirtem Werke Erwähnung

*) Versuch der Darstellung der wichtigsten Lehren der Hydraulik.

gefunden hat; so muss ich sie kurz berühren. Sie besteht darin, dass der Wasserspiegel der Flüsse im Längenprofile gemessen, jedesmal aus parabolischen Bögen zusammengesetzt sein soll. Es wird sogar gesagt, dass zuweilen halbe Parabeln vorkommen. Aus den speciellen Mittheilungen ergibt es sich aber, dass selbst zwischen zwei verengten Querschnitten nicht immer ein einziger Parabelbogen, sondern zuweilen auch zwei mit einem „Wendungspunkt,“ wie Funk sagt, angenommen werden müssen, und in der Anmerkung zur siebenten Beobachtung erfährt man sogar, dass bei niedrigem Wasser die einzelnen parabolischen Bögen sehr kurz sind und so verschiedenartig ausfallen, dass sie bald die concave und bald die convexe Seite nach oben gekehrt haben. Wenn man also dem Verfasser auch Glauben schenken, und den aufgestellten Satz benutzen will, so muss man zunächst durch eine gehörig grosse Anzahl von Messungen die Ausdehnung jedes einzelnen parabolischen Bogens aufsuchen, und wenn man hierüber im Klaren ist, muss man drei Punkte jedes Bogens messen, um die Lage des zugehörigen Scheitelpunktes und die Grösse des Parameters berechnen zu können, vorausgesetzt, dass die Axe der Parabel immer horizontal angenommen wird. Welchen Nutzen man aus dieser Entdeckung ziehen kann, ist gar nicht abzusehn: ein Beweis für ihre Richtigkeit ist aber nicht nöthig, da mit jedem beliebig kleinen Theile irgend welcher Curve ohnstreitig auch ein passend gewählter Parabelbogen zusammenfallen muss. Funk giebt in der That keinen weitem Beweis für den aufgestellten Satz, als dass er versucht, an fünf Beispielen die Uebereinstimmung des Längenprofiles mit der Parabel nachzuweisen. Die Parabeln, die er dabei annimmt, sind dabei aber so ungünstig gewählt, dass man bei Anwendung eines methodischen Verfahrens gewiss eine weit grössere Uebereinstimmung mit jeder beliebigen andern Curve nachweisen kann: für die Kreislinie ist mir dieses wenigstens vollständig gelungen, und zwar gerade an denselben Bögen, welche Funk für Parabeln hält.

Die von Girard bei Gelegenheit des Ourcq-Canales aufgestellte Theorie*), dass das Längenprofil eines Flusses eine

*) *Essai sur le mouvement des eaux courantes. Paris 1804.* — In der Beschreibung neuerer Wasserbauwerke, Seite 50 ff., habe ich

Kettenlinie bilden solle, glaube ich übergeh'n zu dürfen, indem diese Annahme, soviel ich weiss, nirgend Eingang gefunden hat, und bei der Anwendung auf den erwähnten Canal auch sogleich durch die Erfahrung widerlegt wurde.

Die sämmtlichen Methoden, die man zur Berechnung der Stauweite in Vorschlag gebracht hat, sowie auch die sonstigen Hypothesen über die Form des Wasserspiegels entbehren sönach jeder Begründung. Dagegen lässt sich die Erhebung des Wasserspiegels und zwar für jede beliebige Entfernung vom Wehre aus dem im Anfange dieses Paragraphen mitgetheilten allgemeinen Ausdrucke für die ungleichförmige Bewegung des Wassers herleiten, und die Rechnung wird um Vieles erleichtert, sowie auch das Resultat wahrscheinlich an Genauigkeit gewinnt, wenn man $\Delta h' = 0$ setzt. In diesem Falle ist die Untersuchung in folgender Weise zu führen.

Man betrachtet zuerst die nächst oberhalb des Wehrs belegene Stromstrecke, und zwar darf dieselbe nur so lang angenommen werden, dass die sämmtlichen Profile derselben sowohl im Flächeninhalte, als in der Form nahe genug mit einander übereinstimmen. Die kleinern Abweichungen zwischen denselben gleicht man dadurch aus, dass man die mittleren Werthe für q und p einführt. Die Höhe des Wasserstandes unmittelbar vor dem Wehre, oder die Stauhöhe darf man nach dem, was oben mitgetheilt wurde, als bekannt ansehen, und man kann, wenn die erste Strecke nur eine geringe Länge hat, den Wasserspiegel in ihr als horizontal annehmen, weil der dadurch eingeführte Fehler auf die Bestimmung des mittleren Profils keinen merklichen Einfluss behält. Indem nun die Wassermenge des Flusses noch gegeben sein muss, so kennt man auch die mittlere Geschwindigkeit und es lässt sich das absolute Gefälle der angenommenen Strecke berechnen. Sollte dieses sich so bedeutend herausstellen, dass das mittlere Profil der untersuchten Stromstrecke darnach merklich grösser würde, als es unter der Voraussetzung der horizontalen Oberfläche gefunden wurde, so lässt die Rechnung sich

diese Theorie specieller mitgetheilt und zugleich nachzuweisen versucht, wie die Bedingungen der Kettenlinie unstatthafter Weise in das Raisonement und in den Calcül eingeführt sind.

hiernach berichtigen. Man kann also für die erste untersuchte Strecke den künftigen Wasserspiegel in das Längenprofil des Stromes eintragen. Dieselbe Untersuchung wird demnächst für die folgende Strecke geführt, und zwar darf man aus der bereits gefundenen Neigung des Wasserspiegels jedesmal schon vorläufig auf diejenige schliessen, die sich in der nächst oberhalb belegenen Strecke bilden wird, und hiernach mit einer um so grössern Sicherheit für das mittlere Profil den Wasserstand annehmen. Auf diese Weise berechnet man, und zeichnet zugleich für eine Strecke nach der andern den Wasserspiegel in das Längenprofil ein: dasselbe lässt sonach unmittelbar entnehmen, wie hoch der Stau an jeder Stelle ausfallen, und wie weit aufwärts er noch bemerklich sein wird. Eine scharfe Bestimmung des Punktes, an welchem der neue Wasserspiegel mit dem frühern zusammenfällt, oder die genaue Ermittlung der Stauweite ist freilich auf diesem Wege nicht möglich, dieselbe ist aber auch ohne allen praktischen Werth.

Unter der von Dubuat eingeführten Voraussetzung, dass der Strom mit senkrechten Wänden eingeschlossen, und sonach seine Breite constant ist, lässt sich die Aufgabe direct lösen, und die Gleichung für die Curve des Wasserspiegels herleiten. Geht man nämlich von dem einfachen Ausdruck für die gleichförmige Bewegung des Wassers aus:

$$c = k\sqrt{\alpha t}$$

wo c wie früher die mittlere Geschwindigkeit, α das Gefälle, t die mittlere Tiefe und k den constanten Factor bezeichnet, so verwandelt sich diese Formel, wenn man die Wassermenge M und die constante Breite b einführt, in

$$\left(\frac{M}{kb}\right)^2 = \alpha t^3$$

Derjenige Punkt im Strome, wo der Stau anfängt, sei der Anfangspunkt der Abscissen: man könnte eben so gut auch jeden andern dafür wählen, und die Rechnung würde in keiner Beziehung erschwert werden: die getroffene Wahl rechtfertigt sich nur insofern, als dadurch gleich ein bestimmtes Bild gegeben wird. Von diesem Punkte stromabwärts zählt man die Abscissen oder die x , die Ordinaten sind die zu jedem Profile gehörenden mittleren Tiefen oder t . Letztere stehn freilich nicht in aller Schärfe

326 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

auf der Abscissenlinie senkrecht, doch ist der Unterschied so geringfügig, dass man ihn nicht weiter beachten darf. Die mittlere Tiefe des Stromes vor der Erbauung des Wehrs, also auch die im Anfangspunkte der Abscissen, sei gleich r , und β das relative Gefälle an eben dieser Stelle: β bezeichnet daher auch zugleich die Neigung der Sohle des Strombettes. Das relative Gefälle des Wasserspiegels ist dagegen in dem durch die Abscisse x gegebenen Punkte gleich α .

Hieraus folgt unmittelbar

$$\alpha = \beta - \frac{dt}{dx}$$

$$\text{also } \left(\frac{M}{kb}\right)^2 = \left(\beta - \frac{dt}{dx}\right) t^3$$

$$\text{oder } \left[t^3 - \frac{1}{\beta} \left(\frac{M}{kb}\right)^2\right] \beta dx = t^3 dt$$

Die Wassermenge, oder M ist für alle Profile dieselbe; für dasjenige Profil, welches durch den Anfangspunkt der Abscissen gelegt ist, ergibt sie sich

$$M = k b r \sqrt{\beta r}$$

daher ist

$$\frac{1}{\beta} \left(\frac{M}{kb}\right)^2 = r^3$$

$$\text{folglich } (t^3 - r^3) \beta dx = t^3 dt$$

$$\text{oder } \beta dx = \frac{t^3}{t^3 - r^3} dt$$

Die Integration dieses Ausdrucks lässt sich am einfachsten durch Auflösung in eine Reihe ausführen, man findet nämlich

$$\beta dx = \left[1 + \left(\frac{r}{t}\right)^3 + \left(\frac{r}{t}\right)^6 + \left(\frac{r}{t}\right)^9 + \dots\right] dt$$

daher

$$x = \frac{t}{\beta} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{t}\right)^3 - \frac{1}{5} \left(\frac{r}{t}\right)^6 - \frac{1}{8} \left(\frac{r}{t}\right)^9 - \dots\right] + \text{Const.}$$

Für $x=0$, wird $t=r$. Die Constante ist daher durch die Reihe

$$0 = \frac{r}{\beta} \left(1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{5} - \frac{1}{8} - \frac{1}{11} - \dots\right) + \text{Const.}$$

gegeben: dieselbe convergirt indessen so schwach, dass man ihre Summe nicht berechnen kann. Die eigentliche Stauweite, oder der

Punkt wo die Veränderung des Wasserspiegels beginnt, lässt sich folglich nicht angeben. Nichts desto weniger kann man die Differenz zwischen je zwei Werthen von x finden, für welche bestimmte Wassertiefen, oder bestimmte Erhebungen des Wasserspiegels angenommen worden sind. Man ist also im Stande zu ermitteln, wie weit derjenige Punkt vom Wehre entfernt liegt, woselbst der Wasserspiegel sich z. B. um 6 Zoll oder 3 Zoll oder um jede andere beliebige Quantität gehoben hat. Dieses ist gerade die Frage, deren Beantwortung allein von wirklichem Nutzen ist, während man wohl niemals ein Interesse haben kann, zu erfahren, an welcher Stelle der Stau beginnt, oder wo er noch unmerklich klein ist.

Je geringer die Erhebung des Wasserspiegels oder je kleiner $t - r$ angenommen wird, um so mehr nähert sich der Bruch $\frac{r}{t}$ der Einheit und die Convergenz der Reihe wird um so schwächer. Man muss also eine grosse Anzahl von Gliedern in diesem Falle berechnen, und dabei verschwindet der Vortheil, den die Reihen-Entwicklung gewährt, so dass man leichter zum Ziele kommt, wenn man die Integration der vorstehenden Differenzial-Gleichung auf andere Weise bewirkt. Dieses geschieht durch Zerlegung in Partialbrüche. Man erhält dadurch den Ausdruck

$$\beta x = t - \frac{1}{6} r \cdot \log. \text{ natur. } \frac{t^3 - r^3}{(t-r)^3} - \frac{r}{\sqrt{3}} \text{Arc.} \left(\text{tgt} = \frac{2t+r}{r\sqrt{3}} \right) + C$$

Für $x=0$ wird $t=r$. In diesem Falle ist aber der Werth des Bruches

$$\frac{t^3 - r^3}{(t-r)^3} = \frac{0}{0} = \text{unendlich}$$

weil das Differentiale des Nenners früher, als das des Zählers den Werth Null annimmt. Es lässt sich sonach auch nach diesem Ausdruck nicht die Constante, und ebenso wenig die ganze Stauweite berechnen. Man muss vielmehr wieder die Integration zwischen gewissen Grenzen ausführen, oder die für x gefundenen Werthe (worin die unendlich grosse Constante noch enthalten ist) mit einander vergleichen, oder ihre Differenzen suchen. Es ist hierbei aber noch darauf aufmerksam zu machen, dass für die beiden angegebenen Integrations-Methoden die Werthe der Constante nicht dieselben sind, woher man auch die Werthe von

$x - C$ — *Const.* nicht übereinstimmend erhält, wenn man nach beiden Ausdrücken rechnet. Wohl aber verschwindet diese Verschiedenheit, sobald man die Differenz zwischen je zweien solchen Werthen sucht, indem die Constante alsdann herausfällt.

Um diese Rechnungsart an einem Beispiele zu erläutern, wähle ich den Fall, dass ein Strom in seinem natürlichen Zustande das Gefälle 1 : 5000 und die mittlere Tiefe von 2 Fuss hat. Durch die Anlage eines Wehrs hebt man seinen Wasser-

spiegel um 3 Fuss. Es ist sonach $\frac{1}{\beta} = 5000$

$$r = 2$$

und vor dem Wehre $t = 5$

Suche ich nun die Werthe von $x - C$ für diejenigen Punkte, wo die mittlere Tiefe oder t gleich 5 Fuss, 4 Fuss, 3 Fuss, $2\frac{1}{2}$ Fuss und $2\frac{1}{4}$ Fuss ist; so finde ich nach dem letzten Ausdrucke

$$\text{für } t = 5 \quad \dots \quad x - C = 15109 \text{ Fuss}$$

$$= 4 \quad \dots \quad = 9613 \quad -$$

$$= 3 \quad \dots \quad = 3364 \quad -$$

$$= 2,5 \quad \dots \quad = - 771 \quad -$$

$$= 2,25 \quad \dots \quad = - 3958 \quad -$$

Die Abstände der Punkte, in welchen die letzteren Wassertiefen stattfinden, vom Wehre sind demnach

$$\text{für } t = 4 \quad \dots \quad x - x' = 5496 \text{ Fuss}$$

$$= 3 \quad \dots \quad = 11745 \quad -$$

$$= 2,5 \quad \dots \quad = 15880 \quad -$$

$$= 2,25 \quad \dots \quad = 19067 \quad -$$

Hätte man nach dem ersten Ausdrucke oder nach der Reihenentwicklung gerechnet, so würde man die Werthe von $x - C$ jedesmal um 9070 Fuss grösser gefunden haben. Für $t = 2,5$ und vollends $t = 2,25$ divergirt jene Reihe aber so wenig, dass man schon eine grosse Anzahl von Gliedern berechnen muss.

Die vorstehend angegebene Methode zur Berechnung der Stauweite, oder vielmehr des Abstandes derjenigen Stellen im Flusse, woselbst der Wasserspiegel sich um bestimmte Quantitäten erhebt, ist gewiss viel sicherer, als das von Dubuat vorgeschlagene Verfahren, welches man gemeinhin auch jetzt noch befolgt, um den Einfluss der Wehre zu berechnen, welches sich aber, wie bereits erwähnt, durch die Erfahrung nicht zu bestätigen pflegt.

Doch auch die hier entwickelte Methode gründet sich auf zwei Voraussetzungen, die nicht richtig sind, nämlich einmal ist angenommen worden, dass der Ueberschuss der Geschwindigkeit, womit das Wasser an jeder Stelle der aufgestauten Stromstrecke ankommt, zur Ueberwindung derjenigen Widerstände, welche man in der allgemeinen Formel der gleichförmigen Bewegung berücksichtigt hat, nicht beiträgt, und der Effect desselben sich allein auf die Bildung der innern Bewegungen beschränkt. Wäre diese Voraussetzung nicht richtig, oder müsste man das obige Δh^1 noch einführen, welches hier mit dem Minuszeichen in Rechnung zu stellen ist, so würde das Gefälle des Stromes geringer ausfallen, und sonach müsste auch der Abstand des Punktes, in welchem eine gewisse Erhebung des Wasserspiegels stattfindet, dem Wehre näher rücken, oder die Stauweite sich geringer darstellen. Demnächst ist auch die Annahme gemacht worden, dass die Breite des Stromes ohnerachtet der Erhebung des Wasserspiegels unverändert bleibt. Der Fehler der letzten Hypothese giebt sich wieder in ähnlicher Weise, wie der erste auf das Resultat zu erkennen. Indem man nämlich die Breite geringer setzt, als sie wirklich ist, so wird das Profil zu klein, oder die mittlere Geschwindigkeit zu gross angenommen, woher ein stärkeres Gefälle sich herausstellt, als wirklich vorkommt, oder diese Voraussetzung giebt eben so, wie die erste, die Stauweite oder die Abstände jener Punkte zu gross an.

Beide Umstände verdienen eine nähere Erwägung. Was den ersten betrifft, so sind schon im Anfange dieses Paragraphen die Gründe angeführt worden, welche es rechtfertigen, wenn man die Verminderung der Geschwindigkeit unberücksichtigt lässt. Es giebt hierzu indessen noch einen andern Grund, und derselbe beruht darauf, dass die Wirkung jener verlorenen Geschwindigkeit, wenn sie auch in ihrer vollen Grösse sich darstellen sollte, dennoch höchst unbedeutend bleibt, so dass man sie jedesmal ohne merklichen Fehler vernachlässigen darf. Es zeigt sich dieses schon an dem vorstehend gewählten Beispiele, obwohl darin das Gefälle des Flusses ganz ungewöhnlich klein angenommen ist. Bezeichne ich die Stellen, wo der Stau $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2 und 3 Fuss beträgt, mit I., II., III., IV. und V.; so ergiebt die Rechnung, wenn die Constante k gleich 100, und sonach die Geschwindigkeit im natürlichen Strome gleich 2 Fuss ist,

330 IX. Bewegung des Wassers in Strömen.

	mittlere Geschwindigkeit $= c = 2 \frac{r}{t}$	Differenz	zugehörige Fallhöhe $= \Delta h^1$
I.	1,78	—	—
II.	1,60	0,18	0,00052 Fu ^{ss}
III.	1,33	0,27	0,00166 —
IV.	1,00	0,33	0,00174 —
V.	0,80	0,20	0,00064 —
Summe		0,88	0,00456 Fu ^{ss} .

Berechnet man ferner aus den gefundenen Entfernungen der Punkte I., II. u. s. w. von V. die Höhe des Flussbettes an diesen Stellen, und mit Rücksicht auf die angenommenen mittleren Wassertiefen auch die Erhebung des Wasserspiegels daselbst über dem Wasserspiegel unmittelbar vor dem Wehre, so findet man die absoluten Gefälle bis zum Punkte V., oder die Gefälle, welche zwischen je zwei zunächst liegenden Punkten vorkommen

	absolutes Gefälle gegen V.	zwischen je zwei Punkten
I.	1,06	—
II.	0,68	0,38 Fu ^{ss}
III.	0,35	0,33 —
IV.	0,10	0,25 —
V.	0,00	0,10 —
Summe		1,06 Fu ^{ss} .

Vergleicht man diese Werthe der Gefälle mit denen in der letzten Columnne der ersten Tabelle enthaltenen, so ergibt es sich, dass die Werthe von Δh^1 höchst unbedeutend sind, und durchschnittlich nur den 233. Theil von diesen betragen. Man kann daher mit Rücksicht auf die Unsicherheit in der Bestimmung des Werthes von r ohne Nachtheil den Einfluss der verminderten Geschwindigkeit ganz unbeachtet lassen, wenn derselbe sich auch wirklich nicht vollständig durch die innern Bewegungen, die er veranlasst, aufheben, und vielmehr die mittlere Geschwindigkeit des Wassers vergrößern sollte.

Was demnächst die zu geringe angenommene Breite des aufgestauten Stromes betrifft, so kann der Einfluss derselben in den meisten Fällen auch nicht bedeutend sein. Dabei kommt

zunächst schon der Umstand in Betracht, dass eine starke Vergrößerung der Breite, gewöhnlich eine Verminderung der mittleren Tiefe zur Folge hat, und hierdurch eine gewisse Ausgleichung eingeführt wird. Ausserdem aber muss man auch darauf Rücksicht nehmen, dass in den meisten Fällen, und namentlich wenn die Wehre im Schifffahrtsinteresse erbaut worden, die wichtigste Frage sich darauf bezieht, wie weit sie zur Zeit der niedrigen Wasserstände wirken. Die Strombetten sind alsdann nicht bordvoll angefüllt, und das Wasser kann daher in Folge der Wehranlage noch merklich, und gemeinhin um mehrere Fusse steigen, ehe es sich stark ausbreitet. Dieses Verhältniss zeigt sich wenigstens fast immer im obern Theile des Staues, woselbst auch das Gefälle am stärksten ist. Weiter unterhalb, wo die Stauhöhe grösser wird, tritt das Wasser leichter über die Ufer: für diese Stelle pflegt aber das Gefälle schon nach der obigen Rechnung sehr geringe auszufallen, die Quantität, um welche es zu grösser angenommen worden, kann daher gleichfalls nicht bedeutend sein.

Aus diesen Gründen dürfte die angegebene Berechnungsart in den meisten Fällen wohl zu Resultaten führen, welche sich der wirklichen Erscheinung genügend, und jedenfalls viel besser anschliessen, als die bisher übliche Methode. Ich will zum Schlusse noch die Resultate anführen, welche man nach der gewöhnlichen Rechnung erhält. Das Gefälle unmittelbar vor dem Wehre oder an der Stelle, wo es am geringsten ist, findet man, wenn in der Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers die hier gegebenen Data eingeführt werden

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta \left(\frac{r}{t} \right) \\ &= 0,0002 \cdot \left(\frac{2}{5} \right)^3 \\ &= 0,000\ 0128\end{aligned}$$

Eine gerade Linie, welche in der Richtung dieses Gefälles aufwärts verlängert wird, trifft den ursprünglichen Wasserspiegel des Stroms in der Entfernung

$$z = \frac{H}{\beta - \alpha} = \frac{5 - 2}{0,0001872} = 16025 \text{ Fuss}$$

332 IX. Beweg. d. Wassers etc. 66. Ungleichf. Bewegung.

wo H wie früher die Stauhöhe bezeichnet. Die ganze Stauweite oder S ist aber nach Dubuat

$$S = 1,9 \cdot z = 30448 \text{ Fuss}$$

Nach der von d'Aubuisson angegebenen Regel würde man sehr nahe dasselbe Resultat finden. Legt man nämlich durch den Stau vor dem Wehre eine Horizontale, so trifft diese den frühern Wasserspiegel des Stromes in der Entfernung

$$z' = \frac{H}{\beta} = 15000 \text{ Fuss}$$

daher die ganze Stauweite

$$2z' = 30000 \text{ Fuss.}$$

Aus diesen Angaben dürfte die angenäherte Berechnung in den meisten Fällen wohl zu Resultaten führen, welche sich an-
 wähligen Berechnungsmethoden und jedenfalls viel besser an-
 schliessen, als die hierer übliche Methode. Ich will zum Schlusse
 noch die Resultate anführen, welche man nach der gewöhnlichen
 Rechnung erhält. Das Gefälle unmittelbar vor dem Wehre oder
 an der Stelle, wo es am geringsten ist, ändert man, wenn in der
 Formel für die gleichförmige Bewegung des Wassers die hier ge-
 gebenen Daten eingesetzt werden

$$\left(\frac{v}{v'}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{v}{v'}\right)^2 = 0,0002$$

$$= 0,000028$$

Eine gewisse Linie, welche in der Richtung dieses Gefälles auf
 eine Vorlage wird, tritt dem entsprechenden Wasserspiegel des
 Stroms in der Entfernung

$$z = \frac{H}{\beta} = \frac{30448}{1,9} = 16025 \text{ Fuss}$$

Behnter Abschnitt.

Regulirung der Ströme.

Die Bewegung des Wassers ist eine unregelmäßige, die Bewegung der festsich. Bewegung ist eine regelmäßige. Die Bewegung des Wassers ist eine unregelmäßige, die Bewegung der festsich. Bewegung ist eine regelmäßige. Die Bewegung des Wassers ist eine unregelmäßige, die Bewegung der festsich. Bewegung ist eine regelmäßige.

Zehnter Abschnitt

Beobachtung der Bewegung

§. 67.

Zweck der Stromregulirung.

Es ist schon oben nachgewiesen, dass die Ströme im natürlichen Zustande fortwährenden Veränderungen unterworfen sind. Durch das Abbrechen des einen und das Anwachsen des andern Ufers verlegt sich das Strombett unaufhörlich auf andere Stellen des Flussthalcs. Die Serpentinien, welche sich darin bilden und sich wieder selbst zerstören, tragen zu dieser fortwährenden Umgestaltung des Stromlaufes wesentlich bei, und dieser Wechsel übt wieder auf das ganze Flussthal den vorthcilhaften Einfluss aus, dass eine gleichmässige Erhöhung desselben stattfindet. Sollten einzelne seitwärts gelegene Stellen des Thales besonders tief sein, so zieht sie vermöge ihrer niedrigen Lage die Strömung des Hochwassers vorzugsweise zu sich und geben dadurch zu einer verstärkten Ablagerung des Materials und sonach zu ihrer eigenen Erhöhung selbst die Veranlassung.

Es ist gewiss nicht in Abrede zu stellen, dass viele Fälle denkbar sind und auch häufig eintreten mögen, in welchen das Stromthal theilweise in einen Sumpf verwandelt wird, ohne dass irgend eine künstliche Anlage daran schuld ist: es geschieht aber viel häufiger, dass dergleichen Versumpfungen durch den Einfluss der Bodencultur oder anderer künstlicher Anlagen veranlasst werden. Schon die Versumpfung der Thäler durch Stauwerke gehört hierher, ferner die starke Ablagerung desjenigen Materials, welches die Seitenzuflüsse in Folge der Zerstörung ihres natürlichen Uferschutzes dem Hauptstrome zuführen: selbst die Entblössung und Auflockerung der cultivirten Ackerfläche in Verbindung mit den Anlagen, welche die schnelle Abführung des Wassers von derselben bezwecken, ist dabei von grossem Einfluss. Der wichtigste Umstand, der hier in Betracht kommt, bezieht sich aber

darauf, dass man die Thalfläche, welche möglichst nutzbar gemacht werden soll, nicht mehr der Veränderung, welche bisher darin vorging, preisgibt, sondern an einzelnen Stellen den Kampf mit dem Wasser beginnt, und die Ufer zu fixiren sucht. Die Veränderungen des Strombettes werden dadurch keineswegs ganz aufgehoben, sondern nur in ihrer bisherigen Regelmässigkeit gestört. Gleichzeitig leidet dadurch aber auch die bisherige ziemlich gleichmässige Ablagerung des Materials auf der ganzen Thalfläche, und noch weniger kann eine solche vor sich gehn, wenn durch hohe wasserfreie Dämme einzelne Theile des Thales dem unmittelbaren Zutritte des Hochwassers ganz verschlossen werden. Der Strom führt nach wie vor, Material mit sich, und erhöht dadurch das Bette und zugleich denjenigen Theil der Thalfläche der ihm zunächst liegt und den er überhaupt erreichen kann. Die abgeschlossenen Flächen hören aber auf anzuwachsen und erhalten dadurch vergleichungsweise zu der übrigen Thalfläche und zugleich auch zum Strombette eine immer tiefere Lage, so dass ihre natürliche Entwässerung erschwert oder auch wohl ganz aufgehoben wird.

Bei dem überwiegenden Einflusse, den die Cultur des Bodens auf die Bewohnbarkeit und den Reichthum der Landschaft ausübt, muss man die Beförderung der Vorfluth, oder die Verhinderung der erwähnten Versumpfungen als den wichtigsten Zweck der Stromregulirung ansehen. Dieser Zweck lässt sich, wie die Erfahrung vielfach gezeigt hat, in den meisten Fällen sehr vollständig erreichen. Indem durch gehörig angeordnete Strombauwerke die Ablagerung des Materials im Bette selbst, und durch Benutzung der Strömung des Hochwassers, diese Ablagerung auch neben dem Bette verhindert wird, gelingt es nicht nur, dem Strome diejenige tiefe Lage, welche er gerade hat, zu erhalten, sondern man hat in manchen Fällen selbst mehr, als nöthig und wünschenswerth war, eine Senkung desselben hervorgebracht. Dass eine solche bei fortgesetzter Hinwirkung auf denselben Zweck ununterbrochen zunehmen sollte, scheint sehr zweifelhaft und mit allen sonstigen Erscheinungen im Widerspruche zu sein. Die Senkung kann, wie die Erfahrung lehrt, halbe Jahrhunderte hindurch langsam zunehmen, aber sie muss aufhören, sobald die einzelnen stellenweisen Verflächungen des Strombettes, welche

bisher den Wasserabfluss hemmten, beseitigt sind. Ist dieses geschehn, so ist ein weiterer Erfolg dieser Art nicht mehr zu erwarten, und das aus den obern Gegenden immer aufs Neue vom Strome herbeigeführte Material muss nunmehr wieder eine gleichmässige allmähliche Erhöhung des Bettes und der dem Hochwasser noch zugänglichen Ufer veranlassen, wodurch der Wasserspiegel im Gegensatze zur früheren Erscheinung wieder zu steigen anfängt. Man hat diesen Erfolg wohl noch nie in einem Strome wahrgenommen, dessen Regulirung man consequent verfolgte, aber eben weil die Grundsätze der Stromregulirung erst in der neusten Zeit einige Sicherheit erlangt haben, und die früheren Versuche grossentheils ganz missglückt sind, so darf man sich auch nicht wundern, dass der letzte Erfolg sich bisher noch nicht gezeigt hat. Vorläufig kann man wohl erwarten, dass bei weitem die Mehrzahl unserer Ströme sich noch stark senken lässt, wenn man hierauf überhaupt hinwirken will. Auch selbst da, wo durch vollständige Eindeichung der Stromthäler eine besorgliche Erhöhung der Betten erzeugt ist, welche nicht nur die natürliche Entwässerung der Ländereien unmöglich macht, sondern einen Einbruch des Stromes in die tiefliegenden Flächen zur Seite immer befürchten lässt, wie dieses namentlich in Holland der Fall ist, dürfte ein regelmässiger Strombau vorläufig noch wesentlich zur Verbesserung der Verhältnisse beitragen. Wenigstens giebt es in dem Holländischen Antheile des Rheins und in dessen Armen noch so viele Verflächungen und so arge Unregelmässigkeiten, dass auf die Beseitigung derselben wohl zuerst hingewirkt werden müsste, wenn man die Sicherung des Landes befördern wollte, ohne die bestehenden Culturverhältnisse aufzuheben, welche durch die Deiche bedingt sind.

Wenn man die Abführung des Wassers im Strome befördern will, so muss man auch die Anschwellungen, welche durch Eisstopfungen verursacht werden, zu verhindern suchen. Letztere sind theils an sich schädlich, hauptsächlich aber durch die Strömungen, welche aus dem gesperrten Strombette seitwärts über die Felder einen Ausweg suchen. Diese reissen stellenweis den Boden auf und bedecken andererseits wieder die Aecker und Wiesen mit Sand und Kies, so dass deren Ergiebigkeit auf eine lange Reihe von Jahren und oft auf immer zerstört wird. Die Bildung der

Eisstopfungen ist zum Theil vom Zufall abhängig, jedenfalls wird sie aber sehr befördert durch scharfe Krümmungen und unnatürliche Verengungen oder Verbreitungen der Profile, und in Folge der letzten auch durch mangelnde Tiefe des Stromes. Daher sind die Maassregeln, welche man zu ihrer Abwendung ergreifen muss, wesentlich dieselben, welche schon die Stromregulirung bedingt. Der Unterschied zwischen beiden liegt hauptsächlich darin, dass im ersten Falle nur das eigentliche Strombett oder das Profil des mittleren und kleinen Wassers, hier aber das Profil des Hochwassers, also das ganze inundirte Stromthal berücksichtigt werden muss. Es kommt daher die Lage der Deiche sehr wesentlich in Betracht. Ein grosser Uebelstand ist es, dass man dieselben fast überall früher und zwar sehr willkürlich angelegt hat, ehe man an die Regulirung des Stromes dachte. Man darf aber die Deiche, wie fehlerhaft sie auch situirt sein mögen, gegenwärtig weder entfernen noch verlegen, ohne den Wohlstand der dabei betheiligten Ortschaften aufs tiefste zu verletzen: sie bilden daher fast immer (am Rhein eben so wohl als an der Weichsel und Nogat) ein so unregelmässiges Fluthbette, dass eben dadurch die Verheerungen zur Zeit der Eisgänge vorzugsweise veranlasst werden. Welche Rücksichten man bei der Anlage neuer Stromdeiche oder bei der Verlegung derselben zu nehmen hat, soll später bei Gelegenheit des Deichbaues auseinander gesetzt werden.

Indem die Stromregulirung den Zweck hat, dem Bette und den Ufern diejenige Gestalt und Richtung zu geben, welche den verschiedenen Interessen am besten entspricht, so folgt hieraus schon, dass man den dargestellten Zustand des Stroms auch fixiren und ihn vor späteren Aenderungen sicher stellen muss. In dieser Beziehung ist es nothwendig, den Uferabbrüchen zu begegnen. Die Regulirung einer einzelnen Stelle ist, wie die Erfahrung sehr häufig gezeigt hat, ohne allen Zweck, wenn ober- und unterhalb derselben starke Abbrüche eintreten und dadurch der Stromlauf sich wieder so wesentlich verändert, dass der gehörige Anschluss an die corrigirte Stelle aufhört.

Es ist schon früher davon die Rede gewesen, dass die Zusammensetzung des Ufers auf den Abbruch desselben von wesentlichem Einflusse ist: je weniger Zusammenhang die Erdtheilchen, aus welchen das Ufer besteht, unter sich haben, um so leichter

werden sie vom Wasser gelöst und um so leichter erfolgt der Uferabbruch. Der sandige oder kiesige Boden, in welchem die meisten Ströme Norddeutschlands ihre Betten eingeschnitten haben, ist besonders nachtheilig. Wenn man sich an diese Verhältnisse erinnert und zugleich die Kosten und die Sorgfalt berücksichtigt, die bei uns erforderlich sind, um die Ufer auf denjenigen Stellen, die dem Angriffe des Stromes besonders ausgesetzt sind, zu erhalten, so erstaunt man, wenn man neben andern Strömen, z. B. bei der Seine in der Umgegend von Paris, auf meilenlange Strecken kaum eine Spur von Uferabbruch bemerkt, obgleich auch durchaus gar nichts zur Erhaltung der Ufer oder zur Regulirung des Stromes geschehn ist. Eben dieser Umstand, der eine sehr rasche Umgestaltung der Strombetten bei uns veranlasst, war wohl der Grund, weshalb die Mittel zur Darstellung und Erhaltung eines brauchbaren Stromlaufes gerade in Norddeutschland am verschiedenartigsten versucht und mit grösserer Sicherheit, als anderswo erprobt sind. Der Rhein hat auch im obern Theile seines Laufes, von Basel abwärts, sandige oder vielmehr kiesige Ufer, die wenig Widerstand leisten. Minard führt an*), dass die Ufer des Rheins hier zuweilen in einem Jahre um 120 Meter (32 Ruthen) und sogar um 10 Meter ($2\frac{3}{4}$ Ruthen) in einem Tage zurückweichen. Wenn die ersten dortigen Versuche zur Bildung eines regelmässigen Stromlaufes, wie sie Defontaine sehr ausführlich beschrieben hat, wenig Erfolg hatten, und oft noch grössere Unordnungen herbeiführten, als diejenigen waren, die man beseitigen wollte, so rührte dieses wohl allein davon her, dass man den vorstehend als nothwendig bezeichneten Zusammenhang solcher Anlagen mit den vorhergehenden und nachfolgenden Stromstrecken nicht gehörig beachtet hatte, und von der Wirksamkeit eines einzelnen Baues sich zu viel versprach.

Durch die Deckung der Ufer wird ausserdem noch ein anderer Vortheil erreicht, der weniger das allgemeine, als das Privat-Interesse der einzelnen Uferanwohner betrifft: ihr Eigenthum wird vor Beschädigung und gänzlicher Zerstörung sicher gestellt. Dieser Umstand ist in vielen Fällen von geringer Wichtigkeit: wo nämlich der Strom oder der kleinere Fluss keine

*) *Cours de Construction*. Paris 1841. pag. 55.

Grenze des Besitzthums bildet, und etwa die beiderseitigen Ufer gemeinschaftliche Viehweide sind, da ist es von wenig Einfluss, ob das Ufer an einer Seite abbricht, insofern es in gleichem Maasse auf der andern Seite wieder anzuwachsen pflegt, bis die frühere Breite des Flusses sich aufs Neue dargestellt hat. Es erfolgt also im Ganzen kein Verlust an nutzbarer Fläche und der geringe Uebelstand, dass das neue Ufer in den ersten Jahren noch kahl und sonach nicht nutzbar ist, steht mit den Kosten der Uferdeckung in keinem Verhältniss. Ganz anders ist es aber, wenn der Strom, wie gewöhnlich die Grenze zwischen den einzelnen Besitzungen oder zwischen den Fluren verschiedener Ortschaften bildet. Für den Grundeigenthümer, der den Verlust erleidet, kann der Vortheil des gegenüber wohnenden Nachbarn keinen Ersatz bieten. In diesem Falle liegt es also im Interesse des Besitzers, die Deckung des abbrüchigen Ufers vorzunehmen. Gewöhnlich ist jedoch der augenblickliche Verlust sehr geringfügig im Verhältniss zu den Kosten des Baues, und der Grundbesitzer ist daher selten, und bei grösseren Strömen niemals geneigt, einen gefährlichen Uferbruch auszudecken.

Wie wenig ein solcher Bruch im ersten Entstehen auf den ganzen Stromlauf von Einfluss sein mag, so zeigt er dennoch sehr nachtheilige Folgen, sobald das Ufer immer weiter zurückweicht. Eine früher ganz regelmässige Stromstrecke kann hierdurch so verdorben werden, dass das allgemeine Interesse dabei endlich leidet, und der Bau, der mit Rücksicht auf seinen Zweck ursprünglich nur Uferbau gewesen wäre, wird jetzt Strombau. Es ist natürlich, dass durch diesen Umstand die Bereitwilligkeit des Uferbesitzers zur Ausführung des Baues noch vermindert wird, indem er schon beim ersten Beginne des Bruches die Hoffnung hegt, dass nach einiger Zeit der Staat den Bau übernehmen muss, und dadurch das Besitzthum, wenn auch vielleicht in etwas geringerer Ausdehnung, als es ursprünglich hatte, gegen weitere Zerstörung doch vollkommen sicher gestellt werden wird. Diese Verhältnisse geben überall zu den unangenehmsten Collisionen Veranlassung, und sie sind für den Baubeamten des Staats um so nachtheiliger, als nicht leicht ein Anderer so genau, als er, die ganze unter seiner Aufsicht stehende Stromstrecke kennt, und so sicher wie er, es beurtheilen kann, wo gerade im allgemeinen

Interesse ein Strombau am nothwendigsten sei. Wo er aber einen solchen projectirt und ausführt, da erregt der damit verbundene Vortheil für das dahinter liegende Grundstück sogleich den Neid von allen andern Uferbesitzern, besonders wenn sie gleichfalls Abbruch haben.

Die Erhaltung eines regelmässigen Stromlaufs ist wesentlich durch die Deckung der Ufer bedingt, und zwar nicht nur insofern dadurch das Zurückweichen der Ufer stellenweise verhindert wird, sondern ausserdem noch durch die Abhaltung grosser Sand- oder Kiesmassen, die in diesem Falle in das Bette stürzen und dasselbe verflächen würden. Die gesetzlichen Bestimmungen sind in Bezug auf die Verpflichtung der Uferbesitzer zur Deckung der Ufer gewöhnlich sehr unbestimmt, so dass sie selbst da, wo sie wirklich ausgesprochen sind, häufig nur auf eine Bepflanzung der Ufer angewandt werden können, wodurch die Gefahr des Uferbruches nicht leicht zu beseitigen ist.

Eine Verpflichtung des Staats zur Sicherung der Privatufer besteht, soviel mir bekannt, nirgends; eine solche würde auch mit unglaublichen Opfern für den ersteren verbunden sein, denn ununterbrochene Reclamationen und Entschädigungs-Ansprüche würden sich wiederholen. Nur in dem Falle, dass durch die Regulirung des Stromes einzelne Uferstrecken bedroht werden, muss die Deckung derselben, wenn es auch Privatufer sind, als wesentlicher Theil der Anlage angesehen werden. Im Allgemeinen ist der anwohnende Grundbesitzer im Stande, die Erhaltung der Uferdeckung sehr zu befördern, wenn er kleine Reparaturen daran bei Zeiten ausführt, und andererseits kann er durch unzweckmässige Benutzung des Ufers, namentlich wenn er das Vieh darin weiden lässt, eine baldige Zerstörung der Werke veranlassen.

Der letzte Umstand macht die Uferbauten in ihrer Unterhaltung und selbst in ihrer ersten Anlage weit weniger kostbar, wenn sie dem Uferbesitzer obliegen: und wo dieses gesetzlich feststeht, kann es nicht weiter als Prägravirung angesehen werden, indem es eine Last ist, welche auf dem Besitzstande haftet. An manchen Flüssen findet dieses in der That statt, und der Vortheil davon giebt sich sehr augenfällig in der viel regelmässigeren Gestaltung des Flussbettes zu erkennen. Um ein Beispiel für solche Verhältnisse anzuführen, erwähne ich die Werra im Kurhessischen

Gebiete. Es kann indessen leicht geschehn, dass der Bau, welcher zur Deckung eines Ufers erforderlich ist, mit dem Werthe des ganzen Besitzthumes gar nicht mehr im Verhältnisse steht, und denselben vielleicht sogar übersteigt. Dieses würde namentlich eintreten, wenn ein schmaler Uferstreifen vom Besitzthume getrennt wäre: es ist an der Weser in der That vorgekommen, dass solche Uferstücken verschenkt worden sind. Es ist indessen klar, dass auch der Besitzer der dahinter oder der seitwärts liegenden Fluren bei dem Abbruche als mit betheilig angesehnt werden muss, denn der Bruch kann sich leicht bis in das entferntere Eigenthum ausdehnen. Hiernach begründet es sich, dass nicht sowohl den einzelnen Besitzer, als die ganze Commun die Verpflichtung zur Deckung der Ufer treffen muss. In diesem Falle vertheilt sich die Last auf Mehrere und wird dadurch für den Einzelnen weniger drückend: es tritt dabei auch noch der Vortheil ein, dass die Deckung grösserer Uferstrecken im Zusammenhange ausgeführt und regelmässiger behandelt wird.

Die Verpflichtung bezieht sich indessen immer nur auf die Deckung der Ufer, oder auf den eigentlichen Uferbau: der Strombau oder die Regulirung des Stroms kann dem Uferbesitzer nicht zur Last fallen. Der Unterschied zwischen beiden ist in vielen Fällen nicht zu verkennen, oft aber ist es sehr schwer, die Grenze zu bezeichnen, und namentlich giebt der Umstand, dass ein unterlassener Uferbau endlich einen Strombau nothwendig macht, Veranlassung, dass der Staat, dem die Ausführung der letzteren obliegt, eine Einwirkung und namentlich eine genaue Controle über die ersteren sich vorbehalten muss. Wenn aber die Kosten des Uferbaues so bedeutend werden, dass sie die Kräfte der Communen übersteigen und hierdurch eine Verzögerung oder gänzliche Unterlassung des Baues eintreten würde, so liegt es wieder im Interesse des Staats, durch Beihülfe die Ausführung zu beschleunigen und dadurch grössern Opfern von seiner Seite vorzubeugen. Dieses Mittel, obgleich unverkennbar einige Willkühr dabei stattfindet, bietet dennoch wie es scheint den angemessensten Ausweg. Die Verpflichtung zur Uferdeckung bleibt alsdann immer geltend, und die Interessenten werden unter allen Umständen davon nicht ganz entbunden. Sie müssen sogar um so mehr leisten, je länger sie die Ausführung verzögert hatten, oder je grösser

das Uebel geworden war. Hiernach ist es Vortheil für sie, den Abbruch gleich im Entstehen zu beseitigen. Die Beihülfe von Seiten des Staats bezieht sich zunächst darauf, dass geübte Stromaufseher oder Kribbmeister zur Beaufsichtigung des ganzen Baues oder auch wohl zur Ausführung einzelner Arbeiten gegeben werden: demnächst kann auch das Material, wenn die Gemeinde dieses nicht besitzt, aus den Staatswaldungen oder durch Ankauf auf öffentliche Kosten beschafft werden. Für die Anfuhr desselben und die Stellung der nöthigen Arbeitskräfte, sowie auch für die Unterhaltung der Werke, muss in der Regel die Gemeinde selbst sorgen. Auf diese Weise verschwindet die übermässige Belastung der Uferbewohner, der Strom wird in gutem Stande erhalten, und namentlich wird, soweit es geschehn kann, jede Veranlassung vermieden, wodurch die ausgeführten Werke beschädigt werden könnten. Die gehörige Befestigung des Ufers führt aber einen ganz gesicherten Besitzstand herbei, und die Ueberlassung der Alluvionen bietet ausserdem noch oft den Uferbesitzern eine sehr wichtige Entschädigung für die gebrachten Opfer. In dieser Weise sind in dem untern Theile der Preussischen Weser die Verhältnisse regulirt worden, und zwar so günstig, dass die Uferdeckung in wenig Jahren beinahe vollständig durchgeführt ist, und im Allgemeinen die Kräfte der Anwohner dabei gar nicht in hohem Maasse in Anspruch genommen werden durften.

Ein dritter Umstand, der sehr oft und bei grossen Strömen sogar am häufigsten die Regulirung veranlasst, ist das Schiffahrts-Interesse. Soweit das Strombette selbst dabei in Betracht kommt, erfordert die Schifffahrt vorzugsweise eine hinreichende Wassertiefe, zugleich aber muss das Fahrwasser die gehörige Breite haben und von scharfen Krümmungen frei sein. Endlich dürfen zu heftige Strömungen oder gar förmliche Wasserstürze darin nicht vorkommen. Diese Anforderungen sind nur zum Theil mit denjenigen, welche die Entwässerung des Flussthales betreffen, zu vereinigen. Eine Untiefe, welche sich an einer einzelnen Stelle bildet, ist in beiden Beziehungen nachtheilig. Ebenso wird durch grosse Verbreitung oder durch Spaltung des Stromes die Tiefe vermindert, und zugleich werden die Ufer bedroht: eine Zurückführung der Breite auf deren angemessene Grenzen ist also in jeder Beziehung nothwendig. Wenn man aber

auf grosse Strecken, welche starkes Gefälle enthalten, zur Beförderung des Abflusses die Vertiefung des Bettes bewirken will, so kann dadurch leicht der Wasserstand so gesenkt werden, dass die oberhalb belegene Strecke für den Betrieb der Schifffahrt zu seicht wird, wodurch die vorgenommene Regulirung mehr Nachtheil als Vortheil herbeiführen kann. Dasselbe tritt auch zuweilen ein, wenn man durch Geradleitung des Stromes eine starke Verkürzung seines Laufes bewirkt. Den letzten Umstand will ich zunächst untersuchen.

Ich habe schon bei Gelegenheit der Entwässerungen (Theil I. §. 28.) nachgewiesen, welcher wesentliche Nutzen aus der Verkürzung des Stromlaufes in Bezug auf die Senkung des obern Wasserspiegels erreicht werden kann, aber gerade derselbe Umstand, der für die Entwässerung so nützlich ist, kann leicht in gleichem und selbst noch grösserem Maasse für die Schifffahrt schädlich werden. Zuweilen meint man wohl, dass eine solche Verkürzung des Weges auch für den Betrieb der Schifffahrt sehr vortheilhaft sein müsse, aber dieser Vortheil ist so gering, dass die Opfer, durch welche er erkauft wird, leicht grösser ausfallen. Der Schiffer legt mit geringerem Zeitaufwande und mit weniger Kosten den Umweg von einer Meile zurück, als eine einzige untiefe Stelle verursacht, vor welcher er zu Anker gehn und das Schiff so weit lichten muss, bis es herüber zu bringen ist. Selbst das Ueberfahren einer starken Stromschnelle, wozu doppelter Vorspann erforderlich ist, stellt sich in ähnlicher Weise leicht viel unbequemer heraus, als ein geringer Umweg. Die erwähnten Uebelstände werden indessen nur in dem Falle durch die Geradleitung des Flusses herbeigeführt, wenn die Niveaudifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser sehr bedeutend war, und in Folge derselben eine starke Senkung des obern Wasserspiegels eintrat. Doch auch in diesem Falle geben sich die Uebelstände noch nicht zu erkennen, wenn die nächst oberhalb belegene Stromstrecke eine überflüssige Wassertiefe hatte, so dass sie der Senkung unerachtet die nöthige Fahrtiefe behält.

Eine Krümmung ist für die Schifffahrt wirklich nachtheilig, wenn sie so scharf ist, dass das Schiff nur mit Mühe hindurch gebracht werden kann: so geschieht es an der obern Lippe zuweilen, dass die Schiffe mit dem vordern und zugleich mit dem

hintern Ende das eine Ufer, und in ihrer Mitte beinahe das andere Ufer berühren: man darf sich hier wegen des starken Gefälles aber nur darauf beschränken, die Krümmungen in einem etwas weiteren Bogen auszuziehn, die Durchstechung der oft nur sehr schmalen Landzungen zwischen den beiden Schenkeln der Serpentine würde eine zu nachtheilige Senkung des Oberwassers veranlassen.

Ausser den beiden erwähnten Gründen giebt es noch andere, die zuweilen die Geradleitung eines Stromes wünschenswerth erscheinen lassen. Der Gewinn an kulturfähiger Fläche wird oft als sehr wichtig angesehen, wenn der alte Stromlauf viel länger, als der neue ist. Dieser Gewinn tritt aber gemeinlich erst nach einer langen Reihe von Jahren ein. Neben dem Rheine findet man noch jetzt manche alte Arme, die seit hundert Jahren und darüber aufgehört haben, eigentliches Strombett zu sein. In ihrer obern Mündung erfolgte die Verlandung ziemlich schnell, auch an der untern blieb sie nicht aus, aber der mittlere Theil des Laufes, der eben dadurch dem freien Zutritte des Wassers und dem Eintreiben der erdigen Theile entzogen wurde, hat beinahe unverändert seine ursprüngliche Gestalt behalten. Der Bislicher Durchstich dicht oberhalb Xanten wurde 1790 ausgeführt, und der alte Arm ist wenigstens zur Hälfte seiner Länge noch nicht über das Wasser heraufgewachsen.

Endlich ist die Uferdeckung in den scharfen Stromkrümmen gemeinlich ausserordentlich schwierig, und wenn die Ufer daselbst nicht gehalten werden, so ist das Bette unaufhörlichen Veränderungen und Verflächungen ausgesetzt, welche wieder leicht Eisstopfungen verursachen können: diese Umstände sind häufig die Veranlassung zur Ausführung der Durchstiche. Man darf indessen nicht erwarten, dass dadurch mit einem Male diese Uebelstände verschwinden werden. Der Durchstich erhält gewöhnlich ein starkes Gefälle, es bildet sich daher in ihm eine heftige Strömung, welche kostbare Anlagen zur Deckung der Ufer nothwendig macht. So erforderte der eben erwähnte Bislicher Durchstich sogleich sehr ausgedehnte Arbeiten dieser Art, und ein anderer Durchstich im Preussischen Antheile des Rheins, der sogenannte Budericher-Canal neben Wesel, der schon 1785 gegraben wurde, aber wegen der geringen Verkürzung des Stromlaufes erst viel später sich zum Hauptarme ausbildete, hat eine zusammen-

hängende Deckung der Ufer erforderlich gemacht, die gewiss viel kostbarer geworden ist, als wenn man das alte bedrohte Ufer unmittelbar ausgedeckt hätte. Unterlässt man aber die Sicherstellung der neuen Ufer, so erzeugen sich bald wieder dieselben Unordnungen, die man eben beseitigen wollte. Minard erzählt, dass der Oise beim Dorfe Thourotte ein gerader Lauf gegeben wurde, der sich aber nicht erhielt: die Oise griff wieder die Ufer des Canales an, und zerstörte sie dermassen, dass sie endlich durch fortgesetzten Abbruch genau in das alte Bette zurückkam.

Es sind indessen bei solchen Anlagen keineswegs nur die Ufer des Durchstiches selbst gegen Abbruch zu schützen, denn der Durchstich bildet sich nur nach und nach zum Hauptarme oder zum eigentlichen Strombett aus, und nur in dem Maasse, wie dieses geschieht und der alte Stromlauf verlandet, erhalten die Ufer des letzteren einen natürlichen Schutz. Man darf sich also keineswegs mit der Hoffnung schmeicheln, dass die kostbare Unterhaltung der Ufer in der Serpentine gleich aufhören werde, sobald der Durchstich ausgeführt ist. Ein dritter Durchstich im Unter-rhein, der Griether-Canal, wurde 1820 eröffnet, und obgleich er sich jetzt vollständig zum Hauptarme ausgebildet hat, so erfordert das Dornicker Ufer in der durchstochenen Serpentine noch fortwährend eine sehr kostbare Unterhaltung.

Endlich veranlasst der neue Stromlauf wegen der veränderten Richtung und Geschwindigkeit auch in der unterhalb und oberhalb belegenen Stromstrecke leicht Angriffe des Ufers. Insofern diese aber nicht durch die Wirkung des natürlichen Stroms, sondern durch eine künstliche Anlage veranlasst werden, so richtet der Grundbesitzer wegen jedes Uferabbruches, der dadurch herbeigeführt oder befördert zu sein scheint, Entschädigungsforderungen an den Staat, der den Durchstich ausführen liess. In der oberhalb belegenen Stromstrecke pflegt die Richtung der Strömung gar nicht verändert zu werden, wenn der Durchstich zweckmässig angeordnet war, aber wohl ändert sich hier die Stärke der Strömung, vorausgesetzt, dass überhaupt das relative Gefälle ansehnlich vermehrt wird. In der nächsten Zeit beschränkt sich das starke Gefälle auf den Durchstich selbst, sobald aber hier die Vertiefung eingetreten ist, nimmt der Strom auch oberhalb ein grösseres Gefälle und zugleich eine grössere Geschwindigkeit an, und dadurch kann

er leicht nachtheilig auf die Ufer einwirken. Glücklicher Weise pflegt die Vermehrung des relativen Gefälles so unbedeutend zu bleiben, dass sie sich nicht weit zu erkennen giebt. In höchst auffällender Weise geschah dieses aber, als die Weichsel im Februar 1840 bei dem Dorfe Neufähr nach der See durchbrach und ihren Lauf beinahe um zwei Meilen abkürzte. Das oberhalb der neuen Mündung belegene Dorf Bohnsack wurde so sehr in Angriff versetzt, dass mehrere Gebäude schnell abgetragen werden mussten, und die verstärkte Strömung hat sich seitdem viel weiter aufwärts ausgedehnt und vielleicht noch nicht ihre Grenze erreicht.

Alle diese Umstände, verbunden mit der in solchen Fällen immer wiederholten, aber wohl noch niemals nachgewiesenen Behauptung, dass auch unterhalb des Durchstiches die Strömung verstärkt werde, lassen es höchst bedenklich erscheinen, in einem grossen Strome eine Geradleitung vorzunehmen. Es können freilich Fälle vorkommen, wo der Nutzen eines solchen Unternehmens in Bezug auf die Entwässerung und Culturfähigkeit der angrenzenden Ländereien überwiegend ist: aber immer wird es nöthig sein, die vorerwähnten Punkte vorher genau zu untersuchen, und den Einfluss der Anlage auf alle Umstände zu prüfen. Ein grossartiges Beispiel für das Gelingen einer solchen Anlage bietet die lange Reihe von Durchstichen am Oberrhein, welche seit 1817 in Baden und Baiern ausgeführt sind. Die nähere Beschreibung derselben soll später, wenn von der Ausführung der Durchstiche die Rede ist, mitgetheilt werden; hier bemerke ich nur, dass das relative Gefälle des Rheins weder in den Stromkrümmungen, noch in den Durchstichen bedeutend war, woher sich weder eine heftige Strömung, noch auch eine für die Schifffahrt nachtheilige Senkung des Wasserspiegels darstellen konnte.

Was die Beseitigung der Untiefen im Strombette betrifft, so darf man nicht hoffen, dass dieselben für immer verschwunden sein werden, wenn man sie einmal durch künstliche Aufräumung fortgeschafft hat. Besteht die Verflächung aus demselben Material, welches der Strom gewöhnlich mit sich führt, und wird die Ursache nicht aufgehoben, welche die Ablagerung desselben gerade an dieser Stelle veranlasste, so muss man besorgen, dass beim nächsten Hochwasser oder bei anderer Veranlassung die flache Stelle in ganz gleicher Weise sich wieder ausbilden wird, wie sie

früher bestand. Nur in dem Falle, wenn das Bette durch vorragende Felsen, oder auch wohl durch besonders grosse Steinblöcke oder Baumstämme u. dergl. verengt wurde, darf man sich von der Aufräumung einen dauernden Erfolg versprechen. Dasselbe geschieht auch noch, wenn man durch andere Anlagen die Richtung des Stroms gleichzeitig verändert und denselben in das künstlich eröffnete Fahrwasser leitet. Hat man dabei nicht nur die Strömung des kleinen Wassers, sondern auch die des Hochwassers gehörig berücksichtigt, so wird die ausgebaggerte Rinne sich nicht nur erhalten, sondern auch verbreiten und vertiefen und sich zum eigentlichen Stromschlauche ausbilden. Man kann aber gerade durch die Eröffnung solcher Rinnen die Wirksamkeit der anderen Strom-Regulirungswerke ausserordentlich befördern, und das Schifffahrts-Interesse erfordert es häufig nothwendig, ein neues Fahrwasser vorher zu eröffnen, ehe das alte verbaut wird. In diesen Fällen sind Aufräumungen des Bettes nicht nur angemessen, sondern sehr nützlich und selbst nothwendig: wenn man aber die Sand- und Kiesbänke aus dem Fahrwasser nur durch Baggerung entfernen will, ohne zugleich durch gehörige Regulirung des Stroms ihr Wiedererscheinen zu verhindern, so ist der Erfolg nur temporär, und man muss nach kurzen Zwischenräumen, gewöhnlich nach jedem Hochwasser, die Arbeit aufs Neue vornehmen.

Die erwähnten Verhältnisse werden gemeinhin nicht richtig beurtheilt. Besonders haben die Nachrichten in den öffentlichen Blättern über die Schiffbarmachung der Clyde viel dazu beigetragen, dass man in Deutschland glaubt, der Nutzen der blossen Ausbaggerung eines Flusses sei in diesem Falle bereits erprobt worden. Baggermaschinen wurden freilich hierbei auch angewendet, und vielleicht gerade hier zum ersten Male mit Benutzung der Dampfkraft in einem vorher noch nie versuchten Maassstabe. Nichts desto weniger diente die Baggerung nur dazu, um das künstlich gebildete Strombett von einzelnen sehr fest abgelagerten Bänken frei zu machen. Die Hauptsache beim ganzen Unternehmen war, wie Telford dieses ausführlich beschreibt, die Einschränkung und Verstärkung des Stroms durch neue Ufer. Hierdurch allein wurde dem Wiedererscheinen der Untiefen vorgebeugt, und der Strom selbst wirkte sogar viel kräftiger auf die Vertiefung seines Bettes

hin, als die Baggermaschinen. Da Beispiele aus England bei uns als besonders beachtenswerth angesehen werden, so will ich ein solches über die Baggerung der Themse vor Woolwich nach der Mittheilung in *Nautical Magazine* *) anführen: „Es ist eine auffallende Thatsache, dass die Baggerung der Themse vor Woolwich in den Jahren 1808 bis 1816 die enorme Summe von 125000 Pfund Sterling gekostet hat, und dennoch der Strom in demselben schlechten Zustande blieb, wie er sich immer befunden hatte. Der Schlamm und feine Sand häuft sich sogar immer mehr an, statt abzunehmen. 1816 allein wurden hierzu 29000 Pfund, und es werden noch jährlich im Durchschnitt 16000 Pfund verausgabt, ohne dass man einen Erfolg wahrnehmen kann.“

Bei stehendem Wasser, wo die Ursache zur Bildung der Untiefen ganz fehlt, oder so geringe ist, dass sich die Tiefe nur sehr langsam vermindert, ist die Baggerung von dauerndem Erfolge: bei Strömen aber, in welchen eine gewisse Tiefe und stellenweise sogar eine überflüssige Tiefe sich immer von selbst darstellt, muss man das regelmässige Strombett durch die Benutzung der Kraft des Stromes selbst darstellen, und dieses geschieht, indem man diejenigen Umstände entfernt, welche bisher an einzelnen Stellen die Bildung einer hinreichenden Tiefe verhinderten. Die Aufgabe besteht also darin, den Strom so zu leiten, dass er selbst die gewünschte Tiefe oder sonstige Gestaltung seines Bettes erzeugt: nur wenn dieses erreicht wird, darf man hoffen, die günstigen Resultate, wenn sie auch auf andere Art herbeizuführen wären, dauernd zu erhalten.

Sobald man indessen eine Untiefe beseitigt und eine regelmässige, gehörig breite und tiefe Rinne durch dieselbe darstellt, so tritt sogleich der Erfolg ein, dass der Wasserspiegel in der obern Strecke sich etwas senkt. Indem aber diese Rinne an Wirksamkeit zunimmt, jemehr ihr Querprofil dem ganzen Profile des Stromes sich nähert, so folgt daraus wieder, dass diese Senkung sich vorzugsweise bei kleinem Wasser zu erkennen geben

*) *Nautical Magazine*. Juli 1840. aufgenommen in *Brooks Treatise on the improvement of the navigation of Rivers*. London 1841.

wird, also gerade in der Zeit, wenn die Verminderung der Wassertiefe für die Schifffahrt am nachtheiligsten ist. Dass solche Erfolge bei Stromregulirungen wirklich eintreten, ist schon oben (§. 57) nachgewiesen worden: als ein sehr auffallendes Beispiel in dieser Beziehung will ich noch die gegen das Ende des vergangenen Jahrhunderts ausgeführte Vertiefung der Alle in Ostpreussen erwähnen. Der Fluss hatte stellenweise eine hinreichende Tiefe für kleinere Fahrzeuge, er wurde aber vielfach durch Anhäufungen von grossen Granitblöcken gesperrt, welche den Betrieb der Schifffahrt unmöglich machten. Man fasste die Idee, ohne weitere Untersuchung des Gefälles, die einzelnen Steinriffe zu beseitigen und zwischen denselben ein Fahrwasser von hinreichender Breite und Tiefe zu eröffnen. Mit den obersten Riffen gelang dieses Anfangs auch vollständig, aber wie man mit der Arbeit weiter stromabwärts kam, so senkte sich natürlich der Wasserspiegel in der obern Stromstrecke immer mehr, und diejenigen Steinblöcke, welche früher so tief lagen, dass sie nicht berücksichtigt zu werden brauchten, erschienen nunmehr wieder in geringerer Tiefe unter dem Wasser und bildeten ein neues Hinderniss für die Schifffahrt. Als die Arbeit endlich beendigt war, zeigte es sich, dass dadurch gar nichts gewonnen sei, denn die tiefer liegenden Steine hemmten wieder sehr genau in derselben Weise den Betrieb der Schifffahrt, als es vorher die obern gethan hatten. *)

Betrachtet man den oben (§. 65) entwickelten Ausdruck

$$h = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{Ml}{b^2 t^3}$$

so ergibt es sich, dass der Werth des absoluten Gefälles oder h , wenn auch die Wassertiefe oder t vermehrt wird, sich noch auf zwei verschiedene Arten in seiner Grösse erhalten, oder vielleicht sogar vergrössern lässt. Einmal geschieht dieses durch Verlängerung des Stromlaufes oder Vergrösserung von l , und sodann durch Verminderung der Breite oder b .

*) Der Geheime Ober-Baurath Cochius, der als Bau-Conducteur diese Arbeiten ausführte, hat das dabei angewendete Verfahren zum Sprengen der grösseren Blöcke in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten, die Baukunst betreffend, beschrieben. Jahrgang 1798. Theil II. Seite 72 ff.

Dies erste Mittel bezieht sich zunächst darauf, dass man künstlich Stromkrümmungen oder Serpentinien bildet: dieses ist zuweilen vorgeschlagen, aber wohl nie ausgeführt worden. Ich muss hierbei indessen darauf aufmerksam machen, dass die Krümmung des Stroms noch in einer andern Art, die sich aus dieser Formel nicht zu erkennen giebt, auf die Verminderung der Geschwindigkeit oder bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit auf die Vergrösserung des Gefälles hinwirkt. Dieses geschieht durch die stärkere Zerstörung der lebendigen Kraft des strömenden Wassers, welche durch die Aenderung der Richtung veranlasst wird und sich in den viel lebhafteren inneren Bewegungen zu erkennen giebt. Directe Beobachtungen hierüber sind mir nicht bekannt geworden.

Ausserdem aber tritt bei Strömen, welche abwechselnd sehr starke und sehr schwache Gefälle haben, wodurch sich namentlich die Bergströme charakterisiren, auch noch die Möglichkeit ein, den Werth von l zu vergrössern oder das starke Gefälle auf eine grössere Länge des Stroms zu vertheilen, und dieses ist nicht nur thunlich, sondern pflegt auch vollständig zum Zwecke zu führen. Wenn man nämlich eine starke Stromschnelle beseitigen will, in welcher eben das grosse Gefälle eine heftige Geschwindigkeit und dadurch wieder eine starke Reduction des Profiles und der Tiefe erzeugt, so lässt sich die grössere Tiefe darstellen, wenn man oberhalb oder unterhalb der Stelle eine Einschränkung des Stromes vornimmt. Durch diese wird das Profil vermindert und folglich eine grössere Geschwindigkeit erzeugt: zur Bildung der letzteren ist aber ein grösseres Gefälle erforderlich, welches einen Theil des früheren starken Gefälles an der zu corrigirenden Stelle aufhebt. Die Schifffahrt gewinnt bei diesem Verfahren in doppelter Beziehung, es stellt sich nämlich eine grössere Wassertiefe dar, und ausserdem wird die Geschwindigkeit auch weniger heftig, als sie früher war. Es ist von dieser Corrections-Methode an der Mosel verschiedentlich Gebrauch gemacht worden, wie z. B. neben dem Städtchen Cochem, und wenn gleich die ersten Einschränkungswerke ohne allen Zweck zu sein scheinen, indem sie in fast stillstehendem Wasser erbaut wurden und deshalb Anfangs gar keine Einwirkung auf den Strom bemerken liessen, so stellte sich eine solche doch während des Fortschreitens

der Arbeit ein, und die Strömung wurde endlich vor diesen Werken eben so kräftig, wie sie an derjenigen Stelle blieb, wo früher das ganze Gefälle concentrirt gewesen war.

Führt man eine solche starke Einschränkung unterhalb der untiefen Stelle aus, so hebt man in dieser den Wasserspiegel und vergrössert dadurch die Wassertiefe. Dieses ist besonders sehr vortheilhaft, wenn die Untiefe aus einem durchstreichenden Felsriffe besteht, welcher sonst weggesprengt werden müsste. Nicht weit von Coblenz auf den sogenannten Weissen-Layen in der Mosel ist hierdurch in Verbindung mit Sprengungsarbeiten ein brauchbares Fahrwasser gebildet worden, welches die Schiffe selbst bei sehr kleinem Wasserstande im Rhein jetzt sicher befahren können, während früher die vielen vorragenden Felsen, auf welche sie durch den heftigen Strom leicht aufgestossen wurden, zu häufigen Unglücksfällen Veranlassung gaben.

Gewissermaassen stellt sich bei jeder Beseitigung einer Untiefe ein Erfolg ein, der mit der Vertheilung des Gefälles auf eine grössere Stromlänge zusammenhängt. Die Senkung des Wasserspiegels in der nächst oberhalb belegenen Strecke bedingt nämlich daselbst eine grössere Geschwindigkeit, und diese wieder ein grösseres Gefälle. Auf solche Weise können einzelne Regulirungen, besonders wenn sie an sich keine starke Verminderung des Gefälles herbeiführen, auch nicht weit stromaufwärts die Senkung des Wasserspiegels ausdehnen, und man kann sie an solchen Strömen, die nur hin und wieder mit Untiefen versehen sind und dazwischen grössere Tiefe haben, unbedenklich vornehmen.

Endlich ergibt es sich aus der vorstehenden Formel, dass durch Verminderung der Breite sich das Gefälle unverändert in seiner Grösse erhalten lässt, wenn gleich die Tiefe zunimmt. Man bemerkt freilich, dass zu diesem Zwecke die Breite in stärkerem Verhältnisse reducirt werden muss, als die Tiefe sich vergrössert. Ein grosser Uebelstand, der den beabsichtigten Erfolg leicht aufhebt, ist in diesem Falle eine zu starke Vermehrung der Tiefe, welche bei leichtem Boden sich nur durch die Deckung desselben verhindern lässt. Die starke Vertiefung ist aber nicht nur insofern nachtheilig, als sie den Wasserspiegel in entsprechender Weise senkt, sondern sie hat auch gewöhnlich die Zerstörung der Einschränkungswerke zur Folge. Die sogenannten Rausch-

buhnen, welche eine Erhebung des Wasserspiegels in der erwähnten Weise zum Zweck haben, erfüllen denselben nur, wenn das Strombett zwischen ihnen sehr fest ist und dadurch eine weitere Vertiefung unmöglich wird. Ausserdem sind sie für die Schifffahrt meist sehr unbequem.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, dass man bei Stromregulirungen keineswegs jeden beliebigen Erfolg herbeiführen kann, derselbe ist vielmehr durch äussere Verhältnisse und namentlich durch die Wassermenge des Flusses und durch das Gefälle streng bedingt, so dass gewisse Grenzen, die oft ziemlich nahe liegen, nicht überschritten werden können. Wenn es Absicht ist, durch die vorzunehmende Regulirung die Vorfluth zu befördern, so hängt die Senkung des Wasserspiegels vorzugsweise vom Gefälle des Stromes ab, und wenn dieses an sich schon sehr geringe ist, so wird die Senkung auch nie bedeutend ausfallen. Andererseits, wenn man die Schifffahrt erleichtern und zur Zeit des kleinsten Wassers eine grössere Fahrtiefe darstellen will, so lässt sich durch die eigentliche Stromregulirung, das heisst ohne dass man Wehre und andere ähnliche Anlagen ausführt, die eine künstliche Anspannung des Wasserspiegels bezwecken, gemeinhin die Tiefe nicht stark vergrössern. Es geschieht nicht selten, dass in der natürlichen Ablagerung der Sandbank zur Zeit des kleinen Wassers eine Rinne von derselben Tiefe schon vorhanden war, welche nach erfolgter Regulirung das Bett annimmt. In Bezug auf die Tiefe scheint in solchem Falle wenig gewonnen zu sein, aber der grosse Vortheil, den die Schifffahrt aus der Correction des Stromes zieht, besteht darin, dass diese Tiefe jetzt wirklich nutzbar geworden ist, während die frühere es nicht war, indem das grosse Schiff eine enge und dabei vielleicht noch gekrümmte oder sehr schräge gegen den Strom gerichtete Rinne nicht verfolgen kann. So ereignet es sich auch häufig, dass man bei Untersuchung einer Untiefe wirklich den gehörigen Wasserstand vorfindet, der nach der Angabe der Schiffer nicht vorhanden sein soll: aber es ist natürlich, dass die letzteren nur denjenigen Weg berücksichtigen, den sie wirklich durchfahren können. Dazu kommt noch, dass bei sehr schräger Richtung oder grosser Entfernung des Fahrwassers vom Leinpfade, besonders bei heftiger Strömung, das Schiff in der Bergfahrt oder beim Heraufgehen durch die Zugleine

stark seitwärts geneigt, und sonach auch der flache Boden des Schiffes nicht mehr horizontal, sondern an der dem Leinpfade zugekehrten Seite um mehrere Zolle und selbst einen halben Fuss tief herabgedrückt wird. Hierbei kann es bei mässiger Tiefe des Fahrwassers leicht geschehn, dass das Schiff aufstösst und nicht fortzubringen ist, obgleich die Wassertiefe sogar etwas grösser, als die gewöhnliche Einsenkung des Schiffes gemessen wird. Umstände dieser Art sind für den Verkehr von der äussersten Wichtigkeit, und indem sie durch eine gehörige Stromregulirung beseitigt werden, so erfährt die Schifffahrt dadurch eine ausserordentliche Erleichterung, wenn auch die Vergleichung der Tiefen, wie sie vor und nach dem Bau bei gleichem Wasserstande gemessen wurden, gar keine grosse Differenz ergeben sollte. Stellt sich hierbei aber noch eine Zunahme der Tiefe von etwa 6 Zoll auf den flachen Stellen heraus, so ist der Nutzen schon sehr wesentlich: der Schiffer kann ein regelmässiges Fahrwasser leichter gewinnen und verfolgen, und desshalb vergrössert er die Einsenkung des Schiffes weit stärker, als man nach der Vermehrung der Tiefe erwarten sollte.

Die hier kurz angedeuteten Methoden zur Stromregulirung beziehn sich vorzugsweise darauf, dass man die beabsichtigten Verbesserungen nicht unmittelbar durch bauliche Anlagen herbeiführt, sondern durch diese nur eine gewisse Einwirkung auf den Strom ausübt, und dadurch den Strom selbst veranlasst, die gewünschte Umgestaltung des Bettes hervorzubringen. Bei allen andern Wasserbauwerken ist das Verfahren ein wesentlich verschiedenes, indem die Ausführung unmittelbar die Verhältnisse so darstellt, wie man sie gebraucht. Auch für den Strombau wäre dieses nicht unmöglich: man dürfte sich dabei aber keineswegs allein auf die Bildung des tiefen Schlauches beschränken, sondern man müsste zugleich dafür sorgen, dass der Strom diesen vorgezeichneten Weg nicht wieder verlassen und die Rinne zuwerfen kann. Dieses würde aber nur geschehn, wenn eine vollständige Umgestaltung der Ufer vorgenommen wäre. Die Kosten dieser Arbeit würden so gross ausfallen, dass man solche Anlagen nie in der Ausdehnung ausführen könnte, als es wirklich geschieht. Die Regulirung des Stroms kostet unter gewöhnlichen Verhältnissen noch weniger, als die Erbauung einer Strasse von gleicher Länge.

Die übermässigen Erdarbeiten, theils in Bezug auf die Vertiefung des Fahrwassers, theils auch bei der Bildung der Ufer, werden dabei aber nicht als Auf- und Abtrag durch Handarbeit dargestellt, man benutzt vielmehr die Kraft des Stromes, um sowohl das Bette auszutiefen, als auch die Ufer in gehöriger Form und Höhe darzustellen. Damit aber das Hochwasser nicht etwa den neuen Stromschlauch wieder mit Sand und Geschieben verschütte, muss man dafür sorgen, dass auch zur Zeit der Anschwellungen eine lebhaftere Strömung darin erhalten wird. Man kann es nach den bereits früher mitgetheilten Erfahrungen über die Verflächung des Strombettes als eine Hauptregel ansehen, dass der Strom des Hochwassers in das eigentliche Strombett oder dahin gewiesen werden muss, wo auch das niedrige Wasser fliesst. Ausserdem kommt es darauf an, die Strombauwerke so anzuordnen, dass die vorerwähnten Umformungen wirklich eintreten, und dieses setzt eine genaue Kenntniss der Wirksamkeit des Wassers voraus. Gerade dieser Theil der Hydraulik ist indessen bisher sehr wenig durch Beobachtungen aufgeklärt worden. Ich will im Nachstehenden die Erfahrungen und Schlüsse zusammenstellen, welche hierbei einigen Anhalt geben.

§. 68.

Wirksamkeit der Strömung.

Die Wirksamkeit des Stromes erstreckt sich offenbar nur soweit, als derselbe sich überhaupt im Flussthale ausbreitet. Diejenigen Flächen, welche durch hohe Umschliessungen vor dem Zutritt des Wassers sicher gestellt sind, erfahren daher keine Veränderungen, und in gleicher Weise werden auch die höher liegenden Ufer, welche von den Inundationen nicht erreicht werden, solchen Veränderungen unmittelbar nicht ausgesetzt sein. Bei den letztern ist jedoch eine Umgestaltung noch insofern möglich, als ihr Fuss ausgewaschen werden kann und sie alsdann in Folge der mangelnden Unterstützung zusammenstürzen. Demnächst aber ist die Stärke der Strömung auf die Wirksamkeit des Wassers, wie schon früher erwähnt worden, vom wesentlichsten Einfluss: dieselbe bedingt eben sowohl den Abbruch, wie die Erhöhung der Flächen, und wo sie aufhört, oder unmerklich geringe wird,

hört grossentheils auch die Wirksamkeit des Wassers ganz auf. So sieht man in der That an denjenigen Flächen, welche nur inundirt, aber nicht merklich überströmt werden, auch keine wesentlichen Veränderungen vorgehen. Daher erklärt es sich z. B., dass alte Stromarme, deren obere und untere Mündungen verlandet sind, nur noch unmerklich die erdigen Stoffe aufnehmen, obgleich sie jedesmal beim Wachsen des Hauptstromes auch anschwellen. Wenn das Wasser, mit dem sie sich füllen, nicht Quellwasser oder Grundwasser ist, welches also durch den Boden dringt, so wird die Anfüllung und ebenso die Entleerung immer eine gewisse Strömung bedingen, deren Erfolge sich wenigstens durch die Offenerhaltung der Mündungen, soweit die Strömung dieses erfordert, bemerkbar machen. Ausserdem aber wird das aus dem Strome zutretende Wasser, jenachdem es auf dem Wege bis zur Niederung in stärkerer oder schwächerer Bewegung geblieben war, auch mehr oder weniger erdige Theilchen enthalten, und diese beim Eintritt der vollen Ruhe vollständig ausscheiden, so dass hier eine Art von Colmation vor sich geht, welche jedoch nur ein sehr schwaches Aufwachsen des Bodens zur Folge hat. Der hierbei eintretende Erfolg bleibt desshalb so klein, weil bei jedem Hochwasser nur einmal das Wasser einströmt, und sonach der gewonnene Niederschlag sich auf diejenigen erdigen Theilchen beschränkt, die in dieser Wassermasse gerade vorhanden waren.

Hat die inundirte Fläche dagegen besondere Ein- und Ausmündungen, oder steht sie in ihrer ganzen Längen-Ausdehnung mit dem Flusse in freier Verbindung, so erneut sich das Wasser, welches sie anfüllt, fortwährend, und auf diese Weise wird eine viel grössere Quantität von erdigen Stoffen darüber geführt und kann bei gehöriger Wahl der Vorkehrungen auch in weit grösserer Menge aufgefangen werden. Eine vollständige Abscheidung aller, und auch der feinsten im Wasser noch schwebenden Erdtheilchen ist hierbei freilich nicht möglich, nichts desto weniger gewinnt man doch eine viel grössere Masse Material, als im ersten Falle. In den Niederungen unterscheidet man in dieser Beziehung das magere von dem fetten Wasser. Das erste ist entweder Quellwasser oder solches, das durch Rückstau eintritt, das letztere wird aus dem Strome oben abgefangen und fliesst fortwährend hinzu. Es ist bekannt, dass dieses die vegetative

Kraft vorzugsweise befördert und eine sonstige Düngung der Aecker entbehrlich macht.

Die schwereren Massen, welche sich, wie oben beschrieben, vom Boden des Stromes nicht weit entfernen, lagern sich nur da ab, wo eine starke Strömung stattfindet, und namentlich da, wo die Geschwindigkeit sich gerade etwas vermindert. Sie bezeichnen daher, nachdem das Hochwasser sich verlaufen hat, die Richtung und zugleich die Geschwindigkeit der Strömung. Will man eine Ablagerung derselben an einer bestimmten Stelle veranlassen, so darf man den Raum nicht vollständig abschliessen: derselbe muss vielmehr nicht nur geöffnet, sondern auch einer starken Durchströmung freigestellt sein. Der Strom darin muss aber weniger stark, als im Bette selbst werden, damit dieses Material wohl hinein-, aber nicht herausgetrieben werden kann. Von dem mehr oder minder vollständigen Verschluss dieser Räume hängt es ab, ob man gröberes oder feineres Material darin aufhängt. Sehr augenscheinlich zeigte sich diese Verschiedenheit auf einzelnen Baustellen an der Mosel. Die Mosel führt besonders im Preussischen Gebiete sehr grobes Geschiebe, und ein solches lagert sich auch gewöhnlich an denjenigen Stellen ab, deren Erhöhung man durch passende Strombauwerke befördert. Zuweilen ist es aber beim Absperrn der Stromarme erforderlich, die Werke bis zu einer viel grössern Höhe aufzuführen, weil sie gleichzeitig zum Uebergange der Leinpfede dienen sollen. Alsdann findet man in dem Raume zwischen denselben nicht mehr das grobe, sondern ein viel feineres Geschiebe, und zuweilen erfolgt hier sogar, wie ich es im Trierer Regierungsbezirke gesehn habe, eine Ablagerung von feinem Sande, den man sonst im Strombette gar nicht bemerkt.

Insofern es bei der Bildung der Ufer darauf ankommt, grosse Massen Material aufzufangen, so muss man auch das schwerere Geschiebe berücksichtigen, und es ist vorthellhaft, dieses vorzugsweise aus dem Strombette zu entfernen, weil es am leichtesten zur Bildung neuer Untiefen Veranlassung geben kann. Man wird daher wohlthun, die Regulirungsarbeiten so anzuordnen, dass auch die schwersten Steine, welche der Strom mit sich führt, noch aufgefangen werden. Bis zu einer grossen Höhe werden sie durch den Strom freilich nicht gehoben, aber sie lassen sich leicht in

den tiefen Stellen des Bettes, die verfüllt werden sollen, auffangen. Zu diesem Zwecke ist es nothwendig, dass über diese Stellen zur Zeit des Hochwassers noch eine starke Strömung fortgehe, sie muss aber allmählig abnehmen, damit das Wasser, indem es hier vorüberzieht, nach und nach die Steine liegen lässt. Besonders kömmt hierbei aber die Strömung in der Nähe des Bodens in Betracht, und diese lässt sich sehr leicht dadurch mässigen, dass man niedrige Querdämme ausführt, zwischen welchen das schwere Material sich in grossen Massen abzulagern pflegt. Der Erfolg wird aber vereitelt, wenn die Bauwerke, welche nur am Boden eine Mässigung des Stromes hervorbringen sollen, den Strom selbst stark schwächen und vielleicht gar bis zum Wasserspiegel heraufreichen. Geschieht das letztere, so bilden diese Querdämme zwischen sich abgeschlossene Räume, die nur nach der Seite gegen den Strom geöffnet sind. Es ist an sich klar, dass die starke Durchströmung alsdann aufhören muss, nur die Adhäsion der darin befindlichen Wassermasse gegen das vorbeiströmende Wasser giebt zu einer rotirenden Bewegung Veranlassung. In Beziehung auf Verlandung sind die Erfolge in diesem Falle sehr geringe, in der Mitte des Raumes zeigt sich eine solche wohl zuweilen, doch pflegt sie vom Ufer, sowie auch von den nächsten beiden Querdämmen durch tiefe Rinnen getrennt zu bleiben.

In einiger Höhe über dem eigentlichen Strombette kann man nach dem bereits Angeführten nicht mehr das grobe Material auffangen, wohl aber lässt sich auch hier noch leicht die Verlandung durch Sand und die feineren Thontheilchen bewirken, die im Wasser schweben und die Trübung desselben hervorbringen. Man muss zu diesem Zwecke in ähnlicher Weise wieder bemüht sein, an den Stellen, wo der Niederschlag erfolgen soll, die Geschwindigkeit zu mässigen. Die Mittel dazu sind insofern etwas von den früheren verschieden, als die Geschwindigkeit oder Strömung hier schon an sich schwächer ist, und daher leichtere Constructions gewählt werden dürfen, wie z. B. Flechtzäune, Rauschen und Pflanzungen. Man muss aber auch in diesem Falle die wesentliche Bedingung, nämlich das Vorhandensein der Strömung, nicht unberücksichtigt lassen. Das Wasser muss einen offenen Zugang und ebenso einen freien Abfluss haben, wenn daher einer derselben sich zufällig schliessen sollte, wie dieses sehr häufig

in der obern Mündung geschieht, so muss man denselben wieder künstlich eröffnen, indem man etwa das Weidenstrauch an einer Stelle ausrodet, oder auch wohl durch Handarbeit einen vollständigen Zuleitungsgraben ausführen lässt.

Die Verhältnisse, welche bei der Verlandung oder beim Absetzen des vom Strome herbeigeführten Materials eintreten, lassen sich in der bezeichneten Weise erklären, und die Erscheinungen stimmen damit, wie ich immer gefunden habe, ganz genügend überein. Bei der Vertiefung des Strombettes und beim Angriff der Ufer ist dagegen die Erscheinung viel complicirter, und sie scheint, wie schon oben (§. 56) angeführt wurde, weniger von derjenigen Geschwindigkeit, die man in der Richtung des Stromes misst, als vielmehr von der innern Bewegung des Wassers abhängig zu sein. Insofern gemeinlich beide gleichzeitig zu- und abnehmen, so ist es schwer, sie von einander zu trennen und ihre Wirkungen einzeln wahrzunehmen. Was den Niederschlag der im Wasser enthaltenen erdigen Theile betrifft, so ist derselbe ohne Zweifel gleichfalls durch die inneren Bewegungen bedingt, aber indem diese sich in solchem Falle nicht neu zu erzeugen pflegen, sondern vielmehr gemeinlich durch die Anlagen, welche die Mässigung der Geschwindigkeit bezwecken, auch aufgehoben werden, so ist die Berücksichtigung der absoluten Geschwindigkeit ausreichend. Ganz anders ist aber das Verhältniss beim Angriff des Bodens, und viele Erscheinungen, die man hierbei eintreten sieht, bleiben unerklärlich, so lange man nur die Geschwindigkeit in der Richtung des Stromes betrachtet.

Dubuat, der seine Untersuchungen meist auf sehr kleine und regelmässig geförmte Wasserläufe beschränkte, welche solche innere Bewegungen in weit geringerem Maasse zeigen, nimmt an, dass für jede Art von Material eine gewisse Geschwindigkeit (in der Richtung des Stromes gemessen) gehöre, wobei dieses Material, wenn es die Sohle oder die Wand des Bettes bildet, nicht angegriffen wird, und wobei es zugleich auch nicht abgelagert wird, wenn es im Wasser schwebend enthalten ist, oder von demselben über den Boden fortgeschoben oder gestossen wird. Es wird also die Voraussetzung gemacht, dass eine stärkere Strömung erforderlich sei, das abgelagerte Material wieder aufzuheben und in Bewegung zu setzen, als die Fortsetzung der Bewegung desselben

erfordert. Jene Geschwindigkeit, welche den Beharrungsstand des Bettes bedingt, versuchte Dubuat durch Beobachtungen für verschiedene Erdarten und Steine, welche in den Flüssen vorkommen, zu ermitteln. Zum Verständniss dieser Beobachtungen, deren Resultat ich nachstehend vollständig mittheile, muss man sich daran erinnern, dass Dubuat, wie oben erwähnt ist (§. 64), eine ganz constante Beziehung zwischen der Geschwindigkeit in der Oberfläche und an der Sohle annimmt. Er sagt *): „Es ergibt sich aus diesen Beobachtungen, 1) dass der braune Thon, wie ihn die Töpfer gebrauchen, obgleich er unter allen diesen Stoffen das grösste specifische Gewicht hat, dennoch der Wirkung des Stroms nicht früher widersteht, als bis die Geschwindigkeit am Boden auf 3 Zoll in der Secunde, oder an der Oberfläche auf 8 Zoll abgenommen hat. Die Leichtigkeit, womit das Wasser ihn angreift, rührt ohne Zweifel von der grossen Feinheit seiner Theilchen oder davon her, dass die Oberfläche dieser Theilchen im Verhältniss zur Masse sehr gross ist. 2) Der feine Sand fängt an zu widerstehen, wenn die Geschwindigkeit am Boden auf 6 Zoll oder an der Oberfläche auf 12 Zoll sich vermindert; 3) der grobe und scharfe Sand, wenn die Geschwindigkeit am Boden weniger als 8 Zoll beträgt. 4) Der Kies aus der Seine, der entweder fein, mittel oder grob ist, wird nicht mehr angegriffen, wenn die Geschwindigkeit am Boden respective 4, 7 und 12 Zoll beträgt. 5) Die abgerundeten Geschiebe von einem Zoll im Durchmesser widerstehen einer Geschwindigkeit von 24 Zoll, und endlich 6) die eckigen Feuersteine von der Grösse eines Hühnereies einer Geschwindigkeit von 36 Zoll.“

Diese Maasse beziehn sich auf das Pariser Fussmaass: der Unterschied gegen jedes andere kommt indessen wenig in Betracht, da die Resultate an sich viel unsicherer sind. Die Beobachtungen wurden in einem künstlichen Canale angestellt, die Dimensionen desselben giebt Dubuat jedoch nicht näher an.

Diese Resultate sind, ohne dass man sie, soviel ich weiss, weiter geprüft hat, in alle späteren Lehrbücher der angewandten Hydraulik übergegangen, und man benutzt sie nicht selten, wenn

*) *Principes d'Hydraulique* I. §. 71. Die vollständigen Beobachtungen sind II. §. 399 enthalten.

es darauf ankommt, die Erfolge gewisser Anlagen vor der Ausführung nachzuweisen. Man nimmt alsdann übereinstimmend mit Dubuat an, dass beim Eintritt grösserer Geschwindigkeiten das Strom- oder Canalbett angegriffen, und im Gegentheile es erhöht und verflächt wird, wenn die Geschwindigkeiten geringer sind und die betreffenden Stoffe vom Wasser herbeigeführt werden. Der Grund aber, weshalb man diesen Resultaten ein so grosses Vertrauen geschenkt hat, liegt meines Erachtens allein in der Schwierigkeit und Unsicherheit, womit die Anstellung solcher Beobachtungen verbunden ist. Ich versuchte es, dieselben für verschiedene Sandarten zu wiederholen, aber es war mir nicht möglich, eine bestimmte Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Beweglichkeit des Materials aufzufinden: an einzelnen Stellen, wo das Profil kleiner und sonach die Geschwindigkeit grösser war, als an andern Stellen, lag der Sand ganz fest und wurde sogar angehäuft, während er an der letztern fortgetrieben wurde.

Auch bei grossen Strömen kommen nicht selten Fälle vor, welche mit der letzten Erfahrung übereinstimmen, und in solchen Profilen, wo die mittlere Geschwindigkeit ohne Zweifel am grössten ist, gar keinen Angriff durch das Wasser, sondern sogar eine zunehmende Verlandung zeigen. Es ist indessen immer sehr schwierig, für ein Strombett die Geschwindigkeiten, welche bei verschiedenen Wasserständen an derselben Stelle eingetreten sind, richtig zu schätzen und deren Wirkungen zu erkennen. Jedenfalls darf man annehmen, dass der Angriff, den das Wasser irgendwo gegen den Boden ausübt, ganz unabhängig von dem Umstande ist, ob das Wasser sich daselbst in der Richtung des Stroms bewegt, oder von derselben abweicht. Man wird daher auch nicht aus der in der Richtung des Stroms gemessenen Geschwindigkeit allein auf die Grösse des Angriffs schliessen können. Mindestens muss man die Geschwindigkeit des vorbeistreifenden und angreifenden Wassertheilchens in ihrer absoluten Grösse als Maass der Wirkung betrachten, und wahrscheinlich ist die letztere noch durch die Richtung bedingt, unter welcher das Wassertheilchen das Ufer trifft, wofür man auch den entsprechenden Druck einführen kann. Es wäre möglich, dass der verstärkte Druck an einzelnen Stellen unter gewissen Umständen sogar das Wasser durch den Boden hindurchdrängt und dadurch die Erdtheilchen auflockert, wie dieses

in dem Falle geschieht, wenn ein starker Wellenschlag vor dem Ufer stattfindet und der Wasserdruck in Folge desselben abwechselnd bald grösser bald geringer wird. Gewiss leidet es aber keinen Zweifel, dass ein Sandkörnchen oder kleiner Stein durch den von einer Seite dagegen ausgeübten Druck fortgerissen wird. Wahrscheinlich erfolgt auf diese Art vorzugsweise der Abbruch der Ufer und des Bettes und um die dadurch herbeigeführten Zerstörungen richtig zu würdigen und zu erklären, muss man nothwendig die in dem Strome eintretenden inneren Bewegungen berücksichtigen.

Nach dem jetzigen Stande der Hydraulik ist hierüber wenig zu sagen, indem es noch an allen Beobachtungen fehlt, und der Gegenstand bisher überhaupt wenig beachtet worden ist. Die allgemeinen Gesetze der Mechanik, verbunden mit den physischen Eigenschaften des Wassers, geben in einzelnen Fällen eine Erklärung von manchen Erscheinungen, die man im Wasserbau wegen ihres auffallenden Einflusses schon lange kennt. Ich will diese im Folgenden anführen.

Das Wasser ist wie jeder andere schwere Körper Gesetzen der Schwere unterworfen. Seine einzelnen Theilchen bleiben nur so lange in Ruhe, als sie von allen Seiten hinreichend unterstützt sind, und hierzu gehört, dass sie sich entweder gegen feste Wände oder gegen andere Wassertheile, die unter gleichem Drucke sich befinden, lehnen können. Hört dieses Verhältniss auf, so fangen sie an, sich zu bewegen und zwar bestimmt sich die Richtung der Bewegung durch die grösste Differenz des Druckes von der einen und der andern Seite. Gesetzt, dass in einem Gefässe das Wasser sich immer mehr und mehr ansammelt, so dass es zuletzt etwas höher als der umgebende Rand steht, alsdann wird es offenbar anfangen über denselben abzufließen, weil das neben dem Rande befindliche Wassertheilchen zunächst unter der Oberfläche wohl von der innern Seite des Gefässes einen Druck erfährt, aber nicht von der äussern. Dieses Theilchen wird daher über den Rand fortgeschoben. Die Richtung in welcher es hinüber strömt, lässt sich noch näher angeben. Es kann sich offenbar in sehr verschiedenen Richtungen über den Rand bewegen, und es würde jede einzelne derselben wirklich verfolgen, wenn es die andern nicht wählen könnte. Für alle diese Rich-

tungen ist der Unterschied des Druckes gleich gross, vorausgesetzt, dass der Rand, soweit er überströmt wird, horizontal liegt. Bei jeder schrägen Richtung erfolgt aber eine Verlängerung des Weges, während der normal gegen die Richtung des Randes gekehrte Weg, der kürzeste von allen ist. Dieses findet offenbar beim Ueberfliessen jedes Randes von einiger Breite statt. Für sehr schmale Ränder ist die Länge des erwähnten Weges an sich sehr geringe, nichts desto weniger bleibt das Verhältniss zwischen den verschiedenen herüberführenden Wegen immer dasselbe. Der kürzeste Weg bedingt daher in allen Fällen bei gleicher Erhebung des Wassers über den Rand, das stärkste relative Gefälle, und dieser Umstand ist entscheidend für die Richtung, welche das Wasser wählt. Der Fall ist ungefähr derselbe, als wenn eine Kugel auf eine Ebene gelegt wird, die etwas gegen den Horizont geneigt ist. Sie kann in allen Richtungen herabrollen, welche noch ein gewisses Gefälle haben, und sie würde auch gewiss in jeder derselben sich bewegen, wenn die andern stärker geneigten gesperrt wären. Sie folgt aber derjenigen Richtung, in welcher ihr Schwerpunkt am unvollständigsten unterstützt ist, oder wo das stärkste Gefälle stattfindet. In gleicher Art folgt auch das Wassertheilchen beim Ueberfliessen über den Rand demjenigen Wege, der das stärkste Gefälle im Wasserspiegel bedingt, oder der normal gegen die Richtung des Randes gekehrt ist. Dieses findet in der That statt, und nicht nur in kleinen Gefässen, sondern die Erscheinung wiederholt sich auch bei grossen Wassermassen, z. B. bei Strömen, deren Bett durch Wehre oder andere Bauwerke gesperrt ist. Das Wasser bewegt sich, insofern nicht etwa andere Kräfte dabei wirksam sind, beim Ueberstürzen über dieselben in einer Richtung, welche rechtwinklich gegen diese Werke gerichtet ist.

Der Druck, der eine Seitenbewegung des Wassers hervorbringt, kann auch eine Folge des Stosses sein. Wenn die bewegte Wassermasse plötzlich ein Hinderniss findet, so stösst sie gegen dasselbe und verursacht vor der entgegretenden festen Oberfläche einen vermehrten Druck, der nach allen Seiten, wohin ein Ausweichen überhaupt möglich ist, das Wasser fortdrängt. Das Wasser wird also rechts und links, oder auch unterhalb, wenn hier Wege offen sind, auszuweichen suchen. Ausserdem

ist aber bei einem Strome auch die Oberfläche frei, und es bietet sich also jedesmal die Veranlassung zu einer aufwärts gerichteten Strömung dar, die man in der That in solchen Fällen auch immer wahrnimmt. Am auffallendsten zeigt sich diese Erscheinung, wenn in einem sonst regelmässigen Strombette, und zwar einem solchen, worin eine frische Strömung stattfindet, ein einzelner grosser Stein liegt, der etwa bis zum dritten Theile oder der Hälfte der Höhe des Wasserstandes sich über den Boden erhebt. Vor demselben bildet sich eine starke aufwärts gerichtete Strömung, die sich an der Oberfläche durch ein heftiges Aufwallen des Wassers zu erkennen giebt. Es zeigt sich eine förmliche Erhebung der Oberfläche, welche aber natürlich, da ihr jede feste Seitenbegrenzung fehlt, fortwährend ringsumher abfließt, und sich nur durch den immer erneuten Zudrang von unten ersetzt. Indem diejenigen Wasserfäden des Stromes, welche über dem Steine fortgehen würden, mit dieser Strömung zusammenstossen, so verändern sie die Richtung derselben und die erwähnte Erhebung des Wasserspiegels zeigt sich daher nicht mehr unmittelbar über dem Steine, der sie verursachte, sondern weiter stromabwärts. Hieraus ergiebt es sich auch, dass die Ablenkung dieser Strömung immer grösser, und wegen des Einflusses der Bewegung der andern Wasserfäden ihr Erscheinen an der Oberfläche immer um so schwächer sein wird, je tiefer der Gegenstand, der sie erzeugte, unter Wasser liegt, oder je geringer seine Höhe über dem Bette im Vergleiche zur ganzen Wassertiefe ist. Nichts desto weniger kann man bei einiger Uebung dieses Aufwallen noch bemerken, wenn es auch von einem wenig vortretenden Steine oder von tief liegenden Holzstücken herrührt: und es unterscheidet sich eben durch die convexe Form der Oberfläche und die sprudelnde Bewegung, sowie auch dadurch, dass es seine Stelle nicht verändert von den sonstigen Bewegungen in der Wasserfläche. Die Schiffer pflegen hierauf immer sehr aufmerksam zu sein, und besonders bei der Thalfahrt gerade hieraus die Lage der einzelnen Klippen oder sonstigen Gegenstände, auf welche das Schiff aufstossen könnte, zu erkennen.

Eine Erhebung des Wasserspiegels findet auch statt, wenn das Bette von einer Seite aus durch einen Einbau stark beschränkt wird. In dem abgeschlossenen Winkel vor dem Einbau

kann die Strömung nicht ganz aufhören, weil zum Theil die Mittheilung der Bewegung des vorbeifliessenden Wassers dieses verhindert, andern Theils aber auch, weil eine verminderte Geschwindigkeit neben dem Ufer auch ein schwächeres Gefälle daselbst bedingt, und demzufolge das aufgefangene Wasser vor dem Einbau höher steht als das vorbeifliessende. Dieses Wasser strömt daher längs der stromaufwärts gekehrten Seite des Einbaues nach der Mitte des Stromes und es wird fortwährend ersetzt durch eine Strömung, welche mit dem Hauptstrome parallel, wenn auch mit viel geringerer Geschwindigkeit sich längs dem Ufer hinzieht, und den Raum vor dem Einbau füllt. Dieses zufließende Wasser wird in seiner Bewegung plötzlich unterbrochen und dieser Umstand giebt Veranlassung, dass eine noch grössere Erhebung des Wasserspiegels vor dem Einbau erfolgt. Zuweilen bemerkt man sogar unmittelbar vor der vordern Fläche des letztern das erwähnte Aufwallen, und der Augenschein zeigt alsdann schon, dass die Oberfläche hier einige Zolle höher ist, als in geringer Entfernung stromaufwärts. Der ganze Unterschied des Wasserstandes vor und hinter einem solchen Einbau beträgt aber nach Maassgabe seiner Länge und der Geschwindigkeit des Wassers oft 1 Fuss.

Um die bei dieser Gelegenheit eintretende Bewegung weiter zu verfolgen, muss man eine zweite Eigenschaft berücksichtigen, welche wieder dem Wasser mit allen andern schweren Körpern gemeinschaftlich zukommt: dieses ist das Beharrungsvermögen, oder das Bestreben, die erhaltene Bewegung in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit fortzusetzen. Stösst das Wasser schräge gegen eine feste Verticalebene, so wird es keineswegs von derselben abprallen und unter gleichem Winkel fortgestossen werden, wie man dieses früher vermuthete, vielmehr wird derjenige Theil der Geschwindigkeit, der gegen die Ebene normal gerichtet ist, aufgehoben, und der Effect dieser Zerstörung der lebendigen Kraft äussert sich in dem vermehrten Drucke oder in einer angemessenen Erhebung des Wasserspiegels. Der andere Theil der Bewegung, nämlich der parallel zur Ebene gerichtete, wird nicht weiter verändert, als dass er durch den Druck verstärkt wird, der aus dem Aufhören des ersten entspringt. Es bildet sich also an der vordern Seite der Ebene ein derselben paralleler Strom,

der alle Wasserfäden aufnimmt, welche die Ebene treffen. Dieser Strom nimmt daher an Stärke zu, wie er sich dem Ende der Ebene oder dem Kopfe des Einbaues nähert, und längs dem Einbaue bemerkt man das starke Gefälle, welches dem Drucke entsprechend die Strömung unterhält. Sobald dieser Strom den Kopf des Einbaues erreicht, folgt er keineswegs gleich der Richtung des Hauptstromes, vielmehr behält er sehr augenscheinlich seine frühere Richtung bei. Er wird indessen, sobald er sich nicht mehr gegen den Einbau stützen kann, durch die Wasserfäden, welche er trifft, nicht weiter verstärkt, sondern vielmehr abgelenkt, und so geht er wegen der fortgesetzten Ablenkung in einer Curve in die Hauptrichtung des Stromes über. Wo die beiden Ströme sich treffen oder eben in dieser Curve pflegt eine starke Vertiefung des Bettes die erste Wirkung des Einbaues zu sein.

Das ganze eben beschriebene Verhältniss findet nur statt, so lange der Einbau alle Wasserfäden die ihn treffen wirklich aufhängt, und sie dem Hauptstrome zuweist. Dieses geschieht nur, wenn das Wasser nicht darübergeht. Wird der Einbau hoch überfluthet, so ist die Seitenablenkung viel geringer und der grösste Theil des Wassers fliesst darüber fort. Es bildet sich alsdann wegen der Hemmung, die das Wasser hier erfährt, ein schwacher Wassersturz, der auch bei hohen Anschwellungen die Lage der Einbaue noch erkennen lässt. Bei geringer Ueberfluthung ist die Seitenströmung noch vorhanden, und sie gewährt für die Schiffahrt den sehr grossen Vortheil, dass, so lange das Auffahren des Schiffes auf den Kopf des Einbaues zu besorgen ist, die Strömung selbst zur Abwendung der Gefahr wesentlich beiträgt. Der Seitenstrom weist nämlich das Schiff ab. Ist das Fahrwasser vor dem Kopfe sehr schmal, so muss das Schiff bei der Thalfahrt oft so gesteuert werden, als wenn es auf den Einbau auflaufen sollte: nur dadurch vermeidet man, dass der Strom von der Seite es nicht zu weit fortreibt, und es auf die gegenüberliegende Untiefe stösst.

In gleicher Weise, wie vor künstlichen Einbauen, bilden sich auch vor den natürlichen Sand- und Kiesablagerungen Seitenströme, welche den gegenüberliegenden Ufern sehr nachtheilig sind, und zugleich zur Verlängerung dieser Ablagerungen bei-

tragen. Wenn die seitwärts gerichtete Strömung aber das Ufer trifft, so zeigt sich hier wieder eine ähnliche Erscheinung wie vor dem Einbau, nämlich die grösste Geschwindigkeit stellte sich unmittelbar vor dem Ufer ein, und dieses geschieht so lange, bis der Strom wieder in die Mitte des Bettes gewiesen wird. Wenn das Ufer aber concav ist, so ist das Beharrungsvermögen des Wassers eine neue Veranlassung, den stärksten Strom neben dem Ufer zu concentriren, weil alle einzelnen Wassertheilchen darauf gestossen werden. Ein Theil ihrer Bewegung, nämlich derjenige, der an jeder Stelle normal gegen das Ufer gerichtet ist, wird aufgehoben und veranlasst, wie bereits erwähnt worden, eine vertical gerichtete Strömung, oder eine Erhebung des Wasserspiegels. Diese Anschwellung vermehrt freilich mittelbar wieder die parallel zum Ufer gerichtete Geschwindigkeit, nichts desto weniger giebt eine solche Uebertragung doch wahrscheinlich zu vielen innern Bewegungen des Wassers Veranlassung. Durch diese wird aber theils die lebendige Kraft zerstört und dadurch verhindert, dass das Gefälle die entsprechende volle Geschwindigkeit, wie in einer regelmässigen Stromstrecke hervorbringt, theils aber werden dadurch auch die Ufer in noch höherem Grade angegriffen.

Bei Gelegenheit der Seitenströme muss noch bemerkt werden, dass sie keineswegs immer in der ganzen Tiefe des Strombettes sich in gleicher Richtung darstellen: wenn der künstliche Einbau oder die Kiesablagerung, wodurch sie erzeugt werden, tief unter Wasser liegt, so sind sie oft in der Oberfläche gar nicht mehr, oder doch nur sehr schwach zu erkennen, während sie in der Tiefe noch sehr kräftig bestehn. Das erwähnte Abweisen der Schiffe von den Köpfen der Einbaue giebt sich daher bei Fahrzeugen von verschiedener Einsenkung auch sehr verschiedenartig zu erkennen, so dass leicht ein kleiner Nachen davon nichts erfährt und in unveränderter Richtung vor dem bereits unter Wasser liegenden Einbau vorbei schwimmt, während das tiefer gehende grosse Schiff stark seitwärts getrieben wird.

Es ergibt sich schon aus dem Vorhergehenden, und ist auch an sich klar, dass das Beharrungsvermögen des Wassers sich keineswegs allein auf die Bewegungen in horizontaler, sondern auch auf die in verticaler Richtung beziehn muss. Gerade die letzten üben aber auf das Strombette einen sehr we-

sentlichen Einfluss aus. Das Wasser, welches über ein Wehr, oder über einen Einbau stürzt, und dabei eine abwärts gerichtete Bewegung annimmt, setzt diese, selbst nachdem es in das Unterwasser gefallen ist, noch fort, und geht in die horizontale Richtung erst über, wenn es auf die Sohle des Bettes aufstösst, und von dieser in derselben Weise abgelenkt wird, wie in Bezug auf das Zusammentreffen mit verticalen Ebenen bereits beschrieben ist. Man kann sich hiervon sehr häufig durch die unterhalb der Wehre eintretenden Bewegungen überzeugen: das überstürzende Wasser bleibt nicht auf der Oberfläche, sondern unmittelbar hinter demselben zeigt die Oberfläche sogar eine entgegengesetzte Bewegung, und eine sehr scharfe Grenze, die gemeinhin durch einen starken Streifen von Schaum bezeichnet wird, bildet sich zwischen beiden Wassermassen. Die erstere verfolgt ihren Weg abwärts, und fliesst in der Nähe des Bodens ab, während sie das auf ihr liegende Wasser mit sich reisst, und sonach eine starke Senkung des Spiegels zunächst unterhalb des Wehres hervorbringt, die eben Veranlassung giebt, dass sich oben eine entgegengesetzte Strömung bildet.

Es ergibt sich hieraus, dass unterhalb eines starken Wassersturzes ein verkehrtes oder stromaufwärts geneigtes Gefälle sich bilden kann. Ein solches stellt sich indessen unterhalb der Freiarchen und Schiffsdurchlässe oft noch viel auffallender dar, so dass förmliche Wasserberge oder hohe stehende Wellen sich erzeugen. Das herabstürzende Wasser hat im letzten Falle keine so stark geneigte Richtung, als wenn es frei über ein Wehr fällt, aber seine Strömung ist viel regelmässiger und kräftiger. In dem breitem und tiefern Strombette unterhalb der Freiarche kann die ganze Wassermasse nicht so schnell abfliessen, als sie ankommt, und wenn auch hier wie in jedem andern Profile eben so viel Wasser ab- als zufliesst, so vertheilt sich die Bewegung auf eine grössere Masse, die eine geringere Geschwindigkeit annimmt. Auf diese Art muss ein grosser Theil der lebendigen Kraft aufgehoben werden: es bildet sich hier ein heftiger Stoss, der einen sehr vermehrten Druck und sonach eine starke Anschwellung des Wassers zur Folge hat. Das Wasser steigt daher in aufwärtsgerichteter Strömung und zwar mit solcher Heftigkeit an, dass es sogar die dem Gleichgewicht entsprechende Höhe noch

überschreitet und sich so weit hebt, bis die Geschwindigkeit in dieser Richtung vernichtet ist. Der hohe Wasserberg verursacht für die nächstliegende Strecke einen vermehrten Druck und eine vermehrte Geschwindigkeit, wodurch hier wieder eine besonders tiefe Senkung des Wasserspiegels entsteht, und so bilden sich drei bis vier stehende Wellen hintereinander, die zunächst der Freiarche am höchsten sind und stromabwärts sehr schnell an Höhe abnehmen. Bei einzelnen Schiffsdurchlässen an der Lahn, namentlich bei Balduinstein, betrug in der vorderen Welle der Unterschied zwischen dem Scheitel derselben und dem daneben liegenden Thale etwa vier Fuss, so dass man beim Herabfahren in einem kleinen Kahne, wenn man sich niedergesetzt hatte, über diesen Wasserberg zu Zeiten nicht fortschn konnte. Die erwähnte Erscheinung zeigt sich indessen nur an solchen Stellen, wo ein starker und regelmässiger Wassersturz stattfindet, in natürlichen Strombetten kommt sie aber wohl nicht leicht vor.

Die Veranlassung der stehenden Wellen, auf welche man in neuerer Zeit mehrfach aufmerksam geworden ist, ist jedesmal darin zu suchen, dass ein vermehrter Druck an einzelnen Stellen aus der plötzlichen Unterbrechung der Bewegung des Wassers entsteht, und dieser eine entsprechende Erhebung der Oberfläche erzeugt. Diese Erhebung hat aber umgekehrt wieder die Vermehrung des Druckes und die Zunahme der Geschwindigkeit des Wassers zur Folge, und sie giebt sonach Veranlassung zur Bildung des daneben liegenden tiefen Thales im Wasserspiegel. Die Benennung, stehende Wellen, deutet die Eigenthümlichkeit dieser Wellen an, dass sie ihre Stelle absolut nicht verändern. Man kann auch sagen, dass die Geschwindigkeit, womit die Wellenbewegung fortschreitet, genau derjenigen gleich sei, mit welcher das Wasser abfliesst: beide sind einander entgegengesetzt, woher der Stillstand der Wellenform erfolgt.

Aus der Bewegung, welche das Wasser annimmt, nachdem es sich über ein Wehr oder über einen Einbau gestürzt hat, er giebt es sich schon, dass das Bette daselbst stark angegriffen werden muss: es ist aber klar, dass seine Geschwindigkeit durch die Fallhöhe bedingt ist, also durch die Niveaudifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser. Der Wasserspiegel des Unterwassers ist bei Einbauten in hohem Grade von der Richtung derselben ab-

hängig. Sind sie stark stromabwärts geneigt, so tritt in den Winkel zwischen ihnen und dem Ufer, wohin das Wasser nur auf weitem Umwege gelangen kann, eine besonders starke Senkung des Wasserspiegels ein, und dadurch verstärkt sich der Angriff, den das überstürzende Wasser gegen das Bette ausübt. Ausserdem aber wühlt das Wasser, wie schon früher nachgewiesen, beim Uebergange über die Krone solcher Werke in horizontaler Richtung einen Weg, der möglichst normal gegen die Krone gekehrt ist. Die stromabwärts geneigten Einbaue weisen das überstürzende Wasser mit grosser Heftigkeit gegen das Ufer und tragen dadurch ganz gewöhnlich zur Zerstörung desselben bei, während der Zweck ihrer Anlage gemeinhin die Deckung dieses Ufers war. Dieser Umstand ist bei Bestimmung der Richtung der Einbaue von grosser Wichtigkeit.

Eine Eigenschaft des Wassers, welche mehr in das Gebiet der Physik als der Mechanik gehört, ist bei Betrachtung der Bewegungen desselben von der äussersten Wichtigkeit und übt auf die Umänderung der Strombetten den wesentlichsten Einfluss aus. Dieses ist der sehr starke Zusammenhang der Theilchen unter sich oder die Adhäsion, welche durchaus nicht gestattet, dass einzelne Wasserfäden sich in einer grösseren Wassermasse bewegen könnten, ohne dass die anstossenden an dieser Bewegung Theil nehmen sollten. Lässt man einen Strahl in einem Wasserbassin und zwar etwas unter der Oberfläche desselben hervorspringen, und sorgt man zugleich dafür, dass er nicht in dasselbe Bassin zurückfließt, so bemerkt man, wie das Wasser in diesem sich sehr schnell vermindert, indem es durch den Strahl mit fortgerissen wird. Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich auch, wenn der Strahl nicht aus dem Wasser heraustritt, sondern in demselben bleibt. Wenn z. B. ein Strom durch einen Einbau stark verengt wird, so wird die am Kopfe des Einbaues vorbeigehende Strömung sich unmittelbar nur in derjenigen Richtung fortsetzen, in welcher das Wasser sich bewegt, oder die ihm vielleicht durch die oben erwähnte Seitenströmung vor dem Einbaue ertheilt wird. Wenn aber keine besondere Veranlassung vorhanden ist, die den Strom demjenigen Ufer wieder nähert, von welchem er durch den Einbau abgelenkt ist, so sollte man meinen, dass unterhalb des Einbaues das Wasser entweder in Ruhe bleiben, oder wenigstens

nur eine solche Bewegung annehmen müsse, welche der des Hauptstroms entspricht. Das letzte ist insofern zu vermuthen, als in jedem Querprofile ungefähr eine gleiche Höhe des Wasserspiegels sich darstellt und dadurch ein gleiches Gefälle neben dem Ufer bedingt wird. Die Erscheinung, welche wirklich eintritt, ist indessen hiervon wesentlich verschieden. Der starke Strom reisst das ruhende Wasser zur Seite mit sich fort, so dass unterhalb des Einbaues und zwar am stärksten in der Nähe seines Kopfes eine merkliche Senkung des Wasserspiegels eintritt. Diese veranlasst ein heftiges Nachfliessen des Wassers, welches aber nur von der untern Seite her erfolgen kann, indem das Oberwasser ganz abgesperrt ist, und auf der Stromseite, wie eben erwähnt, das Wasser sogar fortgezogen, also ein Zufluss von hier verhindert wird. Die Senkung des Wassers unterhalb des Einbaues muss also eine Strömung in gerade entgegengesetzter Richtung bewirken, und die Adhäsion der Wassertheilchen, welche dahin strebt, die Differenz der Geschwindigkeit zwischen zwei einander berührenden Fäden auf das Minimum zu reduciren, ist Veranlassung, dass dieser Gegenstrom sich jedesmal in dem möglichst grössten Abstände vom Hauptstrome darstellt. Er bildet sich also in der Nähe des Ufers, geht bis zum Anschlusse oder bis zur Wurzel des Einbaues herauf, verfolgt denselben bis zum Kopfe, wo er sich aufs Neue mit dem Hauptstrome verbindet.

Diese der Richtung des Stromes gerade entgegengesetzten Strömungen, welche man Widerströme, auch wohl mit der Niederländischen Bezeichnung Neere nennt, bilden sich nicht nur unterhalb der künstlichen sondern auch der natürlichen Vorragungen des Ufers. Bei Einbauten ist ihre Stärke wieder von der Richtung derselben gegen den Strom abhängig, und wie leicht erklärlich, sind sie unterhalb solcher Einbaue, die stromabwärts geneigt sind, viel auffallender, als unter denen, die vom Ufer aus stromaufwärts in das Bette eintreten. Sie verhindern die Beruhigung des Wassers und geben dadurch Veranlassung, dass sich tiefe Rinnen längs dem Ufer und zugleich unterhalb des Einbaues bilden, und eine Ablagerung des Materials nur an der Stelle stattfindet, wo der abwärts gerichtete Strom sich vom entgegengesetzten scheidet.

Diese Widerströme bilden grosse Wasserwirbel und man wird wegen ihres angegebenen nachtheiligen Einflusses immer bemüht sein müssen, sie möglichst zu schwächen. Ganz beseitigen lassen sie sich nicht, wenn man bei den Stromregulirungen, die in anderer Beziehung sehr vortheilhaften Einbaue nicht umgehn will. Die Anordnung dieser Einbaue bedingt aber eine sehr verschiedenartige Ausbildung der Wirbel: zum Theil kommt hierbei ihre Richtung in Betracht, in noch höherem Grade aber die Gestaltung ihres Kopfes. Wenn sich nämlich die wirbelnde Bewegung des Wassers darstellt, so wird dieselbe um so kräftiger werden, wenn für alle übereinander liegenden Wasserschichten dieselbe Veranlassung zu solcher Bewegung eintritt, und die Theilchen in allen Schichten, soweit sie sich berühren, mit gleicher Geschwindigkeit und parallel zu einander im Kreise herumlaufen. Nur in diesem Falle tritt keine gegenseitige Zerstörung zweier übereinander liegenden Wirbel ein. Hierzu gehört aber, dass die Wirbel eine gemeinschaftliche Drehungsaxe haben müssen: wäre dieses nicht der Fall, so würde durch die gegenseitige Mittheilung der Bewegung die Geschwindigkeit des einen und des andern vermindert werden. In einer grossen Tiefe unter der Oberfläche des Wassers ist die Richtung der Axe eines Wirbels durch nichts bedingt, und es kommen, wie man sich durch Versuche an kleinen Canälen mit durchsichtigen Wänden überzeugen kann, auch Wirbel vor, deren Axe horizontal ist. Dicht unter der Oberfläche kann indessen ein solcher, oder überhaupt ein Wirbel, dessen Axe vom Lothe abweicht, nicht entstehen, weil sonst die Wassertheilchen bei Verfolgung der kreisförmigen Bahn über die Oberfläche gehoben werden müssten, wozu eine grössere Kraft erforderlich wäre. Hieraus folgt, dass in der Nähe der Oberfläche, also gerade in dem Falle, wovon hier die Rede ist, die Axe der Wirbel lothrecht sein muss. Bei grossen Strömen hat man auch wohl nie andere bemerkt. Diese Bedingung deutet ein einfaches Mittel an, wodurch man einer heftigen Wirbelbildung vorbeugen kann: es besteht darin, dass der Kopf des Einbaues nicht lothrecht, sondern vielmehr möglichst flach herabgehn muss. Es bildet sich alsdann wieder eine Reihe von Wirbeln unter einander, aber die Axe des einen steht immer seitwärts von der des andern, und sie können sonach keine gemeinschaftliche Bewegung annehmen, sondern zer-

stören sich gegenseitig. Eine Verbindung von allen wäre nur denkbar, wenn die Drehungsaxe mit der Neigung des Kopfes vor dem Einbau parallel läge. Dieses kann aber nicht geschehn, indem alsdann die obere Wasserschicht in einer stark gegen den Horizont geneigten Ebene rotiren, und sonach die darin befindlichen Theilchen sich bald über den Wasserspiegel stark erheben und bald unter denselben sinken müssten.

Die stärkste und gefährlichste Wirbelbildung stellt sich ganz entsprechend dieser Ansicht da ein, wo der steile Kopf eines Einbaues, oder ein vortretender, senkrecht abgeschnittener Ufer- rand das heftig bewegte Wasser von dem ruhenden scheidet. Ein sehr auffallendes Beispiel dieser Art, welches sogar für die Schifffahrt höchst gefährlich ist, kommt auf der Donau unterhalb des Städtchens Grein vor. Nachdem der Strom die mit Felsen angefüllte Strecke, der Strudel genannt, herabgestürzt ist, wirft er sich dem Marktflecken Struden gegenüber auf das rechte stark concave Ufer. Gegen das Ende der Concave springt plötzlich daraus ein Felsen noch etwa 25 Ruthen weiter in das Strombette vor. Gegen diesen stösst das Wasser mit solcher Gewalt, dass es in kurzen Perioden immer stark anschwillt und abfällt: und mit reissender Geschwindigkeit strömt es von hier längs der Felswand in einer Richtung fort, die bis zum gegenüber liegenden Ufer verlängert, dieses unter einem rechten Winkel treffen würde. Indem diesem heftigen Strom unterhalb des Felsens das stillstehende Wasser begegnet, so bildet sich auf der Grenze zwischen beiden Wassermassen der berühmte Wirbel. Die Drehung des Wassers erfolgt mit solcher Schnelligkeit, dass periodisch in dem Wasser, welches der Axe des Wirbels zunächst liegt, die Adhäsion der Theilchen unter sich durch die Centrifugalkraft aufgehoben, und in ähnlicher Weise, wie beim Ausfliessen des Wassers aus einem Trichter, der mittlere Raum frei wird. Es bilden sich Oeffnungen von 1 bis 2 Fuss Durchmesser, welche sehr tief sein sollen. Die Schiffe, welche zufälliger Weise einen Wirbel dieser Art treffen, werden im Kreise herumgedreht, und dabei zuweilen zerbrochen, oder wenn ihr vorderes oder hinteres Ende gerade über den Wirbel kommt, so werden sie so stark herabgezogen, dass das Wasser über Bord läuft, und sie versinken. Eine Einsenkung der Oberfläche des Wassers scheint jedesmal in der

ganzen Ausdehnung solcher Wirbel einzutreten, vielleicht ist dieses der Grund, weshalb die Schiffe so tief eintauchen. Die dortigen Schiffer behaupten, dass in den Wirbeln auch eine abwärts gerichtete Strömung stattfindet, welche, wie sie meinen, die Schiffe herabzieht. Wo eine solche Strömung vorkommt, pflegt sich allerdings die Wirbelbildung regelmässig zu zeigen. Sollten beide immer mit einander verbunden sein, so würde man das Dasein des abwärts gerichteten Stromes an dem Wirbel in der Oberfläche eben so sicher erkennen, wie der aufwärts gerichtete Strom durch das Aufwallen des Wassers erkenntlich ist. Die starken Wirbel in der Donau bilden sich indessen nur periodisch aus und indem einer hinter dem andern entsteht und stromabwärts fortrückt, so zerstören sie sich gewöhnlich gegenseitig. Im linken Donauufer, diesem Wirbel gegenüber, ist durch die heftige Strömung eine grosse regelmässig abgerundete Bucht ausgerissen, worin ein heftiger Widerstrom stattfindet. Derselbe fasst häufig die Schiffe, wenn sie schon die gefährlichste Stelle passirt haben, von Neuem und treibt sie soweit stromaufwärts, dass sie nochmals den Wirbel überfahren müssen.

Die Wirbel, welche man in stark fliessenden Strömen hinter allen vorspringenden scharfen Uferwerken und Einbauen bemerkt, zeigen wesentlich dieselbe Erscheinung, nämlich die heftige Drehung des Wassers und die Senkung der Oberfläche: die Axe pflegt indessen selten bis auf einen Zoll tief sich als hohl darzustellen. Aehnliche Erscheinungen kommen indessen nicht nur auf der Grenze zwischen dem stark strömenden und dem stehenden Wasser, sondern zwischen je zwei andern Wassermassen vor, welche sich mit verschiedener Geschwindigkeit bewegen. Sie zeigen sich bei starken Strömen in grosser Anzahl auf der ganzen Oberfläche des Wassers und liefern dadurch den Beweis, dass keineswegs eine gleichmässige Geschwindigkeit in jedem Profile stattfindet, auch dass nicht etwa allmähliche Uebergänge der Geschwindigkeit von dem Stromstriche nach den Ufern hin vorkommen, sondern dass ganz übereinstimmend mit der sonstigen unregelmässigen Bewegung, welche die Oberfläche des Wassers zeigt, partielle Strömungen in sehr grosser Anzahl und von verschiedener Geschwindigkeit neben einander stattfinden, oder sich auf ihrem Wege kreuzen. Die Veranlassung zu diesen Strö-

mungen muss man vorzugsweise in der zufälligen Gestaltung des Bettes suchen, wenn dieselbe hierbei aber allein von Einfluss wäre, so müsste die Oberfläche, wie unregelmässig sie auch geformt sein mag, ihre Gestalt constant erhalten. Die Wassertheilchen, welche in Folge eines vermehrten oder verminderten Druckes die Erhebung oder Senkung des Niveaus an gewissen Stellen hervorbringen, werden freilich weiter fließen, wenn man aber annimmt, dass das Strombett allein diese innern Bewegungen verursacht, so müsste jedes folgende Theilchen genau dieselben Einwirkungen, wie das vorhergehende erfahren und dadurch veranlasst werden, auch genau denselben Weg zurückzulegen, wodurch eine unveränderte Form der Oberfläche bedingt würde. Wenigstens müsste dieses zur Zeit des Beharrungsstandes oder wenn die Zuflüsse constant sind, stattfinden. Diese Erscheinung tritt indessen niemals ein. An derselben Stelle des Stromes bewegt sich das Wasser bald nach der einen bald nach der andern Seite, bald wallt es auf und bald zeigt es eine vertiefte Oberfläche. Selbst die Wirbel könnten sich unter dieser Bedingung gar nicht in der Art ausbilden, dass sie ihre Stelle verändern, sie wären nur noch denkbar, wenn sie unverändert an demselben Punkte blieben. Kommt noch hinzu, dass man stellenweise sehr auffallend das Wasser am Ufer und namentlich an vortretenden Punkten abwechselnd steigen und fallen sieht, ferner, dass die verschiedenartige Bewegung sich selbst durch das Gehör unterscheiden lässt, und endlich, dass die Geschwindigkeitsmessungen, wenn sie nicht auf eine sehr lange Dauer ausgedehnt sind, ganz sicher nachweisen, wie an derselben Stelle die Strömung bald stärker und bald schwächer wird: so muss man ein periodisches wellenförmiges Schwanken annehmen, welches die localen Strömungen abwechselnd auf verschiedene Weise afficirt und dadurch so viele Modificationen der Erscheinung hervorbringt, dass in diesen verwickelten Verhältnissen jede Gesetzmässigkeit verschwindet, und man wohl nie hoffen kann, ein volles Licht darüber verbreitet zu sehn.

Nichts desto weniger ist der Gegenstand für den Strombau von der höchsten Wichtigkeit, insofern die Veränderungen, denen das Bette ausgesetzt ist, vorzugsweise hiervon abzuhängen scheinen, andererseits aber auch die Ursache der Zerstörung der leben-

digen Kraft des Wassers weit mehr in diesen inneren Bewegungen gesucht werden muss, als in der Reibung, die es an den Seitenwänden und auf dem Boden erfährt.

Man darf es wohl als Thatsache ansehen, dass die erwähnten innern Bewegungen und zugleich ihre zerstörenden Wirkungen um so grösser werden, je grösser die Geschwindigkeit des Stromes an sich ist: ausserdem aber zeigen sie sich besonders stark, wenn die veränderte Geschwindigkeit nicht durch eine ganz regelmässige Verbreitung oder Verengung des Bettes veranlasst wird, wobei alle Wasserfäden sich noch immer nahe parallel zu einander und mit ziemlich übereinstimmender Schnelligkeit bewegen könnten. Das Bette oder das Ufer wird weit stärker angegriffen, wenn die darüber fliessenden Wasserfäden gezwungen sind, die Richtung ihrer Bewegung vielfach zu verändern: und man bewirkt dieses, wenn man künstlich starke Seitenströmungen schafft, oder unmittelbar durch die Richtung des Ufers den geradlinigen Weg des Wassers unterbricht, und es zwingt, den verstärkten Druck gegen die Wand auszuüben und in Folge desselben andere Bewegungen einzugehn.

Die Geschwindigkeit eines Stroms wird dadurch vergrössert, dass man das Profil verengt, und dieses ist gerade das Mittel, welches man gewöhnlich anwendet, um eine verstärkte Einwirkung des Wassers auf das Bett hervorzubringen, oder eine grössere Tiefe zu erzeugen. Dieses Verfahren ist auch in dem Falle ganz angemessen, wenn die Stromregulirung behufs der Beförderung der Vorfluth vorgenommen wird, obgleich es allerdings paradox erscheint, wenn man zur bessern Abführung des Wassers den Strom einschränkt, wodurch die Wirksamkeit eines Theiles des Bettes ganz aufgehoben wird. Als Blanken im Jahr 1818 die Ansicht aussprach, dass man den so höchst bedenklichen Zustand der Holländischen Flüsse dadurch verbessern könne, dass man dem untern Theile der Whaal oder der Merwede ein regelmässiges Bette durch den Biesbosch gäbe, zu welchem Zwecke er es für nothwendig erklärte, alle daselbst befindlichen Seitenarme zu schliessen, so wurde dieser Vorschlag von der zur Berathung über diesen Gegenstand niedergesetzten Commission sehr hart getadelt. Die Commissarien meinten nämlich, indem es darauf ankomme, dem Wasser einen leichtern Abfluss zu verschaffen, so

müsse man die Oeffnungen nicht vermindern oder verringern, sondern wenn es möglich wäre, sie im Gegentheil lieber erweitern und ihre Anzahl vermehren. Im vorliegenden Falle ist es gewiss nicht leicht, den Erfolg des Blankenschen Projectes mit Sicherheit vorherzusehn, aber der eben angeführte Grund war ohne Zweifel unrichtig. Blanken schlug den Verschluss der Nebenöffnungen deshalb vor, weil er eben dadurch die grössere Vertiefung und gehörige Ausbildung des übrig bleibenden Hauptarmes zu veranlassen hoffte, wie dieses in ähnlichen Fällen ganz gewöhnlich geschieht. Die Schwierigkeit lag hier aber darin, dass immer noch eine grosse Anzahl von andern Ausmündungen offen blieb, so dass das Wasser nicht unbedingt gezwungen war, durch jene erste abzufließen. Es war daher nicht mit Gewissheit vorherzusehn, ob die Verengung auch wirklich ihren nächsten Zweck, nämlich die Vergrösserung der Geschwindigkeit herbeiführen würde.

§. 69.

Uferdeckungen.

Wenn man bei der Regulirung eines Stroms nur diejenigen Stellen zu verbessern sucht, welchen die hinreichende Fahrtiefe fehlt, oder welche andere Uebelstände im Strombette selbst zeigen, während man nichts thut, um die Ufer vor Abbruch zu schützen, so ist der gute Zustand des Stroms keineswegs für die Dauer gesichert. Indem die Ufer sich später verändern, so bilden sich auch leicht an solchen Stellen, die anfangs gar keiner Correction bedurften, neue Schiffahrtshindernisse oder sonstige Unregelmässigkeiten aus, welche sogar den bereits regulirten Strecken nachtheilig werden können. Ausserdem wird die Erde und der Sand oder die Steine, welche beim Abbruch der Ufer in das Strombette stürzen, leicht Veranlassung zum Entstehn neuer Untiefen. Inwiefern das Privatinteresse der Uferbesitzer bei Arbeiten dieser Art mit dem allgemeinen Interesse concurrirt, welches sich im Gegensatz der Uferbauten nur auf die eigentliche Stromregulirung, also auf die Zwecke der Vorfluth und der Schiffahrt beschränkt, davon ist schon oben (§. 67) die Rede gewesen.

Insofern die concaven Ufer immer dem stärksten Stromangriffe ausgesetzt sind, ist die Deckung derselben am schwierig-

sten, zugleich aber auch am nothwendigsten. Leichter ist die Erhaltung der geraden Ufer oder überhaupt derjenigen Ufer, die in einer ganz geraden Stromstrecke liegen, woselbst die Wasserfäden sich parallel zum Ufer bewegen und nicht dagegen gestossen werden. Wenn endlich das Ufer convex ist, so pflegt der Angriff des Wassers auf dasselbe so geringe zu sein, dass man nicht nur gar nichts zur Sicherung thun darf, sondern dass sogar die weitere Zunahme und Erhöhung des Ufers gewöhnlich von selbst erfolgt, besonders wenn das gegenüberliegende im Abbruch ist. Es geschieht nicht selten, dass man gezwungen ist, dieser Zunahme Einhalt zu thun, und die Pflanzungen, welche sie befördern, zu zerstören.

Es ergibt sich hieraus schon, dass die grössten Schwierigkeiten in der Erhaltung der Ufer vermieden werden, sobald man regelmässige Uferlinien einführt, welche von besonders scharfen Krümmungen frei sind. Ausserdem ist es aber auch nothwendig, dass die Uferdeckung sich den Anlagen zur Stromregulirung anschliesst, wovon sie häufig einen sehr wesentlichen Theil ausmacht. Man darf daher das Ufer nicht in derjenigen Richtung, wie es zufälliger Weise gerade abgebrochen ist, zu fixiren suchen, vielmehr müssen die darin befindlichen kleinen Buchten ausgefüllt und die in den Strom vortretenden Ecken entfernt werden. Man kann die neue Uferlinie, wenn es sonst für nothwendig erachtet wird, auch weiter herausrücken, wobei man gewöhnlich noch die Absicht hat, die bereits zerstörte Fläche durch die Alluvionen des Stromes mit der Zeit wieder zu gewinnen. Wenn indessen der Strom in Folge der allgemeinen Richtung seines Bettes das Ufer stark angreift, so ist die Herausführung desselben ausserordentlich schwierig und die Hoffnung in Betreff der Alluvionen pflegt sich gemeinlich zu vereiteln. Die Anlagen zu diesem Zwecke sind auch meist im ersten Bau und in ihrer Unterhaltung so kostbar, dass der erwartete Vortheil dadurch schon aufgehoben wird, und man nicht selten nach einem vergeblichen Kampfe während einiger Jahre, endlich sich doch gezwungen sieht, soweit zurückzugehen, bis man eine Linie findet, die sich mit Sicherheit halten lässt.

In der erwähnten Weise können Werke, die in beträchtlicher Entfernung von dem Ufer liegen, und ebenso auch Einbaue, die

in den Strom weit vortreten, noch als Uferdeckungen angesehen werden: von beiden soll indess später die Rede sein, ich beschränke mich hier auf diejenigen Anlagen, die man unmittelbar auf dem natürlichen Uferende zur Ausführung bringt, um einer weitem Veränderung desselben vorzubeugen. Die Benennung Uferdeckung pflegt man auch gewöhnlich auf diese allein zu beziehen.

Es ist schon früher mitgetheilt, dass die Bepflanzung mit Weidenstrauch das Ufer in gewisser Beziehung gegen den Angriff des Wassers schützt, und namentlich geschieht dieses, wenn der Fuss des Ufers eine gehörige Abflachung nach dem Strome hat, so dass die grössere Wassertiefe nicht unmittelbar neben dem Ufer sich befindet. Die Pflanzung schützt alsdann den darunter befindlichen leichten Boden vor den nachtheiligen Wirkungen einer darübergehenden starken Strömung zur Zeit des Hochwassers, und namentlich vor den Beschädigungen durch Eis und Wellenschlag. Sie mässigt aber in Folge der vielen Hindernisse, welche die einzelnen Zweige der Bewegung des Wassers entgegensetzen, auch die Geschwindigkeit desselben unmittelbar über dem Boden und giebt dadurch Veranlassung, dass die im Wasser schwebenden Stoffe hier sehr reichlich niederschlagen und der Boden schnell empor wächst.

Wenn dagegen das eigentliche Strombett, oder der untere Theil des Ufers, der vom Wasser immer bedeckt bleibt, sehr steil abgebrochen ist, so kann die Pflanzung dem Abbruch nicht vollständig Einhalt thun. Sie vermindert ihn allerdings einigermaassen, insofern die Wurzeln dem leichten Boden einigen Zusammenhang geben, und die vortretenden Zweige, oder auch wohl die bereits ausgespülten Wurzeln die Strömung und deren zerstörende Einwirkung etwas mässigen. Bei stark bedrohten Ufern muss man aber andere Methoden der Deckung wählen, und besonders wenn eine grosse Tiefe sich sehr nahe vor dem Ufer befindet. Die Pflanzung kann alsdann nichts mehr dazu beitragen, der weiteren Ausspülung des Fusses vorzubeugen und wenn diese erfolgt ist, so stürzt auch der darauf ruhende obere Theil ein, ohne dass das Weidenstrauch ihn halten könnte. Das Verfahren, welches in diesem Falle angewendet wird, bezieht sich darauf, dass man das Ufer bis zur Höhe des mittleren Wasserstandes mit einer hinreichend festen Decke versieht, welche

der Einwirkung des Wassers widersteht. Dabei muss man aber gemeinhin noch darauf gefasst sein, eine Vergrösserung der Tiefe vor dem Ufer in Kurzem eintreten zu sehn. So lange nämlich das Ufer im Abbruch bleibt, und vor dem Strom immer weiter zurückweicht, so wird die vollständige Ausbildung der Tiefe insofern verhindert, als der stärkste Angriff nicht dauernd dieselbe Stelle des Bettes trifft, und sonach auch die Vertiefung nicht ihre äusserste Grenze erreichen kann. Sobald aber die Seitenwand befestigt und ein weiteres Zurückdrängen derselben unmöglich gemacht ist, so äussert der Strom seine Wirkungen unverändert auf dieselbe Stelle des Grundes und vertieft sie in höherem Grade, als es vorher geschah. Man muss hiernach die Uferdeckung so einrichten, dass sie bei zunehmender Vertiefung des Bettes an ihrem Fusse nicht leidet, und vielmehr dem entblössten Fusse noch Schutz gewährt.

Die Erhaltung eines bedrohten Ufers ist immer nicht leicht, und die Schwierigkeit vermehrt sich ausserordentlich, wenn dasselbe sehr steil ansteigt. Bei einer flachen Uferböschung erfolgen nämlich die Angriffe gegen die verschiedenen Punkte in demselben Profile nicht senkrecht über einander, und die Bewegungen des Wassers, die sie hervorbringen, können desshalb nicht leicht eintreten, ohne sich gegenseitig zu schwächen. Ausserdem liegen die einzelnen Theile der künstlichen Deckung um so sicherer, je flacher die Böschung ist, und dasselbe gilt auch von dem dahinter befindlichen natürlichen Ufer. Wenn daher einzelne Wasserfäden bis zu dem letzteren durchdringen und es in Angriff versetzen, so wird ihre Wirkung um so schwächer sein, je vollständiger die Sandkörnchen unterstützt sind. Endlich kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dass die allmähliche Verminderung der Tiefe, schon wegen des zunehmenden Widerstandes, die Strömung unmittelbar vor dem sanft ansteigenden Ufer schwächt, und die Linie der grössten Geschwindigkeit oder der Stromstrich davon weiter entfernt bleibt.

Es ergibt sich hieraus, dass senkrechte Uferbefestigungen, also hölzerne Bohlwerke und ebenso auch massive Uferschälungen zur Deckung der Ufer weniger geeignet sind, als solche Constructions, die man mit einer flachen Böschung versehen kann. Die grosse Kostbarkeit würde ausserdem einer viel-

fachen Anwendung der eigentlichen Uferschälungen sehr hinderlich sein.

Die Uferbesitzer pflegen indessen gemeinhin hölzerne Einfassungen als die sicherste Art der Uferdeckung zu betrachten, und wenn sie die Kosten dafür aufbringen können, so ist es oft sehr schwer, sie in ihrem eigenen Interesse von der Ausführung derselben abzuhalten. Der Erfolg dabei ist fast jedesmal eine sehr starke Vertiefung des Bettes vor der senkrechten Wand, und wenn der Bau nicht mit einer Spundwand versehen ist, so stürzt das dahinter liegende Ufer unter der Bohlenbekleidung ein, und das Bohlwerk trennt sich vom Ufer. Wenn die eingerammten Pfähle bei dieser Gelegenheit nicht sogleich ausgespült werden, so erfolgt gemeinhin beim nächsten Eisgange, oder bei der nächsten starken Anschwellung des Stromes die vollständige Zerstörung eines solchen Baues. Nur an denjenigen Stellen, wo das Anlegen der Schiffe ein steiles Ufer erfordert, oder der Werth des Bodens die Darstellung flacher Böschungen verhindert, wie dieses namentlich innerhalb grösserer Städte geschieht, sieht man sich gezwungen, solche steile Uferneinfassungen zu wählen, aber sie müssen alsdann sehr solide und mit der nöthigen Vorsicht erbaut werden, damit die nach der ersten Anlage eintretende Vertiefung nicht gleich ihren Einsturz herbeiführt.

Die gewöhnliche Methode der Uferdeckung besteht darin, dass man eine Verkleidung oder eine schräge Decke aus Strauch oder losen Steinen bis zur Sohle des Bettes vor dem Ufer herabführt. Die nähere Beschreibung der Constructionsart, welche mancher Modificationen fähig ist, soll später mitgetheilt werden. Im Allgemeinen ist darüber zu bemerken, dass man keine ganz feste und innige Verbindung der einzelnen Theile darstellen darf, wodurch jede fernere Bewegung unmöglich würde. Man muss vielmehr die Uferdeckung so einrichten, dass sie bei eintretender Vertiefung vor ihrem Fusse von selbst herabsinkt und dadurch eine Beschädigung in der Tiefe, die immer am gefährlichsten sein würde, verhindert. Durch wiederholte Tiefenmessungen und namentlich nach jedem Hochwasser lässt sich der Eintritt einer solchen Bewegung in vielen Fällen schon vorhersehn, und zuweilen kann man demselben auch durch manche Vorkehrungen begegnen. Wenn aber die Verkleidung zur Zeit einer heftigen

Strömung während des Hochwassers herabsinkt, so sichert die dabei eintretende Deckung des Fusses fast unter allen Umständen vor einer sehr schnellen Verbreitung des Einbruchs, besonders wenn man schon vorher die Uferdeckung so hoch heraufgeführt und so verstärkt hatte, dass sie beim Herabgleiten keinen Theil des Ufers ganz ohne Schutz lässt.

Von den sonstigen Stromregulirungsbauten unterscheidet sich die Uferdeckung insofern, als man durch sie nicht gewisse Wirkungen des strömenden Wassers zu veranlassen beabsichtigt, welche den eigentlichen Zweck, nämlich einen regelmässigen Stromlauf herbeiführen sollen, sondern sie stellt unmittelbar die gewünschten Verhältnisse dar. Aus diesem Grunde ist sie in ihrem Erfolge sicherer, als jene es sind. Hierdurch erklärt es sich auch, dass man nach den vielfachen sehr kostbaren aber vergeblichen Versuchen, den Oberrhein auf der Französischen Grenze, namentlich in der Nähe von Strassburg, in ein gehöriges Bette zu weisen, sich endlich darauf beschränkt hat, die im Abbruch stehenden Ufer durch Steinschüttungen zu befestigen, und man dadurch nach und nach den Rhein mit unveränderlichen und regelmässig gestalteten Ufern zu versehen gedenkt*). Dieses Verfahren lässt indessen nicht sobald eine Beendigung der Arbeit erwarten, und wenn diese je eintreten sollte, so wird sie wahrscheinlich viel kostbarer ausfallen, als wenn man die Strömung zur Bildung des Bettes und der Ufer benutzt hätte.

Wenn es nur darauf ankommt, dem Abbruch der Ufer und dem Verluste an nutzbarer Fläche vorzubeugen, so ist der Erfolg der Uferdeckung ausser Zweifel, aber jedenfalls muss man, besonders wenn die vollständige Regulirung des Stromes dabei mit beabsichtigt wird, dafür sorgen, die verschiedenen Anlagen mit einander in Zusammenhang zu bringen. Die spätere Unterlassung der Uferdeckung an einer Stelle, kann leicht die frühere Arbeit ganz nutzlos und sogar schädlich machen. Dieses geschieht z. B., wenn der Strom dahinter durchbricht, und sie alsdann als isolirtes Steinriff im Bette liegen bleibt.

*) *Sur le régime des rivières à fond mobile et sur la défense de leurs rives, par Legrom et Chaperon. Annales des ponts et chaussées. 1838. I. pag. 332 ff. (besonders pag. 370).*

Man hat zuweilen die Uferdeckungen zu schützen oder sie ganz entbehrlich zu machen versucht, indem man in einigem Abstände von einander, einzelne kleine Köpfe in den Strom vortreten liess. Der Zweck dabei war, die starke Strömung von dem Ufer etwas zu entfernen und dadurch das letztere vor dem Nachsinken zu schützen, falls eine grössere Vertiefung des Bettes eintreten sollte. Der Erfolg dieses Verfahrens hat sich indess keineswegs besonders befriedigend herausgestellt, sowie überhaupt sehr kurze Einbaue, gewöhnlich für die zwischenliegenden Uferstrecken, mehr nachtheilig, als nützlich sind. Sie entfernen den Strom nicht weit genug, um ihn unschädlich zu machen, aber dagegen veranlassen sie eine unregelmässige Strömung. Besonders verursacht der Uebersturz zur Zeit des Hochwassers über die Köpfe einen verstärkten Angriff gegen das Ufer. Die Uferdeckung, welche ohne Unterbrechung in stätiger Curve fortgeführt wird, bildet jedesmal eine sanftere und regelmässiger Strömung, die weit weniger zerstörend wirkt. Ausserdem hat die Schifffahrt dabei den wesentlichen Nutzen, dass ein sehr bequemes Fahrwasser von grosser Tiefe, sich davor zu bilden pflegt: es kommen auch keine Seitenströmungen darin vor, die das Schiff auf die Steindecke oder auf das gegenüberliegende Ufer weisen. Diese günstigen Verhältnisse werden durch die erwähnten Köpfe aufgehoben. Letztere führen aber im Allgemeinen keine Erleichterung in der Unterhaltung des Baues herbei, denn sie sind nicht nur einer gleichen, sondern sogar einer grösseren Gefahr ausgesetzt, als die Uferdeckung ohne sie es sein würde. Sobald die Vertiefung des Bettes eintritt, so versinken sie, und sie müssen wieder aufgehohlet werden, wenn sie ferner das Ufer schützen sollen. Die unregelmässige Strömung die sie bewirken, veranlasst aber gerade vor ihnen eine besonders starke Vertiefung des Grundes, und so dürfte es im Allgemeinen wohlfeiler sein, wenn man die Uferdeckung selbst, so oft es nöthig wird, wieder herstellt, als wenn man ihr einen solchen Schutz giebt, der in viel höherem Maasse den Beschädigungen ausgesetzt ist.

Die erwähnte Art der Deckung bezieht sich nur auf den Theil des Ufers, der gewöhnlich unter Wasser liegt: für den obern Theil desselben, wo Pflanzungen gedeihen, braucht man so kostbare Constructionen nicht anzuwenden. Man thut aber

immer wohl, auch hier eine gehörige Regulirung des Ufers vorzunehmen. Diese bezieht sich namentlich darauf, dass die steilen Abhänge, soweit das Hochwasser sie noch erreicht, in flache Dossirungen verwandelt werden. Ausserdem aber ist es auch nöthig, die kleineren Buchten und vorspringenden Theile, die sich hier vorfinden, zu entfernen, und den ganzen Uferrand möglichst parallel zum eigentlichen Bette zu führen, wodurch nicht nur die stellenweise eintretenden starken Angriffe vermieden werden, son-
 ausserdem auch der Strom des Hochwassers verhindert wird, eine andere Richtung zu verfolgen, als die des Bettes. Zum Schutze der letzterwähnten Dossirung dient sowohl eine Rasenbekleidung, als auch Strauchpflanzungen. Die erste ist im Allgemeinen vorzuziehn, insofern sie eine viel festere Oberfläche bildet, auch einen grösseren Ertrag giebt. Der Rasen gedeiht indessen nicht unter dem mittleren Wasserstande, weil er in solcher Tiefe zu lange unter Wasser bleibt, ausserdem aber hört der kräftige Wuchs des Grases, besonders bei sandigem Ufer, auch schon in der Höhe von einigen Fussen über dem Mittelwasser auf. Seine Anwendung ist daher auf sehr enge Grenzen beschränkt. Wenn die Fläche, die man schützen will, zu tief liegt, so ist die unmittelbare Erhöhung durch Auffahren von Erde gemeinhin viel zu kostbar. Man kann aber durch Anpflanzen von Weiden, wie bereits erwähnt, die Ablagerung der durch den Strom herbeigeführten Stoffe daselbst leicht befördern, so dass nach einigen Jahren die Fläche zur Benutzung als Wiese tauglich wird. Schwieriger ist es, hohe steile Ufer vor Abspülung zu sichern und nutzbar zu machen. Der Rasen, den man auflegt, pflegt nur spärlich anzuwachsen, auch das Weidenstrauch, das man pflanzt, gedeiht kümmerlich. Doch gelingt es wohl jedesmal, auf eine oder die andere Weise einige Vegetation hervorzurufen, wenn man nur das willkürliche Betreten des Ufers und namentlich das Weiden des Viehes auf demselben verhindern kann.

§. 70.

Parallelwerke.

Man versteht unter Parallelwerken oder auch Streich- oder Richtwerken solche Strombauten, welche bei einer beab-

sichtigten Beschränkung des Bettes die Begrenzung desselben, oder das neue Ufer bilden. Damit sie den Strom zur Zeit des kleinen Wassers vollständig auffangen, müssen sie sich an das Ufer anschliessen, und zwar geschieht dieses gewöhnlich an ihrem stromaufwärts gekehrten Ende. Ihre Wirkung auf das Fahrwasser pflegt Anfangs sehr günstig zu sein: sie stellen für das kleine und für das mittlere Wasser (so lange sie nämlich nicht überströmt werden) die Verhältnisse unmittelbar in der Art dar, wie man sie überhaupt herbeiführen will. Es dürfen also bei ihrer Anwendung keine entfernten Erfolge abgewartet werden. Ausserdem kommen dabei keine vortretenden Einbaue vor, welche vielleicht einige Unbequemlichkeit für die Schifffahrt veranlassen, im Gegentheile fahren die Schiffe zur Seite des sanft gekrümmten Dammes, selbst wenn ein starkes Gefälle daselbst vorhanden sein sollte, sehr sicher herab. Diese Umstände sind Veranlassung, dass die Parallelwerke überall, wo man sie ausgeführt hat, sich in der ersten Zeit grossen Beifall erworben haben: und mit Recht wird man ihre Anwendung in vielen Fällen, wenn nämlich eine schleunige Correction erforderlich ist, oder man ein starkes Gefälle an einer Stelle erhalten will, allen andern Methoden vorziehn. Aber keine andere Bauart zeigt sich in ihrer Unterhaltung so kostbar, und bei keiner wird das Fahrwasser und das ganze Strombett bei einer eintretenden Beschädigung gleich so vollständig verdorben, wie gerade bei dieser. Man ist daher gewöhnlich von dieser Bauart nach wenig Jahren wieder abgegangen. Die untere Weser, nämlich die Strecke von Bremen abwärts bis gegen Vegesack, bietet, soviel mir bekannt, das einzige Beispiel dafür, dass man eine lange Reihe von Jahren hindurch die Parallelwerke beibehalten hat. Dieses ist indessen wohl nur durch die ausserordentliche Aufmerksamkeit und Thätigkeit möglich gewesen, die der dortige Baubeamte ihnen ununterbrochen gewidmet hat.

Der grosse Uebelstand, mit dem die Anwendung der Parallelwerke verbunden ist, bezieht sich darauf, dass sie nicht auf die gehörige Ausbildung der Ufer hinwirken, und daher der durch sie abgeschlossene Theil des Strombettes seine ursprüngliche Tiefe dauernd beibehält und in vielen Fällen sogar noch vergrössert. Der Bau erhält keinen Schutz durch Alluvionen, sondern im Gegentheile pflegt das natürliche Ufer dahinter, namentlich an

der Stelle, wo der Anschluss stattfindet, abzubrechen, so dass endlich eine Periode eintritt, in welcher man der immer wiederholten und immer kostbarer werdenden Reparaturen müde wird und den ganzen Bau aufgibt. In vielen Fällen macht aber ein einziger kräftiger Durchbruch des Werkes eine Wiederherstellung schon ganz unmöglich. Mehrfach ist es sogar geschehn, dass bei einem solchen Durchbruch der Hauptstrom sich nicht nur entschieden in den abgeschlossenen Arm warf, sondern dabei auch zugleich den künstlich dargestellten Schifffahrtsarm so vollständig mit Sand oder Steinen anfüllte, dass derselbe beim Verschwinden des Hochwassers gar nicht mehr Flussbette, sondern Ufer war, und das Parallelwerk sich hierdurch in eine Uferdeckung verwandelt hatte, die aber wegen der eingetretenen Veränderung des Bettes vor dem entgegengesetzten Ufer lag.

Gewöhnlich legt man die Parallelwerke auf solchen sehr seichten Stromstellen an, in denen sich gerade ein starkes Gefälle concentrirt, und man hat dabei nicht die Absicht, dieses Gefälle auf eine grössere Länge zu vertheilen, sondern vielmehr es unverändert zu erhalten, damit die vorhergehende Stromstrecke keine Senkung erfährt. Es bilden sich sonach längs dem Parallelwerke oft förmliche Stromschnellen, in welchen theils durch die Einwirkung des Stroms auf den Boden, hauptsächlich aber durch die starke Zusammendrängung des Wassers auf eine sehr beschränkte Breite, die für die Schifffahrt erforderliche Wassertiefe sich erzeugt. In dieser Art waren seit einer langen Reihe von Jahren die Stromregulirungen an der Saar mit sehr wenig Erfolg versucht worden, und in derselben Weise, nur mit Anwendung einer viel vollkommeneren Constructionsart, wird die Schifffahrt der Mosel im französischen Gebiete unterhalten, sowie auch andere kleine Ströme in Frankreich nach demselben Prinzip regulirt worden sind. Die Parallelwerke werden entweder nur an einer oder an beiden Seiten des Fahrwassers angelegt: sie beseitigen für die herabgehenden Schiffe, wenn dieselben auch mit grosser Geschwindigkeit vorbeitreiben, die Gefahr des Aufstossens, und zugleich dienen sie auch häufig als Leinpfade, wodurch ein schräger Zug der Leine vermieden und dadurch das Heraufbringen der Schiffe möglichst erleichtert wird. Es kommt indessen, wenn man allein das Interesse der Schifffahrt beachtet, bei den Gebirgs-

strömen nur auf die Ueberwindung der einzelnen Untiefen oder Furthen an, welche gemeinhin durch lange Stromstrecken von hinreichender und sogar überflüssiger Tiefe und von sehr mässigem Gefälle getrennt sind. Die Kosten der Regulirung stellen sich daher bei Anwendung dieser Methode für die erste Anlage sehr mässig heraus: der ganze Effect bezieht sich aber ausschliesslich auf das kleine Wasser. Das hohe Wasser, welches die kräftigsten Wirkungen auf das Strombett ausübt, bleibt dabei ganz unbeachtet, seinen ferneren Wirkungen wird weder vorgebeugt, noch werden solche in gewisser Weise geleitet: sie bleiben ganz von der zufälligen Gestaltung des Bettes abhängig, und eben dadurch führen sie leicht Veränderungen herbei, wodurch die Anlage beim Wiedereintritt des kleinen Wassers ihren Zweck verfehlt und vielleicht sogar schädlich wird.

Der grösste Uebelstand bei Parallelwerken, der gewöhnlich die Veranlassung zu ihrer Zerstörung gegeben hat, ist der Uebersturz des Wassers über dieselben. Fig. 83, Taf. XXXIII. zeigt ein Parallelwerk von derjenigen Anordnung, wie es in dem französischen Antheile der Mosel am häufigsten vorkommt. Es liegt in einer Stromkrümmung angelegt: eine starke und in der Oberfläche abgeplasterte Steindossirung begrenzt den Strom in einem regelmässigen Bogen vor dem concaven Ufer, während das convexe Ufer eben durch das Parallelwerk dargestellt wird. Diese Anordnung ist ohnfehlbar die zweckmässigste, die man bei Anwendung dieser Bauart treffen kann, denn durch die Krümmung des Bettes wird auch der Strom des Hochwassers bis zur Ueberfluthung der Ufer noch in den Schifffahrtsarm gewiesen. So lange der Wasserstand unter der Krone des Parallelwerks bleibt, enthält der seitwärts abgeschlossene Arm stehendes Wasser: nur wenn der Bau aus grobem Geschiebe ausgeführt und noch neu ist, so dass die Zwischenräume nicht dicht geschlossen sind, geht Wasser hindurch und veranlasst in diesem Arme einige Strömung. Bei der in Frankreich üblichen sehr sorgfältigen Ausführung war die Quantität des durchsickernden Wassers indessen sehr gering, woher in der ganzen Länge dieses Armes ein fast horizontaler Wasserspiegel sich einstellte. Dieser Wasserspiegel ist der des Unterwassers. Der Bau scheidet also in seinem obern Anschlusse zwei Wassermassen, deren Niveau-Differenz dem ganzen Gefälle

der vom Parallelwerk begrenzten Stromstrecke gleichkommt. Dieses Gefälle beträgt in der Strecke bei Monhofen (Manom) unterhalb Thionville in der Mosel, bei einer Länge des Parallelwerkes von etwa 1200 Meter oder 320 Ruthen, nahe 5 Fuss. Durchschnittlich haben die Werke eine Länge von 430 Meter oder 186 Ruthen, und das Gefälle beträgt im Mittel ungefähr $2\frac{1}{4}$ Fuss. Steigt nun das Wasser so hoch, dass es das Parallelwerk überfluthet, so bedingt dieses Gefälle, welches sich alsdann wohl noch etwas vergrössert, die Fallhöhe, und dieses geschieht so lange, bis die übertretende Wassermenge auch im abgeschlossenen Arme ein stärkeres Gefälle erzeugt und dadurch den Wasserspiegel am obern Ende desselben hebt. Dass in der ersten Zeit des Uebersturzes ein starker Angriff des Bodens hinter dem Damme und vorzugsweise hinter dem obern Anschluss stattfinden muss, in ähnlicher Weise, wie dieses unterhalb der Wehre geschieht, leidet keinen Zweifel. Die Sicherheit eines solchen Baues wird aber ganz besonders durch die Ausspülung des Bodens hinter dem Parallelwerke bedroht. Dazu kommt noch, dass das Wasser beim Uebersturz über den Damm eine Richtung normal gegen denselben verfolgt: es trifft also das Ufer und greift dieses dicht unterhalb der Wurzel des Parallelwerkes stark an. Endlich verhindert der Abschluss der obern Oeffnung das Eintreiben derjenigen schweren Stoffe, welche auf der Sohle des Strombettes fortgetrieben werden. Auf diese Weise geschieht es, dass der abgeschlossene Nebenarm vorzugsweise einer Verbreitung und stellenweisen Vertiefung ausgesetzt, und dagegen der Verlandung entzogen ist. Bei hohem Wasser kann er hiernach, selbst wenn der Anschluss nicht durchbrechen sollte, leicht zum Hauptarme werden, in welchem Falle die Strömung im andern Arme sich mässigt und das schwere Geschiebe darin liegen bleibt. Dieses war in der französischen Mosel bei Sierk wirklich der Fall gewesen, als ich dieselbe sah, und man war gerade mit dem Herausschaffen der sehr schweren Geschiebe und Steinblöcke beschäftigt, die das letzte Hochwasser in den Schifffahrtsarm getrieben hatte.

Eine wesentliche Vervollkommnung der Anlagen dieser Art besteht darin, dass man das Parallelwerk nicht nur an seinem obern Ende mit dem Ufer verbindet, sondern vielfache Anschlüsse desselben darstellt, die in einiger Entfernung hinter

einander liegen. Es werden dadurch verschiedene von einander getrennte Bassins gebildet, und die Niveaudifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser vertheilt sich zwischen dieselben ziemlich gleichmässig, so dass sie an jedem einzelnen Anschlussdamme unbedeutend bleibt, und daher jedesmal der Uebersturz des Wassers viel weniger verheerend wird. Ausserdem stellt sich bei dieser veränderten Anordnung zugleich der wesentliche Vortheil ein, dass der Strom, wenn zufälliger Weise ein Damm durchbrechen sollte, durch die andern Dämme noch kräftig aufgehalten wird, und jedenfalls tragen dieselben sämmtlich zur Beruhigung des Wassers neben dem Boden bei und befördern dadurch den Niederschlag. Die schwereren Geschiebe, welche sich längs der Sohle des Strombettes bewegen, bleiben freilich auch in diesem Falle noch ausgeschlossen, und sonach erfolgt die Verlandung immer viel langsamer, als sie zwischen offenen Einbauten vor sich zu gehn pflegt.

Ein vielfacher Anschluss der Parallelwerke an das dahinter liegende Ufer kommt bei uns in neuester Zeit jedesmal zur Ausführung, so oft diese Bauart überhaupt gewählt wird: auch in Frankreich hat man an der Midouze und Garonne dasselbe gethan.

In einzelnen Fällen hat man bei der Anlage der Parallelwerke gleich die Ufer bis zu ihnen herausgeführt, und den abgeschnittenen Theil des Strombettes durch unmittelbare Handarbeit ausgefüllt. Dadurch verwandeln sich die Parallelwerke in Uferdeckungen, und die erwähnten Uebelstände können nicht mehr eintreten. Die Kosten der Anlage werden dadurch aber so sehr erhöht, dass man nicht leicht dieses Mittel in Anwendung bringen kann. Ein Beispiel dieser Art liefert der Clyde-Strom, der vorzugsweise durch Parallelwerke beschränkt ist, die man mit dem bei der Baggerung gewonnenen Material hinterfüllte. Auch an der untern Lippe ist etwas Aehnliches geschehn. Zwischen den hohen sandigen und höchst unfruchtbaren Ufern hatte das Strombett grossentheils eine übermässige Verbreitung angenommen, welche die Bildung und Erhaltung einer gehörigen Schiffahrtstiefe verhinderte. Bei der nöthigen Einschränkung war ausser diesem Vortheil zugleich die Gewinnung ausgedehnter Wiesenflächen in dem bisherigen Bette zu erwarten, und viele Uferbesitzer verstanden sich dazu, bei einiger Unterstützung, die ihnen von Seiten des Staats gewährt wurde, die Einschränkung selbst zu übernehmen,

wofür ihnen das Eigenthumsrecht auf die Alluvionen überlassen wurde. Statt aber die Bildung der Alluvionen durch den Strom abzuwarten, verfüllten sie gleich die ihnen überwiesenen Flächen durch Sand, den sie vom Fusse der nicht weit entfernten Anhöhen herbeiführen, und schützten diese Anschüttungen in der festgestellten Uferlinie durch Parallelwerke oder vielmehr durch Uferdeckungen. Auf diese Art wurde der zwiefache Nutzen in weit kürzerer Zeit erfüllt, als wenn die Wirkungen des Stromes abgewartet wären: es dürfte indessen nur selten die Gelegenheit vorhanden sein, ein solches Verfahren mit Nutzen anzuwenden, denn einerseits ist es dabei Bedingung, dass die erforderlichen grossen Sand- oder Erdmassen in der Nähe liegen und sonach die Transportkosten nicht bedeutend ausfallen: sodann muss auch die Strömung zur Zeit des Hochwassers nicht besonders heftig sein, weil es sich sonst leicht treffen könnte, dass der frisch aufgeschüttete Sand, bevor er von einer Grasnarbe bedeckt wird, durch das darüber fliessende Wasser leidet und stellenweise ausgerissen wird.

In diesen letzten Fällen sind die Parallelwerke grossentheils zu beiden Seiten des Stromes ausgeführt worden. Auch an der Mosel im französischen Gebiete wählte man Anfangs die beiderseitige Begrenzung des Fahrwassers durch Parallelwerke: die französischen Ingenieure sind auch der Ansicht, dass der Zweck hierdurch vollständiger erreicht worden sei, was sich vielleicht dadurch erklären lässt, dass jeder einzelne Seitenarm alsdann weniger zur Aufnahme des Hauptstromes geeignet war. Die grosse Vermehrung der Kosten hat es indessen verhindert, von dieser Anwendung vielfachen Gebrauch zu machen.

Endlich muss noch erwähnt werden, dass unterhalb der verengten Stelle gewöhnlich eine sehr starke Ablagerung von Geschieben und feinerem Material eintritt. Es ist dieses eine natürliche Folge der plötzlichen Erweiterung des Profils. Nur wenn das Fahrwasser in einer Curve liegt, wie dieses in der Figur gezeichnet ist, setzt sich die tiefere Rinne auch weiter abwärts fort. Bei gerader Richtung der Stromschnelle lagert sich indessen unterhalb derselben gewöhnlich eine Bank von schwerem Geschiebe ab, welche das Fahrwasser spaltet und welche man nur durch weitere Verlängerung der Werke entfernen kann. Die Be-

séitigung solcher Untiefen durch Baggern hat in der Regel keinen dauernden Erfolg, indem dieselbe sich nach jedem Hochwasser immer aufs Neue bildet.

§. 71.

Einbaue.

Der Zweck der Stromregulirung besteht darin, das Bette und die Ufer so auszubilden und die Strömung so zu leiten und zusammenzuhalten, dass die Verflächungen und sonstigen Unordnungen aufhören, welche der Abführung des Wassers oder der Schifffahrt hinderlich waren, oder welche den Uferabbruch veranlassten. Man kann ohne Zweifel auch durch künstliche Anlagen unmittelbar solche günstige Verhältnisse herbeiführen, aber wie bereits erwähnt worden, werden die Kosten in diesem Falle übermässig gesteigert, und dieses findet nicht nur bei der ersten Anlage, sondern auch bei der Unterhaltung statt. Weit zweckmässiger und sicherer ist es daher, den Strom zu veranlassen, dass er selbst zu diesem Zwecke mitwirkt, und er namentlich seine Ufer in der Art, wie man es wünscht, ausbildet. Er muss also an denjenigen Stellen seines Bettes, welche innerhalb der beabsichtigten Uferlinie liegen, in ähnlicher Weise, wie es bei Colmationen geschieht, die Stoffe aufhäufen, die er mit sich führt. Damit dieses aber geschehen kann, ist es nöthig, dass man den Strom von diesen Flächen keineswegs ausschliesst, denn dadurch würde auch der Eintritt dieser Stoffe verhindert werden: er muss vielmehr einen freien Zugang finden, und eine frische Strömung muss ihn hineinweisen. Aber diese Strömung muss da, wo die Verlandung erfolgen soll, allmählig schwächer werden, und namentlich unmittelbar über dem Boden müssen sich Hindernisse der Bewegung finden, welche die Steine und den Kies und selbst die Sandwellen, die auf der Sohle des Bettes sich fortbewegen, aufhalten und dadurch nach und nach die Erhöhung herbeiführen. Hierin liegt der Grund, weshalb die Parallelwerke, die im günstigsten Falle ganz abgeschlossene Bassins bilden, zu diesem Zwecke untauglich sind: dagegen können die vom Ufer aus in den Strom vortretenden Einbaue sich als sehr vortheilhaft zeigen und die Uferbildung vollständig herbeiführen. Dass dieses möglich sei, hat die Erfahrung bereits vielfach gezeigt.

Der Hauptzweck der Einbaue ist hiernach die allmähliche Umgestaltung der Ufer, und nur in dem Maasse, wie dieser Zweck erreicht wird, kann die Einwirkung auf das Bette sich zeigen. Will man letztere möglichst beschleunigen, wie dieses sehr häufig geschehn muss, so leidet dabei leicht die Bildung der Ufer, und die ganze Anlage wird alsdann der Gefahr einer Zerstörung oder vielfacher Beschädigung in weit höherem Grade ausgesetzt bleiben, als wenn die Verlandung ganz regelmässig eingetreten ist.

Diese Ansicht über den Zweck der Einbaue ist keineswegs allgemein verbreitet: man erwartet von denselben gewöhnlich nichts weiter, als den Schutz der Ufer und die Erhaltung der Tiefe. In dieser Art hat sich z. B. Woltman noch in der letzten Zeit seines Lebens ausgesprochen; er betrachtet die Einbaue nur als Mittel, um einzelne Unregelmässigkeiten zu verhindern. *) Ohne Zweifel ist selbst ein solcher Zweck sehr häufig verfehlt worden, und namentlich sind die älteren Erfahrungen, die man über die Wirkung der Einbaue gemacht hat, so niederschlagend, dass, wenn eine Wiederholung derselben auch bei den jetzigen und künftigen Anlagen zu besorgen wäre, man zweifelhaft sein müsste, ob ihr Nutzen wirklich den darauf verwendeten Kosten entspricht und man nicht für das allgemeine Beste mehr sorgen würde, wenn man den Gedanken an eine Stromregulirung ganz aufgäbe, und sich nur darauf beschränkte, einzelne Hindernisse, die gar zu gross und nachtheilig werden, zu beseitigen, indem man hin und wieder der Wirksamkeit der Natur etwas zu Hülfe kommt. In den von Wiebeking mitgetheilten Charten des Rheinstroms sind in der Stromstrecke, welche innerhalb der jetzigen Preussischen Rheinprovinz und namentlich des Düsseldorfer Regierungsbezirkes liegt, eine sehr grosse Menge von Einbauten angegeben, die grossentheils von Wiebeking selbst oder doch unter seiner Mitwirkung ausgeführt worden sind. Von allen diesen Anlagen war schon vor 20 Jahren keine Spur mehr vorhanden **),

*) Crelle, Journal für die Baukunst, II. Band, Seite 117.

**) Es ergibt sich dieses auch aus der Vergleichung mit der Eversmannschen Charte des Rheinstroms im Düsseldorfer Regierungsbezirke, die im Jahre 1836 herausgegeben ist.

und einen günstigen Erfolg in Betreff der Stromregulirung haben sie niemals gezeigt. Die Vernachlässigung des Strombaues unter der französischen Herrschaft während weniger Jahre hatte den vollständigen Ruin dieser Anlagen herbeigeführt: doch auch ohne diese Veranlassung wurde ein grosser Theil derselben schon bald nach dem Bau durch den Strom zerstört.

Diese Erfahrung zeigt, wie nöthig es sei, die Stromregulirungswerke so anzuordnen, dass sie nicht fortwährend ihre gefährliche Lage behalten. Sie müssen vielmehr durch die Bildung des Ufers sich selbst Schutz verschaffen, so dass sie nur an einzelnen Stellen einem dauernden Angriffe ausgesetzt bleiben. Indem man aber diese bedrohten Stellen schon vorher kennt, so muss durch möglichste Solidität ihnen der gehörige Schutz sogleich gegeben werden.

So lange man nur die Absicht verfolgte, durch die ausgeführten Bauwerke auf die Bildung des tiefen Stromschlauches und zwar vorzugsweise mit Berücksichtigung des mittleren und niedrigen Wassers hinzuwirken, wie dieses auch bei Anlage der Parallelwerke der Fall ist, so erreichte man zwar zuweilen bald einige Erfolge, aber das Hochwasser wirkte nicht auf Verlandung, und setzte ganz gewöhnlich seine Angriffe gegen die Ufer immer weiter fort. Dieses war der Grund, weshalb die weit vortretenden und stromabwärts geneigten Einbaue jedesmal stark beschädigt und oft sehr bald zerstört wurden, namentlich wenn ihre Unterhaltung einige Zeit hindurch unterblieb. Die an derselben Strecke des Rheins seit der Wiederbesitznahme durch Preussen ausgeführten Werke zeigen dagegen, insofern sie die Stromregulirung betreffen, wesentlich andere Erfolge: sie haben nicht nur den ferneren Abbruch der Ufer verhindert, sondern fast jedesmal Verlandungen erzeugt, wodurch sie selbst immer mehr und mehr dem Stromangriffe entzogen werden, und in vielen Fällen ein Wiedereintritt des früheren Zustandes bereits ganz undenkbar geworden ist. Wenn die Werke an ihrem Kopfe auch dem ferneren Angriffe des Stroms blossgestellt bleiben und demselben auch unmöglich ganz entzogen werden können, so sind sie durch die eingetretenen Verlandungen vor einem Durchbruche gesichert, und sollte wegen Unterlassung der nöthigen Reparaturen der Kopf auch nach und nach zerstört werden, so kann man wohl erwarten, dass diese

Zerstörung nur sehr langsam fortschreiten wird. Eine wesentliche Erleichterung in der Unterhaltung tritt aber bei ihnen noch insofern ein, als die Werke sich gegenseitig unterstützen: indem sie sämmtlich auf die Darstellung eines regelmässigen Stromlaufes hinwirken, so verhindern sie es, dass vor einem derselben ein besonders starker Angriff sich concentriren kann.

Die Regulirung des Rheins im Düsseldorfer Regierungsbezirk konnte bei der Kostbarkeit der Anlagen nur langsam vorschreiten, und sie ist noch keineswegs als beendet zu betrachten, aber sehr wichtig sind ohne Zweifel die stellenweise daselbst bereits erreichten Erfolge. Es sei mir erlaubt, die Männer zu nennen, deren unbefangenen und durch vielfache Erfahrungen geläutertem Urtheile diese auch für die Wissenschaft so wichtigen Erfolge vorzugsweise zu verdanken sind: es sind der Geheime Oberbau-rath Bauer und der vor Kurzem verstorbene Geheime Regierungs-rath Eversmann. Bei kleinern Strömen lässt sich der Zweck viel schneller und mit weit geringeren Mitteln erreichen. In dem Preussischen Antheile der Weser ist die Regulirung im Zeitraume von wenig Jahren sehr vollständig gelungen, und zwar sind hier vielfach feste Ufer an denjenigen Stellen entstanden, wo früher in nachtheiliger und gefährlicher Krümmung das Fahrwasser lag. Noch schneller bildeten sich das Bette und zugleich die Ufer an der Mosel im Trierer und Coblenzer Regierungsbezirk aus. Gewiss sind ähnliche Erfolge in der neuesten Zeit auch an andern Strömen erreicht worden, ich habe diese Beispiele nur deshalb gewählt, weil ich die Verhältnisse daselbst näher kenne. Sie werden genügen, um den Beweis zu liefern, dass der oben angegebene Zweck der Einbaue und überhaupt der Stromregulirung sich wirklich erreichen lässt. Es bedarf aber keines nähern Beweises, dass man auf diese Weise viel mehr gewinnt, als wenn man durch andere Methoden nur auf einen augenblicklichen Erfolg hinwirkt, und namentlich stellenweise eine etwas grössere Tiefe recht schnell darstellt, während bei jedem Hochwasser die Werke immer von Neuem bedroht werden, und sie nach und nach eine immer gefährlichere Lage annehmen, bis sie endlich, und oft nach kurzer Zeit zerstört werden, und man sich alsdann gezwungen sieht, nach der dadurch herbeigeführten Umgestaltung der Ufer die Regulirung wieder ganz von Neuem vorzunehmen.

Ich habe bisher die Benennung Einbau gewählt, um die ganze Classe der vom Ufer aus in den Strom vortretenden Werke zu bezeichnen: sie unterscheiden sich von den Parallelwerken dadurch, dass sie sich entweder gar nicht, oder doch nur auf geringe Längen parallel zum Strome hinziehn. Andere Benennungen sind für sie weit bekannter, aber man pflegt dabei immer zugleich an gewisse Constructionsarten zu denken, die im Vorstehenden gar nicht in Betracht gekommen sind. Die sämmtlichen Ausdrücke, wodurch man die Einbaue bezeichnet, sind wohl ursprünglich provinziell, und je nachdem die localen Verhältnisse das eine oder das andere Material daselbst besonders angemessen erscheinen liessen, so ist auch mehr oder weniger die Andeutung der Constructionsart, und namentlich des Materials, woraus sie bestehen, in den Begriff des Wortes mit übertragen. So versteht man unter Buhnen, Kribben, Schlachten, Stacken und Schlingen solche Einbaue, die aus Strauch oder aus Faschinen erbaut sind, Wuhre oder Wehre dagegen bezeichnen die Stein-Construction und Höfter die Anwendung des starken Bauholzes. Nichts desto weniger werden auch diese Benennungen sehr verschieden gebraucht, und am allgemeinsten findet noch das Wort Buhne Eingang, worunter man gegenwärtig selbst die Steinwerke begreift. Man versteht darunter aber immer nur solche Baue, welche Hauptwerke sind und hinreichende Stärke haben, um dem vollen Angriffe des Stroms Widerstand zu leisten: die leichteren Unterstützungswerke, welche an geschützten Stellen errichtet werden, um das Wasser daselbst noch mehr zur Ruhe kommen zu lassen, und welche ihrer Richtung und ihrem Zwecke nach auch nichts Anderes als Einbaue sind, nennt man nicht mehr Buhnen, sondern Schlickfänge, auch Traversen, und wenn sie auf höheren Sandflächen angelegt werden, Rauschen: auch die Constructionsart bestimmt oft wieder die Benennung derselben, wie z. B. Schlickzäune, Flechtzäune, Pflanzlinien u. dergl.

Die Buhnen selbst werden nach dem verschiedenen Zwecke, den sie herbeiführen sollen, wieder verschiedentlich benannt: besonders in früherer Zeit machte man hierbei den wesentlichen Unterschied, dass man sie entweder als defensive oder als offensive Werke ansah. Das unterscheidende Kennzeichen zwischen beiden war nach Silberschlag die Breite, auf welche sie

den Strom beschränken: so lange sie nämlich die Normalbreite frei liessen, so sah man sie nur als Schutzwerke für das dahinter liegende Ufer an, im entgegengesetzten Falle meinte man aber, dass sie den Angriff des gegenüberliegenden Ufers bewirkten. Wenn die eigentliche Stromregulirung beabsichtigt wird, und die Werke vom Staate ausgeführt werden, so ist die Erhaltung der Ufer, obwohl sie jedesmal mit herbeigeführt wird, doch nur ein untergeordneter Zweck, der Abbruch derselben wird aber nur in sehr seltenen Fällen beabsichtigt. Die erwähnte Eintheilung der Bühnen hat demnach, wenn sie sich auch wirklich durch eine verschiedenartige Wirksamkeit der Anlagen begründen sollte, unter dem Gesichtspunkte, der hier zum Grunde gelegt werden muss, keine Bedeutung. Nichts desto weniger wird auch gegenwärtig noch oft derselbe Unterschied gemacht, und zugleich wird auch die Herbeiführung anderer Zwecke von den Bühnenanlagen erwartet, woher sie wieder besondere Benennungen erhalten. Ich will diese Benennungen hier anführen, obgleich einige derselben sich nicht mehr auf eigentliche Einbaue beziehen.

Unter Schutzbühnen versteht man solche Einbaue, welche allein die Sicherstellung des dahinter liegenden Ufers bezwecken: wenn sie aber nicht nur hierauf, sondern auch auf Verlandung oder auf die Erzeugung eines Vorlandes hinwirken sollen, so nennt man sie Fangbühnen. Ferner versteht man unter Treibbühnen diejenigen Einbaue, welche Silberschlag offensive nannte, indem sie das gegenüberliegende Ufer, oder auch wohl eine im Strom gelegene Insel oder eine Sand- oder Kiesbank in Angriff versetzen sollen. Rauschbühnen heissen sie in dem Falle, wenn ein starkes Gefälle zwischen je zwei einander gegenüberliegenden Bühnen sich bildet. Letztere dienen demnach zur Erzeugung des Staues, und ihr Zweck ist derselbe, den man viel besser durch Parallelwerke erreicht. Die vorstehenden Arten von Bühnen sind eigentliche Einbaue: ausserdem kommen auch noch Schöpfungsbühnen vor, d. h. Werke an den obern Spitzen der Inseln, die durch ihre Richtung dem einen, oder dem andern Arme die Hauptströmung zuweisen sollen, jedoch sehr häufig gerade das Gegentheil von dem herbeigeführt haben, was man durch ihre Anlage beabsichtigte. Ferner nennt man Trennungsbühnen (Separationswerke) diejenigen Werke, welche vor der Ein-

mündung von Seitenzuflüssen oder Nebenarmen angelegt werden, um eine unregelmässige Verbindung derselben mit dem Hauptströme zu verhindern. Endlich werden zuweilen auch diejenigen Werke, welche Stromarme ganz abschliessen, Sperrbuhnen genannt, wofür die gewöhnliche Benennung Coupirung ist.

Die Wirkungsart der eigentlichen Einbaue bei verschiedenen Wasserständen ergibt sich aus dem, was oben (§. 68) über den Effect des strömenden Wassers gesagt ist. Die Buhne sperrt bei kleinem Wasser, oder so lange sie nicht stark überströmt wird, einen Theil des Profils, und die sämmtlichen Wasserfäden, die früher daselbst abflossen, müssen nunmehr durch den übrigbleibenden Theil des Profils hindurchgehn. Hieraus ergibt sich augenscheinlich für den letztern eine vermehrte Geschwindigkeit und sonach ein verstärkter Angriff gegen das Bett.

Vor dem Einbau bildet sich keineswegs stehendes Wasser, vielmehr bemerkt man hier gewöhnlich eine frische Strömung, und häufig kommt es sogar vor, dass einzelne Buhnen, besonders wenn sie weit in den Strom vortreten, in der Art, wie Fig. 84 zeigt, die Richtung desselben wenig zu verändern scheinen. Durch die beiden punktirten Linien ist diese Richtung des Stroms oder der Stromstrich vor und nach dem Bau in der Art angedeutet, wie er sich häufig in der Oberfläche des Wassers zeigt. Es kommt sogar vor, dass Schiffe bei der Thalfahrt durch den Strom in den Winkel oberhalb der Buhne hineingezogen werden, und dass vom gegenüberliegenden Ufer aus die Sandbänke während des Baues und bald nachher sich viel weiter in das Bette hineinziehen, als es vorher der Fall war. Diese auffallende Erscheinung, dass nämlich eine ansehnliche und zuweilen sogar eine sehr heftige Strömung sich erhält, unerachtet der gerade Weg für sie abgesperrt wird, ist einestheils dadurch zu erklären, dass in jedem Querprofile des Stroms, wenn auch nicht in aller Schärfe, doch wenigstens ungefähr, das Wasser im Niveau bleibt, daher ist es nicht möglich, dass in dem von der Buhne und dem Ufer eingeschlossenen Winkel das Wasser eben so hoch stehen sollte, als in demjenigen Profile stromaufwärts, wo man schon den Beginn der Wirksamkeit der Buhne erwartet. Das Gefälle, welches hier nach längs dem Ufer zwischen *A* und *B* bleibt, muss offenbar eine gewisse Strömung erzeugen. Wollte man annehmen, dass

dieses Gefälle sehr geringe sei, so würde wieder das Gefälle in dem Querprofile selbst dicht oberhalb der Buhne zwischen *B* und *C* um so grösser ausfallen und eine Folge davon würde sein, dass das Wasser aus dem Winkel oberhalb der Buhne oder vom Punkt *B* aus um so schneller nach dem Kopfe *C* abfliessen und sich daher in *B* senken müsste. Dadurch würde sich aufs Neue ein stärkeres Gefälle und mit ihm zugleich eine vermehrte Strömung von *A* nach *B* bilden. Das relative Gefälle der Uferströmung kann in der That nur in dem Maasse sich vermindern, wie sein Weg durch die Buhne verlängert worden ist, und diese Verlängerung ist gemeinhin so unbedeutend, dass ihr Einfluss durch die Vergrösserung der Tiefe in dem scharf begrenzten und gekrümmten Wege aufgehoben wird. Während der Dauer des niedrigen und mittleren Wassers pflegen daher die günstigeren Verhältnisse, die man bei der Anlage der Buhnen erwartet, noch nicht einzutreten.

Ein anderer Grund, der vorzugsweise dazu beiträgt, die Strömung neben dem Ufer zu erhalten, liegt ohne Zweifel in der Gestaltung des Strombettes. Man darf nicht voraussetzen, dass Buhnenanlagen auf eine weite Entfernung stromaufwärts schon von Einfluss sind. Ein solcher kann im Allgemeinen hier nur darin bestehn, dass die Buhnen durch den erzeugten Aufstau das Gefälle mässigen: aber dieses verschwindet sogleich, wie die grössere Tiefe vor dem Kopfe einen verstärkten Abfluss gestattet. Das Wasser verfolgt sonach unmittelbar nach der Ausführung des Baues seinen früheren Weg, und vermöge seines Beharrungsvermögens behält es auch, sobald es in den Wirkungskreis der Buhne tritt, diejenige Richtung bei, die ihm durch die Gestaltung des vorhergehenden Theiles des Strombettes, und namentlich durch die tieferen Rinnen in demselben angewiesen wird. Diese Verhältnisse werden gleichfalls nicht früher verändert, als bis durch das Hochwasser eine wesentliche Umformung eingetreten ist. Es erklärt sich indessen hieraus, dass einzelne Buhnen, besonders wenn sie stark vortreten, weit entfernt eine Regulirung des Stroms hervorzubringen, vielmehr die Unregelmässigkeit desselben noch vergrössern. Aber auch selbst zur Zeit des Hochwassers können solche isolirte Anlagen keinen günstigen Erfolg bewirken, und sie haben überall, wo man sie erbaut hat, nichts effectuirt, während sie unverhältnissmässig grosse Unterhaltungskosten erfordern,

und wenn man diese nicht mehr darauf anwenden will, schnell zerstört werden.

Endlich ist ohne Zweifel auch die Adhäsion der Wasserfäden unter sich ein dritter Grund, woher die Strömung neben dem Ufer vor der Buhne nicht ganz aufhören kann. Es ergibt sich aber, dass diese drei Gründe immer mehr an Bedeutung verlieren, in je kürzerem Abstände die Buhnen einander folgen. Hierauf beruht das sicherste Mittel, um den Strom vom Ufer zu entfernen und in denjenigen Theil des Bettes zu weisen, den man als eigentliches Strombett offen erhalten will. Hierbei muss aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Entfernung der Buhnen unter sich keineswegs allein von ihrer Länge abhängig ist, sondern dass man vielmehr eine bestimmte Beziehung zwischen dieser Entfernung und der Breite des Stroms aufsuchen muss. Es ergibt sich dieses schon aus dem Umstande, dass, wenn die Buhnen später ihren Zweck erfüllt und die Verlandung zwischen sich erzeugt haben, die letztere noch dauernd durch sie geschützt werden muss, damit nicht neue Ufereinbrüche und Unordnungen sich erzeugen. Dabei ist offenbar die Lage des Ufers zur Zeit der Regulirung ganz gleichgültig, und folglich auch die ursprüngliche Länge der Buhnen. Es kommt darauf an, dass die Buhnenköpfe, welche die Festpunkte für das Ufer bilden, so nahe neben einander liegen, dass keine nachtheilige Stromkrümme dazwischen entstehen kann, und ohne Zweifel ist die Breite des Stroms der einzige Maassstab für diese noch zulässige Entfernung der Köpfe von einander. Zur Erleichterung der Anlage kann es allerdings dienen, wenn man in tiefen Buchten Anfangs die Buhnen in grösserm Abstände von einander legt: sie werden alsdann aber weniger wirksam sein, und sie können nur dazu dienen, einigermaassen die Verhältnisse zu verbessern und einige Verlandung zu erzeugen. Sobald dieser Zweck durch sie aber herbeigeführt ist, so müssen sie noch durch dazwischengelegte Werke in ihrer Wirksamkeit unterstützt werden. Man erreicht dadurch den Vortheil, dass man die spätern Bauten in einer geringern Wassertiefe und zuweilen auch in geringerer Länge, also in beider Beziehung wohlfeiler ausführen kann.

Verfolgt man ferner die Strömung des niedrigen Wassers, wie dieselbe sich vor dem Kopfe oder dem äussern Ende der

Buhne und unterhalb desselben bildet, so findet augenscheinlich an der Stelle, wo die Buhne liegt, nicht nur wegen der stärksten Verengung des Profils die grösste Geschwindigkeit statt, sondern ausserdem trifft gerade hier die Seiten- oder Uferströmung mit dem nicht abgelenkten Strome zusammen; ausserdem zeigt sich hier auch das stärkste Gefälle und oft ein förmlicher Wassersturz. Alle diese Umstände wirken auf die Vertiefung dieser Stelle hin, welche in der Regel auch sehr stark und sehr schnell erfolgt. Oft stellt sie sich in solcher Grösse ein, dass selbst die Wasserfäden von der andern Seite des Stromes sich hierher wenden, weil ihre Abführung hier am wenigsten behindert wird, und wahrscheinlich erfolgt dieses auch aus dem Grunde, weil gerade hinter der Buhne das Wasser am niedrigsten steht, und sonach ein heftiger Strom schräge dahin gekehrt wird.

Die starke Vertiefung vor dem Kopfe der Buhnen ist schon als eine Unregelmässigkeit im Strömbett an sich nachtheilig: sie wird es um so mehr, als sie zuweilen eine übermässige Verengung des Profils und dadurch auch eine besonders heftige Strömung veranlasst, welche den Betrieb der Schifffahrt sehr erschweren und selbst gefährlich machen kann: endlich aber wird dadurch für die Buhne selbst eine grosse Gefahr herbeigeführt. Schon während des Baues pflegt sich die Vertiefung zu zeigen, und indem sie immer vor dem Kopfe des bereits fertigen Theiles eintritt, so geschieht es nicht selten, dass man die ganze Buhne in einer weit grösseren Tiefe ausführen muss, als es nach den vorhergehenden Untersuchungen des Grundes zu erwarten war. Es fehlt nicht an Beispielen, dass Buhnenanlagen gar nicht beendigt werden konnten, weil die Tiefe und zugleich die Strömung vor ihnen immer heftiger wurde. Von den Vorsichtsmaassregeln, welche man in dieser Beziehung treffen kann, soll später bei Beschreibung der Constructionen die Rede sein, hier muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass dieser Uebelstand immer am bedenklichsten wird, wenn man mit einem einzelnen Bau sehr weit in den Strom herausgeht und die Verengung des Profils ein besonders starkes Gefälle oder einen sehr hohen Aufstau verursacht. Wenn man dagegen eine Buhne in nicht gar weiter Entfernung von andern ausführt, so vertheilt sich das Gefälle der zu corrigirenden Stromstrecke auf alle, und es wird an jeder einzelnen in demselben

Verhältnisse geringer, woher auch seine Wirkung sich viel mässiger herausstellt. Ausserdem gewährt jede fertige Buhne einen merklichen Schutz der nächstfolgenden, und indem man das ganze System von Buhnen an das regelmässig geformte Ufer anschliesst, so ist das oberste Werk nur kurz und daher leicht aufzuführen, und jedes folgende tritt vor dem früheren in gleicher Art nur wenig vor, so dass kein einziges in seiner ganzen Länge von einem besonders heftigen Strome getroffen wird.

Unterhalb des Kopfes der Buhne trifft der sehr verstärkte Strom mit einer Wassermasse zusammen, die an der allgemeinen Bewegung wenig Theil nimmt und wenigstens von oben her keinen Zufluss erhält. Hier bilden sich in Folge der Adhäsion der Wasserfäden jene Wirbel oder Widerströme aus, deren schon oben Erwähnung geschehn ist, und zu ihrer Mässigung trägt besonders eine sanfte Dossirung des Kopfes der Buhne sehr wirksam bei. Ausserdem aber sind sie um so schwächer, je geringer das Gefälle vor der Buhne bleibt, und sonach lässt sich ihr schädlicher Einfluss gleichfalls vermindern, wenn man die Anzahl der Buhnen vergrössert, oder das Gefälle der ganzen Stromstrecke auf mehrere vertheilt.

So lange der niedrige Wasserstand anhält, oder wenigstens die Buhnen nicht stark überströmt werden, so beschränkt sich der Effect, den sie herbeiführen, grossentheils auf die Vertiefung des Bettes unmittelbar vor dem Kopfe: es bilden sich hier tiefe Löcher, die sich bald nach oben, bald nach unten hin weiter ausdehnen, die aber, wenn die Strömung stark ist und die Buhnen nicht weit von einander liegen, mit der Zeit in Zusammenhang treten und dadurch die beabsichtigte tiefe Fahrrinne durch die Untiefe darstellen. Ein solcher tiefer Schlauch liegt aber, wie sich aus dem Mitgetheilten ergibt, jedenfalls unmittelbar vor den Buhnenköpfen. Man pflegt aus diesem Grunde den Buhnen im Allgemeinen die Eigenschaft beizulegen, dass sie den Strom anziehen. In vielen Fällen kann diese Eigenschaft sehr nützlich werden, zuweilen ist sie aber auch sehr nachtheilig und dem Zwecke des Baues gerade entgegen. Das Letzte pflegt namentlich einzutreten, wenn man die Anlage in der Absicht ausgeführt hat, um an dem gegenüberliegenden Ufer Abbruch zu erzeugen, oder Inseln zu beseitigen, die im Strombette sich befinden. In gleicher

Art verfehlen auch die sogenannten Schöpfbuhnen grossentheils ihren Zweck: statt den Strom von demjenigen Arm abzuhalten, dessen obere Mündung sie theilweise absperren, erzeugen sie oft eine so starke Vertiefung vor ihrem Kopfe, dass der Strom sich vorzugsweise in diesen Arm hineinwirft und dadurch der andere Arm, dem man mehr Wasser zuweisen wollte, zur Verlandung kommt.

Es lässt sich indessen aus dieser Wirkung der Buhnen auch wieder grosser Vortheil ziehn: besonders kann man hierdurch in Sandbänken, die von dem convexen Ufer aus weit in das Strombett vortreten, tiefe Rinnen einschneiden und offen erhalten, wodurch der Angriff gegen das concave Ufer sich vermindert. Man muss dabei freilich von der gewöhnlichen Ansicht des Sachverhältnisses abstrahiren, und sich nicht mehr an die Regel binden, dass vor convexen Ufern keine Buhne ausgeführt werden dürfe, wie dieses oft als allgemein gültiger Grundsatz ausgesprochen worden ist. Diese Regel beruht allein auf der Voraussetzung, dass alle Buhnen den Strom von sich abweisen, sie also in diesem Falle den Angriff auf das concave Ufer vermehren, oder die Krümmung noch schärfer machen würden. In der Wirklichkeit geschieht dieses aber nicht immer, vielmehr ist das Gegentheil die allgemeinere Erscheinung, denn die meisten Buhnen ziehn den Strom an. Die Buhnen auf der Sandbank vor dem convexen Ufer wirken daher, wenn sie noch von einer merklichen Strömung getroffen werden, in gleicher Weise, wie sie es unter andern Verhältnissen thun würden: sie concentriren nämlich den Strom vor ihren Köpfen, erzeugen hier Vertiefung und dienen sonach dazu, die Sandbank, auf der sie stehn, in Angriff zu versetzen, oder den Anfall des Stroms auf das gegenüberliegende bedrohte Ufer zu mässigen. Eversmann hat in einem Falle mit sehr günstigem Erfolge einige Werke in dieser Art erbauen lassen: sie waren indessen so leicht construirt, dass sie einer starken Vertiefung vor dem Kopfe nicht widerstehn konnten, und daher sogleich abbrechen, wie eine solche eintrat. Sie durften aus diesem Grunde weit über die Normalbreite des Stroms herausgeführt werden, wodurch es allein möglich war, sie einer heftigen Strömung auszusetzen, welche auf die Vertiefung hinwirken konnte. Sobald diese sich aber zeigte, zog sich auch die Strömung schon etwas stärker nach diesem Ufer hin, und der Strom blieb noch wirksam,

wenn auch der Kopf der Buhne in der Tiefe versank und fortgerissen wurde. In gleicher Weise hat es sich in vielen andern Fällen herausgestellt, dass stärkere Buhnen, welche dauernd die Uferlinie bezeichnen sollten, auch vor dem convexen Ufer die tiefe Rinne erzeugt haben.

Man kann die Wirksamkeit der Buhnen, in Betreff der Bildung einer zusammenhängenden Rinne, ausserordentlich verstärken, wenn man sie mit Flügeln versieht, wie Fig. 85 zeigt. Der Vortheil dieser Anordnung liegt darin, dass man dem vorbeiströmenden Wasser eine bestimmte Richtung ertheilt, die es in Folge seines Beharrungsvermögens auch ferner beibehält und dadurch veranlasst wird, auf eine grössere Länge das Bett anzugreifen. Es bilden diese Flügel den Uebergang zu den Parallelwerken, und dieselben Uebelstände, welche bei den letztern eintreten, zeigen sich gewissermaassen auch schon an ihnen, und namentlich betreffen diese die unregelmässige und unvollständige Ablagerung des Materials aus dem Flusse: sie verhindern daher schon zum Theil die gehörige Ausbildung der Ufer. Nichts desto weniger giebt es Fälle, wo sie sehr nützlich sind, und am Rhein ist wiederholentlich mit vielem Vortheil davon Gebrauch gemacht worden. Man kann diese Flügel entweder stromaufwärts oder stromabwärts an die Buhnen anschliessen, oder auch Beides vereinigen, wie in der Figur angegeben ist. Ausserdem liegt eine Verschiedenheit noch darin, dass man sie entweder ganz gerade in der Richtung der beabsichtigten Uferlinie zieht, wie Fig. 85 a, oder sie eine solche Neigung und zugleich einige Krümmung erhalten, dass sie um so kräftiger das Wasser verhindern, diejenige Richtung anzunehmen, welche dieses, wenn die Flügel nicht vorhanden wären, annehmen würde Fig. 85 b.

Von der Wirksamkeit der Buhnen bei niedrigem Wasser hängt die Beantwortung der Frage ab, ob man bei der Ausführung eines ganzen Systems von Buhnen mit der obern oder mit der untern den Anfang machen soll. Insofern beim Eintritt des Hochwassers das ganze System gewöhnlich beendigt ist, wäre hierbei nur die Wirkung des mittleren und kleinen Wassers zu berücksichtigen. Jedenfalls wird man die Buhnen der Reihe nach ausführen, weil man nur in diesem Falle aus dem schon fertigen Theile des Baues für den noch in Arbeit befindlichen eine vor-

theilhafte Wirkung ziehn kann. Hat man den Bau von unten her begonnen, wie dieses häufig geschieht, so wird die Ausführung einer nächst oberhalb belegenen Buhne einige Erleichterung durch den Stau erfahren, welchen das bereits fertige Werk verursacht: eben dieser Vortheil tritt indessen auch im entgegengesetzten Falle ein, insofern die fertige Buhne, wenn sie oberhalb der im Bau begriffenen liegt, einen Theil des Gefälles der ganzen Stromstrecke schon aufhebt. Bei der letzten Anordnung zeigt sich aber noch der wesentliche Nutzen, dass man einen grossen Theil jeder einzelnen Buhne im Schutze der vorhergehenden erbauen kann, ohne dabei einem starken Anfälle des Stromes ausgesetzt zu sein, wogegen dieser Stromanfall bei jeder einzelnen Buhne immer in der ganzen Länge derselben ungeschwächt eintritt, wenn man von unten angefangen hat und nach und nach weiter stromaufwärts geht. Hierbei kommt aber noch ein anderer sehr wesentlicher Umstand in Betracht, der gleichfalls für den Beginn der Arbeit von oben her spricht. Die Veranlassung zu jeder Unregelmässigkeit im Strombette liegt nämlich gemeinhin weiter stromaufwärts: nur in sehr seltenen Fällen zeigt sich das Gegentheil, indem Verflächungen oder Verlandungen nach der stromaufwärts gekehrten Seite anwachsen, und immer neue Sandmassen sich davor niederschlagen. Der gewöhnliche Fall ist der, dass eine Untiefe oder ein unregelmässig gekrümmtes Ufer dem Strome eine schräge Richtung ertheilt, bei deren weiterer Verfolgung er neue Unregelmässigkeiten bildet. Will man also das Uebel in der Wurzel angreifen, so muss man die erste Veranlassung desselben, oder die Ursache der schrägen Richtung des Stroms beseitigen. Dieses geschieht durch die obern Buhnen des ganzen Systems, und indem diese die Fortsetzung der regelmässigen Uferlinie bezeichnen, so dienen sie vorzugsweise zur Regulirung der Stromstrecke, wenn sie freilich auch die folgenden Werke zur gänzlichen Beseitigung der Unordnung keineswegs entbehrlich erscheinen lassen. Wenn man daher mit der obern Buhne den Anfang macht, so bringt man schon nach und nach den Strom in die beabsichtigte Richtung, wenigstens verhindert man es, dass er während des Baues, oder in der Zwischenzeit, wo der Bau vielleicht unterbrochen wird, grössere Unordnungen erzeugen kann, als bisher bestanden, denn keine einzige Buhne tritt weit vor,

ohne dass der Strom schon durch die vorhergehenden gehörig abgelenkt wäre. Ganz anders verhält es sich dagegen, wenn man mit den untern zu bauen anfängt: in diesem Falle stellt sich jede einzelne Buhne, bevor sie von oben her unterstützt wird, als eine isolirte Anlage dar, welche, wie schon erwähnt worden, immer grosse Unordnungen des Stromlaufes und des Bettes veranlasst. Sollte aber schon vor Beendigung des ganzen Systems von Buhnen ein hoher Wasserstand eintreten, wie dieses oft nicht zu vermeiden ist, besonders wenn der Bau wegen seiner Ausdehnung nicht in einem Jahr vollendet werden kann, so ist der Erfolg der eintretenden Verlandungen und sonach der günstige Einfluss des fertigen Theiles, auf den Bau des noch fehlenden und selbst auf die ganze Stromcorrection viel grösser, wenn man von oben her angefangen hat. Es darf daher als eine allgemein geltende Regel angesehen werden, dass man bei Ausführung eines grossen Systems von Buhnen, den Bau mit den obern Werken beginnen, und nach und nach stromabwärts gehn muss.

Eine andere Regel, die ihre Begründung in dem Obigen findet, ist aber diese, dass der Bau jeder Buhne ohne Unterbrechung und möglichst schnell in der ganzen Länge ausgeführt werden muss. Unterbricht man den Bau in der Absicht, ihn später wieder aufzunehmen, so erfolgt die Vertiefung vor dem jedesmaligen Kopfe des Werkes und diese ist Veranlassung, dass man bei der Fortsetzung nicht nur weit mehr Material und verhältnissmässig auch mehr Arbeitskräfte wegen der grösseren Tiefe gebraucht, sondern ausserdem verursacht der regelmässige Strom, der sich hier ausgebildet hat, bei der Fortsetzung des Baues auch eine weit schwierigere Arbeit. Es giebt freilich manche Methoden, wodurch man einer schleunigen Vergrösserung der Tiefe vorbeugen kann, aber immer sollte man wohl dafür sorgen, das sämmtliche Material, welches man wahrscheinlich nöthig hat, schon vor dem Beginne jedes einzelnen Werkes bezuschaffen. Hiernach lässt es sich auch nicht rechtfertigen, wenn man vorläufig den Werken eine geringere Länge giebt, als sie eigentlich haben sollten, und man sie erst später ergänzt, sobald sich das Bedürfniss dazu herausstellt. Es ist freilich sehr schwer, schon vorher genau zu bestimmen, wie weit die Einschränkung des Bettes an jeder Stelle getrieben werden muss, um die beabsichtigten Erfolge

herbeizuführen, und es ist natürlich, dass man in der Ungewissheit hierüber lieber zu wenig, als zu viel thut. Nichts desto weniger sollte man die Erfahrungen, die an demselben Strome bereits früher gesammelt sind, immer sehr sorgfältig benutzen, um die zweckmässigste Entfernung der beiderseitigen Uferlinien schon vorher möglichst genau bezeichnen zu können.

Bisher ist nur von der Wirksamkeit der Einbaue bei niedrigem oder mittlerem Wasserstande die Rede gewesen, das heisst während der Zeit, in welcher sie nicht überströmt werden. Die Erfolge beschränken sich unter diesen Verhältnissen vorzugsweise auf die Umgestaltung und namentlich auf die stellenweise Vertiefung des Bettes. Doch auch diese bleibt bei kleinem Wasser meist ziemlich unbedeutend, insofern die Buhnen nur an denjenigen Stellen, wo sie gerade liegen, die Vertiefung hervorbringen, und in den Zwischenräumen zwischen ihren Köpfen der Strom mehr oder weniger noch die alten Rinnen verfolgt. Eine Ausbildung der Ufer tritt aber erst ein, wenn das Wasser über die Buhnen fortgeht, und eine starke Strömung sich in dem durch sie umschlossenen Raume bildet. Die Bedingungen, von welchen die Erhöhung des Bettes an diesen Stellen abhängig ist, sind schon oben erwähnt worden. Das schwere Geschiebe, welches auf dem Grunde fortrollt, muss, ohne dass es eine steile Dossirung heranzusteigen oder seine Richtung stark zu verändern braucht, in die Zwischenräume zwischen den Buhnen getrieben werden. Es bleibt daselbst liegen, wenn einige Beruhigung des Wassers eintritt, und namentlich wenn die starke Strömung unmittelbar über der Sohle gehemmt wird. Die feineren Stoffe, welche im Wasser schweben, treiben dagegen über die Einbaue fort, und sinken nur in so weit zu Boden, als die eintretende Beruhigung dieses gestattet. Man darf nicht erwarten, dass beim Abschneiden eines grossen Theiles des Bettes die schwereren Stoffe sich über die ganze Fläche und bis gegen das frühere Ufer verbreiten, dieselben werden vielmehr jedenfalls in der Nähe der Linie, welche die Köpfe der Einbaue verbindet, liegen bleiben. Man bemerkt hier in der That fast immer die stärkste Ablagerung des schwereren Materials: und besonders reichlich pflegt diese zu erfolgen, wenn die Buhnen stromaufwärts gekehrt sind, oder das schwerere Material bei Verfolgung der Richtung seiner frühern

Bewegung, zwischen sie hineingetrieben wird. Hierin liegt der Grund, wesshalb die stromaufwärtsgekehrte Richtung der Einbaue wesentlich zur Beförderung der Uferbildung beiträgt.

Die feineren Stoffe, welche vom Strome in den durch die Buhnen abgeschlossenen Theil des Bettes hineingeführt werden, können leicht daselbst gar nicht ausgeschieden werden, sondern ihren Weg weiter fortsetzen, und sonach zur Uferbildung nichts beitragen. Diese Stoffe sind es, welche den hintern Theil des Raumes zunächst des alten Ufers anfüllen müssen, weil die gröbereren Massen nicht mehr dahin gelangen. Es wird daher nöthig, an diesen Stellen die Geschwindigkeit zu mässigen, und dieses geschieht, indem man die Buhnen hier erhöht, oder man sie vom Strome aus, nach dem Ufer hin ansteigen lässt. Man erreicht dadurch den Vortheil, dass die Strömung in der Nähe des neuen Uferrandes stark genug bleibt, um selbst die schwereren Geschiebe hineinzuführen und gehörig zu vertheilen, während der feinere Sand in der schwächeren Strömung neben dem alten Ufer niederschlägt. Die Höhenlage der Krone oder des Rückens jeder Buhne bedingt aber zugleich die Tiefe, in welcher die frische Bewegung des Wassers aufhört, und sonach die Höhe, bis zu welcher die Niederschläge sich überhaupt ablagern können. Manche andere Umstände bleiben dabei freilich von grossem Einfluss, aber im Allgemeinen hängt die Form des künstlich gebildeten Ufers doch von dem Profil der Buhnen ab. Steigen diese daher nach dem Ufer herauf, so erhält auch das Ufer eine sanfte Böschung, und der wesentlichste Nutzen davon beruht wieder darin, dass alsdann die Strömung des Hochwassers sich nicht aus dem Bette für das kleine Wasser entfernt, und die Tiefe darin sich besser erhält. Am vollständigsten dürften diese Vortheile erreicht werden, wenn man den Buhnen gar keinen scharf markirten Kopf gäbe, sondern sie mit sanfter und stätiger Neigung von der Sohle des Bettes aus bis ans Ufer heraufgeführt würden. Dadurch liesse sich überdies die starke Vertiefung vor dem Kopfe vermeiden, und ebenso müssten die Widerströme und die sonstigen Unregelmässigkeiten beinahe ganz aufhören. Endlich würde dabei das Wasser, sobald es einen niedrigeren Stand annimmt, auch immer um so stärker zusammengedrängt werden, wodurch allein eine grössere Tiefe bei kleinem Wasser gesichert

wird. Eine solche Anordnung stellt sich daher als die wirksamste und zugleich als die einfachste dar. Man kann indessen bei der gewöhnlichen Constructionsart der Buhnen keinen Gebrauch davon machen. Nur bei Anwendung des Steinbaues steht ihr nichts im Wege. An der Mosel ist diese Methode in der That zur Ausführung gebracht, indem vor den Köpfen der Buhnen noch flach auslaufende Steindämme angeschüttet wurden. Hierdurch allein war es möglich, während des sehr niedrigen Wasserstandes im Herbst 1842 den Betrieb der Dampfschiffahrt ohne Unterbrechung zu unterhalten.

Eine besondere Berücksichtigung in Bezug auf die Wirksamkeit der Buhnen verdient noch derjenige Wasserstand, der einen geringen Uebersturz des Wassers über die Kronen der Buhnen hervorbringt. Dieser Uebersturz wird unter allen Umständen eine Vertiefung neben der untern Seite der Werke veranlassen und hierdurch die regelmässige Ablagerung des Materials einigermaassen verhindern. Der Nachtheil lässt sich vermeiden, wenn man die Werke an der stromabwärts gekehrten Seite recht flach dossirt, doch ist dieses Mittel zu kostbar, als dass es allgemeine Anwendung finden könnte, ausserdem ist es bei dem gewöhnlichen Packwerks- oder Faschinenbau nicht anwendbar. Die oben erwähnte Ansteigung der Krone der Buhne nach dem Ufer hin, ist aber auch in dieser Beziehung sehr wirksam, indem sie bei jedem verschiedenen Wasserstande immer nur auf einer bestimmten Stelle diesen stärksten Angriff eintreten lässt, und daher nie gleichzeitig auf der ganzen Länge der Buhne die Austiefung erfolgt. Der Nachtheil der horizontalen Buhnen besteht darin, dass die Rinne, während sie sich gleichzeitig ausbildet, auch einer stärkern Strömung ausgesetzt ist, wodurch sie wieder noch mehr vertieft, oder wenigstens ihre Tiefe erhalten wird. Wenn dagegen immer nur stellenweise die Vertiefung eintritt, und an andern Punkten das Material noch ungehindert niederschlagen kann, so wird diese Strömung jedesmal unterbrochen.

Am nachtheiligsten wirkt das überstürzende Wasser, wenn es bei Verfolgung seiner Richtung, nämlich normal gegen die der Krone, das Ufer dicht unterhalb des Anschlusspunktes trifft. Es ist hiervon schon bei Gelegenheit der Parallelwerke die Rede gewesen, doch auch bei Buhnen ist dieser Umstand von der

äussersten Wichtigkeit. Es ist klar, dass der Abbruch des Ufers in Folge dieses Wasserübersturzes von der Richtung der Buhne gegen das Ufer abhängt. Ist der stromabwärts liegende Winkel zwischen dem Ufer und der Buhne sehr spitz, so wird der Angriff am stärksten sein: dieses zeigt sich auch jedesmal und häufig so stark, dass dadurch tiefe Ufererinsse veranlasst, und nicht selten der Anschluss der Buhne durchbrochen wird. Am wenigsten nachtheilig wirkt dagegen das überstürzende Wasser, oder das Ufer leidet gar nicht, wenn der erwähnte Winkel stumpf oder die Buhne stromaufwärts gekehrt ist. Dieser Umstand begründet den wesentlichsten Vorzug der letzten Richtung der Werke.

Die Krone der Buhnen ist vielfältigen Angriffen ausgesetzt, so dass sie gemeinhin nach einiger Zeit ihre Regelmässigkeit verliert. Man stellt sie freilich, soweit es für nöthig erachtet wird, nach jeder Beschädigung möglichst bald wieder her, wenn diese Reparaturen aber nicht gar zu kostbar ausfallen sollen, so muss man sie auf die stärkeren Beschädigungen beschränken, und es kann nicht fehlen, dass merkliche Senkungen an einzelnen Stellen noch bleiben, über welche das Wasser mit verstärkter Heftigkeit überströmt. Besonders lässt sich dieses bei den mit Strauch bewachsenen Werken nicht vermeiden, aber auch selbst bei den massiven und abgepflasterten Buhnen, die niemals ein förmliches Mauerwerk bilden, oder in regelmässigem Verbande von unten aufgeführt werden, sondern die im innern Körper jedesmal nur aus einer losen Steinschüttung bestehn, ist ein etwas ungleichmässiges Setzen sehr leicht möglich. Wenn nun die Krone der Buhne ganz horizontal angelegt wird, so verstärkt sich an einer solchen zufälliger Weise etwas vertieften Stelle, der Angriff des Wassers, so oft dasselbe überhaupt überströmt, und diese stärkere Strömung vermehrt aufs Neue den Angriff. Das in der Richtung der Buhne auf deren oberer Seite eintretende Gefälle wirkt daher noch um so nachtheiliger, und verstärkt gerade in der Nähe des Ufers oder vor der Wurzel der Buhne den Uebersturz. Es geschieht auch in der That, dass diese horizontalen Buhnen leicht durchbrechen, besonders wenn sie sehr lang sind, und folglich ein starkes Gefälle erzeugen. Wenn dagegen die Krone ansteigt, so wird allerdings eine darin vorkommende Senkung noch immer nachtheilig bleiben, und eine verstärkte Strö-

mung zur Folge haben, nichts desto weniger kann eine solche nie in gleichem Maasse, wie bei den horizontalen Kronen schädlich werden, indem die Hauptströmung immer in die Nähe des Kopfes hingewiesen wird, wo die Tiefe des überstürzenden Wassers am grössten ist, wo aber wegen der geringeren Niveaudifferenz, zwischen Ober- und Unterwasser, die nachtheilige Wirkung sich schon sehr mässigt. Das Ansteigen der Krone ist sonach auch in dieser Beziehung sehr wichtig, und meines Erachtens müsste es jedesmal soweit eingeführt werden, dass die Krone unter allen Umständen dem davorstehenden Oberwasserspiegel wenigstens parallel bliebe und niemals in der Nähe der Wurzel stärker überströmt würde, als auf ihrem Kopfe. Die Neigung, welche man der Krone geben kann, ist indessen nicht nur durch die Constructionsart der Werke, sondern auch durch die Höhe der Ufer bedingt. Es muss nämlich als eine ganz feste Regel angesehen werden, von welcher keine Ausnahme gestattet ist, dass die Buhne immer etwas niedriger als das dahinterliegende Ufer bleiben muss. Wenn man hiervon eine Abweichung sich erlaubt, so bildet sich gleich eine verstärkte Strömung hinter der Buhne, und insofern das Ufer weniger fest, als die Buhne ist, so entstehn leicht Ausrisse und bald geht ein Stromarm um die Buhne herum und vereitelt vollständig ihren Zweck. In einer Stromstrecke, welche ich häufig bei anderer Gelegenheit sehe, habe ich wiederholentlich bemerkt, wie Buhnen und andere ähnliche Anlagen ohne Rücksicht auf die Uferhöhe recht hoch herauf gebaut werden, und alsdann statt das Ufer zu schützen, im Gegentheile dessen Abbruch befördern, und nach einem oder zwei Jahren zum grossen Nachtheil der Schifffahrt mitten im Fahrwasser liegen, bis sie durch den Eisgang zerstört werden und verschwinden.

Nachdem ich im Vorstehenden die Wirksamkeit der Einbaue im Allgemeinen beschrieben und die wesentlichen Vortheile bezeichnet habe, die man durch dieselben erreichen kann, und in neuester Zeit auch wirklich erreicht hat, muss ich des grossen Misstrauens erwähnen, welches man in Frankreich gegen diese Art von Anlagen hegt*). Es kommt darauf an, zu unter-

*) Die sämmtlichen in den *Annales des ponts et chaussées* befindlichen Aufsätze über diesen Gegenstand, sprechen ein solches Misstrauen gegen Bühnenanlagen aus.

suchen, durch welche Erfahrungen die Französischen Ingenieure zu dieser abweichenden Ansicht veranlasst worden sind.

Zunächst müssen in dieser Beziehung die am Rhein dicht unterhalb Strassburg, gegen das Jahr 1825, ausgeführten Anlagen erwähnt werden, welche Defontaine sehr ausführlich beschrieben hat*). Die Schwierigkeiten, denen man hier begegnete, waren so gross, wie sie kaum irgendwo sich wieder gezeigt haben mögen, und wenn es dabei auch glückte, einzelne Nebenarme abzuschliessen und dadurch den Strom etwas mehr zusammen zu halten, so blieb dieser sehr kostbaren Anlagen unerachtet, dennoch die Stromregulirung höchst mangelhaft. Im Jahr 1840 floss hier der Rhein noch in fortwährender Zerspaltung in Nebenarme, zwischen den ganz ungedeckten Kiesfeldern hindurch, die unaufhörlich abbrachen oder sich ausdehnten, und eine fortwährende, und zwar eine sehr schnelle Umgestaltung des Bettes veranlassten. Der Strom bot den Anblick der grössten Verwilderung dar, und man sah mit Ausnahme der wenigen Stellen, wo höhere Ufer, die man dem fernern Abbruch entziehen wollte, durch Senkfashinen im Fusse gedeckt wurden, keine Spur von einer Stromregulirung. Die Zerstörungen, welche die grössern Werke erfahren hatten, und die neuen Unordnungen, die dadurch wieder veranlasst waren, sind nach der Beschreibung, die Defontaine davon macht, so fürchterlich, dass man sich nicht wundern darf, wenn man von dieser Art zu bauen abging, und in neuerer Zeit, wie schon erwähnt, sich nur auf die Deckung einiger Ufer beschränkte. Die localen Verhältnisse sind hier allerdings höchst schwierig: der Strom hat längs der französischen Grenze das übermässige Gefälle von 1:1531 und dabei wird er nirgend von festen Ufern eingeschlossen, sondern sein Bette ist überall in dem abgelagerten Kiese eingeschnitten, der in fortwährender Bewegung bleibt, so oft die harte Strömung ihn trifft. Nichts desto weniger hat die Anordnung der Werke selbst ohne Zweifel auch viel zu den nachtheiligen Erfolgen beigetragen. Die Grundsätze, worauf sich ein erfolgreicher Strombau basirt, beziehn sich sämmtlich darauf, dass man nicht gewaltsam neue Verhältnisse herbeiführen darf, sondern in ähnlicher Weise, wie die natürlichen Veränderungen vor sich

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. II. pag. 1 ff.

gehn, muss der Strom auch durch künstliche Anlagen eine sanfte Einwirkung erfahren, und dadurch veranlasst werden, sein Ufer und sein Bette in der Art umzubilden, wie man sie beide gestaltet wünscht. Auf der Badenschen und Baierschen Grenze, wo freilich das Gefälle viel mässiger ist, verfuhr man in diesem Sinne: man eröffnete bei den beabsichtigten Geradeleitungen die neuen Arme in sehr mässigen Dimensionen; der Hauptstrom zog sich nur nach und nach in dieselben hinein, und es verlossen immer mehrere Jahre, bis der neue Arm zum eigentlichen Bette ausgebildet war. Während dieser Zeit blieben die alten Arme vollständig geöffnet, und der Strom selbst fing sie an zu schliessen und mit abgelagertem Material anzufüllen, sobald er sich vorzugsweise in die neuen Arme warf. Diese Anlagen sind als vollständig gelungen zu betrachten, wenn gleich die Verlandung der Serpentinaen wahrscheinlich sehr langsam fortschreiten wird. Vor dem Französischen Gebiete wählte man dagegen ein ganz verschiedenes und sogar gerade entgegengesetztes Verfahren: diejenigen Arme, aus welchen man den Strom zurückweisen wollte, wurden ohne Weiteres mit einem Male gesperrt, und es blieb dem Strome überlassen, sich einen andern Ausweg zu suchen. Hierin lag gewiss die Hauptveranlassung des Angriffs den die Werke selbst, sowie auch die durch sie gesperrten Arme erfahren. Ein zweiter Umstand, der gleichfalls sehr nachtheilig wirken musste, war die grosse Höhe, in der man die Werke erbaute: ihre Krone lag zum Theil (z. B. in dem Werke, welches zuerst den Lämmerich Giessen sperren sollte) 15 Fuss über dem niedrigen Wasser, und die Aeusserung von Defontaine in Betreff der geringen Dauer des Strauches, zeigt deutlich, dass er sich keineswegs auf die Höhe des niedrigen Wasserstandes, oder wenig darüber beschränkt hatte. Die grössern Werke, die hier ausgeführt sind, und welche sich so wenig bewährten, waren eigentlich Coupirungen, wodurch Nebenarme gesperrt werden sollten, sie bildeten jedoch für das Hochwasser förmliche Einbaue und traten in einer Länge von 100 bis 400 Ruthen in das Fluthprofil hinein, während sie bei der Entfernung von etwa einer halben Meile von einander sich unmöglich gegenseitig unterstützen konnten. Ueber die kürzeren Einbaue erfährt man wenig, doch erhielten sie gleichfalls eine sehr unzweckmässige Höhe.

Später wurden in Frankreich, um die verschiedenen Ansichten der Ingenieure über die Wirkungen der Einbaue mit der Erfahrung zu vergleichen, auf der Loire, und zwar in einer sehr geraden Stromstrecke, noch besondere Versuche angestellt: doch auch diese fielen wieder höchst ungünstig aus*). Das Bette der Loire mit seinen Spaltungen, Inseln und Sandfeldern, hatte an der zum Versuche gewählten Stelle eine Breite von 63 bis 100 Ruthen: man erbaute vom rechten Ufer aus, im Abstände von 290 bis 320 Ruthen, drei Werke senkrecht gegen die allgemeine Richtung des Stromes, von denen jedes ungefähr 66 Ruthen lang war, und sich dem gegenüberliegenden Ufer bis auf etwa 30 Ruthen näherte. Ihre Kronen waren, wie es scheint, horizontal und lagen $1\frac{2}{3}$ Fuss über dem Sommerwasser. Zwischen den beiden untern Bühnen schien in den nächsten 3 Jahren ein gerades Bette neben dem linken Ufer sich auszubilden: zwischen die beiden obern warf sich dagegen sehr schnell der Strom stärker hinein, als es früher gewesen war. Nach sieben Jahren war die Strecke viel mehr verwildert, als vor dem Bau. Die Bühnen hatten nur neben sich, und namentlich an ihrer untern Seite einige Verlandung erzeugt, aber augenscheinlich waren sie Veranlassung gewesen, dass der Strom sich zwischen je zwei stark hineingedrängt hatte und sonach von einem Ufer zum andern in scharfen Krümmungen serpentinierte. An Tiefe war dabei auch nichts gewonnen. Minard meint, die Bühnen wären noch nicht lang genug gewesen, ausserdem bemerkt er aber, dass sie zu weit auseinander lagen. Das letzte ist ohne Zweifel richtig, aber hiervon abgesehn kann man von solchen Bauen, welche nur den Strom beschränken, ohne ihn regelmässig zu leiten, auch keinen günstigen Erfolg erwarten, und vollends eine Ausbildung der Ufer war dabei ganz unmöglich. Die ungünstigen Resultate kann man sonach nicht der Anwendung der Einbaue im Allgemeinen zur Last legen, vielmehr rühren sie nur von der unzweckmässigen Anordnung derselben her. Diese Resultate bestätigen übrigens wieder, was oben von der schädlichen Wirkung der weit vortretenden isolirten Einbaue gesagt ist, denn als solche muss man diese drei Werke ansehen.

*) *Minard Cours de Construction*. Paris 1841. pag. 77 ff.

Wie weit die Einbaue vortreten und in welche Entfernung sie von einander gelegt werden müssen, hängt von der Beschaffenheit der zu corrigirenden Stromstrecke ab: die betreffenden Regeln sollen später, wenn von der Anordnung der Strombauten die Rede ist, mitgetheilt werden (§. 73). Hier ist aber noch die Richtung der Einbaue gegen die des Stroms näher zu untersuchen.

Die Einbaue oder Buhnen sind entweder stromabwärts geneigt, oder declinant. In dieser Art wurden sie früher fast ausschliesslich angelegt, und man hatte dabei die Absicht, dass sie förmlich als Richtwerke den Strom leiten sollten, was in der That auch geschah, wenn sie weit genug herabgezogen wurden. Die senkrechten Buhnen treten normal gegen die Richtung des Stromes in das Bette hinein, und wenn sie endlich stromaufwärts gekehrt sind, so heissen sie inclinante Buhnen.

Welche Richtung unter diesen die vortheilhafteste sei, ist keineswegs allgemein anerkannt, obwohl die schon oben angeführten Erfahrungen darüber sehr sicher entschieden haben. Schon Bélidor sagt*), dass diejenigen Einbaue, welche stromaufwärts gekehrt sind (also die inclinanten), zwischen sich die stärkste Verlandung erzeugen. Diese Ansicht hat sich in neuerer Zeit in Deutschland ziemlich allgemein geltend gemacht, nur Woltman hat sich in dem bereits angeführten Aufsätze noch im Jahr 1833 für die declinanten Werke ausgesprochen. In Holland befolgt man die Methode, dass bei einem ganzen Systeme von Einbauen, der oberste stark declinant und alle übrigen senkrecht gerichtet werden: die Wirkungen dieser Werke sind wohl nicht von der Art, dass sie sich als Muster empfehlen, sie sind auch fortwährenden starken Beschädigungen ausgesetzt, und lassen nicht leicht eine regelmässige Ablagerung des Materials oder die Bildung gehöriger Ufer bemerken. An der Tyne oberhalb Newcastle sah ich lange Reihen von Buhnen die inclinant und ganz in derselben Weise, wie man sie bei uns anordnen würde, erbaut waren. Ich muss indessen bemerken, dass ich sie nur im Vorbeifahren auf der Eisenbahn nach Carlisle gesehn und nicht näher untersucht habe.

*) *Architecture hydraulique. Tome IV. §. 1012.*

Um die Wirkungen der verschiedenen Buhnen zu prüfen, versuchte ich in einem kleinen künstlichen Canale die Ablagerung und das Abtreiben des Sandes zu beobachten: Fig. 86, Taf. XXXIII. stellt die Resultate dieses Versuches dar. Die punktirten Stellen bedeuten dabei die Ablagerung des Sandes und die schraffirten die Ausspülung desselben. Es traten indessen während der Versuche manche Anomalien ein, woher die Wirkung sich nicht so gleichmässig und sicher zeigte, wie die Zeichnung es angiebt. Häufig wurde, ohne dass ich den Grund davon bemerken konnte, der Sand plötzlich von einer Stelle fortgeführt, oder auf einer andern aufgehäuft, und so änderte sich fortwährend die Ablagerung der Sandmassen. Die Strömung war durchaus gleichmässig, indem der Zufluss des Wassers durch einen schwimmenden Heber erfolgte. Der feine Sand floss indessen nicht gleichmässig zu, sondern wurde in grössern Massen eingeworfen, und lagerte sich oft sehr hoch im Bette des Canales ab. Indem er langsam weiter getrieben wurde, gab er wahrscheinlich die Veranlassung zu den eintretenden Veränderungen. Die Einbaue bestanden aus metallenen dreiseitigen Pyramiden, die auf einer der drei Seiten ruhten, und daher solche Werke vorstellten, deren Krone von der Wurzel nach dem Kopfe stark abfällt und im Flussbette ausläuft. Zwischen den senkrechten Buhnen, die mit *A* bezeichnet sind, lagerte sich der Sand merklich ab, doch erlaubte die wirbelnde Bewegung nicht, dass er sich an eines der Werke anschliessen konnte, und ebenso wenig geschah dieses unmittelbar neben dem Ufer. Die Strömung vor den Köpfen blieb ziemlich mässig, so dass hier nicht selten der Boden des Canales bedeckt wurde. Wenn die Einbaue stromabwärts oder *declinant* gestellt wurden wie in *B*, so war die Ablagerung des Sandes schwächer und der Angriff vor dem Kopfe stärker, und noch schwächer gaben beide Wirkungen sich bei einer *inclinanten* Stellung zu erkennen, wie in *C*, wobei die Strömung vor dem Kopfe auch augenscheinlich weit stärker gegen den Hauptstrom gekehrt war, als in den beiden ersten Fällen.

Die Bedingungen, von welchen die Bewegung oder die Ruhe des einzelnen Sandkörnchens und sonach die Ausspülung oder Anhäufung grosser Sandmassen abhängt, sind ohne Zweifel in einem kleinen Canale dieselben, welche in grossen Strombetten die

Veränderungen herbeiführen. Es steht sonach zu erwarten, dass zur Aufklärung dieser höchst wichtigen, aber noch sehr dunkeln Erscheinungen, solche Experimente im Kleinen, wobei alle Umstände sich viel leichter verfolgen lassen, wesentlich beitragen können. Eine ganz unbegründete Folgerung wäre es aber, wenn man ohne weitere Untersuchung annehmen wollte, dass die Ablagerung des Sandes in gleicher Art im Modelle, wie im grossen Strome vor sich gehn sollte, da offenbar der veränderte Maassstab auf die innern Bewegungen den wesentlichsten Einfluss ausübt. Ich habe die Resultate der im Kleinen angestellten Beobachtungen nur deshalb angeführt, weil sie sich an die im Grossen gemachten Erfahrungen ungefähr anschliessen: und bemerke noch, dass wenn ich in dem kleinen Canale durch eingelegte Drähte vielfache Unebenheiten auf dem Boden darstellte, der darüber ziehende Sand aufgehalten wurde, und sich in diesen Furchen der weitem Einwirkung des Stromes entzog. Eine Ausnahme hiervon zeigte sich nur, wenn gerade, wie etwa vor den Köpfen der Einbaue, sehr heftige innere Bewegungen stattfanden, wodurch der Strom Gelegenheit erhielt, mit grosser Kraft in die kleinen Zwischenräume einzudringen.

An grossen Strömen ist es gleichfalls nicht leicht, die Wirksamkeit dieser verschiedenen Arten von Buhnen zu beobachten, weil sie nicht unter denselben Verhältnissen vorkommen, so dass man die abweichenden Erfolge als unmittelbare Resultate ihrer verschiedenen Richtung ansehen dürfte. Man hat, soviel mir bekannt ist, niemals den Versuch gemacht, unter ganz gleichen Umständen die drei Arten von Buhnen an demselben Flusse gleichzeitig zu erbauen, um unmittelbar aus der Erfahrung ihre Vortheile und Nachtheile und vielleicht auch die Grösse des Winkels kennen zu lernen, unter welchem sie gegen den Strom geneigt sein müssen, wenn sie die günstigsten Resultate herbeiführen sollen. Es lässt sich sonach der Unterschied ihrer Wirksamkeit nur im Allgemeinen bezeichnen.

Die stromabwärts geneigten oder *declinanten* Werke, welche, wie bereits erwähnt worden, den Uebergang zu den Parallelwerken bilden, leiten, besonders wenn sie sehr schräge vom Ufer abgehn, die Strömung bei kleinem Wasser am regelmässigsten. Aus dem stumpfen Winkel, oberhalb der Buhne, fliesst

das Wasser ohne starke Veränderung seiner Richtung ab, und nur sobald es den Kopf des Werkes passirt hat, nimmt es eine schräge Richtung gegen das abgeschlossene Bassin unterhalb der Bahne an. Der letzte Umstand ist indessen, insofern sich an dieser Stelle keine starke Verlandung bildet, für die Schifffahrt nicht nachtheilig. Dagegen entsteht zur Seite dieser Buhnen, besonders wenn sie recht lang sind, eine etwas vertiefte Rinne, die vielleicht schon zum Durchgange der Schiffe benutzt werden kann. Daher kommt es, dass die Schiffer, indem sie nur die augenblicklichen Erfolge berücksichtigen, gemeinhin sich für die declinanten Werke aussprechen und dieselben allen übrigen vorziehen. Der sehr grosse Uebelstand, der sich bei ihnen jedesmal einstellt, bezieht sich auf die unregelmässige und sehr langsam vorschreitende Ausbildung der Ufer, welche überdiess, wenn sie überhaupt erfolgen soll, noch die Ausführung vielfacher Nebenwerke erfordert. Vor den declinanten Buhnen, besonders wenn sie mit dem Ufer einen sehr stumpfen Winkel bilden, ist die Ablagerung des Materials nur unbedeutend, indem dasselbe durch die erwähnte Strömung wieder fortgezogen wird. An der untern Seite dagegen bilden sich regelmässig sehr heftige Widerströme aus, die sich bis zum Ufer erstrecken, und daher den Anschluss der Verlandung an dasselbe ebensowohl, wie an das vorhergehende und folgende Werk verhindern. Dazu kommt noch, dass die Oeffnung zwischen zwei Werken der Bewegung des herabtreibenden Materials abgekehrt ist, und dieses daher nicht so leicht hineindringen kann. Der grösste Uebelstand besteht aber darin, dass bei Wasserständen, welche die Krone in der Nähe des Anschlusses etwas überfluthen, das darüber fallende Wasser sich normal gegen die Richtung des Werkes bewegt und gerade auf das Ufer trifft und dieses sehr stark angreift. Die letzte Erscheinung stellt sich bei allen declinanten Werken sehr augenfällig ein, und sie ist es vorzugsweise, welche deren Anwendung in neuster Zeit sehr beschränkt hat. Man hat vielfach den Versuch gemacht, diesem Uferangriff dadurch vorzubeugen, dass man die Buhnen noch mit einem Anschlusswerke versieht, das von ihrem Kopfe aus als inclinante Buhne nach dem Ufer geführt wurde. Es bildet sich dadurch ein ringsum abgeschlossenes Bassin in der Gestalt eines Triangels, das allerdings den Angriff gegen das Ufer und zugleich

den Widerstrom mässigt, worin sich auch das Wasser soweit beruhigen kann, dass die schwebenden Stoffe niederschlagen: dieses Bassin ist aber dem Zutritt der gröberen Stoffe ganz entzogen, woher die Verlandung darin nur langsam vor sich geht. Ausserdem ist ein solches Werk viel kostbarer, als die einfache Bühnenanlage. Wiebeking hat mehrfach diese Triangel erbaut. Endlich muss noch erwähnt werden, dass für die Ausführung die stromabwärts geneigten Bühnen, wie es scheint, gerade die grösste Schwierigkeit darbieten, indem vor dem jedesmaligen Kopfe vorbei der Strom sich sehr stark in das gesenkte Wasser unterhalb des Baues hineinwirft. Hierdurch werden die ausgeworfenen Faschinen immer heftig gedreht, und dieser Umstand verbietet es mit den einzelnen Lagen weit vorzugehen, wenn die Strömung nicht etwa an sich nur sehr schwach ist.

Sind die Bühnen stromaufwärts oder inclinant gerichtet, so zeigen sie sich in Betreff der Bildung der Ufer viel wirksamer, als die declinanten. Zwischen ihnen kommt das Wasser vollständiger zur Ruhe, und zwar ebensowohl oberhalb als unterhalb, ausserdem wird in viel grösserer Menge das schwere Material in die Zwischenräume zwischen den Werken hineingetrieben, und was der wichtigste Umstand ist, das überstürzende Wasser trifft nicht mehr das Ufer und verursacht daher auch keinen Abbruch desselben. Auf diese Weise zeigen die inclinanten Bühnen, wie dieses schon von Bélidor bemerkt ist, die stärksten Verlandungen. Ein anderer Vortheil bezieht sich auf die grössere Leichtigkeit ihres Baues: die Faschinenlagen, welche man ausbringt, stützen sich nämlich viel sicherer gegen den bereits fertigen Theil des Baues, an den sie durch den Druck des Wassers hingedrängt werden. Dagegen sind sie, wie dieses wohl nicht in Abrede gestellt werden kann, für die Schifffahrt am meisten bedenklich, woher die Schiffer, besonders wenn sie die spätern Wirkungen dieser Werke aus der Erfahrung noch nicht kennen, fast jedesmal über sie Beschwerde führen. Die Besorgniss bezieht sich darauf, dass die Schiffe auf die stromaufwärts gerichteten Köpfe aufgetrieben werden möchten, und ohne Zweifel erfordert es einige Aufmerksamkeit, um dieses zu vermeiden. Wenn z. B. ein sandiges concaves Ufer in Abbruch steht, und die Krümmung nicht gar zu unregelmässig ist, so kann man bei der Thalfahrt

die Schiffe ganz frei, und ohne dass sie vom Ufer abgehalten werden dürften, davor herabtreiben lassen: es ist sogar für die Schiffe ohne Nachtheil, wenn sie auch das Ufer berühren und daran vorbeistreichen und zugleich dessen Abbruch noch mehr befördern. Wenn dagegen eine Verbauung dieses Ufers, und zwar durch inclinante Buhnen stattgefunden hat, so ist dieses sorglose Vorbeistreichen nicht mehr möglich, der Schiffer muss vielmehr das Schiff vorsichtig steuern, und zuweilen wird es sogar nöthig, dass man das Schiff durch Aussetzen von Scheerbäumen, durch Rudern, oder auf andere Weise von den Buhnenköpfen frei halten muss: eine solche Unbequemlichkeit pflegt schon zu den heftigsten Klagen Veranlassung zu geben. Gerade die inclinanten Buhnen verlanden aber am stärksten, und wenn sie sonst gehörig angeordnet wären, so pflegen sie auch am schnellsten günstigere Verhältnisse herbeizuführen, wo jede Ursache zu einer Klage aufhört. In manchen Fällen, und namentlich wenn das Fahrwasser sehr stark gekrümmt, und die Strömung sehr heftig ist, muss man indessen von den inclinanten Buhnen und sogar von dem Buhnenbau überhaupt abstrahiren, weil dadurch die Schifffahrt nicht nur unbequem, sondern vielleicht einer wirklichen Gefahr blosgestellt werden könnte: alsdann muss man entweder eine zusammenhängende Uferdeckung vornehmen oder ein Parallelwerk erbauen.

Die Wirkungen der senkrechten Buhnen fallen zwischen die der declinanten und inclinanten: die Vertiefungen vor ihren Köpfen scheinen im Allgemeinen und unter übrigens gleichen Umständen am unbedeutendsten zu bleiben. Sie gewähren in Bezug auf die Kosten der Anlage den Vortheil, dass sie für eine gegebene Entfernung des Kopfes vom Ufer die geringste Länge erfordern: dieser Vortheil wird indessen häufig durch andere Uebelstände und vielleicht selbst durch die grössere Schwierigkeit des Baues aufgehoben.

Wenn es sich aus dem Angeführten ergibt, dass die inclinanten oder die stromaufwärts gerichteten Buhnen für die eigentliche Stromregulirung die günstigsten Wirkungen herbeiführen, so entsteht noch die Frage, unter welchem Winkel sie gegen das Ufer geneigt werden sollen. Im Allgemeinen ist die Berücksichtigung ihrer Länge so wichtig, dass man schon aus diesem

Gründe sich nie weit von der senkrechten Richtung entfernen wird. Dazu kommt, dass der Angriff, den das überstürzende Wasser gegen das Ufer ausübt, schon aufhört, sobald nur der nach unten gekehrte Winkel etwas grösser, als ein rechter ist. Endlich wird der vortretende Kopf für die Schifffahrt immer um so gefährlicher, je mehr die Buhne von der senkrechten Richtung abweicht. Wenn also nicht vielleicht besondere locale Verhältnisse vorkommen, oder die baldige Ausbildung der Ufer von überwiegender Wichtigkeit ist, so pflegt man den Neigungswinkel gegen das Ufer nicht leicht unter 60 Graden anzunehmen, und ihn nach Umständen bis zu 75 Graden anwachsen zu lassen, oder ihn noch mehr dem Rechten zu nähern. Die Neigung von 72 Grad ist vielleicht die gewöhnlichste. Es ergiebt sich aber aus Allem, was über den Einfluss der Neigung gesagt ist, dass der Gegenstand bis jetzt wenig aufgeklärt und daher gar keine Veranlassung vorhanden ist, sich in aller Schärfe an gewisse Winkel zu binden. Es verdient indessen doch bemerkt zu werden, dass man in scharfen Krümmungen und zwar vor den concaven Ufern, die Werke steiler, oder dem rechten Winkel näher anzuordnen pflegt, als in den mehr geraden Stromstrecken, und zwar geschieht dieses theils in Bezug auf die Sicherheit der Schifffahrt und theils auch, insofern das schwerere Material beim Durchgange durch die Stromkrümmung schon die Tendenz hat, sich dem concaven Ufer zu nähern. Vor den convexen Ufern, wo die Neigung zum Verlanden immer sehr gross ist, kann man ohne Nachtheil die Werke auch ganz senkrecht anlegen, wodurch sie bei gleicher Länge das Meiste effectuiren.

§. 72.

Seitenzuflüsse und Stromspaltungen.

Die Verbindung zweier Ströme oder Stromarme und eben so auch die Spaltung derselben, ist in verschiedner Beziehung sehr wichtig, und hat schon seit früherer Zeit die Aufmerksamkeit der Italiänischen Gelehrten auf sich gezogen, so wie auch später derselbe Gegenstand in Holland zu manchen Untersuchungen und einigen Bauausführungen Veranlassung gab.

Wenn zwei Ströme zusammenfliessen und sich zu einem verbinden, oder wenn ein Strom sich in zwei Arme spaltet, so bemerkt

man ganz allgemein, dass die Breite des vereinigten Stromes zwar grösser, als die jedes einzelnen, aber lange nicht so gross, als die Summe von beiden ist. Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich sehr leicht aus den Gesetzen über die gleichförmige Bewegung des Wassers in offenen Betten (§. 65). Der Ausdruck

$$M = k b t \sqrt{\left(\frac{h t}{l}\right)}$$

zeigt, dass unter Voraussetzung eines gleichen Gefälles die Breite oder b allerdings der Wassermenge M proportional sein würde, wenn die mittlere Tiefe oder t in beiden Fällen dieselbe bliebe. Dieses findet indessen nicht statt, und es lässt sich in der That auch kein Grund dafür angeben, weshalb dieses sein sollte. Viel natürlicher ist die Annahme, dass das Wasser ein Bestreben hat, im Allgemeinen gewisse flache Dossirungen zur Seite des Bettes darzustellen, und hieraus ergibt es sich, dass die Tiefe ungefähr in gleichem Verhältnisse, wie die Breite zunimmt, oder dass die Profile einander ähnlich sind. Daraus folgt wieder, dass der benetzte Umfang der Profile oder p der ersten Potenz der Breite und der Flächeninhalt oder q dem Quadrate der Breite proportional sein wird. Aendert man hiernach den Ausdruck

$$M = k q \sqrt{\left(\frac{h q}{l p}\right)}$$

ab, und führt man das relative Gefälle oder α ein, so ergibt sich

$$M^2 = k' \alpha b^5$$

$$\text{oder } b = \sqrt[5]{\left(\frac{M^2}{k' \alpha}\right)}$$

wo k' eine Constante bedeutet. Wenn das relative Gefälle in dem vereinigten Strome, sowie auch in beiden Armen dasselbe ist, so verwandelt sich der Ausdruck, indem α gleichfalls constant wird in

$$b = k'' M^{\frac{2}{5}}$$

Gesetzt, dass die beiden einzelnen Arme gleiche Wassermengen M abführen, woraus sich nach den gemachten Voraussetzungen auch eine gleiche Breite b für beide ergibt, so fände man nach ihrer Vereinigung die Breite des Stromes oder b' durch den Ausdruck

$$\begin{aligned}
 b' &= k'' (2M)^{\frac{2}{3}} \\
 &= 2^{\frac{2}{3}} \cdot b \\
 &= 1,3195 \cdot b
 \end{aligned}$$

das heisst, die Breite des vereinigten Stroms ist nur etwa um den dritten Theil grösser als die der beiden einzelnen es war. Wenn sich aber umgekehrt der vereinigte Strom in zwei gleiche Arme spaltet, so ist die Breite jedes einzelnen oder b

$$\begin{aligned}
 b &= (0,5)^{\frac{2}{3}} \cdot b' \\
 &= 0,7579 \cdot b'
 \end{aligned}$$

also ungefähr drei Vierteltheile der Breite des ungespaltenen Stromes. Man sieht hieraus, welcher grosse Vortheil in Bezug auf die Ausdehnung der nutzbaren Bodenfläche durch die Vereinigung der verschiedenen Arme herbeigeführt wird: der wichtigere Nutzen dieser Vereinigung liegt aber darin, dass das gemeinschaftliche Bette eine grössere Tiefe erhält, und dadurch die Zwecke der Stromregulirung viel vollständiger erfüllt: es verkürzt sich auch die Ausdehnung der Ufer, und dadurch wird deren Erhaltung erleichtert, sowie endlich beim Eisgange die Spaltungen des Stromes in verschiedene Arme immer besonders nachtheilig zu sein pflegen.

Dass sich dergleichen Spaltungen von selbst bilden können, leidet keinen Zweifel: in den Betten aller Ströme, die sich selbst überlassen sind, pflegen vielfache Inseln vorzukommen, und es ist oben (§. 55) auch von grösseren Spaltungen die Rede gewesen, wodurch nicht nur Inseln in den eigentlichen Stromthälern entstehen, sondern es sogar geschieht, dass die Arme gar nicht mehr mit einander in Verbindung treten, und verschiedenen Stromgebieten zufließen. Ohnfern der Mündung in das Meer sind dergleichen Spaltungen sehr gewöhnlich. Die drei Hauptströme, welche an der Preussischen Küste münden, zeigen diese Erscheinung: der Memel-Strom oder Niemen fliesst durch zwei Arme, den Russ und die Gilge in das Curische Haff.

Die Weichsel spaltet sich vor der künstlich herausgezogenen Landzunge, die Montauer Spitze genannt, in die Nogat und Weichsel. Erstere fliesst bei Marienburg vorbei, und ergiesst sich durch eine sehr grosse Anzahl kleiner Arme in das Frische Haff. Sie bildet einen kräftigen grossen Strom, der oft die grössere

Hälfte der Wassermenge der Weichsel abführt, aber in der Nähe des Haffes schwächen sich die vielen Arme gegenseitig so sehr, dass keiner als schiffbar angesehen werden kann, und daher die Schiffe, um aus der Nogat in das Haff zu gelangen, durch den Kraffohl-Canal, Elbing gegenüber, in den Elbing-Fluss gehn müssen, dessen Mündung weniger den Verlandungen ausgesetzt ist, und ausserdem durch lange Hafendämme offen erhalten wird. Der andere Hauptarm, der noch den Namen Weichsel führt, fließt in nördlicher Richtung der Ostsee zu, und nachdem er sich bis nahe auf eine Meile der Küste genähert hat, spaltet er sich bei Rothe-Bude aufs Neue: der schwächere Arm, die Elbinger Weichsel, der indess in neuester Zeit sehr stark versandet, fließt ostwärts in das Frische Haff, in welches er wieder durch viele Arme eintritt. Der linkseitige Arm, die Danziger Weichsel, zieht sich fast ganz westlich längt der Küste fort, bis Danzig und mündet neben dem Hafen Neufahrwasser in die Ostsee. Dieser Arm hat seit vier Jahren in dem grössten Theil seiner Länge zu fließen aufgehört. Bei einer starken Eisstopfung im untern Theile seines Laufes durchbrach er in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Februar 1840 die etwa eine Achtel Meile breite Landzunge neben dem Dorfe Neufähr und eröffnete sich hierdurch in der Entfernung von einer Meile von Danzig plötzlich einen neuen um $1\frac{1}{2}$ Meilen kürzeren Ausweg nach der See. Für die Niederung, die immer sehr bedroht war, ist dieses Ereigniss, das man schon lange künstlich herbeiführen wollte, gewiss sehr wohlthätig, indem dadurch die Abführung des Wassers wesentlich erleichtert und sogar der nachtheilige Einfluss der Spaltungen vermindert werden wird. Die zunehmende Versandung der Elbinger Weichsel, die wahrscheinlich in Kurzem in einen abgeschlossenen Schifffahrtscaanal verwandelt werden wird, ist in dieser Beziehung schon als ein sehr günstiger Erfolg zu betrachten. Die alte Weichsel vor Danzig verlor sogleich nach dem Durchbruche die Strömung und nahm den Wasserspiegel der Ostsee an. Um sie vor Versandungen sicher zu stellen, wurde ihre obere Mündung geschlossen und mit einer Schiffsschleuse versehen. Das Bette des Hauptstromes hat sich indessen noch nicht dem neuen Laufe entsprechend ausgebildet: die stärkere Strömung giebt sich nach und nach immer weiter aufwärts zu erkennen, und es wird vielfach die Hoffnung

gehegt, dass die verminderte Länge der Weichsel Veranlassung geben wird, vor der Montauer Spitze den Strom stärker anzuziehen und dadurch die Nogat einigermaassen zu entlasten. Letzteres ist gewiss höchst wünschenswerth, da die unregelmässigen und zum Theil überaus engen Profile zwischen den Nogat-Deichen fast in jedem Jahre zu den gefährlichsten Eisstopfungen Veranlassung geben, und sich hier gerade besonders häufig Deichbrüche wiederholen. Diese Hoffnung scheint insofern auch begründet, als die Weichsel, deren Länge von der Montauer Spitze bis zur Mündung früher sehr nahe 10 Meilen betrug, jetzt fast um den fünften Theil verkürzt ist: sie war früher zwei Meilen länger als die Nogat und ist ihr jetzt sehr nahe gleich geworden. Es lässt sich daher wohl erwarten, dass wenn ihr Bette erst ausgebildet sein wird, die längst gehegte Absicht ihr vorzugsweise die Fluthen der ungetheilten Weichsel zuzuweisen, sich weit leichter, als früher wird erreichen lassen.

Bei der Oder kommen endlich schon vor der Mündung in das Haff manche Spaltungen vor: besonders wichtig sind sie aber zwischen dem Haff und der See, wo drei bedeutende Verbindungen, die Dievenow, Swiene und Peene existiren.

Ein sehr auffallendes Beispiel von Stromspaltungen zeigt der Rhein in den Niederlanden, und dieses ist um so wichtiger, als sich dabei mit grosser Sicherheit seit nahe 2000 Jahren die eingetretenen Hauptveränderungen historisch nachweisen lassen. Ohne auf die Quellen weiter zurückzugehn, führe ich hier dasjenige an, was Cornelius Velsen *) mittheilt.

Um das verschiedenartige Verhalten des Meeres vor der Niederländischen Küste in den Mündungen des Rheins zu erklären, muss man auf ein Ereigniss zurückgehn, welches vor der historischen Zeit eintrat. Es ist zwar nach den darüber mitgetheilten Nachrichten höchst zweifelhaft, dagegen stellt es sich durch seine Wirkungen mit einer grossen Wahrscheinlichkeit heraus. Der Boden in Holland ist nämlich grossentheils aufgeschwemmt, und seine Beschaffenheit und Höhenlage gestattet gar

*) Rivierkundige Verhandeling door Cornelius Velsen. Harlingen 1768. II. Hoofdstuk van den Staat van de Rivieren. pag. 107 ff.

keinen Zweifel, dass er durch die Niederschläge der hier mündenden Ströme also namentlich des Rheins und der Maas gebildet worden sei. Gegenwärtig findet vor der eigentlichen Küste, also an der äussern Umgrenzung des Landes gegen das Meer kein ferneres Anwachsen des Bodens statt, sondern derselbe wird vielmehr, wo man nicht durch sehr kostbare Anlagen ihn sichert, immer weiter abgebrochen. Wenn aber hin und wieder ein neuer Anwuchs sich auch jetzt noch zeigt, so besteht er nicht aus dem fetten Marschboden, oder dem Niederschläge aus dem Flusswasser, sondern er bildet sich durch den ganz rein ausgewaschenen quarzigen Seesand, den das Meer aus der Tiefe heraufspühlt. Beide Arten von Ablagerungen kommen auch an den Mündungen der Weichsel vor: die Nogat und ebenso die Elbinger Weichsel, die sich in das Frische Haff ergiessen, dehnen ihre Ufer, aus Marschboden bestehend, immer weiter aus, der dritte Arm dagegen, die Danziger Weichsel, der unmittelbar in die See mündet, bildet nur Sandablagerungen, die indessen, wie es scheint, nur stellenweise eintreten und wahrscheinlich wieder fortgespült worden wären, wenn man sie nicht künstlich befestigt hätte. Der Unterschied begründet sich darin, dass die Bewegung des Wassers in der abgeschlossnen Bucht, oder im Haff weit weniger heftig, als in der offenen See ist, und daher die Stoffe, welche im Flusswasser schwimmen, sich gleich ausscheiden und niedersinken können, während sie andererseits durch den Wellenschlag schwebend erhalten und nach und nach fortgeführt, und wahrscheinlich in der Tiefe des Meeres, wo die Wellenbewegung aufhört, abgelagert werden. Diese Verschiedenheit, welche an der Mündung der Weichsel-Arme sich auch jetzt noch zu erkennen giebt, lässt auf die Verhältnisse schliessen, welche vor der Holländischen Küste früher stattgefunden haben müssen. Die ausgedehnten Flächen des Marschbodens konnten sich nur bilden, so lange die Nordsee davor ein abgeschlossener Busen war, und sie war dieses ehe die Meerenge zwischen Dover und Calais bestand, oder so lange England mit Frankreich noch zusammenhing. Die beiderseitigen Küsten stehn noch fortwährend im Abbruch, die Oeffnung erweitert sich also dauernd, und um so kräftiger werden die Wirkungen der Fluthströmung und des Wellenschlages im südlichen Theile der Nordsee. Man darf also wohl annehmen, dass die Meerenge

einst noch enger war, oder vielleicht gar nicht existirte. Es wäre auch unbegreiflich, wie man in so früher Zeit, wo der Deichbau und die Kunst der Entwässerung erst erfunden werden musste, die Idee haben konnte, ein so niedriges Land wie Holland, das grossentheils unter der Höhe der Fluthen liegt, zu bewohnen. Dieses wird aber erklärlich, wenn man annimmt, dass die Fluthen zur Zeit der ersten Ansiedelung hier weit niedriger waren, und vielleicht gar nicht stattfanden, wie etwa in der Ostsee und im grössten Theile des Mittelländischen Meeres: dass man aber bei ihrem allmählichen Eintritte durch kleine Vorwallungen sich sicherte, und diese nach und nach so erhöhte, dass sie endlich in Jahrtausenden zu mächtigen Deichen aufgewachsen sind. Die Tradition bestätigt eine solche Vermuthung: eine gewaltige Ueberschwemmung, die Cimbrische Fluth, soll die Meerenge bei Calais eröffnet und ganz Holland inundirt haben, so dass man von dieser Zeit ab sich durch Deiche schützen musste. Velsen nimmt an, dass dieses Ereigniss 100 bis 150 Jahr vor Christi Geburt eingetreten sei: gewiss ist diese Zeitbestimmung aber durchaus unsicher.

Als die Römer in diese Gegenden kamen, spaltete sich schon der Rhein in der Gegend von Lobith in zwei Arme, den Rhein und die Whaal: der erste, welcher damals der Hauptstrom war, floss wie jetzt bei Arnheim vorbei bis gegen Wijk by Duurstede, von hier ab verfolgte er aber die noch bestehenden, aber jetzt ganz abgeschlossenen Canäle, der Krumme Rhein und der Alte Rhein genannt, welche sich bei Utrecht, Woerden und Leyden vorbeiziehn. Er mündete bei Katwijk op Zee in die Nordsee. Der andere Arm, die Whaal, welche ursprünglich nur ein Nebenfluss der Maas war und wahrscheinlich mit dem Rhein nicht in Verbindung gestanden hatte, verfolgte denselben Lauf, den sie noch jetzt hat, bei Nymwegen, Thiel, Gorkum, Dortrecht vorbei und ergoss sich etwa zwei Meilen westwärts von Rotterdam bei Giervliet in die Maas. Die Maas endlich stand beim Fort St. Andries noch nicht mit der Whaal in Verbindung, und floss von Huisden nach Gertruidenburg, durch den Biesbosch und das Dortrechter Eiland bei Giervliet vorbei, wo sie die Whaal aufnahm, und mündete bei Briel in die Nordsee. Die Yssel, welche in der Nähe von Wesel entspringt, floss in dem Wege, den sie auch heute noch verfolgt, bei Anholt, Doesburg, Zütphen, Deventer

vorbei, nach Kampen in den Zuider-See *). Mit dem Rhein war die Yssel aber noch nicht verbunden, und führte keinen Theil seines Wassers ab.

Die Eindeichung der Fläche zwischen dem Rhein und der Whaal (Insula Batavorum) war das erste Werk, welches die Römer vornahmen: der Anfang damit wurde unter Drusus 13 Jahre vor Christus begonnen, und sechzig Jahre darauf beendigt.

Zwölf Jahre vor Christus wurde eine Anlage ausgeführt, die den wesentlichsten Einfluss auf die Verhältnisse des Rheins ausgeübt hat. Drusus Germanicus liess nämlich, um eine schiffbare Verbindung des Rheins mit dem Zuider-See darzustellen, einen Canal von dem Rhein, oberhalb Arnheim, nach der bisher ziemlich unbedeutenden Yssel ausführen. Dieser Canal nahm nach und nach an Breite und Tiefe zu, und entzog dadurch dem untern Rheine einen grossen Theil seines Wassers. In gleicher Weise geschah dieses durch einen zweiten künstlichen Canal, den wahrscheinlich Corbulo im Jahr 51 nach Christus eröffnete: dieser letzte Canal verband den Rhein in der Nähe von Wijk by Duurstede mit der Whaal bei Lecksmonde: er hat im Laufe der Zeit den ganzen Rhein aufgenommen und später den Namen Leck erhalten. Auf diese Weise waren die Spaltungen künstlich sehr vermehrt worden, und indem das Wasser nach Umständen bald durch einen, und bald durch den andern Arm sich ergoss, verlandeten sie sämmtlich viel stärker, als es in den weniger getheilten Strombetten der Fall gewesen sein würde.

Lange Zeit hindurch fehlen alle Nachrichten über die weitem Veränderungen der Rheinarme. Mehrere Jahrhunderte später ist indessen der untere Rhein unterhalb der Abzweigung des Leck ein höchst unbedeutender Fluss geworden. Im Jahre 860 soll seine Mündung während eines Sturmes ganz versandet worden sein, doch muss sie sich seitdem wieder geöffnet haben, da der Kaiser Friedrich I. im Jahr 1165 dem Grafen von Holland, Floris III., aufgab, den Damm wegzuräumen, wodurch derselbe den Rhein bei Zwadenburg (jetzt Zwammerdam) zwischen Woerden und Leyden gesperrt hatte.

*) Ich habe den Lauf der Flüsse durch die Orte bezeichnet, die jetzt vorhanden sind: es soll durch das Mitgetheilte aber keineswegs gesagt sein, dass dieselben schon damals existirten.

In welcher Zeit der alte Rhein sich ganz schloss, und in welcher Zeit die mehrfachen Verbindungen der Whaal mit der Maas sich entweder von selbst darstellten, oder künstlich eröffnet wurden, ist unbekannt: im 12ten und 13ten Jahrhundert wurden aber sehr vielfache Deichanlagen ausgeführt, und es entstand damals das ganze Deichsystem, wie es jetzt besteht. Dass man hierbei nur das augenblickliche Interesse der Landeskultur im Auge hatte, ohne die gehörige Regulirung der Ströme dabei zu berücksichtigen, darf kaum erwähnt werden: so geschah es denn auch, dass die Deiche wieder eine neue Veranlassung zur Verwilderung der Ströme wurden, und manche Deichbrüche neue Stromarme eröffneten. Das schrecklichste Beispiel dieser Art war der Durchbruch der Whaal und Maas in den Südholländischen Waard oder in das Bergsche Feld. Die Maas hatte sich im untern Theile ihres Laufs bereits mit der Whaal vereinigt, und beide durchbrachen am 18. November 1421 zwischen Woudrichem und Dortrecht den linksseitigen Deich, und zerstörten, indem sie sich in das niedrige Land ergossen, eine Fläche von vielen Quadratmeilen. Sie eröffneten sich dabei eine neue Mündung in das Meer durch den weiten und tiefen Busen des Biesboches, durch das Hollands-Diep und durch den Krämmer. Es wurden bei diesem Einbrüche zwei und siebenzig Dörfer nebst vielen kleineren Besitzungen zugleich mit dem Boden, worauf sie standen, durch das Wasser zerstört *). Diese Verwüstung erklärt sich nur dadurch, dass das Meer, sobald es in das bedeihte Land eintreten konnte, bei jeder Fluth hineindrang und bei jeder Ebbe wieder zurückwich. So wurden die heftigsten Strömungen erzeugt, welche eben die Erweiterung und Vertiefung des Busens herbeiführten. Eine natürliche Folge dieses Durchbruches war, dass die Whaal jetzt schon im Biesbosch, also 10 Meilen vor ihrer früheren Mündung den Wasserspiegel der Nordsee antraf, und daher von jetzt ab um soviel ihren Lauf verkürzte. Dadurch vergrösserte sich wieder das relative Gefälle der Whaal bis zum Trennungspunkte bei Lobit, der Zudrang des Wassers zu ihr vermehrte sich, und in gleichem Maasse, wie ihr Bett sich vertiefte und ausbildete, so wurde das des Rheins und

*) Blanken, Memorie betrekkelijk den Staat der Rivieren. Utrecht 1823. pag. 22.

des Lecks und der Yssel wegen des verminderten Zuflusses verflücht. Diese Verhältnisse, welche eine vollständige Sperrung der schwächeren Arme, und zugleich die Wiedervereinigung des Stromes in einem einzigen Schlauche mit der Zeit hoffen liessen, erlitten indessen, da man sie ganz zufällig sich weiter entwickeln liess, nach einigen Jahrhunderten eine wesentliche Veränderung. Der Biesbosch war durch den Niederschlag des Stromes und wohl auch durch den des Fluthwassers nach und nach wieder aufgewachsen, und in die Stelle des weiten Meerbusens war eine sumpfige Gegend getreten, in welcher einzelne Inseln bereits über den gewöhnlichen Wasserstand hervorragten. Sie waren mit Gras und Strauch bewachsen und wurden sogar behufs der bessern Benutzung bereits eingedeicht. Eine grosse Anzahl von flachen Wasserläufen zog sich dazwischen hin, diese waren aber natürlich nicht mehr im Stande, den grössten Theil der Wassermenge des Rheins abzuführen, und noch weniger konnte der Wasserspiegel der See sich schon in ihnen einstellen. Der niedrige Wasserstand in der Whaal verschwand daher und mit ihm das bisherige stärkere Gefälle. Der Rhein und Leck und ebenso auch die Merwede oder der untere Theil der Whaal empfangen daher wieder einen stärkeren Zufluss, und die ganze Wassermenge des Rheins fing wieder an, durch diese Arme ihren Weg zu nehmen, während in Folge der vorhergehenden schwächern Strömung die Tiefe derselben sich ausserordentlich vermindert hatte, und sie daher zur Abführung des Wassers ganz ungeeignet geworden waren. Nur durch die Erhöhung der Deiche war man im Stande, die Ströme in ihrem Bette zu erhalten, aber sie füllten dieses in so bedenklicher Höhe an, dass nicht nur die natürliche Entwässerung zum grossen Theil ganz aufhörte, sondern auch die Gefahr der Deichbrüche immer zunahm und die Existenz mancher bedeutenden Orte fortwährend bedroht wurde. Seit etwa drei Jahrhunderten ist dieser Zustand eingetreten: man hat seitdem in Bezug auf die Vertheilung des Wassers manche Anlagen ausgeführt, die wohl nützlich gewesen sein mögen, es ist indessen nichts geschehn, um den Strömen regelmässige Betten zu geben und dadurch die Abführung des Hochwassers und Eises zu erleichtern. Gleich unterhalb der Preussischen Grenze vor Nymwegen zeigt sich bei kleinem Wasser eine Verwilderung in der Whaal, wie sie bis zur

französischen Grenze im Rhein nicht wieder vorkommt. Die Whaal und ebenso der abgezweigte Rhein oder Leck enthält auch so seichte Stellen, dass die Schifffahrt gerade hier die grössten Hindernisse findet. Gewiss ist die Spaltung des Rheins eine Hauptveranlassung zur Ausbildung dieser unglücklichen Verhältnisse gewesen, welche eben so sehr die Sicherheit des Landes, wie die Schifffahrt bedrohen: aber wenn der ungetheilte obere Rhein keine ähnlichen Unordnungen in seinem Bette zeigt, so rührt dieses ohne Zweifel zum Theil wenigstens auch davon her, dass fast alle übrigen Staaten, durch welche er fliesst, auf seine Regulirung hingewirkt und sich nicht darauf beschränkt haben, einzelne Uferdeckungen ausführen zu lassen.

Wenn zwei oder mehrere Stromarme dauernd neben einander bestehn, so pflegt gemeinhin keiner von diesen unter allen Umständen Hauptarm zu sein: wäre dieses der Fall, so würde der zweite und die andern Arme vorzugsweise der Verlandung ausgesetzt bleiben, und eben dadurch müsste der erste den Strom immer stärker anziehen und ihn endlich ungetheilt aufnehmen. Dieses geschieht in der That fast jedesmal, wenn eine Serpentine durch die natürlichen Veränderungen durchbrochen oder künstlich durchstochen wird: der kürzere neue Arm verwandelt sich nach und nach in den Hauptarm, und gleichzeitig mit seiner Ausbildung nimmt der alte Arm an Weite und Tiefe ab, und sperrt sich endlich selbst durch das Material, welches der Strom darin ablagert. Häufig sind indessen die Umstände von der Art, dass der eine Arm vorzugsweise zur Abführung des kleinen Wassers geeignet ist, und der andere zu der des Hochwassers. Der Grund hiervon kann theils in der Richtung der obern Mündungen liegen, welche abwechselnd mit der des Stromes zur Zeit der verschiedenen Wasserstände zusammenfällt. Wenn jedoch die Arme eine grosse Länge haben, so darf man auf die zufällige Richtung der Mündung kein grosses Gewicht legen: die Profile und die ganze Gestaltung des Bettes, oder in Betreff des Hochwassers die Weite und Höhenlage des ganzen Thales, werden auf die Vertheilung des Wassers in beiden Armen einen viel wesentlichern Einfluss ausüben. Ausserdem kann auch ein längerer Eisstand vor einer Mündung, oder gewisse sonstige Verhältnisse beim Eisgange, das relative Gefälle im betreffenden Arme

mässigen und sonach die Hauptströmung in den andern Arm weisen. Was die Holländischen Ströme betrifft, so nimmt die Whaal bei kleinem Wasser entschieden den grössten Theil der Wassermenge des ungetheilten Rheins auf, wogegen bei Hochwasser der Rhein und Leck weit kräftiger wirken.

Bei einer solchen Vertheilung tritt der grosse Uebelstand ein, dass gewöhnlich derjenige Arm, der jedesmal der schwächere ist, sich mit Niederschlägen aus dem Wasser anfüllt und verlandet, woher er, sobald er umgekehrt wieder Hauptarm wird, an Fähigkeit zur Abführung des Wassers etwas verloren hat. Auf diese Weise schwächen sich die beiden Arme abwechselnd gegenseitig, und in beiden bilden sich Versandungen, wie man es in solchem Falle gemeinhin sehr auffallend bemerkt.

Es ergiebt sich hieraus, wie schwierig es ist, eine Theilung des Stromes darzustellen, wobei dauernd beide Arme nicht nur offen bleiben, sondern auch eine gewisse Tiefe in ihren Betten erhalten, oder wohl gar in bestimmtem Verhältnisse die Wassermenge des Stromes unter sich vertheilen sollen. Ob diese Aufgabe und namentlich unter Einführung der letzten Bedingung sich jedesmal vollständig rechtfertigen lässt, ist eine andere Frage: die Erfahrung dürfte wenigstens gezeigt haben, dass es viel leichter ist, ein Ufer, wenn es auch noch so sehr bedroht wird, zu halten, als diese Aufgabe zu lösen. Nichts desto weniger hat man doch zuweilen die Bedingungen in dieser Art gestellt: die Schwierigkeiten, denen man alsdann begegnet, haben sich sehr auffallend bei der Spaltung des Rheins vor Wesel gezeigt. Der Budericher Canal musste gegraben werden, um Wesel vor dem Stromanfall zu sichern, es vergingen aber mehrere Jahre, bevor er endlich den Hauptstrom aufnahm, und sobald dieses geschah, erforderten seine Ufer nicht nur auf ihre ganze Länge, und zwar zu beiden Seiten, eine weit festere Deckung, als vor Wesel je versucht worden war, sondern ausserdem fing auch der alte Arm an, sich zu verflächen, und verlandete so sehr, dass die Schifffahrt und andere höhere Interessen bedroht schienen. Es musste nun durch den Canal eine Schwelle oder ein Grundwehr aus Senkfaschinen bestehend gelegt werden, um sein Profil zu beschränken und sonach die durch denselben abfliessende Wassermenge auf ein gewisses Maass zurückzuführen. Der Aufstau, der dadurch hervorgebracht

wurde, drängte das Wasser auch wirklich in den alten Rhein, und mit Hülfe einer künstlichen Vertiefung des Bettes wurde der verlangte Wasserstand wieder dargestellt, aber unmöglich war es, diesen Arm vor Verlandung zu sichern und zugleich eine stärkere Strömung und namentlich den Eisgang ganz davon abzuhalten.

Bei den Stromspaltungen ist gemeinlich das absolute Gefälle in beiden Armen gleich gross, indem beide sich entweder weiter unterhalb wieder vereinigen, oder sie in das Meer oder einen Busen desselben, ausmünden. Das relative Gefälle ist sonach umgekehrt der Länge jedes Armes proportional, und da diese Länge bei allen Wasserständen unverändert bleibt, so ändert sich im Allgemeinen auch nicht das Verhältniss der beiden relativen Gefälle gegen einander. Geht man auf den frühern Ausdruck zurück, so hat man

$$\text{für den einen Arm} \quad M^2 = k \cdot \alpha b^5$$

$$\text{und für den andern} \quad M'^2 = k \cdot \alpha' b'^5$$

Das Verhältniss von α zu α' ist aber constant, also gleich β , daher

$$M'^2 = k \alpha \cdot \beta b'^5$$

Beabsichtigt man daher nach einem bestimmten Verhältniss die Wassermenge auf beide Arme zu vertheilen, so dass etwa die Proportion

$$M : M' = m : n$$

zum Grunde gelegt wird, so erhält man

$$b : b' = \sqrt[5]{(\beta m^2)} : \sqrt[5]{n^2}$$

Auf solche Weise lässt sich das Verhältniss der Breite der beiden Stromarme bestimmen. Sehr genau dieselbe Rechnung ergiebt aber auch das Verhältniss der Breite des einen Armes zu der des ungetheilten Stromes, man darf zu diesem Zweck nur M und b auf den letztern beziehn und das Gefälle gehörig berücksichtigen. Es muss hierbei indessen nicht ausser Acht gelassen werden, dass diesen sämmtlichen Rechnungen die Voraussetzung zum Grunde liegt, dass der Boden und die sonstigen Verhältnisse in den verglichenen Fällen ungefähr dieselben sind, und sonach der Strom auch immer die Tendenz behält, ähnliche Profile zu bilden.

Bei Regulirung der Stromarme und namentlich bei Beschränkung ihrer Breite zeigt sich oft ein wesentlich verschiedener Erfolg gegen ähnliche Anlagen im ungetheilten Strome. Wie sehr man das Profil des letztern auch verengen mag, so wird die ganze Wassermenge, die sich im Bette ansammelt, immer vereinigt bleiben: es kommt gewiss nicht leicht vor, dass man besorgen müsste,

das Wasser würde auf anderem Wege einem stark verengten Profile ausweichen. Auf solche Weise kann man im ungetheilten Strome einen starken Stau durch Einbaue erzeugen, und in Folge desselben sehr heftige Einwirkungen auf das Bette veranlassen. Für einen Stromarm giebt es dagegen keine bestimmte Wassermenge, die unter allen Umständen demselben zugehört: der ganze Zufluss des ungetheilten Stroms vertheilt sich in die verschiedenen Arme nach Maassgabe des Gefälles und des Profiles, oder nach ihrer Capacität. Wenn durch irgend eine Anlage in einem Arme ein Stau hervorgebracht wird, so besteht der Erfolg nicht nur in einem vermehrten Angriff auf die Sohle der verengten Stelle, sondern ausserdem wirkt der Stau auch auf die Erhebung des Wasserspiegels weiter aufwärts, und wenn diese Erhebung sich noch in dem Theilungspunkte zu erkennen giebt, so verursacht sie eine Vermehrung des absoluten und zugleich des relativen Gefälles, und zugleich des Querschnitts des andern Armes. Dadurch bildet sich eine verstärkte Strömung in dem letztern, und in gleichem Maasse, wie die Wassermenge in diesem sich vergrössert, vermindert sie sich in dem ersten Arme. Die geringere Wassermenge bedingt wieder eine schwächere Strömung, und die Folge von dieser pflegt eine verstärkte Ablagerung des Materials zu sein. Sonach kann die Einschränkung, welche man in einem Stromarme vornimmt, zuweilen gerade das Gegentheil von dem hervorbringen, was man dabei beabsichtigt, nämlich statt der Vertiefung eine grössere Verflächung.

Beispiele hiervon findet man nicht selten: auch in der Geschichte des holländischen Strombaues ist ein solches sehr auffallend vorgekommen. Als nämlich die Verbindung der Whaal mit dem Biesbosch sich nach und nach verstopft hatte, und die Verflächungen der Strombetten sich so nachtheilig zu erkennen gaben, wurde die Absicht der Stadt Dortrecht, alle Stromläufe durch das Biesbosch zu schliessen und die Whaal oder Maas wieder in ihr altes Bette zu weisen, durch die Eifersucht der andern Staaten vereitelt. In dieser Verlegenheit griff man zu dem Mittel, eine starke Verengung des Stroms bei Dortrecht vorzunehmen, dieses geschah im Jahr 1663, indem eine sehr lange Buhne, der sogenannte Papendrechtsche Fährdamm, Dortrecht gegenüber, erbaut wurde: derselbe wies aber wieder eine grössere

Wassermenge in das Biesbosch, als vorher durch dieses abfloss, und die Maas versandete nach der Anlage noch stärker, wie früher.

Es liegt in der Natur der Sache, dass der Stau, welchen die verschiedenen Anlagen erzeugen, sich nicht weit aufwärts erstrecken kann, und man darf daher in einigem Abstände vom Trennungspunkte die Regulirung einzelner Stellen in gleicher Weise, wie im ungetheilten Strome vornehmen, besonders wenn man eines baldigen Erfolges dieser Werke gewiss ist. Man wird aber dafür sorgen müssen, dass nicht etwa die an sich nur geringen Stauhöhen vor einer grossen Anzahl solcher Anlagen gleichzeitig eintreten, weil sie sich vereinigen können, und alsdann auch in grösserer Entfernung bis zum Theilungspunkte herauf sich wirksam zeigen, und dem Arme, den man vertiefen will, das Wasser entziehen. Neben einer eingeschränkten Stelle wird die Vertiefung des Grundes um so schneller eintreten, oder der Stau wird um so früher verschwinden, je weniger das Unterwasser in seinem Abflusse gehindert wird: das heisst je grösser das Gefälle an der eingeschränkten Stelle bei geringer Erhebung des Oberwassers ist. Es dürfte hieraus die Regel sich begründen, dass man diejenigen Stromarme, welche man zu Hauptarmen umformen will, von unten auf reguliren muss. In jeder einzelnen zu regulirenden Strecke wird man aber auch in diesem Falle mit den obern Werken den Anfang machen müssen.

Wenn es dagegen Absicht ist, einen Arm zur Verlandung zu bringen, so wird eine Verengung, die man am obern Theile vornimmt, gleich den Erfolg haben, dass das Wasser des ungetheilten Stromes sich mehr in den andern Arm wirft. Im Trennungspunkte selbst wird ein solcher Erfolg häufig durch die Richtung des strömenden Wassers vereitelt. Wenn vielleicht der Arm, den man schliessen will, einen starken Strom aufnimmt, und man führt eine sogenannte Schöpfbuhne in denselben hinein, um das Wasser abzuschneiden und es in den andern Arm zu weisen, so wirkt diese Buhne in gleicher Art, wie andere Einbaue, und wenn man nicht etwa auf eine allmähliche Ablenkung des Stromes und auf eine Umgestaltung des tiefen Schlauches schon vorher hingewirkt hat, so ist die vor dem Kopfe des Werkes eintretende grosse Vertiefung dem Zwecke der Anlage durchaus zuwider, und sie kann Veranlassung sein, dass das Wasser sich stärker,

als früher in diesen Arm stürzt. Solche Erfolge zeigen sich aber nicht nur bei der Anlage von Werken im Trennungspunkte selbst, sondern sie kommen nicht selten auch bei Ausführung der Sperrbühnen oder der Coupirungen vor, durch welche man Stromarme ganz abschliessen will. Diese Coupirungen sind, ehe sie geschlossen werden, wieder nichts anderes, als gewöhnliche Bühnen, die einander gerade gegenüber stehen, und wenn der Boden in dem noch offenen Zwischenraume zwischen ihren Köpfen nicht vorher gedeckt ist, so bildet sich daselbst oft eine sehr grosse Tiefe, die wieder Veranlassung sein kann, den Strom vorzugsweise in diesen Arm hineinzuwenden.

Ein sehr auffallendes Beispiel von einer solchen Verstärkung des Stromes während der Ausführung der Coupirung theilt Wiebeking mit. Am Fusse des Siebengebirges zwischen Honnef und Rolandseck spaltet sich der Rhein in drei Arme, indem die beiden Inseln Nonnenwerth und Grafenwerth dazwischen liegen. Die Schifffahrt leidet daselbst durch die untiefen Stellen, welche namentlich der Bergfahrt sehr hinderlich sind. Es sollte daher im Jahr 1790 der rechte Arm, der Grafenwerth vom rechten Ufer trennt, abgeschlossen werden. Wiebeking führte den Bau aus. Der Arm hatte vorher wenig Strömung gehabt, doch nahm dieselbe während des Baues immer mehr zu, je weiter die beiden Flügel der Coupirung in das Bette hineingeführt wurden. Die Tiefe vermehrte sich ausserordentlich, und als man bis auf 120 Fuss den Strom geschlossen hatte, stürzte das Wasser mit solcher Heftigkeit durch die Oeffnung, dass man mit der Peilstange den Grund nicht mehr erreichen konnte, was zum Theil von der starken Strömung herrührte, die das Herabstossen einer sehr langen Peilstange unmöglich machte. Die Geschwindigkeit in der Oeffnung betrug 11 Fuss in der Secunde. Der auffallendste Umstand dabei war indessen die starke Strömung, welche sich jetzt im ganzen Arme zeigte, und die sogar so kräftig wurde, dass Schiffe, welche stromabwärts fuhren, in diesen Arm hineingezogen und durch die Oeffnung hindurch getrieben wurden. Wiebeking brachte durch Anwendung besonderer Mittel das Werk zum Schlusse, aber eben weil die Tiefe so gross geworden war, reichte das Material nicht hin, um die nöthigen Dimensionen darzustellen. Der ganze Bau hielt sich nicht lange und ist schon längst vollständig verschwunden.

Man hat gegenwärtig nach einer ganz andern Methode den Arm gesperrt, indem er zuerst stark zur Verlandung gebracht und alsdann in der Höhe des niedrigen Wassers geschlossen wurde, so dass die Verlandung auch noch ferner stattfinden kann.

Beim Abschliessen der Stromarme finden dieselben Regeln wieder Anwendung, die schon früher über die Umformung der Strombetten mitgetheilt sind. Wenn es die Absicht ist, das Bette eines Armes in ein nutzbares und gehörig gestaltetes Ufer umzubilden, so darf man es nicht sogleich ganz abschliessen, denn in diesem Falle wird auch dem Material, welches sich darin ablagern soll, gleichfalls der Zugang gesperrt. Es muss vielmehr dafür gesorgt werden, dass selbst die schweren Stoffe, die sich nicht weit von der Sohle entfernen, noch hineintreiben können. Es kommt also darauf an, die Strömung nur zu mässigen, sie aber nicht gleich ganz zu vernichten. Hierzu bietet der oben erwähnte Umstand, nämlich die gegenseitige Abhängigkeit der Strömung in beiden Armen, in vielen Fällen vielleicht immer eine sehr günstige Gelegenheit. Wenn man in dem Arme, der geschlossen werden soll, so oft es die Umstände erlauben, die Profile stellenweise verengt und dadurch das Wasser etwas zurückdrängt, so vergrössert sich sogleich um eben so viel die Wassermenge im andern Arme, und verstärkt ihren Angriff auf denselben. Es ist aber dafür zu sorgen, dass durch diese Anlagen kein neuer Angriff auf das Bette des ersten Armes erzeugt wird, daher müssen alle Werke, welche einen solchen veranlassen können, möglichst vermieden werden. Man muss den Strom nicht irritiren, sondern nur durch behutsames Einwirken ihn nach und nach zurückzudrängen suchen. Die Gelegenheit hierzu findet sich gewiss in den meisten Fällen, und die Erfolge treten alsdann viel schneller ein, als man erwarten sollte. Es kommt nur darauf an, dass man mit ununterbrochener Aufmerksamkeit auf diesen Zweck hinwirkt, und jede Untiefe, die sich im Bette des Armes oder am Ufer zeigt, sogleich mit leichten Werken und Zäunungen nicht nur vor einem Wiederabbruch sicher stellt, sondern auch durch Beförderung der ferneren Ablagerung des Materials sie zu erhöhen sucht. Der Umstand, dass die Verflächung sich gezeigt hat, ist schon der Beweis, dass der Strom gerade hier zum Absetzen der Sinkstoffe geneigt ist, und indem man von solcher Gelegenheit

immer Nutzen zieht und das Gewonnene festhält, so pflegt der Erfolg nicht auszubleiben, namentlich wenn man im andern Arme ein gerade entgegengesetztes Verfahren beobachtet, und die Angriffe möglichst befördert und den Verlandungen vorbeugt. Von besonderer Wirksamkeit für die schnelle Verlandung im ersten Arme sind die lebendigen Pflanzungen, die immer um so kräftiger anwachsen und daher immer um so mehr auf die Beruhigung des Wassers hinwirken, je stärker das Material sich zwischen ihnen ablagert. Die eigentliche tiefe Stromrinne des abzusperrenden Armes wird hierbei gar nicht unmittelbar angegriffen, aber indem die Profilweite immer mehr und mehr abnimmt, und der andere Arm sich zum Hauptstrome ausbildet, so wird in dem ersteren die Strömung zur Zeit des Hochwassers geschwächt, und die grosse Tiefe verschwindet von selbst, besonders in der obern Mündung, wo die schweren Stoffe am leichtesten hineingeschoben werden.

In dieser Weise hat Bauer einige Arme des Rheins, und zuletzt den Arm neben der Rodenkircher Insel, etwa eine Meile oberhalb Cöln geschlossen, ohne dass der Bau selbst Schwierigkeiten bot, noch auch die Werke lange Zeit hindurch einem starken Stromangriff ausgesetzt blieben; wogegen ältere Werke, deren Krone höher liegt, wie die Coupirung im sogenannten Flürenschen Canale unterhalb Wesel, fortwährende Reparaturen bedürfen und nur wenig Verlandung bewirken.

Wenn die Stromarme nicht lang sind, so hängt die Stärke des Stromes, den sie aufnehmen, ohne Zweifel sehr von der Richtung ihrer Mündung gegen den vorhergehenden Strom ab. Indem das Wasser an den Theilungspunkt gelangt, verfolgt es seine frühere Richtung und tritt in denjenigen Arm, der dieser am besten entspricht. Man kann daher in solchem Falle durch gehörige Regulirung der oberhalb belegenen Stromstrecke das Wasser in einen der Arme hineinweisen, und die Erweiterung und Vertiefung desselben vom Strome selbst erwarten. Man wird auch unter allen Umständen dafür sorgen müssen, dass die obere Mündung desjenigen Armes, den man zum Hauptarme bestimmt hat, sich dem vorhergehenden Stromlaufe gut anschliesst. Wenn indessen die Arme sehr lang sind, so lässt sich von solchen Anlagen, welche die Umgestaltung der Mündung bezwecken, der ganze Erfolg noch nicht erwarten, und es wird überhaupt nicht

gelingen, die Mündung in der gewünschten Art darzustellen, wenn die Beschaffenheit der Strombetten in beiden Armen der gewählten Vertheilung nicht entspricht. Es wird nämlich durch die Weite und Tiefe beider Arme der Wasserstand in denselben bedingt, und von diesem hängt wieder das Gefälle in beiden zunächst unter dem Theilungspunkte liegenden Strecken ab: wenn dieses aber nach dem einen Arme sich viel grösser, als nach dem andern darstellt, so wird fortwährend das Wasser dort stark hineinstürzen, und dieser Zug behält einen grössern Einfluss auf die Gestaltung des vorhergehenden Strombettes, als die Bauwerke, die man hier zur Darstellung einer andern Richtung vielleicht ausgeführt hat.

Die Schöpfbuhnen sind, wie bereits erwähnt worden, von sehr zweifelhaftem Erfolge, besonders wenn sie stark gegen die Richtung des Stromes geneigt sind. Nichts desto weniger werden sie häufig ausgeführt, und jedenfalls ist es auch nothwendig, die Landzunge, welche den Strom spalten soll, in gehöriger Form herauszuführen, so dass die Mündungen beider Stromarme regelmässige Begrenzungen erhalten. Eben so nothwendig ist es aber auch, die Dauer dieser regelmässigen Mündung zu sichern, und namentlich die vortretende Spitze, welche immer durch die Fluthen und besonders durch das Eis sehr bedroht wird, vor Beschädigungen sicher zu stellen. Wenn das Werk keinen andern Zweck, als diesen hat, so ist es eigentlich nicht mehr ein Schöpfwerk: es spaltet die herabfliessende Wassermasse, und indem es sich in der Richtung derselben hinzieht und sich nach und nach verbreitet, so lenkt es zugleich auf beiden Seiten den Strom von der dahinter liegenden Erdzunge ab und weist ihn in die Betten der beiden Arme. Auf diese Art bilden sich zu beiden Seiten unterhalb des Werkes concave Ufer, deren Deckung mit dem Werke selbst in Verbindung stehen muss. Es kann hierbei geschehn, dass man zur Darstellung regelmässiger Uferlinien das Werk vor der Spitze der Insel noch weit herausführen und dasselbe abwärts mit Einbauen in Verbindung setzen muss, welche nach einer oder nach beiden Seiten vor das Ufer der Insel vortreten. Es lässt sich in diesem Falle auch eine gewisse Vertheilung der Wassermenge auf beide Stromarme herbeiführen, soweit letztere zur Aufnahme derselben fähig sind: es muss indessen immer Regel bleiben, das Separationswerk, welches alsdann wieder Schöpfbuhne

wird, nicht stark gegen die Richtung des Stromes zu neigen, um keine grosse Vertiefung auf derjenigen Seite zu veranlassen, wo man den Wasserzudrang vermeiden will.

In ähnlicher Weise, wie man für die regelmässige Trennung des Stromes in zwei Arme sorgt, verfährt man auch bei der Wiedervereinigung derselben, und das Gleiche findet auch statt, wenn Seitenzuflüsse in den Strom treten. Es ist schon früher (§. 56) davon die Rede gewesen, dass die zu verschiedenen Zeiten eintretenden Anschwellungen zweier Flüsse in der Nähe ihrer Vereinigung das Material des einen in dem Bette des andern abzulagern pflegen, und sonach in beiden Verflächungen entstehen. Derselbe Fall ereignet sich aber auch gewöhnlich unterhalb der Inseln in einem Strome, wo zwar die Anschwellungen beider Arme gleichzeitig vorkommen, aber die Strömungen keineswegs immer gleichmässig sind, sondern sich gewöhnlich bei verschiedenen Wasserständen in beiden Armen auch verschiedenartig herausstellen und sonach wieder abwechselnd die Verflächung des einen und des andern veranlassen. Es lässt sich dieser Uebelstand nie ganz vermeiden, aber wohl kann man den Effect der Strömung und dadurch die Ausbildung einer tiefen Rinne in jedem Arme oder in jedem der beiden zusammentretenden Flüsse dadurch befördern, wenn man künstliche Krümmungen darin bildet, die von beiden Seiten aus sich nach dem Separationswerke oder der Trennungsbühne hinziehen und sich am Kopfe derselben vereinigen. Auf solche Weise werden die beiden tiefen Stromschläuche zusammengeführt, und da sie auch nahe in gleicher Richtung sich vereinigen, so setzt sich die Tiefe regelmässig nach unten fort, und es erfolgen hier keine Ablagerungen, sobald nur in dem einen von beiden Armen eine starke Strömung stattfindet. Endlich erreicht man dabei noch den wesentlichen Vortheil, dass zur Zeit einer starken Anschwellung in dem einen Arme das Wasser über die Krone des Separationswerkes, wie über eine declinante Bühne überstürzt, und dadurch schon in dem andern Stromschlauche eine nachtheilige Ablagerung des Materials verhindert.

Fig. 87, Taf. XXXIII. zeigt diese Art der Vereinigung zweier Ströme, Woltman hat sie zuerst empfohlen *), und sie ist seitdem

*) Beiträge zur Schiffbarmachung der Flüsse. Seite 122.

vielfach und zwar immer mit günstigem Erfolg angewendet worden. Die Mündung der Havel in die Elbe ist z. B. hierdurch vor Versandungen ziemlich sicher gestellt. Von besonderem Nutzen ist diese Anordnung aber noch bei der Vereinigung kleiner Gebirgsflüsse mit schiffbaren Strömen. Erstere führen häufig grosse Massen von schwerem Material den letztern zu, und indem das schwächere Gefälle in diesen nicht genügt, um dasselbe weiter stromabwärts zu treiben, so pflegt es in unregelmässigen Bänken dicht vor der Mündung liegen zu bleiben, und tritt häufig fast über die ganze Breite des Strombettes, so dass sich höchst nachtheilige Untiefen und zugleich Stromschnellen daselbst bilden. Die Ablagerung des Materials kann freilich durch die Regulirung der Mündung nicht vollständig verhindert werden, aber sie erfolgt doch regelmässiger und verflächt nicht sowohl den tiefen Stromschlauch, als sie vielmehr eine allmähliche und ziemlich gleichmässige Erhöhung des ganzen Bettes veranlasst.

Ein Verfahren, welches mit dem angegebenen einigermaassen übereinstimmt, tritt auch in dem Falle ein, wenn man ein Seitenbassin neben dem Strome, welches nur stehendes Wasser enthält, wie etwa einen Flusshafen oder einen Canal, vor Versandungen möglichst sicher stellen will. Die Niederschläge lassen sich in einem solchen Bassin nie vermeiden, da das eintretende Wasser darin vollständig zur Ruhe kommt, und sonach alle in ihm schwebenden Stoffe zu Boden sinken: dagegen ist es schon ein grosser Vortheil, wenn man die durch den Strom über dem Bette forttreibenden Stoffe nicht in den Hafen oder den Canal hineindringen lässt. Der Kopf, welcher oberhalb der Mündung liegt, wirkt wie eine Buhne: er befördert die Verlandung besonders stark, wenn er inclinant oder stromaufwärts gerichtet ist. Hat er dagegen eine stromabwärts gekehrte Richtung, so bildet sich durch das überstürzende Wasser, wie bei einer declinanten Buhne, hinter ihm eine tiefe Rinne, und die Mündung behält weit vollständiger ihre Tiefe. Hiernach ist es Regel, alle solche Mündungen stromabwärts zu kehren, wodurch auch noch für die Schifffahrt der wesentliche Vortheil erreicht wird, dass das Ein- und Ausfahren der Schiffe viel weniger schwierig ist, indem der Strom sie nicht dreht und sie nicht auf die untere Einfassung der Mündung wirft.

§. 73.

Anordnung der Strombauten.

Nachdem die verschiedenen Anlagen, welche behufs der Stromregulirung in Anwendung kommen, in ihrer Wirksamkeit beschrieben sind, ist es noch nöthig, die Anordnung derselben specieller zu bezeichnen.

Ehe man zur Bearbeitung eines Stromregulirungs-Projectes übergehn kann, muss man die erforderlichen Messungen, und besonders die Aufnahme der Stromcharte, das Nivellement und die Tiefenmessungen ausgeführt haben, zugleich ist es aber auch nothwendig, dass man die verschiedenen Wasserstände und deren Dauer kennt, um darnach die Höhe der Werke mit Sicherheit bestimmen zu können. Die Stromcharte darf sich nicht nur auf die Strecke beschränken, welche gerade der Regulirung bedarf, sie muss vielmehr soweit stromauf- und abwärts sich erstrecken, dass man den gehörigen Anschluss an diejenigen zunächst gelegenen Strecken, die keiner Regulirung bedürfen, daraus entnehmen kann. Die Tiefenmessungen ergeben nicht nur die Lage der tiefen Rinnen, in welchen gewöhnlich auch die stärkste Strömung stattfindet, sondern ausserdem zugleich die Untiefen und Sandbänke. Wie schon oben erwähnt worden, muss man auch die Höhe der Ufer wenigstens ungefähr kennen. In vielen Fällen ist es ausserdem nothwendig, die Stärke des Stroms oder die Geschwindigkeit des Wassers zu messen, um darnach die Constructionsart passend zu wählen.

Das Nivellement ist, wie schon früher angedeutet worden, von besonderer Wichtigkeit, und es genügt keineswegs, dasjenige Gefälle zu ermitteln, welches eben in der zu corrigirenden Stelle liegt, man muss vielmehr auch das allgemeine Gefälle des ganzen Stromes auf eine lange Strecke kennen, indem sich nur hiernach die Zulässigkeit der Vertheilung eines Gefälles beurtheilen lässt. Gemeinhin findet sich auf den unregelmässigen und seichten Strecken, die vorzugsweise einer Regulirung bedürfen, ein sehr starkes Gefälle; durch die gewöhnliche Art der Regulirung wird dasselbe gemässigt, und der Erfolg davon ist, dass der Wasserspiegel in der zunächst oberhalb gelegenen Stromstrecke sich senkt, oder das Gefälle weiter stromaufwärts sich vergrössert.

Diese Aenderung der Verhältnisse ist zuweilen ganz unstatthaft, indem entweder das Gefälle in der obern Strecke schon an sich sehr stark war, oder indem Felsen im Strombette liegen, welche bei der Senkung des Wasserspiegels der Schifffahrt hinderlich werden. Man muss alsdann die Vorkehrungen in der Art treffen, dass an der zu corrigirenden Stelle das Gefälle concentrirt bleibt.

Gewöhnlich werden die Stromregulirungen ausschliesslich im Schifffahrts-Interesse vorgenommen, oder wenn auch andere Rücksichten die nächste Veranlassung dazu geben, so bleibt die Erleichterung der Schifffahrt doch fast immer ein wichtiger Nebenzweck. Das starke Gefälle verursacht eine heftige Strömung, und diese ist theils unmittelbar dem Betriebe der Schifffahrt hinderlich, theils aber vermindert sie auch den Querschnitt des Stromes und sonach auch die Tiefe desselben, wodurch vorzugsweise die Schifffahrt zu leiden pflegt. Das sicherste Verfahren, das man in solchem Falle wählen kann, bezieht sich darauf, das Gefälle an einzelnen Stellen sehr stark zu concentriren, oder künstlich das Wasser aufzustauen und durch Schiffschleusen die Verbindung zwischen je zwei auf solche Weise getrennten Stromstrecken darzustellen. Diese Anordnung ist indessen immer sehr kostbar und sie bezieht sich auch nicht auf die eigentliche Stromregulirung. Es fragt sich daher, bis zu welcher Grösse des Gefälles ein Strom noch durch blosse Regulirung schiffbar gemacht werden kann. Eine ganz sichere Beantwortung dieser Frage ist freilich nicht möglich, indem die Art des Schifffahrtsbetriebes, sowie auch manche localen Verhältnisse und besonders der Wasserreichtum des Stroms dabei sehr in Betracht kommen; nichts desto weniger werden einige Angaben in dieser Beziehung wichtig sein. Es kommt hierbei aber augenscheinlich weniger auf die partiellen, als vielmehr auf die allgemeinen Gefälle an, indem man bei der Regulirung die ersteren zu vertheilen pflegt, und dieselben sich fast jedesmal verändern, während die letzteren keine wesentliche Aenderung erfahren können, indem der Anfangspunkt und der Endpunkt gegeben sind. Bei einem relativen Gefälle von 1:3000 oder einem geringeren kann man gemeinhin ohne Nachtheil, soweit es erforderlich ist, das an einzelnen Stellen concentrirte Gefälle vertheilen. Bei 1:2000 pflegt dieses dagegen nicht mehr möglich zu sein, man muss alsdann vielmehr die vorhandenen Untiefen

als Stromschnellen bestehn lassen, weil sonst die Regulirung über den grössten Theil der Länge des Stroms ausgedehnt werden müsste. Der Betrieb der Schifffahrt findet indessen in diesem Falle und selbst bei einem Gefälle von 1 : 1800 noch keine wesentlichen Hindernisse. Das letzte Verhältniss bezeichnet das allgemeine Gefälle des schiffbaren Theiles der Ruhr, nach Abzug desjenigen, welches durch Schiffsschleusen aufgehoben wird. Der untere Theil der Ruhr von Mühlheim abwärts bis zum Rhein, worin keine Schleuse vorkommt, hat ein viel stärkeres Gefälle, das beim niedrigsten Wasserstande des Rheins sogar 1 : 1400 beträgt. Wenn aber der niedrige Wasserstand hier eintritt, so pflegt die Schifffahrt immer aufzuhören. Nichts desto weniger steht zu erwarten, dass ihre vollständige Unterbrechung sich wird vermeiden lassen, wenn erst die übelsten Stellen regulirt sein werden. Das Gefälle der Saar beträgt in dem schiffbaren Theile, also von Saarbrück abwärts durchschnittlich 1 : 1835. Dasselbe ist aber sehr ungleichmässig vertheilt. Von Saarbürg bis zur Mosel beträgt es sogar 1 : 1339, und doch ist hier keine Schiffschleuse erbaut, sondern die Schiffe fahren im freien Strome auf- und abwärts. Die Schifffahrt hat hier schon seit langer Zeit bestanden, doch war sie bisher jedesmal in den Sommermonaten ganz unterbrochen: nach Beendigung der Regulirung, die in Kurzem zu erwarten steht, darf man wohl hoffen, dass die Fahrt nie ganz aufhören wird. Auf einzelnen von den am meisten nachtheiligen Untiefen hat sich durch die starke Einschränkung des Bettes bereits ein Wasserstand gebildet, welcher, wenn auch nicht für volle, doch wenigstens für halbe Ladungen genügt, und überdiess zeigt es sich, dass die starke Strömung, die daselbst stattfindet, weder das Herauffahren besonders beschwerlich, noch auch das Herabfahren gefährlich macht.

Von solchen starken Einschränkungen des Bettes, wie sie an der Saar vorgenommen werden mussten, um das grosse Gefälle an gewissen Stellen zu erhalten, soll später die Rede sein. Zunächst werde ich die Regulirung solcher Ströme beschreiben, die im Allgemeinen kein starkes Gefälle haben, und wo ein solches, wenn es hin und wieder auch vorkommt, nicht daselbst erhalten zu werden braucht, sondern auf grössere Strecken vertheilt werden darf.

In diesem Falle kommt es fast immer darauf an, dem Strome seine überflüssige Breite zu nehmen, und das Wasser so zusammen zu halten, dass es hinreichende Kraft behält, um die erforderliche Tiefe darzustellen. Es entsteht alsdann die Frage, welche Breite des Bettes zu diesem Zwecke erforderlich sei, und man pflegt hierauf zu antworten, dass man die Normalbreite wählen müsse. Der Begriff, den man mit diesem Worte verbindet, ist folgender: wenn der Strom ein so breites Bette hat, dass die Tiefe darin sich wegen der starken Vertheilung des Wassers nicht gehörig erhält, so bilden sich Sandbänke, oder vor den Ufern zeigen sich Verlandungen. Im entgegengesetzten Falle, wenn nämlich die Profilweite zu enge ist, so erfolgt Uferabbruch. Zwischen beiden liegt, wie man annimmt, eine gewisse Breite, welche für die Wassermenge des Stroms gerade angemessen ist, um das Absetzen des Materials oder eine Verflächung zu verhindern, und welche zugleich keinen Angriff der Ufer bedingt: dieses ist die Normalbreite. Um sie zu ermitteln, untersucht man den Strom in der Nähe, und wo man eine Stelle findet, die weder Abbruch noch Verlandung zeigt, so ergiebt sich aus dieser die Normalbreite. Es ist natürlich, dass eine solche Bestimmung nur soweit gelten kann, als die Verhältnisse ungefähr dieselben sind; die Normalbreite ändert sich daher, wie man auch gemeinlich hierauf aufmerksam zu machen pflegt, bei jedem neuen bedeutenden Seitenzuflusse, oder bei jeder Spaltung des Stroms. Es kommen indessen noch vielfache andere Umstände in Betracht, die man bei dieser Untersuchung nicht unberücksichtigt lassen darf: dahin gehört namentlich das Gefälle, die Krümmung und die Höhenlage der Ufer, denn wie bereits erwähnt worden, giebt der Lauf des Hochwassers gemeinlich Veranlassung zur Ablagerung der Sand- und Kiesmassen im Strombette. Bei der Regulirung ist es allerdings die Aufgabe, die Verhältnisse so günstig darzustellen, wie man sie in einem solchen normalen Profile wahrnimmt, und die Anordnung der Bauten würde gewiss ausserordentlich erleichtert werden, wenn man für jeden vorkommenden Fall schon ein Muster dafür auffinden könnte. Dieses ist indessen fast niemals möglich, und sonach kann die Ermittlung der sogenannten Normalbreite auch wenig nützen. In denjenigen Stromstrecken, welche nicht durch Seitenzuflüsse oder Uferbrüche verflächt werden, worin auch keine

starken Krümmungen vorkommen, und welche endlich in der Richtung der Strömung des Hochwassers liegen, erhält sich gemeinhin eine grössere Tiefe bei reichlicher Breite, und die Ufer sind keinem Angriffe ausgesetzt: diese Stellen sind es, welche sich durch schwaches Gefälle und schwache Strömung auszeichnen und welche der Schiffer *Woog* oder *Pfuhl* nennt. Will man aber die an ihnen gesammelten Erfahrungen auf die zwischenliegenden Strecken übertragen, wo die Umstände ganz anders sind, so werden sie hier keineswegs noch passend sein. Man macht gewöhnlich und vielleicht jedesmal die Erfahrung, dass eine Normalbreite, welche auf die beschriebene Art ermittelt wurde, viel zu gross ist, und man dieselbe sehr bedeutend, oft um die Hälfte verringern muss, damit der beabsichtigte Erfolg sich darstellt. Man muss sonach die gefundene und an andern Stellen wahrgenommene Breite nach den besondern localen Umständen modificiren. Es ist aber gewiss sehr schwer, das rechte Maass dabei sicher zu treffen: glücklicher Weise ist der Strom an den zu regulirenden Stellen gewöhnlich nicht ganz gerade, und man kann daher die Einschränkungswerke vor dem convexen Ufer ohne bedeutende Mehrkosten noch in Zukunft nach Bedürfniss weiter herausführen, während eine Buhne, welche eine grosse Tiefe vor ihrem Kopfe erzeugt hat, wie dieses gemeinhin am concaven Ufer der Fall ist, augenscheinlich nicht so leicht in späterer Zeit verlängert werden kann. Hat man dagegen bereits einzelne Stellen corrigirt, so lässt sich viel sicherer die Angemessenheit der gewählten Breite des Bettes beurtheilen, und man kann die gemachten Erfahrungen mit grossem Vortheil bei Aufstellung der spätern Projecte benutzen.

Wenn es nothwendig ist, an einer Stelle ein starkes Gefälle zu erhalten, wie dieses namentlich vor den Mündungen von Seitenzuflüssen der Fall ist, welche schweres Geschiebe dem Strome zuführen, und ebenso auch an solchen Stellen, welche vom Hochwasser mit Sand und Kies angefüllt werden, so muss man eine besonders starke Einschränkung vornehmen. Bei Stromkrümmungen ist die Einschränkung gleichfalls vortheilhaft, obwohl auch ohne sie eine tiefe Rinne sich vor dem concaven Ufer auszubilden und zu erhalten pflegt. Man unterlässt dabei sehr häufig die Ausführung der Buhnen vor dem convexen Ufer, indem man besorgt, dass sie den Angriff des Stroms auf das concave Ufer

noch verstärken möchten, dieses ist aber keineswegs jedesmal der Fall, und besonders wenn ihre Köpfe recht steil gehalten werden, so erzeugen sie vor sich eine grössere Tiefe und tragen alsdann sehr wesentlich dazu bei, den Strom von dem concaven Ufer abzuziehn und ihn gleichmässiger über die ganze Breite des Bettes zu vertheilen. Die geraden Stromstrecken und ebenso auch die Uebergänge aus einer Krümmung in eine andere entgegengesetzte, sind in gewisser Beziehung am schwersten zu reguliren und vor Verflächungen zu sichern: indem nämlich der Strom in ihnen nicht so bestimmt auf gewisse Stellen hingewiesen wird, und in diesen die gehörige Tiefe erhält, so pflegen sich in ihnen sehr leicht nachtheilige Sandablagerungen zu bilden. Wenn man einen Strom untersucht, der sich selbst überlassen ist, so bemerkt man gewöhnlich, dass in den Stromkrümmen die Tiefe ansehnlich grösser ist, als in den Uebergängen aus einer Krümmung in die andere. Den Grund hiervon darf man nicht allein in dem verstärkten Angriffe des Wassers vor dem concaven Ufer suchen, sondern die Verflächung an den geraden Stellen wird gewiss grossentheils auch dadurch veranlasst, dass das Hochwasser hier am wenigsten dem eigentlichen Strombette folgt und vielmehr quer herüber fliesst. Jedenfalls wird man die Versandungen an solchen Stellen verhindern, oder wenigstens am schnellsten beseitigen, wenn man starke Einschränkungen vornimmt, und hierauf beruht die Praxis mancher Wasserbaumeister, die Profilweite in den Krümmungen bedeutend grösser anzunehmen, als in den zwischenliegenden Strecken: besonders geschieht dieses, wenn man in den Krümmungen, wie schon erwähnt, das Bette recht weit geöffnet lässt oder es eigentlich nur von der concaven Seite aus einschränkt.

Wenn man die Breite kennt, die man dem Strombette geben oder belassen soll, so kommt es darauf an, die neuen Uferlinien zu bestimmen und in der Charte einzutragen. Hierbei ist es jedenfalls Bedingung, dass diese Linien sich an die Ufer oberhalb und unterhalb der zu corrigirenden Strecken gehörig anschliessen müssen. Ausserdem muss das neue Flussbett, soviel es geschehn kann, mit dem bestehenden zusammenfallen, damit nicht weiter, als es dringend nöthig ist, Veränderungen eintreten dürfen, und namentlich nicht grosse Uferstrecken dem Angriffe des Stromes Preis gegeben, und eben so wenig solche Rinnen

verbaut werden, die von der Schifffahrt allein benutzt werden können. Eine besonders wichtige Rücksicht ist es ferner, dass das neue Bett möglichst regelmässig geführt wird. Es ist dabei keineswegs nothwendig, dass es in ganz geraden Linien oder sehr flachen Bögen gezogen wird, wozu auch nur sehr selten die Gelegenheit vorhanden zu sein pflegt. Ohne allen Nachtheil kann man für die Uferlinien beliebige Curven wählen, wobei es auch sehr gleichgültig ist, ob diese Kreislinien sind, oder andere Bögen. Man wird es indessen immer sehr sorgfältig vermeiden müssen, irgendwo scharfe Krümmungen oder vollends förmliche Winkel in den Uferlinien eintreten zu lassen, wodurch jedesmal ein besonders starker Angriff gegen dieses Ufer und ausserdem auch eine Unregelmässigkeit im Strombett herbeigeführt werden würde. Demnächst muss man es vermeiden, entgegengesetzte Krümmungen vielfach wechseln zu lassen: die Krümmungen müssen vielmehr, soweit es geschehn kann, sich in demselben Sinne auf lange Strecken fortziehen, damit der tiefe Stromschlauch vor dem concaven Ufer sich gehörig ausbilden und von den Schiffen verfolgt werden kann. Wenn man diese Vorsicht nicht beobachtet und in sehr geringen Entfernungen die concaven Ufer in convexe übergehn lässt, so pflegt sich das Fahrwasser unregelmässig auszubilden, und starke Sandablagerungen treten bald von der einen, und bald von der andern Seite vor. Eine fernere Rücksicht bei Bestimmung der Lage des Strombettes bezieht sich darauf, dass dasselbe so viel wie möglich sich der Strömung des Hochwassers anschliessen muss, damit durch dieses nicht etwa jedesmal Sand- und Kiesbänke an gewissen Stellen abgesetzt werden, welche das kleine Wasser später wieder fortreiben muss. Diese Rücksicht ist es besonders, welche die Einführung weit ausgezogener Serpentinien verbietet, die sonst auf die Vertheilung des Gefälles bei kleinem Wasser sehr vortheilhaft wirken könnten. Die Regulirung beschränkt sich nach dem früher Gesagten keineswegs auf das eigentliche Strombett, sondern zugleich auf die Umformung der Ufer, und sie bezweckt sonach auch eine Einwirkung auf die Leitung des Hochwassers. Für die Abführung von diesem würde es indessen höchst nachtheilig sein, wenn man seine Profile stark beschränken, oder in der Richtung seines Laufes grosse Krümmungen einführen wollte. Das Hochwasser muss sonach der allgemeinen Richtung des Flussbettes

folgen, und letzteres darf, wenn es auch sanfte Krümmungen zu beiden Seiten macht, sich doch nie so weit von jener allgemeinen Richtung entfernen, dass es mit demselben rechte Winkel bildete oder wohl gar rückwärts strömte. Endlich muss man bei Bestimmung der Uferlinien auch noch darauf aufmerksam sein, dass die Wirkung von sehr kurzen Einbauen jedesmal wenig Erfolg verspricht, und ebenso auch die Einbaue vor den concaven Ufern in scharfen Krümmungen theils sehr kostbar in der Anlage und Unterhaltung ausfallen, theils aber auch nur wenig Verlandung zu erzeugen pflegen. Man thut daher wohl, wenn man in diesen Fällen lieber die Ufer unmittelbar deckt, oder die Richtung der vorhandenen Ufer gleich in die neuen Uferlinien aufnimmt. Sollten hier aber Felsen vortreten, oder daneben im Strombett liegen, so würde man wieder die Kosten der Beseitigung der letztern berücksichtigen müssen, und wenn diese sich noch bedeutender herausstellen sollten, lieber eine Verbauung des Ufers vornehmen, oder die neue Uferlinie weiter davon entfernen.

Die Uferlinien, welche sich nach diesen Rücksichten als die zweckmässigsten herausstellen, werden in die Stromcharte eingetragen, etwa wie Fig. 88 dieses durch die punktirten Linien angiebt. Das neue Strombett, welches man darstellen will, schlängelt sich auf diese Weise zwischen den vorhandenen Untiefen und Inseln hindurch, und oft kommt es auch vor, dass es in die vorhandenen Ufer hineingreift, oder mitten durch Inseln hindurchgeht. Es lässt sich dieses nicht vermeiden, wenn es nur dadurch möglich wird, scharfe Ecken oder sehr scharfe Krümmungen zu umgehn. Bei einem Strome, der grossen Veränderungen unterworfen ist, muss man aber eilen, möglichst bald nach der erfolgten Aufnahme der Ufer auch das Project aufzustellen und auszuführen, weil sonst die Anlage nicht mehr passend sein würde. Das Festhalten an einem frühern Plane, der vielleicht vor Jahren sehr zweckmässig war, ist, nachdem wesentliche Aenderungen in dem Strombette eingetreten sind, durchaus unstatthaft, und vermehrt nicht nur die Kosten, sondern macht es auch oft unmöglich, dass der Zweck vollständig erreicht werden kann. Die Aufgabe, die man jedesmal lösen muss, besteht darin, von den Localverhältnissen, wie sie zur Zeit des Baues gerade stattfinden, den möglichst grössten Nutzen zur Erreichung des Zweckes zu ziehn.

Wenn aber eine längere Zeit verflossen ist, oder vielleicht auch nur ein Hochwasser zwischen der Aufnahme des Stroms und der Einleitung des Baues eingetreten ist, so können sich so wesentliche Veränderungen ereignet haben, dass man schon von dem frühern Plane abgehn muss. Hierher gehört namentlich das starke Abbrechen von denjenigen Ufern, die einen Theil der neuen Uferlinie bilden sollten: statt einer einfachen Deckung derselben muss man, um das frühere Project beizubehalten, in grosser Wassertiefe und im heftigen Strome Einbaue ausführen, die bei starker Krümmung des Ufers in der Regel auch schlecht verlanden und daher fortwährend eine schwierige Unterhaltung erfordern. Es ergiebt sich hieraus die wichtige Regel, dass man kein Stromregulirungsproject aufstellen darf, wenn nicht wirklich Aussicht dazu vorhanden ist, dass es bald zur Ausführung kommen kann. Da indessen immer einige Zeit zur Aufstellung, Prüfung und Genehmigung des Bauprojectes erforderlich ist, und es beim gewöhnlichen Geschäftsgange verlangt wird, dass die Anschläge besonders für grössere Arbeiten schon im Herbst eingereicht werden, damit die erforderlichen Gelder für das nächste Jahr disponibel gestellt werden können, so ist es Pflicht des Baumeisters, schon diejenigen Veränderungen zu berücksichtigen, welche wahrscheinlich während des Winters vorkommen werden. Eine solche Schätzung ist höchst unsicher; um so nöthiger wird es daher, dass nach dem Ablaufe des Hochwassers auch sogleich die Ueberzeugung gewonnen wird, dass die früher beabsichtigte Regulirung unter den veränderten Umständen noch passend sei. Wenn dieses nicht der Fall ist, so muss man untersuchen, welche Modificationen im Projecte einzuführen sind. Sobald aber der Bau begonnen werden kann, oder wenigstens die Genehmigung dazu ertheilt ist, so muss vor Allem dahin gewirkt werden, solchen Veränderungen, die auf den ganzen Bauplan von Einfluss sind, sogleich durch geeignete Maassregeln sicher vorzubeugen.

Diese Rücksicht ist vorzugsweise in dem Falle wichtig, wenn die beabsichtigte Stromregulirung eine solche Ausdehnung hat, dass sie in einem Jahre nicht beendigt werden kann: alsdann ist es nicht selten nothwendig, von der oben gegebenen Regel abzuweichen, wonach jeder Bau dieser Art mit denjenigen Werken beginnen sollte, welche am meisten stromaufwärts liegen. Wichtiger ist es

in diesem Falle, solche Uferrecken oder Uferstrecken festzuhalten, durch deren weitem Abbruch der neue Stromlauf unregelmässiger werden, oder die Uferbildung verhindert werden könnte.

Bei starken Verwilderungen des Stroms, und namentlich wenn vielfache Arme sich gebildet haben, würde die Regulirung übermässig kostbar werden, wenn man das neue Strombett sogleich durch Einbaue vollständig einschliessen wollte: es ist alsdann viel zweckmässiger und sogar auch sicherer, den Plan erst in allgemeinen Umrissen aufzustellen, und sich namentlich nur darüber zu einigen, welche Arme den Hauptstrom aufnehmen und welche zur Verlandung gebracht werden sollen. Man kann alsdann, und besonders wenn das Interesse der Schifffahrt nicht sogleich eine vollständige Abhülfe verlangt, durch verschiedenartige Baue zuerst diese wichtigsten Veränderungen einleiten, also namentlich auf die Verlandung der Nebenarme hinwirken und das Wasser in dem bestimmten Stromschlauche sammeln, der dadurch zugleich gehörig verbreitet und vertieft wird. Wenn dieses geschehn ist, so wird eine neue Aufnahme und Tiefenmessung dazu dienen, das vollständige Project zu entwerfen. Bei diesem Verfahren ist es aber immer von grosser Wichtigkeit, jeder fernern Unregelmässigkeit durch gehörige Leitung des Wassers von oben her zu begegnen, und für die untere Strecke die Erfolge abzuwarten, soweit dieses ohne Nachtheil geschehn kann.

Wenn der Strom sich in mehrere Arme spaltet, so giebt es gewöhnlich noch einen andern sehr wichtigen Grund, der es verbietet, die sämmtlichen Regulirungswerke sogleich vollständig auszuführen. Es trifft sich nämlich häufig, dass derjenige Arm, den man wegen seiner Richtung oder vielleicht wegen anderer Eigenschaften zur Aufnahme des Stromes wählen muss, sehr enge oder sehr seicht ist, so dass er weder für die Abführung des Wassers, noch auch für die Schifffahrt genügt. Man muss alsdann zunächst auf die Verbreitung oder Vertiefung desselben hinwirken, bevor man die Nebenarme ganz absperrt. In Bezug auf die Abführung des Wassers kann man diese Bedingung leicht erfüllen, wenn man das oben (§. 72) angegebene Verfahren befolgt, und den Nebenarm nur nach und nach zur Verlandung bringt. Es wird dieser Zweck aber auch dadurch erreicht, dass man niedrige Schwellen in ihm erbaut und dieselben später erhöht, wenn sie

das schwere Material, welches der Strom hinführt, aufgefangen und sonach eine allgemeine Verflächung erzeugt haben. Ganz entsprechend der Verminderung des Profils in diesem Arme, wird sich das Profil des andern Armes vergrössern, wenn nicht etwa ein festes Felsenriff hindurchstreicht, oder sehr grobes Material sich darin abgelagert hat, welches dem Angriffe des Stromes widersteht. Das schwere Geschiebe kann man, wenn ein starker Strom darüber geht, durch mechanische Hilfsmittel aus seiner geschlossenen Lage bringen, worauf es wieder vom Strome fortgetrieben wird. Oft aber genügt dieses nicht, und es ist nöthig, die Steine unmittelbar herauszuheben, und eben so sieht man sich auch zuweilen gezwungen, den gewachsenen Felsboden im Bette mit Pulver fortzusprenge. Beide Operationen, und besonders die letzte, pflegen sehr kostbar zu sein, und es ist sonach nothwendig, sie schon bei der Entwerfung des allgemeinen Regulierungsplanes zu berücksichtigen. Finden diese Fälle dagegen nicht statt, so bringt die verstärkte Strömung in dem Hauptarme bald eine grössere Einwirkung auf dessen Bette und Ufer hervor, und das Profil erweitert sich, wodurch wieder die Werke im Nebenarme dem Angriffe entzogen werden, und die Verlandungen hier um so schneller erfolgen. Auf solche Art bildet sich nach und nach das Strombett regelmässiger aus, so dass man später die noch erforderlichen Einschränkungen mit weit geringeren Mitteln zur Ausführung bringen, und dadurch die Stromregulirung vollenden kann, ohne dass in der Zwischenzeit jemals der Abfluss des mittleren Wassers und des Hochwassers behindert werden darf. Ganz anders sind aber die Folgen, wenn man ohne Rücksicht auf das Profil des übrig bleibenden Armes den Hauptarm plötzlich abschliesst: besonders kommen alsdann die Coupirungen selbst in sehr grosse Gefahr, wie bereits von den am französischen Ufer des Rheins ausgeführten Werken erwähnt worden ist. Aehnliche Uebelstände haben sich indessen auch in vielen andern Fällen gezeigt, und sie sind Veranlassung geworden, dass man die Coupirungen als die schwierigsten und bedenklichsten Anlagen beim Strombau anzusehn pflegt.

Schwieriger ist es, das Schifffahrtsinteresse gehörig wahrzunehmen, wenn der Hauptarm geschlossen werden soll. Ist die Tiefe desselben überflüssig gross, so lässt sich das oben ange-

gebene Verfahren noch in Anwendung bringen, indem man den Rücken der Schwelle so tief legt, dass der Wasserstand darüber noch mit den andern untiefen Stellen in demselben Strome übereinstimmt. Die Tiefe des abzuschliessenden Armes ist indessen gemeinhin nur nothdürftig vorhanden, so dass man sie nicht weiter vermindern darf, ohne sogleich die Schifffahrt zu beeinträchtigen. Es bleibt alsdann kein anderes Mittel übrig, als dass man die Uebergangsperiode bis zur hinreichenden Vertiefung des Nebenarmes möglichst abzukürzen sucht, indem man durch kräftige Verbauung und vollständige Regulirung den Strom sogleich in den andern Arm hineintreibt. Fehlt es diesem Arme aber stellenweise an der für die Schifffahrt erforderlichen Tiefe, so muss man durch unmittelbare Handarbeit oder Baggerung eine Rinne für den Durchgang der Schiffe künstlich eröffnen. Wenn man die Richtung dieser Rinne so wählt, dass sie sich dem neuen Stromlaufe gut anschliesst, so darf man erwarten, dass sie nicht nur offen bleiben, sondern beim vermehrten Andränge des Wassers sich auch zum tiefen und breiten Stromschlauche ausbilden wird. Dieser Fall kommt sehr häufig vor, und am Rhein sowohl, als an der Mosel und der Weser ist es beinahe jedesmal geglückt, auf solche Art selbst die kürzesten Unterbrechungen oder Erschwerungen der Schifffahrt zu umgehn. Ich vermthe, dass bei gehöriger Berücksichtigung der localen Verhältnisse, wie sie zur Zeit des Baues gerade stattfinden, dieses in allen Fällen möglich ist, und der neue Weg, sobald ihn die Schiffer wählen müssen, dem bisherigen weder in Bezug auf die Tiefe noch auf die Richtung nachstehn darf, wohl aber in kurzer Zeit sich viel vortheilhafter als der frühere umgestalten muss. Es kann dabei freilich vorkommen, dass einige Vorsicht erforderlich wird, um das Schiff in die eben eröffnete Rinne hineinzuführen, und es zu diesem Zwecke, vielleicht während es früher ohne äussere Hülfe mit dem Strome herabtreiben durfte, sorgfältig gesteuert, oder auch wohl durch Bäume abgesetzt werden muss: hierin liegt aber nur eine geringe Unbequemlichkeit, die sich nicht vermeiden lässt, und keineswegs als eine wirkliche Erschwerung oder Behinderung der Schifffahrt angesehen werden darf. Selbst wenn das Schiff bei der Thalfahrt vor einer solchen Stelle ankern und rückwärts am Tau herabgelassen werden müsste,

was doch nicht leicht erforderlich ist, so liegt auch hierin noch kein wesentliches Hinderniss, vorausgesetzt, dass der Uebelstand in kurzer Zeit verschwindet. Es kommt vorzugsweise nur darauf an, dass die nöthige Wassertiefe sich wirklich überall vorfindet, damit das Schiff nicht gelichtet werden darf, und dass andererseits wieder bei der Bergfahrt die Strömung nicht so stark wird, dass der Schiffer gezwungen wird, die Anzahl der Zugpferde zu vermehren.

Ein Uebelstand, der sich hierbei häufig zeigt, und der oft zu den bittersten Beschwerden Veranlassung giebt, bezieht sich auf die zu weite Entfernung des Leinpfades von dem Fahrwasser: er verdient ohne Zweifel um so mehr beachtet zu werden, als er nicht so bald gehoben werden kann, weil die Dauer seines Bestehens von der Verlandung des alten Stromarmes abhängt. Wenn nämlich auf dem neuen Ufer ein Leinpfad für Pferde eingerichtet ist, so wird man bei der Regulirung des Stromes immer bemüht sein, den tiefen Schlauch, den die Schiffe verfolgen sollen, möglichst in die Nähe dieses Leinpfades zu bringen. Dieses ist jedoch in manchen Fällen durchaus unausführbar: wenn z. B. Inseln vorkommen und der nächst liegende Arm zur Darstellung eines regelmässigen Stromlaufes ganz ungeeignet ist, und er daher zur Verlandung gebracht werden muss, so wird die Zugleine über die Insel fort bis zu dem dahinter liegenden Leinpfade geführt werden müssen, und diese Unbequemlichkeit hört nicht früher auf, als bis der zwischenliegende Arm stark verlandet ist, und man sonach den Leinpfad hindurchlegen und über die Insel führen kann. Erbaut man niedrige Schwellen in diesem Arme, welche ohne Zweifel die Verlandung am schnellsten herbeiführen, weil sie das Eintreiben und Ablagern des schweren Materials am meisten befördern, so können gewöhnlich die Schiffe bei kleinem Wasser nicht mehr darüber fortgehn, und sie müssen vielmehr während der Dauer dieses Wasserstandes sehr lange Leinen anstecken. Dabei kommt es häufig vor, dass sie mit solchen nicht versehn sind, sie also mit kürzeren durchzufahren versuchen, was aber grosse Schwierigkeiten und oft auch wirkliche Gefahr für die Leinpferde zur Folge hat, indem der Zug sehr schräge wirken und daher ausserordentlich verstärkt werden muss. Der Uebelstand wird besonders gross, wenn das Fahrwasser sich noch nicht

gehörig ausgebildet hat, und sehr enge und vielleicht auch gekrümmte Rinnen verfolgt werden müssen. Die Schiffer, die in früherer Zeit ein solches Hinderniss an dieser Stelle nicht kannten, bringen alsdann die härtesten Beschwerden und Klagen vor, und der Baubeamte erhält nicht selten den Auftrag, den Uebelstand zu beseitigen. Es entsteht nunmehr die Frage, wie dieses zu thun sei.

Je höher man die Schwellen in dem alten Arme anlegt, um so mehr verhindern sie seine Verlandung; und wie hoch man sie auch immer legen mag, den Beschwerden der Schiffer kann man doch nicht ausweichen, denn bei denjenigen Wasserständen, welche weder das Uebergeln der Pferde noch auch das der Schiffe über diese Schwellen gestatten, bleibt der Leinpfad vom Fahrwasser weit entfernt. Man hilft sich häufig dadurch, dass man einen Mittelweg einschlägt, und die Dämme bis zur Höhe des Mittelwassers heraufführt. Für das kleine Wasser ist alsdann der Uebelstand beseitigt, indem die Pferde während desselben über die Insel getrieben werden, aber sobald der höhere Wasserstand eintritt, werden die Klagen um so lauter, da der heftige Strom, der sich alsdann gleichfalls einstellt, die weite Entfernung des Leinpfades von dem Fahrwasser um so nachtheiliger macht, und häufig ein Aufenthalt der Schiffe in dieser Zeit wirklich gefährlich ist, indem man besonders im Spätherbste besorgen muss, dass sie vor dem Eintritt des Eisganges oder Eisstandes ihren Bestimmungsort gar nicht erreichen. Die Schiffer verlangen in solchem Falle immer, dass die Dämme in der vollen Leinpfadshöhe gehalten und in gleicher Höhe auch ein Leinpfad über die Insel geführt werden soll. Dadurch wird ein vollständiges und zwar sehr hohes Parallelwerk mit obern und unterm Anschluss an das Ufer gefordert, welches eine Verlandung des alten Armes ganz unmöglich macht. Der Bau bleibt also in diesem Falle fortwährend der Gefahr des Durchbruchs ausgesetzt, und die Ausbildung der Ufer zur gehörigen Zusammenhaltung des höchsten Wassers wird gleichfalls verhindert, wodurch wieder die Tiefe des Hauptarms immer bedroht bleibt.

In Fig. 88 ist ein solcher Leinpfad, der zugleich als doppelter Coupirungsdamm des Stromarmes dient, durch die punktirten Linien *AB* und *CD* angegeben: er muss sich natürlich einiger-

maassen der Richtung des Stromes anschliessen, damit der Weg, den die Pferde nehmen, von der Richtung des Zuges nicht zu weit abweicht. Dadurch wird der obere Damm ein declinantes Werk, und das überstürzende Wasser greift das dahinter liegende Ufer sehr stark an. Um dieses zu verhindern, sind an der Mosel in solchem Falle jedesmal noch die Anschlüsse *E* erbaut worden. Liegen diese Leinpfadsdämme nicht höher als die Kronen der Bühnen, so ist es zweckmässig, die letztern noch vollständig zur Ausführung zu bringen, um soviel wie möglich, auf die Verlandung hinzuwirken: wenn aber der Leinpfad eine grössere Höhe erhalten muss, so werden die Bühnen fast ganz unwirksam, und es bleibt dann nichts übrig, als sich allein darauf zu beschränken, alle Beschädigungen, die hier niemals aufhören, immer wieder auszubessern.

Haben die Schiffer indessen aus den bereits ausgeführten Regulirungen die Ueberzeugung gewonnen, dass die Anlagen ihr eignes Interesse fördern, und dass solche vorübergehende Unbequemlichkeiten durchaus unvermeidlich sind, wenn man günstigere Verhältnisse sicher herbeiführen will, wie sich dieses Vertrauen namentlich bei den Schiffern auf der Weser häufig zu erkennen gegeben hat, und wenn überdiess die Fahrzeuge nicht möglichst dürftig ausgerüstet sind, so ist der Baumeister nicht mehr gezwungen, wegen eines augenblicklichen Uebelstandes Maassregeln zu ergreifen, welche die nachhaltige Regulirung des Stromes ganz unmöglich machen. Eine gänzliche Unterbrechung der Schifffahrt lässt sich aber immer und selbst für kurze Zeiten vermeiden, wenn man auch keine Leinpfade durch den alten Arm legt, und zwar in folgender Art.

In vielen Fällen ist es schon zulässig, den Leinpfad auf das andre Ufer zu verlegen, oder wenigstens einen Hilfsleinpfad dasselbst einzurichten, der bei denjenigen Wasserständen, für welche die Schwierigkeit am grössten wird, benutzt werden kann. Wenn man ferner die Coupirung *F* in Fig. 88 in der Höhe des niedrigen Wassers angelegt hat, so können die Pferde beim kleinsten Wasserstande, also in der Zeit, wenn das Innehalten des Fahrwassers am beschwerlichsten wird, über die Coupirung nach der Insel kommen. Das Schiff wird also, wenn es unterhalb der Insel angelangt ist, vor Anker gelegt oder am Ufer gegen beson-

dere Pfähle, die zu diesem Zwecke eingerammt sind, festgebunden; die Pferde werden von der Leine gelöst und über die Coupirung nach dem untern Ende der Insel geführt. Indem man sie hier wieder vorspannt, ziehen sie das Schiff bis zum obern Ende der Insel herauf. Das Schiff muss hier zum zweiten Male festgelegt werden, und die Pferde gehn nunmehr wieder nach dem Leinpfade und zwar bis oberhalb der Insel herauf, wo der gewöhnliche Zug fortgesetzt werden kann. Dieses Verfahren findet bei Inseln von so geringer Ausdehnung, wie eine solche in der Figur dargestellt ist, nicht leicht Anwendung. Die Schwierigkeit wird aber um so grösser, je weiter die Insel sich längs dem Strome hinzieht, und dieses ist gerade der Fall, in welchem das Uebergeln der Pferde um so nöthiger ist. Letzteres kann alsdann noch dadurch erleichtert werden, dass man statt einer Coupirung, zwei dergleichen erbaut, und sonach die Pferde nicht den ganzen Weg zurückgehn dürfen. Dieses Verfahren findet so lange statt, bis das Wasser so hoch steigt, dass die starke Strömung auf den Coupirungen das Uebertreiben der Pferde verbietet. Alsdann muss mit einer längern Leine gefahren werden, welche die Insel überspannt: der etwas höhere Wasserstand macht hierbei aber schon das genaue Innthalten der tiefen Rinne entbehrlich, und das Schiff kann gemeinlich ziemlich nahe an der Insel fahren. Es geschieht wohl, dass die lange Leine alsdann über die Insel streicht, und dabei theils beschädigt, theils auch zurückgehalten wird: um dieses zu vermeiden, muss ein Schiffsknecht auf die Insel gesetzt werden, der die Leine trägt oder sie löst, so oft sie einen Gegenstand gefasst hat. Steigt das Wasser noch höher, so gehn die Schiffe über die Coupirungen fort und fahren wie vor dem Bau längs dem Leinpfade.

Sobald die Coupirungen eine merkliche Verlandung erzeugt haben und nur noch wenig über dem Bette des alten Armes vortreten, so erhöht man sie aufs Neue um einige Fusse und vermehrt auch, wenn es nöthig ist, ihre Anzahl, um die Verlandung möglichst zu beschleunigen. Dadurch wird es veranlasst, dass die Periode, während welcher die Leine über die Insel gezogen werden muss, bei einem höheren Wasserstande als früher eintritt, aber der neue Stromlauf hat sich schon mehr ausgebildet, und sonach ist seine beschränkte Breite und eben so auch die starke

Strömung in ihm verschwunden, was wieder den Zug erleichtert. Wenn endlich das alte Bett bei kleinem Wasser trocken geworden ist, oder wenigstens an seinem obern und untern Theile sich stark erhöht hat, so steht der vollständigen Durchführung des Leinpfades über die Insel nichts mehr im Wege, insofern er dem starken Angriffe nicht mehr ausgesetzt ist, und das Interesse der Schifffahrt ist alsdann in jeder Beziehung gesichert.

Es darf kaum erwähnt werden, dass bei Anwendung dieses Verfahrens jede zulässige Hülfe der Schifffahrt geleistet werden muss. Die bereits erwähnten Pfähle oder Schiffshalter dürfen nicht fehlen, der Leinpfad auf der Insel selbst, sowie auch der Uebergang über die Coupirung muss möglichst bequem gemacht werden, ferner dürfen die Streichhölzer nicht fehlen, um das Hängenbleiben der Leine an einzelnen vorragenden Gegenständen zu verhindern. Demnächst muss man dafür sorgen, dass die Verlandung des alten Armes soviel es geschehn kann, beschleunigt wird, damit die Uebergangsperiode, die doch immer einige Jahre umfasst, sich nicht zu lange ausdehnt. Jedenfalls verdient es aber eine ernstliche Erwägung, ob man den neben dem Leinpfade befindlichen Arm abschliessen soll; wenn die übrigen Umstände freie Wahl gestatten, wird man dieses nie thun, und selbst wenn die Krümmungen und andere localen Verhältnisse dabei etwas günstiger sein sollten, so wird der Vortheil, der aus der Vermeidung der erwähnten Schwierigkeiten entspringt, gewöhnlich den überwiegenden Ausschlag in der Wahl des beizubehaltenden Stromarmes geben.

Das Vorstehende bezog sich auf die Bestimmung des neuen Stromlaufes und seiner beiden Ufer: dieselbe ist aber nicht auf diejenige Stelle zu beschränken, wo es vielleicht an Tiefe mangelt, oder andere Umstände die Regulirung nothwendig machen, man muss sie vielmehr so weit fortsetzen, dass ein gehöriger Anschluss an die nächst unterhalb belegene Stromstrecke sich bildet, weil dadurch allein dem Entstehen neuer Unregelmässigkeiten vorgebeugt werden kann. Die neuen Uferlinien, welche durch die Köpfe der Einbaue bezeichnet werden, müssen demnach in die folgenden Ufer übergehn. Wenn es sich daher trifft, dass die untere Stromstrecke bei grosser Breite hinreichende Tiefe hat, wo also die Fortsetzung der Einschränkung ganz überflüssig zu

sein scheint, so muss man diese dennoch wenigstens soweit vornehmen, dass die oberen engen Profile nur allmählig in die weitem übergehn. Unterlässt man diese Vorsicht, so bilden sich unterhalb der regulirten Strecke und zwar gerade in dem eigentlichen Stromschlauche starke Ablagerungen von Kies oder Sand, und sperren hier das Fahrwasser oder spalten es. Diese Ablagerungen bestehen aus demjenigen Material, welches bei der Vertiefung und Verbreitung des neuen Bettes gelöst wurde. Man kann dieses sehr vortheilhaft beseitigen, wenn man die erwähnten untern Einbaue zur Ausführung gebracht hat, zwischen welchen es sich besonders stark aufzuhäufen pflegt.

Sind auf solche Weise die Uferlinien für die ganze zu regulirende Strecke vollständig bezeichnet, so kommt es darauf an, die Bauwerke so anzuordnen und die sonstigen Anlagen so einzurichten, dass die Bildung der Ufer hier wirklich erfolgen muss. Treten einzelne Theile der vorhandenen Ufer über diese Linien heraus, so muss man diese dem Angriffe des Stromes möglichst bloss stellen. In dem Beispiele, welches Fig. 88 zeigt, geschieht dieses mit einem Theile der Insel, man wird also das Strauch, welches hier wächst, ausroden, damit das Hochwasser nicht abgehalten wird, daselbst das Strombette zu bilden. Ausserdem muss man sich entscheiden, wo man die Ufer unmittelbar darstellen, und wo man ihre Bildung dem Strome überlassen will, indem man durch Einbaue die Ablagerung des Materials befördert. Es ist bereits darauf aufmerksam gemacht worden, dass in scharfen Stromkrümmungen die Einbaue wenig wirksam und ausserdem der Schifffahrt nachtheilig sind, und dass dieselben andrerseits, wenn sie sehr kurz sind, überhaupt wenig Erfolg haben. Man wird also wohl thun, an denjenigen Stellen, wo die neue Uferlinie nicht weit vom bestehenden Ufer entfernt ist, eine unmittelbare Deckung vorzunehmen, wie dieses in dem gewählten Beispiele mit dem der Insel gegenüberliegenden Ufer geschieht. Es ist schwer, eine bestimmte Grenze für die Entfernung anzugeben, bis zu welcher man die Deckung vornehmen, und wo statt ihrer, Einbaue gewählt werden müssen. Die Vergleichung der Kosten zwischen beiden giebt in vielen Fällen diese Grenze an, doch darf man dabei auch nicht unbeachtet lassen, dass die kürzern Einbaue wieder näher an ein-

ander gerückt werden müssen, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen, wie dieses im gewählten Beispiele bei *G* geschehn ist. Am Rhein zeigen sich die Einbaue unwirksam, wenn sie nur etwa 5 Ruthen lang sind, man kann daher annehmen, dass ihre Länge bei sehr grossen Strömen wenigstens dem zwanzigsten Theile der Breite desselben gleich sein muss: bei kleineren Strömen wird man aber nicht unter den fünfzehnten oder zehnten Theil herabgehn dürfen. Diese Regel bezieht sich nur auf die durchschnittliche Länge der Buhnen, einzelne unter ihnen und namentlich die ersten oder letzten in einem Systeme, dürfen ohne Zweifel auch kürzer ausfallen, wenn dieses der Zug der Uferlinie verlangt.

In Betreff der Anordnung der Einbaue ist noch deren Entfernung von einander, sowie auch ihre Höhe, näher zu untersuchen. Häufig nimmt man an, dass die Entfernung der Einbaue nur durch die Länge derselben bedingt wird, und man pflegt zu sagen, dass jene nicht mehr als das Vier- bis Sechsfache von dieser betragen müsse. Die Wirksamkeit der Buhnen auf die gehörige Leitung des Stromes, sowie auch auf die Verlandung, hängt indessen davon ab, dass der Strom sich nicht zwischen sie stark hineinwerfen kann, und hierbei ist ohne Zweifel die Breite des Stroms, demnächst aber auch seine Richtung gegen das zu verbauende Ufer von wesentlichem Einfluss. Was den letzten Umstand betrifft, so kann man vor den convexen und selbst vor den geraden Ufern die Entfernung der Buhnen von einander bedeutend grösser annehmen, als vor den concaven Ufern, weil das Wasser in Folge seines Beharrungsvermögens zwischen die letztern weit stärker hingewiesen wird, als zwischen die erstern. Doch kommt es hierbei nicht allein auf das wirkliche Ufer oder die Begränzung des eigentlichen Bettes an, vielmehr bedingen häufig die darin befindlichen Untiefen eben so, oder wohl noch mehr die Richtung des Stromes. So geschieht es nicht selten, dass an einer Stelle des Buhnensystems der Strom stark eindringt, und man, um diesen abzuhalten, hier noch später ein Werk dazwischen legen muss.

Bei kleineren Strömen, wie bei der Mosel, der Weser und andern, kann die Entfernung der Buhnen unter sich etwa drei Vierteltheile von der Breite des Strombettes betragen, bei dem Rhein

dagegen unterstützen sie sich gegenseitig nur wenig, wenn ihr Abstand der halben Breite des Stromes gleichkommt, und es ist daher vortheilhafter sie nur in Abständen zu erbauen, welche den dritten Theil der Breite betragen. Diese Verhältnisse darf man indessen keineswegs als allgemein gültig ansehen, sie erleiden vielfache Modificationen, theils nach der Richtung der Ufer, theils aber auch nach der Länge der Buhnen: fallen dieselben nämlich sehr kurz aus, so muss man sie näher zusammen legen, und wenn sie im Gegentheil sehr lang sind, so ist es vortheilhaft, anfangs nur etwa eine um die andere zu erbauen, und erst später, nachdem zwischen ihnen eine starke Verlandung sich bereits erzeugt hat, die noch fehlenden auszuführen. Der Bau der letztern wird dadurch um Vieles erleichtert.

Silberschlag*) theilt eine Regel zur Bestimmung der Entfernung der Buhnen mit, welche auch von spätern Schriftstellern noch empfohlen ist, und häufig als sehr praktisch gerühmt wird. Sie besteht darin, dass man einen Körper vor der fertigen Buhne vorbeischwimmen lässt und zusieht, wo derselbe sich wieder dem Ufer nähert. An der Stelle, wo dieses geschieht, soll man die nächste Buhne erbauen. Das Mittel ist indessen theils an sich sehr unsicher, und offenbar berücksichtigt man dabei nur die Verhältnisse, wie sie gerade in der Zeit des Baues stattfinden, nicht aber die Veränderungen, die in Folge der Bauten eintreten. Ausserdem ist es hiernach gar nicht möglich, schon vorher die Werke zu veranschlagen, und den dazu erforderlichen Materialbedarf zu kennen. Endlich kann eine solche Regel auch nur Anwendung finden, wenn es sich allein um den Schutz der Ufer handelt: für die eigentliche Stromregulirung giebt sie gewiss keine Norm ab.

Häufig legt man die Buhnen, wenn solche an beiden Ufern erbaut werden, einander gerade gegenüber: hierzu ist aber im Allgemeinen durchaus kein Grund vorhanden, und es wird deren Anzahl dadurch unnöthiger Weise vergrößert, indem sie vor den convexen Ufern nicht so nahe, als vor den concaven Ufern zu liegen brauchen.

*) Ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik I. Theil §. 135.

Die Höhe der Buhnen ist vom wesentlichsten Einfluss auf ihre Wirksamkeit. Die Buhnen sollen das Bett und zugleich die Ufer ausbilden, das niedrige Wasser zusammenhalten, und das Hochwasser auch in den eigentlichen Stromschlauch weisen. Erhalten die Buhnen, wie es gewöhnlich geschieht, eine ganz horizontale Krone, so ist es schwer, diese Wirkungen unmittelbar oder mittelbar durch sie herbeizuführen. Will man nämlich ihre Wirksamkeit nicht zu sehr schwächen, so darf man in diesem Falle die Kronenhöhe nicht zu niedrig annehmen, und wenigstens wird sie über das niedrige Wasser treffen müssen. Diese grössere Höhe erlaubt es nicht, die Breite des Stromes stark zu beschränken, weil dadurch bei einem Wasserstande, der etwas höher ist als die Kronen der Buhnen liegen, das Profil zu klein ausfallen würde. Es folgt hieraus, dass Buhnen dieser Art bei kleinem Wasser dasselbe nicht gehörig zusammenhalten und gemeinhin eine unregelmässige Rinne zwischen sich bilden. Steigt das Wasser bis zu ihrer Krone oder etwas darüber, so äussern sie eine sehr starke Wirkung und namentlich erzeugen sie vor ihren Köpfen tiefe Auskolkungen und in ihrer ganzen Länge ein starkes Aufstauen des Wassers. Letzteres verursacht einen heftigen Uebersturz, und da dieser immer gleichzeitig in ihrer ganzen Länge erfolgt, so bildet sich dadurch auf ihrer untern Seite eine tiefe Rinne, worin sich der Strom concentrirt, und theils den Widerstrom befördert, theils aber auch für die Buhnen selbst sehr gefährlich wird. Einige Ungleichmässigkeit in der Höhe der Krone verursacht aber einen verstärkten Angriff auf die schadhafte Stelle, so dass daselbst bald ein Durchbruch zu erwarten ist. Wenn endlich das Wasser höher steigt, so hört in der ganzen Länge der Buhne ihre Wirksamkeit gleichmässig auf, und die Strömung des Hochwassers wird durch andere zufällige Umstände bedingt, so dass der sehr wichtige Zweck, diese Strömung im eigentlichen Bette zu vereinigen, gleichfalls vereitelt wird.

Ganz anders sind alle Verhältnisse, wenn man die bereits oben als besonders vortheilhaft bezeichnete Anordnung wählt, und die Buhne in stätiger Ansteigung, von der Sohle des Strombettes ab, nach dem Ufer sich erheben lässt. Je niedriger der Wasserstand ist, um so stärker wird alsdann die Breite beschränkt, die letztere nimmt aber immer ganz regelmässig zu, wie das

Wasser steigt, und jeder Theil der Krone wirkt nach und nach als Kopf der Buhne, so dass die Umstände sich mit dem Wechsel des Wasserstandes immer verändern. Nirgend können grosse Vertiefungen entstehen und eben so wenig ist irgend eine Stelle in dem abgeschlossenen Theile des Strombettes für das schwere Geschiebe ganz unzugänglich geworden. Endlich nimmt auch beim Hochwasser die Tiefe nach dem Ufer hin regelmässig ab, und sonach concentrirt sich alsdann noch immer die stärkste Strömung in demselben Schlauche, worin das niedrigste Wasser fliesst, und eine starke Ablagerung des Materials wird hier unmöglich.

Man hat die letzte Anordnung, soviel mir bekannt, noch nie ganz vollständig zur Ausführung gebracht, obwohl die Buhnen an der Mosel und Saar sich derselben sehr nähern. Sie steigen nämlich nach dem Ufer stark an, und ihr Kopf ist theils an sich schon flach gehalten, theils aber hat man sie noch durch flach auslaufende Steinschüttungen verlängert, und auf diese Weise eine noch stärkere Beschränkung des Bettes bewirkt, sobald die abgeführte Wassermenge sehr geringe wird. Die bezeichnete Form der Buhnen ist sonach keineswegs als eine Idee zu betrachten, die noch nie zur Ausführung gekommen wäre: sie hat sich vielmehr bereits sehr vortheilhaft bewährt, und es ist mir kein Beispiel einer Stromregulirung bekannt geworden, wobei in so kurzer Zeit, wie an der Mosel und namentlich im Trierer Regierungsbezirke eine vollständige Umgestaltung des Strombettes ganz in der gewünschten Weise erreicht worden wäre.

Gewöhnlich erbaut man die Buhnen mit ganz horizontaler Krone oder doch nur mit sehr geringer Ansteigung, und ausserdem mit einem steil abfallenden, scharf markirten Kopfe. Man ist hierzu auch häufig durch die Wahl des Materials gezwungen, und namentlich, wenn der gewöhnliche Packwerksbau aus Faschinen und Erde bestehend, mit einer bepflanzten Krone in Anwendung kommt. Damit nämlich die Pflanzung gedeihen kann, darf die Krone weder vom Wasser zu lange bedeckt werden, noch auch sich bedeutend darüber erheben. Im ersten Falle erstickt das Leben im Weidenstrauch, im letztern fehlt es den Wurzeln an der erforderlichen Feuchtigkeit, das Strauch verdorrt und der Körper der Buhne verrottet. Dazu kommt noch, dass diese Bauart

die Darstellung flacher Köpfe oder überhaupt flacher Dossirungen unmöglich macht. Die Faschinen erhalten nämlich dabei nur durch die darauf geschüttete Erde eine gesicherte Lage, und die Erde wieder wird sogleich vom Strome fortgespült, wenn sie nicht durch Strauch bedeckt ist. Auf diese Weise fallen die Böschungen immer sehr steil aus, man kann ihnen nur etwa die einfache Anlage geben, oder sie unter 45 Graden gegen den Horizont neigen, und selbst eine solche Neigung pflegt sich namentlich vor dem Kopfe des Werkes nicht zu erhalten. Die Höhe, in welcher das Weidenstrauch gedeiht, ist durch sehr enge Grenzen bezeichnet, die von den Wasserständen des Stromes abhängen. Eine Bedeckung des Strauches durch hohes Wasser, wenn es nur kurze Zeit dauert, und namentlich im Winter, ist demselben wenig nachtheilig, sobald aber das Laub sich zeigt, wird eine Ueberströmung, wenn sie auch nur kürzere Zeit dauert, sehr nachtheilig: und andererseits ist der lockre Körper eines Packwerksbaues Veranlassung, dass bei kleinem Wasser eine vollständige Austrocknung des obern Theiles erfolgt. Aus diesen Gründen ist man gezwungen, die Krone der Buhne zwischen 1 und 2 Fuss über das niedrige Wasser zu legen, und sonach hat man keine Gelegenheit, ihr eine merkliche Ansteigung nach dem Ufer zu geben. Es ereignet sich aber, wenn man eine solche dennoch einführen will, sehr leicht der ungünstige Umstand, dass in der Nähe des Kopfes das Weidenstrauch viel kräftiger anwächst, als an der Wurzel und sonach am Kopfe auch weit mehr Sand und Erde aus dem Strome sich niederschlägt, als neben dem Ufer, wodurch nach und nach eine Erhöhung der Buhne an ihrem äussern Ende erfolgt, welche ihren Durchbruch besorgen lässt. Die Unregelmässigkeiten im Anwachsen der Weiden, besonders auf dem an sich so losen Körper eines Packwerkes, beeinträchtigen überhaupt die Dauer und Wirksamkeit der Buhnen ausserordentlich, und machen wenigstens eine ununterbrochene Aufmerksamkeit und Nachhülfe nothwendig. Insofern das Strauch zum Schutze der Krone unentbehrlich ist, kann man die Bepflanzung freilich nicht unterlassen, aber man darf durchaus nicht von der Ansicht ausgehen, als ob jedes kräftige Anwachsen des Strauches, wo dieses auch vorkommen möge, vortheilhaft sei. Wenn es stellenweise dem Strome den Zugang sperrt, so verhindert es zugleich die Aus-

füllung der dahinter noch liegenden tiefen Rinnen, und das Ufer kann sich nicht mehr regelmässig ausbilden. Weit vortheilhafter ist es, den Faschinenkörper, statt der Pflanzung, durch eine Steindecke zu sichern, welche die eingeführte Kronenhöhe normirt, und es zugleich möglich macht, dieselbe in jeder beliebigen Höhe zu legen. Ausserdem widersteht eine solche auch dem Andränge eines heftigen Stromes und namentlich dem Eise viel sicherer, als der lose Packwerksbau mit der Pflanzung. Die Kosten der ersten Anlage können dadurch allerdings in vielen Fällen ausserordentlich gesteigert werden, aber wenn man die Wirksamkeit der Werke und die Kosten der Reparaturen vergleicht, so wird man wohl jedesmal zur Ueberzeugung kommen, dass es vortheilhafter gewesen wäre, sogleich die Steindecke gewählt zu haben.

Endlich muss bei Gelegenheit der Kronenhöhe der Buhnen auch noch der bereits angeführte Umstand berührt werden, dass dieselbe niemals die Uferhöhe übersteigen darf. Indem aber die Ausbildung der Ufer ein wesentlicher Zweck der Stromregulirung ist, so wird man seine Aufmerksamkeit auch sogleich darauf zu richten haben, die besonders niedrigen Uferstellen durch die Niederschläge aus dem Wasser zu erhöhen, oder auf demselben Anlagen auszuführen, die zur Zeit des Hochwassers in ähnlicher Weise wie Buhnen wirken, wenn ihre Construction auch von dieser wesentlich abweicht. Besonders kommt es häufig vor, dass ein starker Strom des Hochwassers den gekrümmten Lauf des eigentlichen Bettes ganz verlässt und auf dem kürzern Wege das letzte weiter unterhalb wieder erreicht. Man muss alsdann diesen Strom in der Art coupiren, dass das zwischenliegende Terrain sich wenigstens theilweise erhöhen kann. Man darf gemeinhin nicht besorgen, dass hierdurch die Vorfluth behindert werden möchte, denn die Ausbildung des eigentlichen Strombettes pflegt die Abführung des Wassers immer soweit zu erleichtern, dass keine stärkern Anschwellungen, als früher, für die obern Gegenden zu besorgen sind. Die Zurückführung des Hochwassers in das Bette ist aber nothwendig, um letzteres vor starken Verflächungen zur Zeit der Anschwellung sicher zu stellen.

Es verdient kaum erwähnt zu werden, dass die Einbaue nach Maassgabe des stärkeren oder schwächeren Stromanfalles, dem sie ausgesetzt sind, auch mehr oder minder fest ausgeführt werden

müssen. Alle diejenigen Werke, welche vom eigentlichen Stromstrich getroffen werden, oder in der Nähe desselben liegen, erfordern eine sehr solide Construction, andere dagegen und namentlich diejenigen, welche auf geringer Wassertiefe und vor convexen Ufern erbaut werden, kann man viel schwächer halten und häufig genügt es, wenn diese nur aus doppelten oder auch wohl aus einfachen Flechtzäunen bestehen, wovon an der Weser mit dem günstigsten Erfolge vielfach Gebrauch gemacht ist. Wenn diese auch zuweilen durchbrochen werden, so ist es beim Wiedereintritt des niedrigen Wassers sehr leicht, sie wieder herzustellen. Bei der Wahl der Constructionsart kommt es auch in hohem Grade auf den Umstand an, ob man erwarten kann, dass die ausgeführten Werke in Kurzem eine ansehnliche Verlandung hervorbringen werden. Ist hierzu die Hoffnung vorhanden, so ist es um so weniger nöthig, sie besonders stark zu machen, da sie nur während kurzer Zeit Widerstand zu leisten brauchen. In dieser Weise rechtfertigt es sich auch, dass man zuweilen die verschiedenen Theile derselben Buhne sehr verschieden ausführt: so kommt es z. B. an der Weser wiederholentlich vor, dass doppelte Flechtzäune den eigentlichen Bühnenkörper bilden, der Kopf aber ein vollständiger Packwerksbau ist, weil er dem dauernden Angriffe des Stromes ausgesetzt bleibt. Wenn man hierbei den schon früher erwähnten Umstand berücksichtigt, dass nämlich der Angriff gegen ein Werk immer um so geringer ausfällt, je weniger dieses eine gewaltsame Aenderung des Stromlaufes bedingt, so liegt hierin wieder ein wesentlicher Vortheil in der Wahl solcher Anlagen, die eine ganz allmähliche Umgestaltung der Verhältnisse bezwecken: gerade durch diese erreicht man aber die regelmässigste Ausbildung der Ufer, und die Erfolge, welche sie veranlassen, stellen sich immer sehr schnell ein. Es ist dabei freilich bis zur vollständigen Herbeiführung dieser Erfolge eine grosse Aufmerksamkeit erforderlich, damit nicht etwa die Werke zerstört und dadurch Strömungen veranlasst werden, die neue Unordnungen herbeiführen, aber wenn man diese Vorsicht nicht fehlen lässt, so sind solche leichte und niedrige Werke ganz besonders geeignet, um namentlich in kleinern Strömen manche Untiefen mit den geringsten Kosten zu beseitigen. Es giebt hiervon in dem Preussischen Antheile der Weser vielfache Beispiele. Für diese erwähnten

Zäune oder andern leichten Werke gelten übrigens dieselben Regeln, wie für die Buhnen, und namentlich müssen sie immer eine solche Richtung erhalten, dass sie das Material, welches die Strömung ihnen zuführt, am vollständigsten auffangen und es am regelmässigsten vertheilen. In dem Beispiele, welches Fig. 88 darstellt, dürften die mit *H* bezeichneten Werke nur aus Flechtzäunen bestehen, und ebenso auch wäre es nur erforderlich, von den mit *G* bezeichneten Einbauten eines um das andere als Bühne auszubauen, und für die dazwischen liegenden wieder die leichte Constructionsart zu wählen.

Nachdem die verschiedenen Werke beschrieben sind, welche zur Regulirung solcher Stromstrecken dienen, in welchen man kein besonders starkes Gefälle erhalten will, ist es nöthig, noch die Reihenfolge der Bauten an einem Beispiele zu zeigen. Ich wähle wieder das in Fig. 88 dargestellte, und setze zunächst voraus, dass es Absicht ist, die sämmtlichen Bauten ohne Unterbrechung, also in einem Sommer auszuführen. Am passendsten würde es sein, noch vor der Erbauung derjenigen Werke, welche den Strom in den rechtsseitigen Arm weisen sollen, dem fernern Uferabbruch in demselben der Insel gegenüber zu begegnen, und sonach das Deckwerk am rechten Ufer zuerst zur Ausführung zu bringen. Gleichzeitig kann man indessen auch das Weidengesträuch auf der Insel bis zur künftigen Uferlinie ausroden, um bei etwa eintretendem Hochwasser wenigstens eine fernere Erhöhung hier zu verhindern. Demnächst sind die drei obern mit *I* bezeichneten Buhnen anzulegen, wodurch die nächste Veranlassung aufgehoben wird, welche den Strom vorzugsweise in den linkseitigen Arm hineinwies. Eine plötzliche Umänderung des Bettes, welche der Schifffahrt nachtheilig werden könnte, ist hierbei noch nicht zu erwarten, wohl aber werden diese Bauten schon einigermaassen die Regulirung einleiten. Die dritte von diesen Buhnen könnte, wenn die beiden erstern sich gehörig wirksam zeigen, schon viel leichter construirt werden, da sie später keinem starken Angriffe ausgesetzt bleibt, und selbst die beiden obern einen solchen auch nur während der Dauer des Baues erwarten lassen.

Wenn die erwähnten Anlagen fertig sind, muss man den linken Arm schliessen: wollte man zu diesem Zwecke zunächst

die Buhnen *K* ausführen, so würde die vor dem Kopfe jeder einzelnen entstehende Vertiefung den Zudrang des Wassers in den Arm vermehren, man muss also mit der Coupirung *F* den Anfang machen. Dieselbe sperrt aber den bisherigen Schiffahrtsweg, und wenn der andere Arm nicht hinreichende Wassertiefe hat, so muss gleichzeitig die Ausbaggerung einer Rinne *LM* durch die Sandbank vorgenommen werden, und man kann das hierbei gewonnene Material sogleich sehr vortheilhaft beim Bau der Coupirung und der Buhnen verwenden, falls es sich hierzu überhaupt eignet. Die Coupirung muss so hoch gehalten werden, dass sie den Uebertritt des Wassers und sonach die Strömung in diesem Arme aufhebt, so lange die Buhnen das Wasser abweisen. Man wird sie also in ihrer Mitte eben so hoch halten, wie der Kopf der Buhnen liegt, vorausgesetzt, dass diese wie gewöhnlich einen markirten Kopf haben. Nunmehr bildet sich eine viel stärkere Strömung durch den rechtseitigen Arm und um diese gehörig hineinzuleiten, muss man eilen, die Buhnen *K* zur Ausführung zu bringen. Ist dieses aber geschehn, so muss man zusehn, ob der Strom zunächst unterhalb der Insel sich mehr nach dem rechten, oder dem linken Ufer wendet, und hiervon hängt es ab, ob man zuerst die Buhnen *G* oder die gegenüberliegenden *N* erbaut. Die mit *H* bezeichneten können am spätesten zur Ausführung kommen.

Wenn man dagegen keine Aussicht hat, den Bau in einem Jahr zu beendigen, so wird für das vorliegende Beispiel die Reihenfolge der Arbeiten ziemlich unverändert bleiben. Die Deckung des abbrüchigen Ufers, die Beseitigung des Weidengesträuches auf dem vortretenden Theile der Insel und die Coupirung, muss jedenfalls im ersten Jahre zur Ausführung kommen, weil ohne diese alle übrigen Anlagen ganz erfolglos bleiben und sogar nachtheilig sein würden. Auch die Erbauung der Buhnen *I* kann wesentlich dazu beitragen, dass die Verhältnisse sich schon während des ersten Hochwassers günstiger ausbilden. Man kann aber in diesem Falle auf die Erhöhung des Bettes in dem abzuschliessenden Arme weit vortheilhafter hinwirken, wenn man die Coupirung zunächst niedriger hält, und ihr erst im folgenden Jahr die volle Höhe giebt. Sobald man indessen die Coupirung erbaut, muss auch die Rinne ausgebaggert werden, damit die Schiffahrt keine Unterbrechung leidet: dabei kann es allerdings

geschehn, dass diese Rinne durch das Hochwasser wieder zuge-
worfen wird, und man sonach im nächsten Jahre gezwungen ist,
sie aufs Neue zu eröffnen.

Das Vorstehende bezieht sich nur auf die ersten und wich-
tigsten Anlagen, die bei einer Regulirung vorkommen: zur voll-
ständigen Darstellung der Ufer sind jedesmal noch vielfache
Nebenarbeiten erforderlich, die indessen theils an sich unbede-
utender sind, theils aber, indem sie von zufälligen Umständen
abhängen, nicht speciell im ersten Entwurfe aufgenommen werden
können. Der ausführende Baumeister wird also jedesmal auf die
einzelnen Baustellen sehr aufmerksam bleiben und so oft die Ge-
legenheit dazu sich darbietet, die erforderlichen Vorkehrungen
treffen müssen, um den ganzen beabsichtigten Erfolg möglichst
schnell herbeizuführen. Aber schon während der Ausführung der
Hauptwerke geben sich oft Umstände zu erkennen, die man nicht
vorhersehn konnte. Hierher gehört nicht nur die Veränderung
des Bettes, welche vielleicht in der Zwischenzeit eingetreten ist,
sondern auch die Wirkung, welche die ersten Buhnen sogleich
bei ihrer Ausführung auf den Strom zeigen. In dem Beispiele,
welches die Figur darstellt, ist die Entfernung der Buhnen von
einander geringer angenommen, als sie gewöhnlich zu sein pflegt,
man darf also in diesem Falle nicht besorgen, dass man noch
andere Buhnen dazwischen legen müsse. In der Wirklichkeit
kommt dieser Fall nicht selten vor, und die Nothwendigkeit zur
Vermehrung der Buhnen lässt sich zuweilen schon während der
Ausführung des Baues erkennen, während sie sich in den meisten
Fällen erst später mit Sicherheit herausstellt. Im Allgemeinen
darf man wohl annehmen, dass das Project sich nach einer rich-
tigen und vollständigen Stromcharte und nach den sonstigen an
demselben Strome gemachten Erfahrungen sicherer beurtheilen lässt,
als nach den Erscheinungen, die während des Baues vorkommen,
insofern die letzteren zu sehr durch die Verhältnisse bedingt sind,
die zur Zeit gerade stattfinden, und die sich häufig sehr bald
verändern. Aus diesem Grunde ist es auch gewiss zweckmässig,
dass man das Project, soweit es ohne Unterbrechung zur Aus-
führung kommen soll, vollständig ausarbeitet, mit genauer
Bezeichnung der Stelle, Richtung und Länge aller einzelnen Werke,
und bei der Ausführung ganz genau hiernach verfährt. Nur wenn

eine Störung der Schifffahrt zu besorgen ist, wird eine alsbaldige Abhülfe dringend nöthig: es kommt nämlich zuweilen vor, dass sich vor den Köpfen der Buhnen oder zwischen zwei Buhnen schmale und unregelmässige Rinnen bilden, und zur Seite derselben sehr hohe Bänke sich ablagern, so dass die Schiffer nicht hindurch fahren können. Dieser Uebelstand pflegt zwar beim ersten höhern Wasserstande wieder zu verschwinden, aber da man einen solchen nicht abwarten darf, so muss man in diesem Falle noch andere Anlagen ausführen, die im Projecte nicht vorgesehen waren. Dahin gehört besonders die Aufräumung des Bettes, auch wohl die Erbauung leichter Zwischenwerke, und besonders wirksam pflegen in solchem Falle Flügel oder kurze Parallelwerke zu sein, die man von den Buhnenköpfen stromabwärts zieht. Die Nothwendigkeit solcher nachträglichen Ausführungen tritt indessen nur selten ein, besonders wenn man bereits einige Erfahrungen an demselben Strome gesammelt hat, und die Localverhältnisse, wie sie beim Beginne des Baues stattfinden, im Projecte gehörig berücksichtigt waren.

Anders verhält es sich mit denjenigen kleineren Anlagen, welche behufs der gleichmässigen Ablagerung des Materials später erforderlich werden. Sie kommen erst zur Ausführung, sobald starke Verflächungen in dem abgeschlossenen Theile des Strombettes sich zeigen, welche verbreitet und erhöht und besonders an die Ufer angeschlossen werden müssen. Am nöthigsten ist es, die tieferen Rinnen zu schliessen, welche zwischen diesen Verlandungen und dem Ufer oder den Buhnen noch offen bleiben, und welche jedesmal zeigen, dass daselbst eine stärkere Strömung hindurchgeht. Um diese Strömung zu unterbrechen und die Ablagerung des Materials zu veranlassen, muss man wieder in ähnlicher Weise, wie beim Absperren ganzer Flussarme verfahren. Dieses geschieht, wenn die Tiefe bedeutend ist, durch Werke, welche in ihrer Constructionsart mit den Buhnen übereinstimmen, wiewohl man die Dimensionen in diesem Falle gemeinlich viel geringer annimmt. Wenn indessen das System der Hauptregulirungswerke gehörig angeordnet war, so pflegt die Ablagerung des Materials schon von selbst ziemlich gleichmässig zu erfolgen, so dass die Rinnen nur geringe Tiefe behalten und sich daher viel wohlfeiler und zugleich auch wirksamer durch Flechtzäune

schliessen lassen. Am meisten wird die Verlandung durch das Anpflanzen von Strauch befördert, und man pflegt daher ein solches sogleich vorzunehmen und es immer möglichst weit auszudehnen, sobald der Grund nur die erforderliche Höhe erreicht hat. Man geht indessen mit diesen Pflanzungen oft weiter vor, als es nützlich ist. Es ist schon oben bemerkt worden, dass der Strom die stärkste Verlandung immer in der unmittelbaren Nähe seiner Ufer zu erzeugen pflegt. Dasselbe geschieht auch in diesem Falle; die neuen Ufer bilden sich unmittelbar neben dem Strome in grosser Höhe aus, während der dahinter liegende Theil des ehemaligen Strombettes vielleicht noch gar nicht trocken geworden ist, und eine heftige Strömung sich noch bei jedem Hochwasser darin einstellt. Wenn das Letzte der Fall ist, so pflegt eine unregelmässige Anordnung oder eine unvollständige Unterhaltung der Buhnen daran Schuld zu sein, aber jedenfalls muss man, sobald die Verlandung stellenweise schon über Wasser liegt, darauf hinwirken, dass das fernere Aufwachsen des Bodens möglichst gleichmässig erfolge. Um dasselbe an den tiefen Stellen zu befördern, darf die Verlandung an den höhern Stellen nicht zu schnell vorschreiten. Wenn die letztern dem Strome den Zutritt zu den noch bleibenden Vertiefungen abschliessen, so kann auch keine weitere Verlandung in diesen erfolgen, weil das Wasser, sobald es nur durch ausgedehnte Buschpflanzungen hineintreten kann, schon durch diese in seiner Bewegung so sehr gehemmt wird, dass es nicht nur die gröbern Stoffe, sondern auch Kies und Sand vorher fallen lässt. Man muss sonach bei Ausführung der Flechtzäune und Pflanzungen immer darauf Rücksicht nehmen, dass zur Zeit des höhern Wasserstandes offene Verbindungen zwischen dem Strome und den zu verlandenden Stellen bleiben, und zwar ist es nothwendig, dass diese Verbindungen sogar doppelt sind, damit das Wasser nicht nur bei jeder Anschwellung einmal das Bassin anfüllt, sondern dauernd hindurchströmt und sonach ununterbrochen die schwereren Stoffe darin absetzt. Der Erfolg, den man herbeiführen will, ist nichts anderes, als eine Colmation, und die oben (Theil I. §. 29) dafür angegebenen Regeln finden auch hier ihre Anwendung. Es darf kaum erwähnt werden, dass wenn der Anwuchs des Strauches sich so ausdehnt und eine solche Erhöhung des Bodens neben dem Strome

erzeugt haben sollte, dass dadurch die Colmation der dahinter liegenden Stellen verhindert wird, man nicht nur das Strauch stellenweise beseitigen, sondern vielleicht auch Gräben durch die frischen Verlandungen hindurchziehn muss. Dabei kommt es aber nicht nur darauf an, den hintern Theil des Ufers eben so hoch zu halten, wie derjenige unmittelbar neben dem Strome es ist, sondern jener muss sogar noch höher sein, damit das flach geböschte Ufer sich regelmässig darstellt. In dieser Beziehung ist es durchaus nicht rathsam, die Verlandungen zunächst dem Strome gleich anfangs möglichst zu befördern, dieselben lassen sich ohne Mühe auch später noch darstellen, wogegen die Erhöhung der hintern Uferstrecken viel schwieriger wird, wenn jene sich schon vollständig ausgebildet haben. Die Strauchpflanzungen pflegt man nur so lange zu erhalten, bis der Boden für die Grascultur hoch genug angewachsen ist. Die letztere giebt nicht nur einen grössern Ertrag, sondern sie pflegt auch die starken und unregelmässigen Sandablagerungen zu verhindern, welche das Weidenstrauch immer erzeugt.

Bisher ist vorausgesetzt worden, dass das Gefälle auf längere Stromstrecken vertheilt werden darf, und die Beibehaltung eines sehr starken Gefälles auf einer bestimmten Stelle nicht erforderlich ist. Bei Gebirgsströmen sieht man sich jedoch häufig gezwungen, den Wasserstand oberhalb der zu corrigirenden Strecke in seiner vollen Höhe zu erhalten, oder ihn wohl gar noch mehr zu erheben, um nicht etwa andere Schiffahrtshindernisse wegen mangelnder Fahrtiefe zu erzeugen, welche eben so nachtheilig sein würden, als diejenigen, die man beseitigen will. Wenn vielleicht durch Wehre das Gefälle schon stark concentrirt ist, so müssen daneben besondere Anlagen zur Ausführung kommen, welche das Uebergeln der Schiffe aus dem einen Wasserspiegel in den andern möglich machen. Dieses sind entweder Schiffschleusen, oder Schiffsdurchlässe. Von beiden soll später die Rede sein. Hier sind nur diejenigen Vorrichtungen zu erwähnen, welche den Strom etwas aufstauen, ohne ihn zu sperren.

Der Stau wird erzeugt durch Beschränkung des Profiles, und zwar muss diese, wenn man nicht einen plötzlichen Wassersturz bilden will, auf eine grössere Länge ausgedehnt werden. Die Vermehrung des relativen Gefälles verursacht einen verstärkten

Angriff auf das Bette und die Ufer. Letztere werden durch die Einbaue oder Parallelwerke gebildet, man kann ihnen daher die erforderliche Widerstandsfähigkeit geben. Das Bette dagegen muss an sich fest sein: es muss also entweder aus sehr schwerem Geschiebe oder aus gewachsenem Felsboden bestehn. Nur in seltenen Fällen ist es versucht worden, einen leichten Boden mittelst durchgelegter Steinschwellen vor Vertiefung zu sichern. Wenn man auf leichtem Sandgrunde ohne diese Vorsicht die starke Einschränkung anwenden wollte, so würde in gleicher Weise, wie bei der gewöhnlichen Stromregulirung, eine starke Vertiefung eintreten, welche den Abfluss des Wassers wieder befördert, und dadurch den Zweck der Anlage vereitelt.

Es entsteht zunächst die Frage, welches Gefälle man ohne grosse Unbequemlichkeit oder Gefahr für die Schifffahrt noch einführen darf. Auf Strömen, welche noch nicht regulirt waren, habe ich mehrfach gefunden, dass die Schifffahrt noch keine Unterbrechung fand, wenn das relative Gefälle auch stellenweise 1:600 und selbst 1:500 war. Es muss alsdann aber die Fahrrinne sehr gerade sein, damit das Schiff beim Herabtreiben leicht darin gehalten werden kann, und bei der Bergfahrt tritt die Nothwendigkeit ein, die Schiffszüge zu trennen, und die Fahrzeuge einzeln mittelst des ganzen Vorspannes hindurchzuziehn, oder wenn die Schiffe überhaupt schon einzeln fahren, so wartet das ankommende Schiff unterhalb der Stromschnelle auf ein folgendes, während das andere auf gleiche Weise ihm später folgt. Ohne Zweifel verursacht dieses einen Aufenthalt von mehreren Stunden, und derselbe kann sich noch weit länger ausdehnen, wenn das zweite Schiff nicht sobald nachfolgt. Bei der Regulirung des Stromes müssen solche ungünstige Verhältnisse wo möglich beseitigt werden. Bei einem relativen Gefälle von 1:800 fahren die Schiffe schon mit einfachem Vorspann herauf, doch darf die Stromschnelle nicht gar zu lang sein, weil die Pferde sonst wegen der zu grossen Anstrengung ermüden. Auf eine geringe Länge von etwa 100 Ruthen veranlasst indessen bei dieser Neigung der Zug noch keine besondere Unbequemlichkeit, und es ist nur Bedingung, dass überall die erforderliche Wassertiefe vorhanden, und der Fahrweg nicht scharf gekrümmt sei. Wenn man bei Entwerfung eines solchen Projectes die erforderliche Breite für das Fahrwasser

oder die Einschränkung berechnen will, so ist die mittlere Tiefe, das relative Gefälle und die Wassermenge zur Zeit des kleinsten Wassers bekannt, es fragt sich aber, ob bei einer so starken Strömung noch die Bewegung des Wassers als gleichförmig anzusehn sei und ob man nicht vielmehr eine starke Beschleunigung dafür annehmen müsse. Eine solche würde sich durch eine eben so merkliche Verkleinerung der Profile von oben nach unten zu erkennen geben, die ich bei solchen Stromschnellen indessen nie bemerkt habe. Es steht also der Benutzung jener allgemeinen Formel auch in diesem Falle nichts im Wege, nur ist es zweifelhaft, ob der constante Faktor noch ungefähr eben so gross ausfällt, wie er für sanftere Strömungen gefunden wurde. Genaue Untersuchungen hierüber haben ihre grosse Schwierigkeit, weil bei solchen Stromschnellen das Bett sehr unregelmässig sich auszubilden pflegt: aus manchen beiläufigen Messungen, die hierüber angestellt sind, ergibt es sich aber, dass K sehr viel kleiner, als früher ist, und bis auf die Zahl 60 oder 50 herabzusinken pflegt. Der Grund davon liegt offenbar in den sehr verstärkten innern Bewegungen, die sich auch durch eine auffallende Unebenheit des Wasserspiegels zu erkennen geben.

Die Einschränkung kann entweder durch Parallelwerke oder durch Einbaue bewirkt werden: die erstern sind für den Betrieb der Schiffahrt weit vortheilhafter, als die letztern, und dieses nicht nur desshalb, weil sie beim Herabgehn das Schiff nicht der Gefahr aussetzen, auf die Köpfe der Buhnen aufzustossen, sondern weil sie auch das Gefälle gleichmässiger vertheilen und die Bildung einzelner Wasserstürze verhindern. Hierbei kommt noch ein wesentlicher Umstand in Betracht, der einen ganz entschiedenen Vorzug der Parallelwerke bedingt. Die Buhnen, welche in diesem Falle Rauschbuhnen sein würden, müssten nämlich auf beiden Seiten einander gerade gegenüberstehn, weil sonst ein ganz unregelmässiges Fahrwasser gebildet wird, welches um die Köpfe der Werke herum sich von einer Seite nach der andern schlängelt. Es kann allerdings auch der Fall vorkommen, dass das Fahrwasser längs dem einen Ufer sich hinzieht, und die Buhnen nur auf der andern Seite liegen. Die Schwierigkeit, von der hier die Rede ist, wird dadurch aber keineswegs beseitigt, indem das starke Gefälle sich wieder vor den Köpfen der Buhnen

concentrirt. Man bemerkt vor den Köpfen der Rauschbuhnen auch jedesmal den Wassersturz, während die zwischenliegenden Stromstrecken fast horizontal sind. Wenn sie den beabsichtigten Effect herbeiführen sollen, so müssen sie soweit in den Strom treten, dass das offene Profil zwischen ihnen schon in einem ziemlich kleinen Verhältnisse zum Profil des eingetauchten Theiles des Schiffes steht. Wenn also ein Schiff, welches stromaufwärts gezogen wird, sich zwischen den Rauschbuhnen befindet, so wird es vor den Köpfen derselben das Profil noch mehr beschränken, und dadurch entsteht wieder ein vermehrter Stau vor dem Schiffe. Man kann sich hiervon durch den Augenschein leicht überzeugen: so bemerkte ich an der Lippe in der Nähe der Ruschenburg ohnfern Haltern, wo Anlagen dieser Art ausgeführt sind, dass der Wasserspiegel oberhalb derjenigen Buhnen, bei welchen das Schiff gerade vorbeiging, sich jedesmal etwa um 3 Zoll hob. Sobald das Schiff aber das verengte Profil verlassen hat und die Oeffnung wieder frei wird, so fließt auch sogleich das Wasser stärker ab und der Wasserspiegel senkt sich wieder. Das Schiff gewinnt also nicht die ganze Höhe, auf welche es beim Vorbeigehn vor den Buhnenköpfen wirklich gehoben werden muss, sondern es fällt unmittelbar darauf wieder herab, und diese verlorne Steigung, welche einen übermässigen Kraftaufwand der Leinpfede in Anspruch nimmt, wiederholt sich vor allen Buhnenköpfen. Bei Parallelwerken bildet sich freilich auch an derjenigen Stelle, wo das Schiff sich gerade befindet, jedesmal ein stärkeres Gefälle, indem das Schiff ähnlich einem Kolben das Wasser vor sich aufhält, nichts desto weniger kommen hier keine verlorne Steigungen vor, und die Höhe, die das Schiff gewonnen hat, behält es auch. Ausserdem ist das Gefälle zur Seite eines Parallelwerks nicht auf einzelnen Stellen concentrirt, und sonach fehlt hier der übermässige Widerstand, den das Schiff vor den Köpfen der Rauschbuhnen erleidet.

Liegt die Stromschnelle in einer gekrümmten Strecke, so muss man mit Vermeidung aller scharfen Biegungen an der concaven Seite entweder eine Uferdeckung, oder ein Parallelwerk ausführen, weil hier die Buhnenköpfe für die Schifffahrt gar zu gefährlich sein würden. Bei dem niedrigen Wasserstande, der die Krone des Parallelwerkes nicht erreicht, fahren die Schiffe

vor demselben, wenn es auch mit Steinen gedeckt ist, sehr sicher herab, ohne aufgetrieben zu werden. Bei höherem Wasserstande, wobei der Strom das Werk überfluthet, und das Schiff, indem es der Richtung seiner Bewegung folgt, darauf hingetrieben wird, würde die Gefahr sehr gross werden, wenn nicht in diesem Falle schon eine starke Ausgleichung des Gefälles sich zu zeigen anfangt, wodurch die Strömung, wenn sie auch im Allgemeinen zunimmt, doch gerade hier schwächer wird. In der nächstfolgenden Strecke, also unmittelbar unterhalb der Stromschnelle, hebt sich nämlich der Wasserspiegel wegen der grössern Wassermenge; oberhalb findet diese Erhebung in weit geringerem Maasse statt, weil der Abfluss daselbst durch das stärkere Gefälle erleichtert wird. Die Niveaudifferenz zwischen Ober- und Unterwasser wird daher hier, wie bei einem Wehre, um so geringer, je stärker der Strom anschwillt. In gleichem Maasse vermindert sich auch das Gefälle, wodurch wieder die Geschwindigkeit bedingt ist. Auf diese Art gewährt also ein Parallelwerk vor dem concaven Ufer der Stromschnelle bei kleinem Wasser der Schifffahrt volle Sicherheit, und es pflegt auch bei höherem Wasser nicht gefährlich zu werden. Bei dieser Anordnung kommt aber noch der schon früher erwähnte Umstand in Betracht, dass in den Flusskrümmungen die Geschwindigkeit unter übrigens gleichen Umständen geringer bleibt, als in geraden Strecken, und sonach zur Zeit der stärksten Strömung, also bei kleinem Wasser das Herauffahren erleichtert und das Herabfahren weniger gefährlich wird. Das Herauffahren findet aber ausserdem auch noch einige Erleichterung, wenn der Leinpfad am concaven Ufer sich befindet und sonach der Zug der Leine sich der Richtung des Schiffes nähert. Diese Vortheile darf man indessen nicht durch kurze und scharfe Krümmungen zu erreichen suchen, weil alsdann die Gefahr zu gross wird.

Ueber die Anordnung der Parallelwerke ist schon früher das Nöthige mitgetheilt worden. Von den Rauschbuhnen gilt ungefähr dasselbe, was über die Buhnen im Allgemeinen gesagt ist. Bei beiden muss man bemüht sein, die verbauten Theile des Strombettes zur Verlandung zu bringen, und in dieser Beziehung nicht nur die Werke selbst, sondern auch die spätern Anlagen und Pflanzungen so anordnen, dass dieser Zweck möglichst vollständig und schnell erreicht wird.

Nachdem ich im Vorstehenden die Regeln bezeichnet habe, die bei der Stromregulirung zu befolgen sind, will ich einige hierher gehörige Beispiele von der Weser und Mosel mittheilen.

Fig. 89 auf Taf. XXXIV. zeigt eine Stromstrecke, welche in früherer Zeit der Schifffahrt sehr hinderlich war: das Fahrwasser zóg sich vor der Mündung des Baches hart an das rechte Ufer, und von hier trat wieder eine Sandbank weit in den Strom hinein, während wegen der grossen Verbreitung die nöthige Tiefe fast überall nicht vorhanden war. Durch einige ältere Werke, die vor dem Bache zwar Verlandung erzeugt, aber dessen Mündung auch sehr unregelmässig gemacht hatten, war der Uebelstand wenig gehoben, während vier Buhnen am linken Ufer, die in der Zeichnung durch die Schraffirung markirt sind, nur den Erfolg hatten, dass sie den ferneren Uferabbruch verhinderten. Die durch Linien angegebenen Werke bezeichnen die vor wenig Jahren ausgeführten Anlagen, und zwar sind die Buhnen durch doppelte und die Schlickzäune durch einfache Linien dargestellt. Die erstern mussten an den Stellen ausschliesslich gewählt werden, wo eine grössere Tiefe und ein harter Stromanfall stattfand; wo dieses aber nicht der Fall war, wechseln sie mit den Zäunen ab. Die sämtlichen Werke sind inclinant, mit Ausschluss des einen, welches vor dem Bache liegt. Dieses ist declinant, um die Mündung offen zu erhalten, und es ist etwas heraufgerückt worden, damit diese Mündung sich noch regelmässiger ausbilden kann. Die in der Figur angegebenen Tiefenlinien, die sich auf den gewöhnlichen niedrigen Wasserstand beziehen, stellten sich nach der Ausführung der Regulirung dar, die Schifffahrtsrinne bildete sich also im Zusammenhange und ziemlich in gerader Richtung aus. Es scheint indessen, dass die Einschränkung noch nicht genügt hat, um dieser Rinne die erforderliche Breite zu geben, doch lässt sich dieses noch nicht ganz sicher beurtheilen, indem auf dieser Baustelle die Veränderungen des Bettes besonders langsam vor sich gegangen sind und dieselben noch nicht aufgehört haben. Jedenfalls steht es aber zu erwarten, dass die Verlandungen zwischen den Buhnen den günstigen Erfolg auf das Bette noch verstärken werden.

Fig. 90 *a* ist eine zwar sehr scharfe, aber doch regelmässige Stromkrümme, die Fahrtiefe war in dieser Stelle durchaus genügend

und die Schiffe fanden hier überhaupt kein wesentliches Hinderniss, wenn gleich die starke Strömung besonders vor einzelnen Buhnen die Bergfahrt erschwerte. Eine Regulirung war nur insofern erforderlich, als die Ufer hart angegriffen wurden und zwischen den von einander weit entfernten Buhnen fortwährend ein starker Abbruch sich zeigte. Es hat sich hier der Fall ereignet, der bei kurzen und weit entfernten Buhnen nicht selten vorkommt, dass nämlich beim Zurückweichen des Ufers ein Durchbruch an den Wurzeln der Werke besorgt werden muss, und sonach hier Verstärkungen vorgenommen werden, wodurch nach und nach die Buhnen sich rückwärts verlängern. Fig. 90 *b* zeigt dieselbe Stromstrecke mit denjenigen Anlagen, welche zur vollständigen Deckung des Ufers ausgeführt sind. Die alten Buhnen wurden beibehalten und andere noch dazwischen gelegt, ausserdem wurde das Ufer flach abgeböschet und bepflanzt. Die beiden Figuren stimmen nicht ganz überein, indem die erstere sich auf eine viel frühere Aufnahme bezieht und nach derselben vielfache Aenderungen eingetreten waren, bevor man die Anzahl der Buhnen vermehrte. Das Ufer war im Allgemeinen bedeutend zurückgewichen, und die ursprünglichen Buhnenköpfe hatte der Strom fortgerissen, während man Kronen und Wurzeln der Buhnen nicht nur gehalten, sondern auch landeinwärts verlängert hatte.

Ohnfern der eben beschriebenen Stelle liegt in demselben Strome eine andere Krümmung, welche viel unregelmässiger war und die Schifffahrt wesentlich erschwerte. Sie ist in Fig. 91 dargestellt. Ihre schlechte Beschaffenheit rührte ohne Zweifel von der niedrigen Lage des linken Ufers her, das vom Hochwasser stark überströmt wird. Ausserdem aber waren die Buhnen, welche Fig. 91 *a* zeigt, theils zu weit von einander entfernt, theils auch zu unregelmässig angeordnet, als dass sie einen gehörigen Stromlauf hätten darstellen können. Zu Zeiten und namentlich nach sehr hohen Fluthen erstreckten sich vom linken Ufer aus Sandbänke bis in die Mitte des Bettes und sogar noch weiter gegen das rechte Ufer hin, so dass die Schiffe bei der Thalfahrt gar nicht in dem schmalen und gekrümmten Fahrwasser erhalten werden konnten: besonders wenn der Wind etwas stark war, so war es nicht mehr möglich, sie so zu führen, dass sie weder auf die Sandbänke, noch auf die Buhnen aufliefen. Es geschah daher

gewöhnlich, dass man oberhalb der Krümmung das Anker auswarf, hierauf das Schiff drehte und es langsam am Tau herabtreiben liess. Bei heftigem Winde war aber auch dieses Verfahren erfolglos, und es blieb nichts übrig, als abzuwarten, bis der Wind sich gelegt, oder seine Richtung so verändert hatte, dass die Fahrt sicher geschehn konnte. Dazu kam noch, dass die wenigen Buhnen das Ufer nur sehr unvollständig schützten. Der Abbruch desselben nahm fortwährend zu, wodurch die Buhnen in Gefahr kamen, und eine noch grössere Verwilderung zu erwarten stand. Die Regulirung, welche hier vorgenommen wurde, ist in Fig. 91 b dargestellt: sie bezog sich nur auf das rechte Ufer, woher auch nur dieses hier gezeichnet ist. Durch Anlage von drei neuen Buhnen, und durch Verkürzung der einen schon bestehenden, wurde die obere Bucht gehörig verbaut. Der untere Theil des concaven Ufers liess durch Buhnen keine vollständige Regulirung erwarten, indem das Hochwasser vom linken Ufer her so stark dagegen strömte, dass hier weder eine Verlandung entstehen, noch auch das Ufer der Gefahr des fernern Abbruchs auf diese Art entzogen werden konnte. Man hätte die Buhnen wenigstens sehr nahe neben einander erbauen müssen, wenn sie einen Erfolg versprechen sollten, und hierdurch würden die Kosten des Baues sich eben so hoch gestellt haben, als wenn man unmittelbar eine zusammenhängende Uferdeckung ausführte. Aus diesen Gründen wählte man das Letzte. Das Ufer wurde regulirt, die alten Buhnen fortgebroschen, soweit sie vor der gewählten Uferlinie vortraten, und das 85 Ruthen lange Deckwerk wurde aus Faschinen mit einer Steindecke erbaut. Die Schifffahrt ist durch diese Anlage für alle Wasserstände vollständig gesichert: das Herablassen der Schiffe vor dem Ankertau hörte bei der Beseitigung der langen Buhnen sogleich auf, und gleichzeitig ist dem Abbruch des Ufers begegnet worden. Nur ein Uebelstand ist noch geblieben, und dieser besteht in der starken und oft sehr unregelmässigen Sandablagerung, die vom linken Ufer aus noch immer weit vortreten pflegt, und theils das Fahrwasser beschränkt, theils aber auch die Strömung zur Zeit des kleinen Wassers sehr verstärkt. Eine Begrenzung des linken Ufers durch Einbaue verspricht keine genügende Abhülfe, man müsste vielmehr dafür sorgen, dass das Ufer selbst sich erhöhte oder wenigstens die

heftige Seitenströmung über dasselbe zur Zeit des Hochwassers verhindert würde.

Das nächste Beispiel, welches ich wähle, bezieht sich auf den Fall, dass zwei entgegengesetzte Krümmungen sehr nahe neben einander liegen. Fig. 92 a auf Taf. XXXV. stellt das Strombett dar, wie es zur Zeit der Ausführung der Bauten gestaltet war. Die obern linkseitigen Buhnen hatten bereits längere Zeit bestanden, und wenn sie den Uferabbruch zwischen sich auch nicht vollständig verhinderten, so fanden die Schiffe doch hier kein Hinderniss und das Fahrwasser war hinreichend tief und breit. Unterhalb dieser Buhnen zeigte sich am linken Ufer ein sehr starker Abbruch, und diesem gegenüber wie gewöhnlich eine weit vortretende flache Kiesbank, welche an der Stelle, wo die linkseitige Krümmung in die rechtseitige überging, in eine Spitze auslief. Letztere sperrte den tiefen Stromschlauch, welcher vor Kurzem noch den ganzen Strom aufgenommen hatte und ein bequemes Fahrwasser gewesen war. Die Schiffe mussten demnach, wenn sie herabfuhren, an der linken Seite bleiben, und dicht unterhalb der erwähnten Spitze, wo sich noch die grösste Tiefe vorfand, in einer kurzen Wendung nach dem rechten Ufer gebracht werden. Hier fanden sie in Folge der daselbst seit mehrern Jahren ausgeführten Buhnen wieder ein bequemes Fahrwasser. Die beschriebene Stromstrecke gehört nicht in ihrer ganzen Ausdehnung zu demselben Staate, indem die Landesgrenze durch den Strom gebildet wird. Dieser Umstand ist in andern Fällen für Regulirungsarbeiten immer sehr störend, hier war dieses nicht der Fall, und es erfolgte sehr schnell eine Vereinigung über das ganze Regulirungsproject. Die linkseitigen Buhnen wurden in der Art, wie die Zeichnung sie darstellt, so weit fortgesetzt, dass sie eine regelmässige und flache Krümmung markirten. Vor dem rechten Ufer kamen diejenigen Anlagen zur Ausführung, welche das eigentliche Schiffahrtshinderniss beseitigen sollten, und hierzu diente eine Reihe von inclinanten Werken, welche durch ihre Köpfe eine regelmässige Uferlinie von dem höhern Theile der Kiesbank abwärts bis zu den bereits ausgeführten Buhnen am untern Theile dieser Strecke darstellten. Diese Werke lagen beim kleinen Wasser grossentheils ganz trocken, und sie wurden sehr leicht erbaut. Sie erfüllten ihren Zweck so vollständig, dass im nächsten Sommer

das Strombett vor ihnen diejenige Gestalt angenommen hatte, welche Fig. 92 *b* zeigt. Der alte Stromschlauch war vollständig verlandet und ein sehr regelmässiges Ufer hatte sich gebildet. Ein schmaler Rücken zog sich noch an der Stelle, wo früher die nachtheilige Untiefe gelegen hatte, durch das Bett hindurch, aber er war so tief, dass die Schiffahrt daselbst keine Behinderung und sogar keine Unbequemlichkeit mehr fand.

Fig. 93 zeigt eine Insel, die man schon vor langer Zeit an das linke Ufer durch eine Coupirung angeschlossen hatte, ohne dass jedoch weder durch andere Anlagen die Verlandung des alten Armes befördert, noch auch die Verbreitung des Hauptarmes durch Ausroden des Weidenstrauches auf der Insel möglich gemacht wäre. Das Hochwasser strömte daher noch jedesmal heftig durch den rechten Arm, während das kleine Wasser in derselben Richtung der tiefen Rinne folgte, durch die Coupirung aber aufgehalten und plötzlich links gewendet wurde, wobei es das linke Ufer in heftigen Abbruch versetzte. Eine tiefe Bucht war hier gebildet worden, die man durch ein Parallelwerk sehr unregelmässig abgeschlossen hatte. Der Andrang an das linke Ufer war so stark, und unmittelbar neben demselben die Strömung so heftig, dass von der Insel aus eine Kiesbank sich in den ohnehin schon sehr schmalen Arm noch weit hineinzog und hier eine ganz beispiellose Verengung erzeugte. Nichts desto weniger war das Fahrwasser ziemlich gerade, an Tiefe fehlte es auch nicht, und so wurde Seitens der Schiffer nur über die starke Strömung Klage geführt. Der Strom warf sich dicht unterhalb der Insel wieder an das rechte Ufer, und um dieses zu sichern, hatte man hier fünf Werke sehr unregelmässig erbaut. Wenn diese Stelle auch kein wesentliches Schiffahrtshinderniss enthielt, so war sie doch sehr bedenklich, und ihre Regulirung war schon insofern nothwendig, als ein fortgesetzter Abbruch des linken Ufers nicht nur den Leinpfad bedrohte, sondern ausserdem auch einen verstärkten Uebertritt des Hochwassers besorgen liess. Der Strom wendet sich nämlich gleich unterhalb sehr stark nach der linken Seite, und nur das höhere Terrain unmittelbar neben dem Ufer verhinderte das starke Ueberströmen des Hochwassers, welches hier auf einem viel kürzeren Wege nach dem Scheitel der folgenden Serpentine gelangen kann. Die vorgenommene Regulirung bezog sich darauf,

das scharf gekrümmte linke Ufer durch Buhnen regelmässig zu verbauen und durch andere Buhnen auch das rechte Ufer vor der Insel zur Verlandung zu bringen. Auf der Insel wurde nicht nur das Weidenstrauch bis zu der punktirten Linie ausgerodet, sondern die Insel selbst wurde, soweit sie Strombett werden sollte, bis zum niedrigen Wasserstande abgegraben, und das hier gewonnene Material in den alten Stromarm gestürzt. In letztern legte man zur Beförderung der Verlandung noch eine Reihe von Flechtzäunen. Diese Anlagen haben in sehr kurzer Zeit eine vollständige Umgestaltung des Strombettes ganz in der gewünschten Weise herbeigeführt, so dass nach einem Jahre die frühere Unregelmässigkeit ganz verschwunden war.

Die Stromstrecke, welche in Fig. 94 dargestellt ist, hatte eine übermässige Breite angenommen, und in Folge derselben sich nicht nur stark verflächt, sondern es trat daselbst auch der Uebelstand ein, dass die Schiffe bei kleinem Wasser nicht mehr den linkseitigen Stromarm verfolgen konnten, sondern vielmehr ziemlich nahe am rechten Ufer fahren mussten und dadurch sehr weit von dem Leinpfade entfernt wurden. Vor dem rechten Ufer lagen in der Nähe der Mündung des Baches einige ältere Werke, welche den Abbruch verhindern sollten, der sich hier stellenweise sehr stark zeigte. Die Anlagen, welche zur Beseitigung dieser Uebelstände dienen sollten, bezogen sich eigentlich nur auf die Einschränkung des Bettes. Das concave Ufer musste eine regelmässige Krümmung erhalten, und namentlich war es nothwendig, die kurze und tiefe Bucht in demselben abzuschliessen. Dieses geschah durch inclinante Buhnen, zwischen denen jedoch die eine vor der Mündung des Baches declinant angelegt wurde. Die linkseitige Uferlinie bestimmte sich alsdann nach der rechtseitigen. Ein Anschluss an die Insel, sowie auch das Ausroden des Weidengebüsches auf derselben war nothwendig, und eine lange Reihe von inclinanten Buhnen kam vor dem convexen Ufer zur Ausführung, wodurch die eigentliche Beschränkung des Strombettes hervorgebracht wurde. Da diese letzten Werke sämmtlich einem starken Angriffe nicht ausgesetzt waren, so konnten sie grossentheils sehr leicht erbaut werden. Zur Zeit der Ausführung derselben trat ein niedriger Wasserstand ein, und dieser wurde benutzt, um die Insel recht tief abzugraben, während das gewonnene

Material sogleich in den alten Stromarm verkarrt wurde. Die Erdarbeiten stellten sich dadurch bedeutend höher, als es nöthig gewesen wäre, aber dafür verschwand auch sogleich alle Besorgniß wegen eines starken Stromandranges an das linke Ufer, und es durften selbst diejenigen Werke, welche nach dem ursprünglichen Projecte in grösserer Tiefe angelegt werden sollten, nachdem der tiefe Schlauch verschüttet war, eine weit geringere Höhe und überhaupt viel schwächere Dimensionen erhalten. Die Mehrkosten der Erdarbeit wurden dadurch vollständig ausgeglichen, und man erreichte dabei noch den Vortheil, dass die Verhältnisse in Betreff des Leinenzuges sich sogleich viel günstiger gestalteten.

Fig. 95 auf Taf. XXXVI. zeigt eine Stromstrecke, welche bisher bei kleinem Wasser für die Schifffahrt sehr gefährlich war. Eine Felsenbank streicht hier durch das Bette und bildet in der Zeit, wenn das Unterwasser sehr niedrig steht, eine starke Stromschnelle. Die in der Oberfläche des Felsens eingeschnittenen Rinnen sind nicht nur sehr unregelmässig, sondern es fehlte ihnen auch die erforderliche Tiefe, und ausserdem verhinderte die heftige Strömung ein genaues Innehalten derselben. Daher geschah es, dass bei sehr kleinem Wasser die Schifffahrt hier ganz unterbrochen werden musste, und bei etwas höherem Wasserstande sehr häufig Unglücksfälle vorkamen. Nach der Lage der einzelnen vortretenden Klippen zog sich die tiefste Rinne, welche zum Durchfahren der Schiffe auch immer benutzt war, ziemlich schräge vom linken Ufer nach dem rechten herüber. Dadurch entstand ein heftiger Andrang des Wassers von der rechten Seite her, der die Schiffe gegen das linke Ufer und die davor liegenden Klippen trieb. Diesem Uebelstande, der besonders gefährlich war, konnte weder durch Einbaue, noch auch durch gehörige Verbreitung und Regulirung dieser Rinne vorgebeugt werden. Nachdem man die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass der gewachsene Felsen unter dem linken flachen Ufer noch höher als im Strombette lag, und sonach eine Verlegung des letztern oder ein Durchstich nicht günstigere Verhältnisse erwarten liess, so machte man den Anfang damit, die bisherige Schifffahrtsrinne durch Aussprengen zu verbreiten und ihr die erforderliche Tiefe zu geben, während durch die Anlage von drei Bühnen am linken Ufer oberhalb der Felsenbank der Strom gehörig in diese Rinne hingewiesen wurde.

Die Sprengungsarbeiten konnten indessen wegen der häufigen Unterbrechungen, die sie durch die Schifffahrt erfuhren, nur sehr langsam fortschreiten, und sonach blieb diese Stelle weit hinter den übrigen Regulirungsarbeiten an demselben Strome zurück. Dieser Umstand gab die nächste Veranlassung, andere Maassregeln zu ergreifen, wodurch eine schleunige Abhülfe möglich wurde. Dazu kam aber noch die Erfahrung, dass die bereits erwähnte Seitenströmung das Herabfahren der Schiffe immer sehr gefährlich machen würde, so lange das linke Ufer nicht bis zur Rinne regelmässig ausgebildet worden wäre. Hiernach wurde das Project in der Art entworfen, wie die Zeichnung es darstellt. Die Fahr- rinne wurde an ihrer linken Seite, soweit diese concav ist, durch ein Parallelwerk mit gehörigen Anschlüssen an das Ufer eingefasst. Ausserdem aber musste das hier stattfindende sehr starke Gefälle durch eine stromabwärts fortgesetzte Einschränkung auf eine grössere Länge vertheilt, und dadurch das relative Gefälle und somit auch die Strömung gemässigt werden. Das Gefälle beträgt bei kleinem Wasser etwa $2\frac{1}{2}$ Fuss, und dieses lag früher in einer Strecke, die nur etwa 100 Ruthen lang war. Seit der Ausführung des Baues hat dasselbe sich beinahe auf die doppelte Länge ziemlich gleichmässig vertheilt. Die untern Buhnen sind in diesem Falle nichts anderes, als Rauschbuhnen, und es war eine nach- theilige Vertiefung des Bettes zwischen denselben zu besorgen. Eine solche ist bis jetzt noch nicht erfolgt, weil der Boden aus einer festen Ablagerung von sehr grobem Kiese besteht, nichts desto weniger sind die Vorkehrungen dazu bereits getroffen, dass man sogleich mehrere Steinschwellen durch das Bette legen kann, sobald dasselbe sich soweit vertieft haben wird, dass die Anlage dieser Werke ohne Störung der Schifffahrt möglich ist. Bei Auf- stellung des Projectes war man von der Absicht ausgegangen, die Einschränkung nur unterhalb der Felsbank eintreten zu lassen, um in dem Unterwasser des natürlichen Wehrs Stau hervorzu- bringen, das Oberwasser desselben dagegen möglichst in weitem Profile zu erhalten, damit die Strömung hier gering bleibt, und die Zugpferde, sobald sie das Schiff über die Felsen gezogen haben, nur wenig angestrengt werden dürfen. Zu diesem Zweck waren die rechtseitigen Buhnen, welche die Zeichnung darstellt, Anfangs nicht so vollständig zur Ausführung gekommen, und

namentlich fehlten diejenigen, welche dem Parallelwerk gegenüber liegen. Es hat sich indessen in Folge dieser Unterbrechung des Buhnen-Systems eine starke Strömung vor dem rechten Ufer gezeigt, welche gegen das untere Ende des Parallelwerkes in die Fahrrinne trat, und namentlich bei etwas höherem Wasser die Schiffe gegen die Buhnenköpfe trieb. Dieser Umstand war Veranlassung, dass das Buhnen-system auch vor dem rechten Ufer vervollständiget werden musste. Durch den beschriebenen Bau ist die sonst stattfindende Gefahr und Beschwerlichkeit dieser Stelle beseitigt, obgleich die Aussprengung der Rinne noch nicht ganz beendigt ist. Die Schiffe fahren bei kleinem Wasser sehr sicher und sogar bequem herab, indem der Strom selbst sie in das Fahrwasser hineinweist, und auch bei höherem Wasserstande, wobei das Parallelwerk und die Köpfe der Anschlusswerke und Buhnen einen halben Fuss hoch unter Wasser lagen, zeigte ein Versuch, dass ein Nachen ohne alle äussere Beihülfe schon durch den Strom in der Rinne gehalten wurde, und ohne irgendwo den Werken zu nahe zu kommen in dem eigentlichen Fahrwasser herabtrieb. Bei der Bergfahrt verursacht die starke Strömung allerdings einen heftigen Widerstand, und die Zugpferde müssen weit mehr, als auf den andern bereits regulirten Stellen desselben Stroms angestrengt werden, nichts desto weniger haben sich die Verhältnisse doch auch in dieser Beziehung wesentlich verbessert, denn der Zug ist jetzt viel weniger scharf, als er es früher war. Endlich muss hierbei noch erwähnt werden, dass für das Parallelwerk eine solche Constructionsart gewählt worden ist, und vorläufig auch wohl gewählt werden musste, welche bei einem etwanigen Aufstossen der Schiffe für diese keine Gefahr besorgen lässt. Das Werk besteht nämlich aus Faschinen, und zwar hat es an der Seite, welche der Fahrrinne zugekehrt ist, eine sehr steile Dossirung erhalten, indem die Sturzenden der Faschinen nach aussen gekehrt sind. Auf der Krone ist ein Steinpflaster angebracht, doch kann dasselbe die Beschädigungen an der äussern Seite nicht verhindern, und so muss man wohl darauf gefasst sein, dass vielfache Reparaturen zur Erhaltung dieses Baues erforderlich sein werden. Es steht indessen zu erwarten, dass der abgeschlossene Theil des Strombettes hinter dem Parallelwerke mit der Zeit zur Verlandung kommen wird, und sobald dieses geschehn ist, hindert

nichts eine höhere und vollständiger gesicherte Einfassung hier auszuführen, bei welcher man nach den bereits gemachten Erfahrungen kein Aufstossen der Schiffe mehr besorgen darf, wenn sie auch mit der für ihre Erhaltung notwendigen Dossirung versehen wird.

Von den starken Materialablagerungen vor den Mündungen der Bäche und Nebenflüsse ist schon früher die Rede gewesen. Fig. 96 zeigt ein auffallendes Beispiel dieser Art. Im rechten Ufer mündet hier ein Bach, der mit sehr starkem Gefälle aus dem Gebirge in das Stromthal tritt: alles schwerere Geschiebe, welches er mit sich führte, warf er unmittelbar vor seiner Mündung nieder, und drängte den Strom so weit an das andere Ufer, dass hier nicht nur der Thalrand ganz verschwunden war und der Fuss des steilen Ufers unmittelbar das Strombett begrenzte, sondern ausserdem war das Bett auch durch die von der andern Seite eintretende Kiesbank so sehr beengt, dass eine sehr heftige Stromschnelle sich bei kleinem Wasser hier bildete, welche für die Bergfahrt sehr beschwerlich und für die Thalfahrt nicht ganz gefahrlos war. Demnächst mache ich noch darauf aufmerksam, wie hier die Mündung des Baches bei kleinem Wasser stromaufwärts gerichtet war, indem das Geschiebe, das vorzugsweise bei hohem Wasserstande herabkommt, auf der untern Seite oder in der Richtung der alsdann stattfindenden Strömung sich vorzugsweise ablageret. Bei Regulirung dieser Stelle kam es besonders darauf an, dem Bache eine gehörige Mündung zu geben, damit das Geschiebe, sobald es in das Strombette tritt, sogleich vom Strome gefasst und fortgeführt wird. Zu diesem Zwecke wurde das neue stromabwärts gekehrte Bachbett eröffnet, und das aus demselben ausgehobene schwere Material zur Bildung eines Dammes benutzt, der ein Separationswerk zwischen dem Strom und Bach darstellt. Gewöhnlich muss ein solches Werk mit schweren Steinen sorgfältig abgepflastert werden, damit es nicht leicht durchbrochen werden kann. Auf der andern Seite des Stromes wurde die Bucht durch einige Buhnen verbaut, und diese veranlassten sehr bald einen starken Angriff der Kiesbank, so dass das Strombett in kurzer Zeit sich ansehnlich verbreitete und die heftige Strömung aufhörte.

Endlich habe ich in Fig. 97 noch eine Stromstrecke dargestellt, in welcher die Regulirung nicht sowohl vollständig durch-

geführt, als vielmehr nur eingeleitet ist. Es trat hier die Nothwendigkeit ein, den Leinpfad auf die Inseln zu verlegen, weil er sonst vom Fahrwasser zu weit entfernt geblieben wäre. Die Leinpfadsdämme sind zugleich Coupirungen der Stromarme. An dem obern derselben ist der Anschluss in Form der inclinanten Buhne angebracht, um das dahinter liegende Ufer dem Angriffe zu entziehn. Die untere Insel, welche vom Leinpfade nicht berührt wird, konnte durch Coupirungen angeschlossen werden, die normal gegen den Stromarm gerichtet sind: sie durften auch in einer geringern Höhe als die Leinpfadsdämme gehalten werden. An den obern Mündungen der abzuschliessenden Arme sind einige inclinante Buhnen angebracht, um den Strom gehörig in den Hauptarm herüber zu leiten. Die Buhnen an der untern Mündung der Stromarme, sowie auch andere Anlagen, die zur Bildung regelmässiger Uferlinien dienen, sind vorläufig noch nicht ausgeführt, indem man zunächst nur den Strom in einem einzigen Arme vereinigen und die Nebenarme schwächen und etwas zur Verlandung bringen wollte. Nachdem dieses geschehn, wird es erst möglich sein, mit Sicherheit zu beurtheilen, was noch ferner zu thun sei.

Indem von der Anordnung der Stromregulirungswerke die Rede ist, müssen noch die vielfachen Collisionen erwähnt werden, in welche der Baumeister bei solchen Anlagen sehr häufig mit Privatleuten verwickelt wird. Es ist bereits angeführt worden, dass zuweilen in Folge der Regulirungswerke stellenweise der Uferangriff sich vergrössert: man geht alsdann wohl immer von dem Grundsatz aus, dass solche Uferdeckungen zum Regulirungsbau selbst gehören und im Projecte enthalten sein müssen. Wenn aber einzelne Uferstücke oder Theile von Inseln vor die neuen Uferlinien vortreten, und also durch den Strom fortgerissen werden, so wird der Werth dieser Flächen nach einer gütlichen Vereinigung oder nach einer gerichtlichen Abschätzung dem Besitzer bezahlt. Wie sehr indessen hierdurch auch für das Privat-Interesse gesorgt ist, so kommen dennoch sehr häufig Reclamationen gegen den Staat vor, und die übertriebensten Entschädigungsforderungen werden erhoben, indem man es nicht selten versucht, alle Uferbrüche in der Nähe als Folgen der Regulirung darzustellen. Es geschieht dieses auch in solchen Fällen, wo die Erfahrung

zeigt, dass der Angriff des Stromes nach der Ausführung der Bauten viel schwächer geworden ist, als er es früher war.

Die Klagen beziehen sich ausserdem auf andere Gegenstände; so z. B. wird es nicht selten als unersetzlicher Verlust bezeichnet, wenn eine Stelle in Strombette zur Verlandung kommt; worin früher Flachs geröthet, oder die Wäsche der Schafe vorgenommen wurde, oder wo vielleicht eine Gondel zu liegen pflegte. Noch stärker wird geklagt, wenn eine flache Stelle aus dem Strome entfernt wird, durch welche bisher bei kleinem Wasser durchgefahren oder das Vieh hindurchgetrieben wurde. Dasselbe geschieht, wenn die Fischerei einige Störung erleidet. Es ist mir sogar der Fall vorgekommen, dass man die frühern Untiefen im Strombette heibehalten wollte, um die Kähne mit kurzen Stangen überschieben zu können, und um nicht gezwungen zu sein, hierzu längere Stangen zu gebrauchen oder zu rudern. Wie übertrieben solche Beschwerden auch immer sein mögen, so liegt denselben doch wirklich ein gewisser Nachtheil oder eine geringe Unbequemlichkeit zum Grunde. Bei vielen Klagen ist aber selbst dieses nicht der Fall, sie werden vielmehr allein durch Vermuthungen hervorgerufen, und wenn die letztern auch ganz unwahrscheinlich sind und sich durch nichts begründen, so bleiben die Beschwerden dennoch nicht weniger unangenehm.

Die härtesten Collisionen pflegen indessen mit den Schiffern einzutreten. Der Baumeister muss die Anordnungen immer so treffen, dass die Schifffahrt nie gänzlich gesperrt wird, er kann es aber zuweilen nicht vermeiden, dass während des Baues oder auch noch einige Zeit hindurch nach demselben manche Unbequemlichkeiten bleiben, die früher nicht bestanden, und welche nur vergehn, wenn das Bette sich nach und nach umgestaltet hat. Dieser Fall ist ungefähr eben derselbe, der sich bei jeder grössern Reparatur und bei jedem Umbau einer Strasse zu wiederholen pflegt. Die Fuhrleute ertragen indessen den vorübergehenden Uebelstand, weil sie sehn, dass die neue und viel bequemere Strasse erbaut wird. Bei den Stromregulirungen werden indessen die gewünschten Verhältnisse nicht unmittelbar dargestellt, man sucht sie vielmehr mittelbar herbeizuführen. Hiervon kann sich der Schiffer keinen Begriff machen. Alle Erfahrungen, die der Baumeister selbst gemacht hat, und alle fremden Erfahrungen, die er bei der Anlage

benutzt, sind dem Schiffer unbekannt; er hegt grosses Misstrauen gegen den Bau, weil er denselben nicht begreift. Er hat gemeinhin auch ganz andere Ideen über die Stromregulirung, und namentlich will er nur solche Mittel im Grossen angewendet sehn, womit er selbst sich zu helfen gewohnt ist, so oft er sein Schiff festgefahren hat. Seine eignen Erfahrungen in dieser Art der Praxis sind nach seiner Meinung für die Verbesserung des Fahrwassers unentbehrlich, und oft ist es seine Absicht, dieselben bei dieser Gelegenheit für einen hohen Preis zu verkaufen. Sobald er sich hierin getäuscht sieht, und erfährt, dass vielleicht aus entfernten Gegenden ein Baumeister kommt und die Projecte zur Regulirung angiebt, so werden die Eigenthümlichkeiten des Stromes, die nach seiner Ansicht kein Fremder kennen kann, schon als Beweis für das Missglücken des Unternehmens angeführt. Diese angeblichen Eigenthümlichkeiten, die der Schiffer allein zu kennen glaubt, sind indessen jedesmal nichts weiter, als die hohen Anschwellungen in Verbindung mit starker Strömung und die verheerenden Eisgänge. Wenn endlich der Bau beginnt, so wird von jedem einzelnen Werke mit aller Bestimmtheit die Versicherung abgegeben, dass es im nächsten Winter zerstört werden wird. Eine solche Behauptung von Personen, die den Strom genau kennen, erregt schon grosses Bedenken. Wenn der Schiffer aber vollends bemerkt, dass ein Fahrwasser, durch welches er bisher sehr bequem durchtreiben konnte, geschlossen und dafür eine schmale Rinne eröffnet wird, in welche er mit grosser Vorsicht sein Schiff hinführen muss, oder welche er bei der gewöhnlichen Länge der Zugleine gar nicht erreichen kann, alsdann erwartet den Baumeister eine harte Prüfung. Während er die Freude hat, zu bemerken, dass die Anlagen ganz in gewünschter Weise wirken, dass der neue Strömschlauch sich regelmässig umgestaltet und die Ufer eben so regelmässig sich ausbilden, geschieht es wohl, dass er nur von verfehlten Anlagen sprechen hört, und er nicht nur die Einstellung der Arbeiten, sondern wohl gar die Beseitigung alles dessen besorgen muss, was er ausgeführt hat.

In England werden die Projecte zu grossen Anlagen vor einer Commission des Hauses der Gemeinen discutirt: die betreffenden Verhandlungen, die später im Druck erscheinen, stellen die Motive der Projecte und ebenso die dagegen erhobenen Bedenken gemeinhin

sehr deutlich dar. Der Chairman, der mit dem Gegenstande genau bekannt ist, befragt die Zeugen mit grosser Bestimmtheit und so ausführlich, dass die Commission über die vorgetragene Ansichten sich ein Urtheil bilden kann. Die Fragen, sowie die Antworten werden wörtlich niedergeschrieben, und dadurch wird es jedem dabei Betheiligten möglich, den Grund oder Ungrund aller Behauptungen genau kennen zu lernen. Wenn die Humanität es auch verbietet, den unkundigen Schwätzer oder den Quärlanten *ad absurdum* zu führen, so werden die Fragen doch immer soweit fortgesetzt, dass das Sachverhältniss sich möglichst klar herausstellt. Dieses Verfahren gewährt dem Publikum, sowie allen dabei Betheiligten, und in gleichem Maasse auch dem Baumeister selbst, eine grosse Beruhigung: er wird vor Misstrauen und Verdächtigung sicher gestellt.

Wo solche Verhältnisse nicht bestehn, bleibt dem Baumeister nichts übrig, als es zu versuchen, durch persönliche Berührungen Zutrauen zu erwecken. Für den vorliegenden Fall muss er mit den Schiffen sich in Verbindung setzen, ein freundliches Entgegenkommen hat er von denselben, und namentlich wenn in der Gegend noch keine Stromregulirungen ausgeführt sind, nicht leicht zu erwarten, aber das Vertrauen, welches er zeigt, wird doch in der Regel erwidert, und wenn es ihm gelingt, einigen Schiffen die Verhältnisse klar zu machen und sie zu überzeugen, dass ihre Ansichten nicht unbedingt anwendbar sind, so ist seine Stellung schon um Vieles gebessert. Der besonnene und überlegte Mann geniesst in der Regel das Zutrauen seiner Kameraden, und dieser ist es gerade, welchen man am leichtesten überzeugen kann. Die Erfahrungen und die Localkenntniss des Schiffers sind aber dem Baumeister bei einer Stromregulirung in vielen Fällen ganz unentbehrlich, und ein grosser Theil der Schiffahrtshindernisse, namentlich einzelne Steine u. dergl., bleiben ihm lange unbekannt, wenn der Schiffer sie ihm nicht bezeichnet. Er hat also einen zweiten wesentlichen und unmittelbaren Nutzen davon, wenn er in freundliche Verhältnisse mit diesem tritt. Andererseits hat der Schiffer, der gewöhnlich den Strom befährt, auch unzweifelhaften Anspruch auf eine besondere Berücksichtigung seines Interesses, vorausgesetzt, dass der Strom behufs Verbesserung der Schiffahrt regulirt wird. Es wäre also ungerecht, wenn man ihn gar nicht hören wollte.

Zuweilen wird ein freundliches Vernehmen mit den Schiffern dadurch gestört, dass sie beim Gelingen der beabsichtigten Stromregulirung manche Nachteile und besonders die Concurrenz mit fremden Schiffern befürchten. Dieses war z. B. bei einem Strome der Fall, der zum Gebiete des Rheins gehört: die Schiffer, welche bisher allein hier gefahren hatten, verlangten Anfangs, dass die Durchfahrtsöffnung unter einer Brücke nicht erweitert werden solle, weil, wie sie ausdrücklich angaben, sonst auch die grössern Schiffe von andern Strömen heraufkommen würden. Dieser Antrag wurde natürlich zurückgewiesen, indem die ganze Anlage gerade die Erleichterung des Verkehrs zum Zweck hatte. Darauf versuchte man die Arbeiten in anderer Art zu hintertreiben: in einer Beschwerdeschrift wurden nicht nur die Störungen, welche die Schifffahrt durch den Bau erlitten haben sollte, ganz übertrieben dargestellt, sondern auch behauptet, dass die in Anwendung gebrachte Bauart ganz zweckwidrig sei, wofür man eine andere, nämlich die Parallelwerke wählen müsse. Es ist eine ganz gewöhnliche Ansicht, dass der praktische Sinn den Gegensatz der Theorie bildet: der Schiffer auf einem kleinen Strome, den gewiss Niemand für einen Theoretiker halten wird, erscheint desshalb als ein grosser Praktiker, und je weniger er von Strombauten bisher gesehen und gehört hat, um so unbefangener und treffender kann er sie beurtheilen. Glücklicher Weise waren mehrere sehr üble Stellen auf demselben Strome bereits so vollständig regulirt, dass die Zweckmässigkeit der Anlagen ganz unzweifelhaft war.

Ein andrer Grund, weshalb die Schiffer das Fortbestehn der Hindernisse und Gefahren zuweilen wünschen, liegt darin, dass ihre genaue Localkenntniss und ihre Uebung im Ausweichen dieser Hindernisse durch die Stromregulirung sehr entbehrlich wird, und sie den zuweilen übermässigen Gewinn verlieren, den sie bei frequenter Schifffahrt bisher daraus zogen. Dieser Fall trat bei dem eben erwähnten Strome gleichfalls ein. Bei einem andern Strome, der auch zum Gebiete des Rheins gehört, protestirte ein Schiffer gegen die beabsichtigte Regulirung, weil dadurch, wie er sich ausdrückte, die edle Kunst des Schiffers ganz aufhören und jeder Bauer in Zukunft fahren würde. Die Aeusserung war allerdings nicht ganz ungegründet, denn eine ähnliche Geschicklichkeit und Kraftanstrengung, wie hier an einzelnen Stellen erforderlich

war, verlangt die Befahrung keines andern Strömes, soviel mir deren bekannt sind: während nämlich die beladenen Schiffe mit der grössten Schnelligkeit durch die Oeffnungen in den Wehren herabgetrieben werden, muss deren Richtung verändert werden, und dieses geschieht, indem drei Mann die Schiffshacken in einzelne Pfähle einsetzen und während eines Momentes mit voller Körperkraft das Schiff abstossen.

Die Aussicht auf grössern Gewinn pflegt indessen bald Veranlassung zu geben, dass Einzelne unter den Schiffern sich von der übrigen Zunft trennen: sie sehn die Möglichkeit ein, aus der Verbesserung des Fahrwassers Vortheil zu ziehn, besonders wenn sie den Uebrigen zuvorkommen und ihren Betrieb so einrichten, dass sie die günstign Verhältnisse möglichst bald und möglichst vollständig benutzen. Auf diese Männer muss der Baumeister besonders Rücksicht nehmen: sie haben kein anderes Interesse, als dasjenige, welches eben befördert werden soll, und sobald sie nur an einigen Beispielen sehn, dass die Anlagen vortheilhaft wirken, so vertreten sie gleich den Baumeister sehr kräftig bei ihren Kameraden, und unterstützen ihn zugleich wesentlich, indem sie ihn auf alle Umstände aufmerksam machen, welche die Schifffahrt betreffen, und die er selbst zum Theil wenigstens nicht so leicht bemerken kann. Für die Regulirung der Weser hat sich ein Schiffer auf diese Weise höchst verdient gemacht.

Ich habe diese Verhältnisse berührt, um die Baumeister darauf aufmerksam zu machen, wie sehr es im Interesse der Sache und nicht minder in ihrem eignen liegt, bei Stromregulirungen mit den Schiffern in freundliches Vernehmen zu treten. Manche Unannehmlichkeit in dieser Beziehung wird allein dadurch hervorgerufen, dass der Schiffer nicht gehört wurde, und er erhebt gemeinhin die Beschwerden nicht früher, als bis er sich überzeugt glaubt, dass der Baumeister seine Klagen und Wünsche nicht berücksichtigen will.

§. 74.

Stein-Constructionen.

Es ergibt sich aus dem Vorstehenden, dass die Stromregulirungswerke einem starken Angriffe durch das Wasser ausgesetzt sind, und dass sie ausserdem in den meisten Fällen auch

durch die Vertiefung bedroht werden, welche neben ihnen und besonders vor den vorspringenden Köpfen sich leicht bildet. Eine vollständig gesicherte Fundirung, wie sie bei andern Bauten üblich ist, kann man hier nicht anwenden, weil eine solche gar zu kostbar ausfallen würde. Es bleibt also nichts übrig, als die Construction so zu wählen, dass bei der eintretenden Vertiefung das Werk sich theilweise senken kann, ohne in seinem Zusammenhange gelöst oder gebrochen zu werden. Fest verbundene Holz-Constructionen und ebenso auch vollständige Mauerwerke sind hiernach bei Stromregulirungsbauten in der Regel nicht anwendbar. Dagegen empfiehlt sich ein solches Material, welches auch in grossen Massen verbunden dennoch biegsam bleibt und auf jede unregelmässige Oberfläche sich genau schliessend auflegt. In dieser Beziehung zeichnet sich das Strauch besonders aus; die einzelnen Reiser legen sich in einander und bilden dadurch eine innige Verbindung, die noch durch andere Mittel so verstärkt werden kann, dass es schwer ist, einzelne Theile davon loszureissen. Nichts desto weniger behält der ganze Körper seine Biegsamkeit, und wo unter ihm ein hohler Raum entsteht, sinkt er herab. Dadurch verhindert er es sehr sicher, dass merkliche Strömungen sich unter ihm hindurchziehen können, welche ohnfelbar nachtheilige Folgen haben würden.

Etwas Aehnliches lässt sich auch bei Stein-Constructionen erreichen: der Unterschied einer solchen gegen den aus Strauch gebildeten Körper beruht darin, dass die Steine ganz lose über und neben einander liegen und gar keine Verbindung zwischen ihnen besteht. Sie werden dadurch der Gefahr ausgesetzt, vom Strome fortgetrieben zu werden, aber es ist schon wiederholentlich darauf hingewiesen worden, dass ein Stein um so mehr Widerstand dem Strome entgegensetzt, je grösser er ist; denn der Widerstand ist seinem Gewichte oder der dritten Potenz des Durchmessers proportional, der Druck, den er vom strömenden Wasser erfährt, aber nur seinem grössten Querschnitt, oder der zweiten Potenz des Durchmessers. Man kann also dem Mangel an Festigkeit, der aus der fehlenden Verbindung der einzelnen Theile entspringt, dadurch entgegenwirken, dass man recht grosse Steine wählt, oder wenn solche nicht zu haben sind, lassen sich auch kleinere Steine durch eine gemeinsame Umschliessung zu grössern

Massen verbinden. Ein anderes Mittel zur Vermehrung des Widerstandes besteht darin, dass man Steine von besonders grossem specifischen Gewichte wählt. In dieser Beziehung zeichnet sich der Basalt vor Sandstein, Thonschiefer und andern sehr vortheilhaft aus.

In allen diesen Fällen liegen die einzelnen Steine oder deren Verbindungen nur lose auf einander, sobald daher eine Vertiefung unter ihnen eintritt, oder wegen der starken Vertiefung neben der Basis des Werkes sie nicht gehörig unterstützt sein sollten, so sinken sie gleich von selbst herab und nehmen wieder eine gesicherte Lage an. Eine Unterspülung ist daher auch bei ihnen unmöglich. Wenn man indessen bei ganzen Werken oder einzelnen Theilen derselben ein starkes Nachsinken nicht erwarten darf, und sonach diejenigen Steine, welche im Innern liegen, vor dem unmittelbaren Angriff des Stromes gesichert sind, so kann man hier auch ein leichteres Material verwenden, und es ist nur nöthig, dasselbe mit einer Decke aus schweren Steinen zu versehen. Dieses ist vorzugsweise in der obern Fläche oder in der Krone der Werke erforderlich, wo der Angriff des Eises am stärksten ist. Es ist indessen klar, dass selbst sehr grosse und schwere Steine, wenn eine Scholle sie fasst, leicht aus ihrem Lager gehoben und fortgerissen werden. Es liegt daher ein grosser Vortheil darin, wenn man die Krone und selbst die Dossirungen, soweit der Wasserstand es erlaubt, mit einem möglichst ebenen und gut geschlossnen Steinpflaster umgiebt. Man darf indessen nicht vergessen, dass die Pflastersteine nur so lange in ihrer geschlossnen Lage bleiben, als die Unterlage, auf der sie ruhen, nicht ausweicht. Wenn diese aus feinem Material besteht, welches von dem hindurchdringenden Wasser mit fortgerissen werden kann, so zeigen sich bald Senkungen im Pflaster, welche besonders bei Einbauen höchst gefährlich sind, indem der überstürzende Strom an solchen Stellen sich sehr verstärkt und daher einen um so heftigern Angriff auf die schon schadhafte Steindecke ausübt. Die Pflastersteine verlieren ausserdem bei der eintretenden Senkung ihre regelmässige und geschlossne Lage, sie werden daher um so leichter von dem darüber treibenden Eise, auch wohl von dem Strome gefasst und herabgerollt. Dieser Uebelstand nimmt fortwährend zu und veranlasst immer neue Beschädigungen, so dass die Füllung bald den Schutz der Steindecke ganz verliert. Man

muss aber besonders bei heftiger Strömung immer darauf gefasst sein, dass stellenweise eine Beschädigung im Pflaster eintreten kann, und hiernach dürfte es wohl als ganz unstatthaft erscheinen, wenn man Stromregulirungswerke und namentlich Einbaue aus leichtem Material, nämlich aus Sand und feinem Kies oder wohl gar aus Erde, aufschütten und nur durch ein Pflaster decken wollte. Es fehlt nicht an Beispielen, welche zeigen, dass solche Bauten, ohne dass sie vorher eine Beschädigung bemerken liessen, bei einem einzigen Hochwasser durchbrochen und sogar vollständig zerstört wurden. Wenn nämlich an einer Stelle der Durchbruch entstanden ist, und ein heftiger Strom hindurchgeht, so ist es klar, dass die Wirkung desselben auf die angrenzenden und nicht geschützten Theile des Werkes sehr zerstörend ausfallen muss.

Der einfachste Fall für die Anwendung der Stein-Construction bei Stromregulirungen ist die Anbringung einer Steinschüttung vor den in Abbruch stehenden Ufern. Kommt es nur darauf an, eine feste Decke zu bilden, so ist es gewiss vortheilhaft, nur ein gleichmässiges Material dazu zu verwenden. Es würde allerdings zur sicherern Unterstützung der einzelnen Steine beitragen, wenn man die Zwischenräume zwischen ihnen durch kleinere Steine oder Kies ausfüllen könnte. Dieses lässt sich indessen nicht erreichen, weil die Steine nicht in einem gehörig zubereiteten Lager versetzt, sondern nur herabgeworfen werden und sie daher ganz zufällig sich ablagern. Es geschieht zuweilen, dass man zwischen die Steine auch Kies wirft, alsdann ist es aber nicht zu vermeiden, dass derselbe an einzelnen Stellen nicht nur in die Zwischenräume der Steine eindringt, sondern nachdem diese angefüllt sind, sich noch in grossen Massen über den letztern anhäuft, und die folgenden Steine daher nur auf dem Kiese liegen, der bald vom Strome fortgespült wird, wodurch die Steine wieder in Bewegung kommen. Dieser Uebelstand wird vermieden, wenn man den Kies erst nach der Beendigung der Steinschüttung aufbringt, aber gewiss ist alsdann der Nutzen desselben viel geringer und sogar überhaupt sehr zweifelhaft, da er ein festes Lager für die Steine nicht mehr bilden kann. Ein solches stellt sich indessen auch ohne Kiesschüttung mit der Zeit von selbst dar. In den Zwischenräumen zwischen den Steinen wird nämlich die Bewegung des Wassers besonders zur Zeit der hohen Anschwellungen, wenn

das Profil des Stromes sich sehr vergrössert, viel geringer als im freien Strome sein; das herabgeführte Material lagert sich also reichlich und genau schliessend darin ab, so dass der Strom selbst die vollständige Ausfüllung bewirkt. Ich bemerke indessen, dass man in den Fällen, wo die Kiesschüttung dennoch Anwendung findet, auf 4 Schachtrüthen Steinschüttung 3 S. R. grobe Steine und 1 S. R. Kies zu rechnen pflegt.

Was die Grösse der Steine und die Stärke und Neigung der Steinschüttungen betrifft, so ist diese von der Heftigkeit des Stromangriffs bedingt. Wo die Werke dem stärksten Angriff ausgesetzt sind, wählt man am Rhein dazu den Säulenbasalt aus der Gegend von Remagen und Linz. Die Stücke werden alsdann in der Grösse gewählt, dass sie durchschnittlich einen Centner wiegen und vermöge ihres grossen specifischen Gewichtes, welches etwa 3,2 ist, bieten sie dem Wasser verhältnissmässig nur eine geringe Angriffsfläche dar und liegen daher sehr sicher. Man schüttet sie $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuss hoch, und giebt ihnen gewöhnlich eine $1\frac{1}{2}$ fache Anlage, obwohl zuweilen auch die einfache Anlage vorkommt. Ihre Versenkung, besonders in grosser Tiefe, lässt sich natürlich nicht sehr regelmässig ausführen, aber eben aus diesem Grunde ist es nöthwendig, die mittlere Stärke der Schüttung nicht zu schwach anzunehmen, weil es sonst zu leicht geschehn könnte, dass einzelne Theile der natürlichen Uferböschung ganz unbedeckt blieben. Durch möglichst sorgfältiges Peilen muss man sich davon zu überzeugen suchen, dass der Basalt ungefähr gleichmässig über die ganze Fläche vertheilt wird. Eine solche Decke giebt dem Ufer den sichersten Schutz, den es überhaupt erhalten kann: die am härtesten bedrohten Ufer des Rheins, und namentlich vor der Neustadt bei Düsseldorf, wo in Folge der scharfen Krümmung die Wassertiefe über 50 Fuss beträgt, sind auf diese Art ausgedeckt worden. Reparaturen werden dabei von Zeit zu Zeit nöthig, indem einzelne Steine vom Eise gefasst und fortgeschoben werden, oder herabrollen. Die grosse Sicherheit dieser Deckungsart beruht darauf, dass die entstehenden Lücken sogleich durch die darüber liegenden Steine ausgefüllt werden, und sonach die Beschädigungen nicht sowohl am Fusse des Ufers oder in grosser Tiefe eintreten können, wo sie am gefährlichsten sein würden, sondern vielmehr im obern Theile der

Steinschüttung. Man muss daher diese immer soweit vervollständigen, dass der nöthige Vorrath von Steinen vorhanden ist, der bei eintretender Beschädigung sogleich nachstürzen kann. Wenn solche Beschädigungen auch Anfangs ziemlich bedeutend sind, so hören sie mit der Zeit fast ganz auf, und dieses rührt eben davon her, dass die am schwächsten gedeckten Stellen sich nach und nach durch das hinzukommende Material verstärken, und die ganze Steindecke besonders an ihrem Fusse durch die herabrollenden Steine stärker wird.

Da die Schachtruthe Basalt im Düsseldorfer Regierungsbezirke 12 bis 15 Thaler kostet, so deckt man diejenigen Uferstellen, welche dem Angriff des Stromes weniger ausgesetzt sind, durch Schüttungen aus andern minder kostbaren Steinen: besonders werden hierzu die Sandsteine von den Ufern der Ruhr verwendet.

Doch auch die letzten sind noch so kostbar, dass man in vielen Fällen statt ihrer gebrannte Steine verwendet. Die Benutzung derselben für den in Rede stehenden Zweck, sowie auch für die Bedeckung der aus Strauch erbauten Werke, bietet eine sehr günstige Gelegenheit, um die Vortheile der Stein-Construction bei Strombauten auch solchen Gegenden zuzuweisen, wo natürliche Steine gar nicht vorkommen oder deren Beischaffung ausserordentlich kostbar sein würde. Es kommt bei den gebrannten Steinen, insofern sie nur zu unregelmässigen Schüttungen benutzt werden, auf die Form gar nicht an, aber wohl ist es sehr wichtig, dass sie recht hart und fest sind, und weder beim Froste, noch auch bei abwechselnder Nässe und Trockenheit leicht zerfallen. Ein Uebelstand, der bei ihrem Gebrauche eintritt, bezieht sich darauf, dass sie der Entwendung sehr ausgesetzt sind, indem es bei der sorgfältigsten Aufsicht doch nicht vermieden werden kann, dass während der Nacht die Steine auf den Werken gesammelt und in Kähnen fortgeführt werden. Man suchte dieser Entwendung sonst dadurch vorzubeugen, dass man jeden Stein zerschlug. Durch dieses Mittel wurde indessen der beabsichtigte Zweck nur sehr unvollständig erreicht, denn in vielen Fällen konnten die halben Steine noch eben so gut, wie die ganzen, anderweitig benutzt werden. Ihrer Entwendung war daher nicht vorgebeugt, und ausserdem verminderte sich mit der Grösse auch der Widerstand gegen den Stoss des Wassers und Eises sehr merklich.

Man hat es daher in neuerer Zeit für zweckmässiger gefunden, eine ungewöhnlich grosse Form zu wählen. Wo man gleiche Steine bei irgend einem Bau in der Nähe des Rheins anwenden sieht, muss der Besitzer sich ausweisen, wie er zu denselben gekommen sei.

Diese Steine sind 12 Zoll lang, 7 Zoll breit und 3 Zoll stark: zur dicht aufgesetzten Schachtruthe gehören daher sehr nahe 1000 Steine. Sie werden unmittelbar am Ufer des Rheins gebrannt, wo der thonige Niederschlag aus dem Flusse ein sehr gutes Material dazu liefert. Derselbe günstige Umstand dürfte sich wahrscheinlich in den meisten Fällen wiederholen, wo die Beschaffung natürlicher Steine so kostbar ist, dass man sie durch künstliche ersetzen muss. Die Ufer leiden aber gemeinhin nicht durch das Ausheben der Ziegelerde, indem die Gruben in sehr kurzer Zeit wieder zugeschlämmt werden, und man nach wenig Jahren nicht mehr die Stelle erkennen kann, wo man sie eröffnete hatte. Indem man auf diese Art die Erde zu den Steinen ganz in der Nähe gewinnt, und ausserdem das Brennmaterial auf dem Strome leicht beigefahren werden kann, so stellt sich der Preis ziemlich billig. Am Rhein kostet ohnerachtet des hohen Taglohns die Darstellung von einer Schachtruthe oder von Tausend Steinen nahe 2 Thaler, wozu noch eben so viel für Brennmaterial und sonstige Nebenarbeiten kommt, so dass der Preis im Ganzen $3\frac{1}{2}$ bis 4 Thaler beträgt. Der vierte Theil der Steine pflegt weniger hart auszufallen, man muss denselben daher zur Unterfüllung oder auch an solchen Uferstellen verwenden, die einem starken Stromangriffe nicht ausgesetzt sind und daher keiner besonders festen Decke bedürfen. Die vielfache Anwendung, welche die gebrannten Steine im Preussischen Theile des Rheins bei Stromregulirungen und Uferdeckungen gefunden haben, ist wohl dem Umstande zu verdanken, dass man bemerkte, wie die Ziegeleien, die in Holland häufig auf den Deichen stehn, durch die in grosser Masse abfallenden Steinbrocken einen sehr sichern Schutz dem Ufer geben und dem Angriffe des Stroms einen kräftigen Widerstand entgegensetzen, während ober- und unterhalb derselben das Ufer immer weiter zurückweicht. Häufig findet sich auch die Gelegenheit, alte Gebäude in der Nähe des Stroms anzukaufen, wodurch man gleichfalls für geringe Preise grosse Massen erhalten kann.

Was endlich die Art der Verwendung der gebrannten Steine betrifft, so gilt für sie dasselbe, was in Beziehung auf die Bruchsteine bereits erwähnt ist: man rechnet wieder auf eine Schachtruthe Schüttung, drei Viertel Schachtruthen dicht aufgesetzte Steine, und ganz gewöhnlich ist es, in diesem Falle noch ein Viertel Schachtruthe Kies gleichzeitig mit den Steinen zu versenken. Ob der letztere hierbei nothwendig und immer unschädlich sei, muss ich nach dem Obigen bezweifeln. Die Stärke der Schüttung und die Neigung stimmt gewöhnlich mit der für Bruchsteine angegebenen überein.

Bei Ausführung der Steinschüttungen vor den Ufern kommt sehr häufig der Fall vor, dass das Ufer entweder im Ganzen, oder doch stellenweise so steil ist, dass die angegebene $1\frac{1}{2}$ fache Anlage sich nicht darstellen lässt, ohne dass man vorher eine theilweise Ausfüllung vorgenommen hätte. Eine solche wird durch die eigentliche Steindecke vor dem unmittelbaren Angriff des Wassers sicher gestellt, es wäre daher überflüssig, dasselbe kostbare Material, welches für jene erforderlich ist, auch hier anzuwenden: andererseits aber pflegt eine frische Schüttung sich nicht so fest abzulagern, wie das natürliche Ufer, und sonach erscheint eine Anschüttung von Kies oder wohl gar von Sand als Unterlage für die Steindecke nicht hinreichend sicher. Dazu kommt noch der Umstand, dass vor denjenigen Ufern, wo eine Deckung dieser Art für erforderlich erachtet wird, die Strömung gemeinhin so heftig ist, dass das feine Material gleich beim Herabwerfen vom Strome fortgetrieben wird, und man sonach schon aus diesem Grunde gezwungen ist, gröberes Material zu verwenden. Es ist nicht in Abrede zu stellen, dass die Kosten des Baues sich hierdurch ausserordentlich vermehren, aber die Sicherheit des Erfolges scheint dennoch diese Vorsicht unbedingt zu empfehlen, vorausgesetzt, dass das Ufer, welches man decken will, einem starken Angriff ausgesetzt ist. Man pflegt zuweilen durch eine Abstufung von dem feinern Material zu dem gröbern überzugehen. So kommt es am Rhein vor, dass man die eigentliche Anschüttung, welche die Dossirung darstellt, aus Kies bildet; auf diesen zunächst eine 1 Fuss starke Lage kleinerer Basaltstücke bringt, und auf die letztern erst die eigentliche 2 Fuss starke Basaltdecke von grössern Blöcken aufwirft.

Die Steinschüttungen werden gemeinhin nur bis zum niedrigen Wasserstande heraufgeführt, und man lässt sie in dieser Höhe in eine regelmässige Steinpackung oder in ein Pflaster übergehen: Letzteres widersteht wegen der ebenen Oberfläche, sowie auch wegen der geschlossenen Lage der Steine sehr kräftig dem Stosse des Eises, und da der Wasserstand zur Zeit des Eisganges gewöhnlich ein sehr hoher ist, so bleibt die tiefer liegende lose Steinschüttung vor dem Gegenstossen der Schollen gesichert. Für das Pflaster tritt indessen der Uebelstand ein, dass der Fuss desselben keine hinreichende Unterstützung findet. Besonders wenn die Steinschüttung durch das Forttreiben oder Herabfallen einiger Steine in Bewegung kommt, so zeigt sich auch sogleich in dem dagegen gelehnten Pflaster ein Nachsinken, und die Steine kommen, wenn sie auch nicht herabstürzen, doch aus ihrer geschlossenen Lage. Man vermeidet dieses häufig dadurch, dass man das Pflaster etwas zurücktreten lässt, oder durch die Steinschüttung ein Banket davor bildet, doch ist es nöthig, dass man dieses Banket immer sogleich ergänzt, wie die Steine daraus herabstürzen. Einigermassen lässt sich die Beschädigung des Pflasters auch durch die Anordnung der Steinreihen in demselben vermeiden. Diese müssen nothwendig ungefähr horizontal gerichtet sein, weil nur dadurch ein Verband dargestellt werden kann, der es verhindert, dass eine Beschädigung am Fusse des Pflasters sich gleich bis zu dessen oberm Rande ausdehnt. Wenn man aber diese Steinreihen etwas gegen den Horizont neigt, so dass die Lagerfuge zwischen zwei Reihen gegen den Wasserspiegel sanft abfällt, so wird der erwähnte Vortheil nicht aufgehoben, er stellt sich vielmehr wegen der Spannung in den einzelnen Steinreihen noch vollständiger ein. Nichts desto weniger wird noch immer das Herabsinken der Steinschüttung, besonders wenn es auf eine grössere Länge eintritt, eine starke Beschädigung des Pflasters und sogar stellenweise den vollständigen Einsturz desselben zur Folge haben. Man vermeidet dieses, wenn man, wie es oft geschieht, das Pflaster gegen eine Pfahlwand lehnt und unterhalb derselben zu deren Schutz die lose Steinschüttung anbringt. Fig. 102 zeigt diese Anordnung, und es ist zur Erklärung derselben nur zu bemerken, dass die Bohlen schon durch die Steine gehalten werden und daher keiner besondern Befestigung

gegen die Pfähle bedürfen. Man erreicht indessen bei festem Boden und bei geringer Wassertiefe denselben Zweck viel einfacher, wenn man kleinere Pfähle einrammt, und statt des in der Zeichnung dargestellten Balkens, nur eine Bohle dagegen lehnt. Jedenfalls muss das sämmtliche Holzwerk nicht über das niedrige Wasser vortreten, damit es nicht durch die abwechselnde Nässe und Trockenheit leiden kann. Ausserdem aber muss man vor der Pfahlreihe, wenn dieselbe nicht zu einem vollständigen, mit einer Spundwand versehenen Bohlwerke gehört, die lose Steinschüttung anbringen, welche jedesmal, so oft eine Vertiefung davor eintritt, zusammenstürzt, und alsdann wieder vervollständigt werden muss.

Die Nothwendigkeit zur Reparatur der losen Schüttung giebt sich bei dieser Anordnung des Baues nicht mehr aus dem Zustande des Pflasters zu erkennen, man muss daher durch häufig wiederholte Peilungen sich davon überzeugen, ob die Steinschüttung noch in ihrer ganzen Höhe vorhanden sei. Endlich erwähne ich, dass man in manchen Fällen, und namentlich wenn das Pflaster nur aus kleinern Steinen besteht, mit Pfählchen von etwa 3 Fuss Länge ausreicht, welche durch zwischengewundene Reiser zu Flechtzäunen verbunden sind. Fig. 101, Taf. XXXVII.

Für das Pflaster gelten in gewisser Beziehung dieselben Regeln, wie für die Steinschüttung: man muss nämlich, wenn ein starker Strom oder Eisgang dagegen gekehrt ist, immer darauf gefasst sein, dass einzelne Steine gelöst oder fortgetrieben werden können. Ihre Unterlage muss daher wenigstens einigen Widerstand zu leisten im Stande sein. Aber auch die Wasseradern, die sich hindurchziehen, und namentlich das Quellwasser, kann in anderer Beziehung Beschädigungen veranlassen. Wenn nämlich der Untergrund aus sehr leichtem Boden, also aus Erde oder Sand besteht, so wird dieser mit dem Wasser fortgerissen werden, und die feinen Körnchen dringen durch die Fugen zwischen den Steinen hindurch, worauf das Pflaster einsinkt. Um dieses zu vermeiden, ist es in den meisten Fällen nothwendig, das Ufer, welches gepflastert werden soll, wenn es aus leichtem Boden besteht, mit Kies oder Bauschutt zu bedecken, und hierin die Steine zu versetzen. Ohne diese Vorsicht pflegen bedeutende und wiederholte Reparaturen daran nothwendig zu werden.

Wenn ein starker Eisgang das Ufer trifft, und man wegen der Kostbarkeit der grössern Steine eine vollständige Abpflasterung mit solchen nicht vornehmen kann, so liegt immer ein grosser Vortheil darin, wenigstens in gewissen Abständen einzelne Stellen gehörig zu sichern. So geschieht es am Rhein, dass man in Abständen von etwa 5 Ruthen, Streifen von 6 Fuss Breite mit schweren Basalten pflastert, die vom niedrigen Wasserstande bis zum Uferrande heraufgehn, während die zwischenliegenden Theile nur mit hochkantig gestellten Ziegeln gedeckt werden.

Endlich erwähne ich noch, dass die Steinschüttung und selbst das Steinpflaster eine Weidenanpflanzung dazwischen in vielen Fällen gestattet. Zwischen Thonschiefer, Sandstein, Ziegeln und andern weichen Steinen kann man, wenn das Pflaster nicht zu stark ist, und auf einem passenden Untergrunde ruht, Weidenstecklinge pflanzen, indem man mit einem Setzeisen Löcher einstösst. Solche Pflanzungen pflegen nicht nur gut zu gedeihen, sondern sie gewähren dem Werke auch noch in doppelter Beziehung Schutz. Nämlich einmal mässigt das Strauch den Angriff des Stromes und demnächst tragen die Wurzeln noch dazu bei, den Untergrund einigermaassen zusammen zu halten, und sein schnelles Forttreiben zu verhindern, wenn die Steindecke zerstört werden sollte. In vielen Fällen schüttet man auch über die bereits ausgeführte Pflanzung etwa 6 Zoll hoch Steinbrocken oder Ziegel auf, und gewährt dadurch nicht nur den jungen Pflänzlingen einen wesentlichen Schutz, sondern umgekehrt wird auch wieder die schwache Steinschüttung durch das Strauch gesichert.

Aus den angegebenen allgemeinen Bedingungen der Steinconstructionen folgt unmittelbar die Anordnung der Steinbuhnen. Man wird sie nur da in Anwendung bringen, wo das Steinmaterial für geringe Kosten beizuschaffen ist, also in Gebirgsgegenden, wo die Ströme gewöhnlich ein sehr starkes Gefälle haben, und hoch anschwellen. Hieraus folgt, dass die Steinbuhnen einer heftigen Strömung ausgesetzt zu sein pflegen, und daher fest construiert sein müssen. Ihr Körper darf sonach, wenn er auch mit einer festern Decke umschlossen wird, nicht aus feinem Material bestehen. Die Gefahr, dass das Wasser hindurchdringen und den Sand oder die Erde herauspühlen möchte, ist bei Bühnen viel grösser, als bei Uferdeckungen, indem bei gewissen Wasser-

ständen ein merkliches, und oft sogar sehr starkes Gefälle sich vor ihnen bildet. Die früher erwähnten Senkungen im Pflaster zeigen sich daher vorzugsweise bei Bühnen, die aus solchem leichten Material aufgeschüttet sind. Um das Pflaster gehörig aufführen zu können, pflegt man die Krone der Bühne mit Schüttungen von schweren Steinen zu umgeben, welche in der Höhe des niedrigen Wassers ein Banket ringsherum bilden und bei eintretenden Vertiefungen in der Nähe nachstürzen und dadurch den Fuss sichern, ohne dass die Abpflasterung dabei sogleich leidet. Am grössten ist die Gefahr der starken Vertiefung vor dem Kopfe der Bühne, und zwar um so grösser, je steiler derselbe gehalten wird. Aus diesem Grunde pflegt man nicht nur den Kopf sehr flach, also etwa mit dreifacher Anlage aufzuführen, sondern ausserdem auch noch etwa eine Schachtruthe Steine auf dem Ufer daneben aufzubewahren, um sogleich die Ergänzung vornehmen zu können, wie die Schüttung nachzusinken anfängt.

Man hat bei den Steinconstructions den grossen Vortheil, dass man theils sehr flache Böschungen darstellen, theils auch die Kronen in beliebige Höhe legen kann, ohne darauf Rücksicht nehmen zu dürfen, dass Pflanzungen darin noch anwachsen können. Dieselben sind hier ganz entbehrlich, will man sie aber dennoch anbringen, so gedeihen sie selbst in grösserer Höhe über dem Wasser, als dieses in den aus Strauch aufgeführten Bühnen der Fall ist, weil letztere bei ihrer lockern Zusammensetzung während des niedrigen Wasserstandes weit stärker austrocknen, als die Steinbühnen. In diesen füllen sich sehr bald und gewöhnlich schon während des ersten Winters die Zwischenräume zwischen den Steinen sehr vollständig mit Sand und selbst mit thonigen Niederschlägen an (wenn der Strom solche mit sich führt), und das Weidengesträuch, das man in ihrer Krone pflanzt, gedeiht daher um so besser. Eine Folge dieser Anfüllung der Zwischenräume ist auch das Dichtwerden der Bühnen. Wenn man nämlich bei ihrem Bau die Anwendung von feinem Material vermieden hat, so pflegen sehr starke Wasseradern aus dem Oberwasser in das Unterwasser durch sie hindurch zu ziehn; man bemerkt dieselben an der untern Seite, wo sie oft als starke Quellen heraustreten. Nachtheilige Folgen kann diese Erscheinung wohl nicht haben, indem einestheils das Material zu grob

ist, als dass es durch die Strömung fortgeführt werden, und der Bau dadurch leiden könnte, andererseits ist aber auch die Wassermenge, welche auf diese Art dem Hauptstrome entzogen wird, viel zu unbedeutend, als dass jener sich dadurch merklich schwächen sollte. Sobald indessen ein höherer Wasserstand eintritt, und zugleich grosse Quantitäten von feinem Material durch den Strom herabgeführt werden, so dringen diese in die Buhnen ein und bleiben daselbst liegen: woher in dem nächsten Jahre alle jene Quellen, die sich anfangs zeigen, vollständig verschwunden sind.

In Fig. 98 *a* und *b* ist der Querschnitt und die Seitenansicht einer Buhne dargestellt, wie sie gewöhnlich an der untern Mosel ausgeführt werden. Man macht den Anfang mit den Steinschüttungen, die das Werk umgeben. Sie werden unmittelbar auf dem Strombette angebracht und bis zur Höhe des niedrigen Wassers heraufgeführt. Gleichzeitig wird der innere Körper der Buhne aus grobem Kies aufgeschüttet und zuletzt der obere Theil mit rohen Bruchsteinen, gewöhnlich mit Thonschiefer gepflastert. Die Krone des Werkes hat eine Breite von 6 Fuss, die Böschungen zur Seite erhalten gewöhnlich eine einfache Anlage, doch ist dieselbe zuweilen, wenn ein starker Uebersturz des Wassers besorgt werden muss, auf der stromabwärts gekehrten Seite auch anderthalbfach. Der Kopf dagegen erhält mindestens eine zweifache und oft eine dreifache Anlage. Die aus der Steinschüttung gebildeten Bankete sind 2 Fuss breit. Das Pflaster wird reihenweise in gehörigem Verbande ausgeführt, und zwar so, dass die Reihen mit der Axe des Werkes parallel liegen. Bei den Steinbuhnen ist ebenso, wie bei allen andern Buhnen der Kopf am meisten der Gefahr der Zerstörung ausgesetzt, und diese tritt sogleich ein, wie das Pflaster herabstürzt. Von den Vorichtsmaassregeln, wodurch dieses verhindert werden kann, ist bereits die Rede gewesen. Ausserdem ist aber bei den Steinbuhnen auch die Wurzel ein höchst gefährlicher Punkt, insofern die Erde im Ufer sich nicht mit den Steinen verbindet. Die erstere wird leicht durch das neben den Steinen hindurchdringende Wasser fortgespült, worauf diese sich senken und eine Rinne sich bildet, welche bald an Breite und Tiefe zunimmt und das Werk vom Ufer trennt. Dieser Fall ereignet sich bei Steinbuhnen viel häufiger, als bei denjenigen, die aus Strauch erbaut sind,

und dieses rührt ohne Zweifel davon her, dass bei den letztern, wenn vielleicht auch die Erde in gleicher Weise fortgespült wird, dennoch die Faschinen nicht herabstürzen, noch auch das ganze Werk sich in kleine Theile auflöst. Man kann indessen den Durchbruch der Wurzel leicht vermeiden, wenn man die Krone in der Art, wie Fig. 98 *b* zeigt, noch gegen das höhere Ufer etwas heraufführt, und wenigstens das Pflaster ansteigen lässt. Man darf dabei indessen keinen vorragenden Rücken bilden, weil das Wasser beim Uebersturze über denselben aufs Neue Veranlassung zum Angriff des Ufers finden würde: das Pflaster in der Verlängerung der Krone muss vielmehr in das Ufer eingelassen werden. Eine Pflanzung pflegt hier aber noch sehr wirksam das Ausspülen der Steine zu verhindern.

Einigermaassen ähnlich, aber in mancher Beziehung weit sorgfältiger, ist die Ausführung der Parallelwerke im Französischen Theile der Mosel. Fig. 99 zeigt diese Constructionsart. Auch hier schützen zwei Dämme aus schweren Steinen bestehend den innern Körper des Werkes. Diese Dämme greifen aber in das Strombette ein, damit nicht so leicht in Folge einer Vertiefung neben ihnen ein Nachstürzen der Steine besorgt werden kann. Der innere Körper des Werkes besteht aus demselben groben Kiese, der auch gewöhnlich im Preussischen zu diesem Zweck angewendet wird. Wesentlich verschieden ist aber die Krone, welche aus keilförmig bearbeiteten Sandsteinen ganz regelmässig abgeplastert wird: dieses Pflaster lehnt sich gegen schwere Widerlagssteine zur Seite, die in den äussern Flächen gleichfalls bearbeitet sind, und auf den Steinschüttungen ruhen. Die grössere Sorgfalt, womit die Werke ausgeführt sind, rechtfertigt sich dadurch, dass sie nicht sobald, als die Bühnen dem starken Angriffe des Stromes entzogen werden, sondern wahrscheinlich einem solchen fortwährend ausgesetzt bleiben werden. Die geringere Stärke steht aber einigermaassen mit der geringern Höhe im Verhältnisse. Die Krone ist 0,80 Meter ($30\frac{1}{2}$ Zoll) breit und erhebt sich 0,30 Meter ($11\frac{1}{2}$ Zoll) über das gewöhnliche kleine Wasser, die Bankete sind 0,30 Meter breit, und dieses ist auch die Stärke des Pflasters. Die Steinschüttung an der dem Strome zugekehrten Seite wird 0,50 Meter (19 Zoll) in das Bette versenkt, die gegenüberliegende etwa halb so tief. Die Art der Ausführung ist

folgende: man stösst in der Richtung des Werkes, in der Entfernung von etwa 8 Fuss von einander, je zwei schwache Pfähle ein, verbindet sie, wie Fig. 99 *b* zeigt, durch ein dagegen genageltes Bohlenstück, und legt hierüber zwei Bohlen, welche eine leichte Brücke bilden. Nunmehr wird von dieser Brücke aus mit einer Art von Handbagger der Kies von beiden Seiten herangezogen und unter der Brücke aufgehäuft. Hierdurch bildet sich der innere Kieskörper des Werkes, während die beiden Rinnen an den Seiten zur Versenkung der Steinschüttung dienen. Diese Arbeit wird ziemlich gleichmässig in der ganzen Länge des Werkes ausgeführt, und es geht aus der obigen Mittheilung über die Anordnung dieser Parallelwerke (§. 70) hervor, dass in dem abgeschlossnen Theile des Strombettes das Wasser sich senkt, und sonach über diesen niedrigen Damm stark überströmt. Dieser Umstand ist sehr günstig, denn dadurch wird alles feine Material herausgespült und es bleibt der grobe Kies ganz rein liegen. Ueber die Ausführung der Steinschüttungen, sowie des Pflasters, ist nichts Besonderes zu erwähnen.

Ich gehe nunmehr zur Beschreibung der sogenannten Senkkasten über, einer Bauart, welche man im südlichen Deutschlande und namentlich in Baiern und in Oesterreich sehr häufig anwendet, und zwar nicht nur bei Einbauen, sondern auch bei Uferdeckungen, und selbst die Leinpfade sind oft auf grosse Längen auf Senkkasten gelegt, wie dieses z. B. an der Traun der Fall ist. Fig. 100 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und in der Seitenansicht einen solchen Senkkasten. Er besteht aus einer Umfassung aus starkem Holze, worin die Steinschüttung sich befindet; zur Anwendung dieser Constructionsart ist es daher nothwendig, dass sowohl das Holz, wie auch die Steine nicht theuer sein dürfen.

Die Senkkasten sind oben 12 bis 15 Fuss breit, ihre Länge richtet sich nach der der Stämme, doch erhalten sie etwa alle 12 Fuss eine Mittelwand. Die Neigung der Seitenflächen ist gewöhnlich so gross, dass der obere Rand um den sechsten Theil der Höhe des Kastens eingezogen wird. Die Construction ist sehr einfach: die runden Holzstämme werden, nachdem sie in passenden Längen zugeschnitten sind, eingekerbt, so dass die quer übergelegten Stücke ein sicheres Lager erhalten. Die Verbindung durch Nägel ist sehr schwach und wird vorzugsweise

nur unten und oben angebracht. Die eingeworfenen grossen Steine, welche zum Theil auf der innern Seite der Stämme aufliegen, geben vorzugsweise durch ihr Gewicht dem ganzen Werke den Zusammenhang. Es leuchtet ein, dass die sehr steilen Wände eine grosse Vertiefung vor sich erzeugen müssen, aber der Vortheil dieser Construction beruht eben darauf, dass der Kasten sich senken kann, ohne dass er dabei leidet. Selbst ein ganz ungleichmässiges Versinken schadet wenig, und man sieht häufig sie so stark übergewichen, dass die Wände nicht nur ihre Dossirung ganz verloren haben, sondern sogar überhängen. Man pflegt aber durch keilförmig zugehauene Hölzer die Oberfläche immer möglichst horizontal zu halten, sobald die Erhöhung derselben nöthig wird. Pechmann führt an*), dass er gesehn habe, wie solche Kästen sich nach und nach bis 30 Fuss gesenkt hätten, ohne dass ihre Festigkeit dadurch beeinträchtigt wäre.

Häufig benutzt man die Senkkästen als Bühnenköpfe und verbindet sie alsdann mit dem Ufer durch die sogenannten Bänke, deren Querschnitt Fig. 100 c dargestellt ist, während Fig. 100 b die Seitenansicht derselben zeigt. In Abständen von 8 Fuss werden Pfähle senkrecht eingerammt, gegen welche man andere schwächere Pfähle nagelt, die schräge eingetrieben sind, und zwar so, dass ihr unteres Ende stromaufwärts gekehrt ist. Diese, sowie auch die senkrechten Pfähle werden auf der dem Strome zugekehrten Seite mit Latten benagelt, und der auf diese Weise abgeschlossene Raum wird abwechselnd mit Faschinen und Steinen angefüllt.

Die Höhe, bis zu welcher die Senkkästen, sowie auch die Bänke sich erheben, übersteigt gemeinhin das höchste Fahrwasser um einige Fusse; sie haben daher wenig Dauer, und es darf kaum erwähnt werden, dass durch Constructionen dieser Art eine gehörige Regulirung des Stromes nicht herbeigeführt werden kann. Sie dienen nur dazu, das Wasser an einzelnen Stellen zusammen zu halten und einzelne Ufer zu decken. Die Reparaturen sind aber sehr bedeutend, und doch zeigen diese Werke immer eine grosse Unregelmässigkeit und sogar ein auffälliges Ansehn. Ge-

*) Practische Anleitung zum Flussbau von Pechmann. München 1825. Theil I. §. 44.

wiss würden sie sehr grosse Unordnungen im Strome erzeugen, wenn nicht die felsigen Ufer oder das schwere Geschiebe dieses verhinderten.

Es ist bereits erwähnt worden, dass man einzelne Steine und selbst groben Kies vor dem Stosse des Wassers sicher stellen kann, wenn man grössere Massen derselben durch eine gemeinschaftliche Umschliessung mit einander verbindet. Dieses Mittel wird in vielen Fällen angewendet, und zwar gewöhnlich in der Art, dass man Strauchbündel oder Faschinen mit Steinen anfüllt. Beim gewöhnlichen Faschinenbau verbindet man das Strauch zu ganzen Lagen, und bringt auf diese das erforderliche Beschwerungsmaterial auf, was jedoch in einem heftigen Strome grosse Schwierigkeiten hat. Im vorliegenden Falle dagegen wird jede Faschine mit dem für sie erforderlichen Beschwerungsmaterial unmittelbar versehen: man kann sie daher einzeln versenken, und wie sie sich auch immer legt, oder wohin der Strom sie auch treiben mag, wenn sie Anfangs von demselben noch fortgerollt werden sollte, so trennt sie sich doch nie von ihrem Beschwerungsmaterial und dasselbe wird sie daher auf dem Bette des Stromes festhalten, sobald nicht etwa durch ihre Richtung oder durch das Gefälle der Sohle ein weiteres Fortrollen möglich bleibt. Man nennt solche Verbindungen Senkfaschinen. Sie erhalten sehr verschiedene Dimensionen und oft sind diese so geringe, dass dadurch nur leichtere Regulierungswerke gebildet werden, von welchen später die Rede sein soll. Hier gebe ich die Beschreibung der grössern Senkfaschinen, welche ansehnliche Quantitäten Steinmaterial enthalten.

Die Senkfaschinen sind schon seit langer Zeit angewendet worden: eine höchst interessante Nachricht von ihrer frühern Benutzungsart befindet sich in dem Archiv zu Königsberg, ich will dieselbe hier vollständig mittheilen. Die Verbindung zwischen dem Frischen Haff und der Ostsee hatte sich im Anfange des sechszehnten Jahrhunderts bei Pillau eröffnet, das Fahrwasser befand sich aber ein Jahrhundert später, wie es häufig geschehn ist, in einem für die Schifffahrt sehr ungünstigen Zustande, und man war daher ernstlich darauf bedacht, es zu verbessern. Man ging dabei von der ganz richtigen Ansicht aus, dass die Ufer der

Meerenge oder des sogenannten Tiefes gehörig befestigt und nach dem Meere zu herausgeführt werden müssten, man schlug dazu Zäunungen und besonders das Versenken von Schiffen vor. Der Graf Abraham von Dohna empfahl dagegen die Anwendung der Senkfaschinen. Er berichtete unter dem 28. März 1624, dass er mit dem Baumeister aus Danzig über diesen Gegenstand allerlei Discurse gehabt habe, und derselbe der Meinung gewesen sei, es müsse hier mit Saltitzen *) gebaut werden. Man brauche dazu Aeste von grossen Fichten, in der Länge von etwa 10 Fuss: diese werden in Bündel gelegt, mit Feldsteinen angefüllt, und alsdann mit Weiden zusammengebunden. Die Steine wähle man von der Grösse, dass sie sich mit einer Hand heben lassen, und die ganze Saltitze mache man so gross, dass die vier Mann, die daran arbeiten, sie noch handhaben können. Man lege die Saltitze entweder frei auf das Ufer, das man schützen wolle, oder versenke sie ins Wasser. Wo eine Grube oder Tiefe vorhanden ist, da sinken sie von selbst hinein, und wo wieder ein Hügel ansteht, da bleiben sie auch liegen, indem sie immer der Form des Grundes sich anschliessen: sie müssen aber nicht parallel, sondern schräge oder oblique gelegt werden. Mit solchen Saltitzen sei die Fahrt vor Ostende, als die Spanier die Stadt erobert hätten, gehemmt worden, so dass man mit trocknen Füssen übergehn können. Es sollen dazu 300000 Saltitzen gebraucht seien, deren jede einen Königsthaler gegolten. Der Danziger Baumeister habe auch am Weissen-Berge ein solches Werk erbaut, das beständig geblieben sei. In Folge dieses Berichtes wurde die Anwendung der Saltitzen für Pillau beschlossen und unter dem 9. Juli 1624 die Lieferung des Strauches und der Steine in Verding gegeben, doch fehlen die fernern Nachrichten, und wahrscheinlich unterblieb der Bau, indem bald darauf der Schauplatz des dreissig-jährigen Krieges sich in diese Gegenden zog.

Die Senkfaschinen werden sehr verschiedenartig gebunden, in vielen Fällen begnügt man sich damit, in die gewöhnlichen Faschinen einzelne faustgrosse Steine einzustecken, wodurch ihre Darstellung allerdings am einfachsten wird. Ich werde nur die-

*) Ohne Zweifel hängt dieses Wort mit dem Italiänischen Salsiccia (Wurst) zusammen.

jenige Methode speciell beschreiben, welche man bei den Durchstichen am Oberrhein zur Sicherung der neuen Ufer anwendete: sie scheint mir besonders zweckmässig zu sein, man hat sie auch später an dem Französischen Ufer eingeführt *). Ich muss indessen die Art der Anwendung dieser Faschinen vorher auseinander setzen: sie werden im Badenschen und Baierschen benutzt, um die Ufer der Durchstiche zu decken. Sobald also der Abbruch sich bis zu der vorher bestimmten und genau markirten Uferlinie ausgedehnt hat, wird sogleich die Ausdeckung vorgenommen, und um dabei jede Verzögerung zu vermeiden, so werden schon vorher an denjenigen Stellen, wo nur noch ein schwacher Rand für den Abbruch bleibt, die Materialien beigefahren. Die Deckung besteht darin, dass die ganze Dossirung mit einer möglichst geschlossnen Lage von Senkfaschinen bis über das kleinste Wasser bedeckt wird. Dieselben liegen sämmtlich mit der Richtung des Stromes parallel, und zwar bilden sie Reihen, die normal gegen den Strom gekehrt sind, und von der Sohle des Bettes bis zur bestimmten Höhe am Ufer heraufgehn. Dadurch entstehen freilich durchgehende Fugen, welche jede Verbindung zwischen je zwei Reihen aufheben. Diese Fugen kann man aber an sich nicht als besonders nachtheilig ansehen, da sie nicht in der Richtung des Stromes liegen, ausserdem aber ist der Mangel einer Verbindung zwischen je zwei Reihen nur als vortheilhaft anzusehn, indem eben dadurch das Herabrollen der einzelnen Faschinen erleichtert wird, und man annehmen darf, dass dieselben jedesmal nachstürzen werden, sobald vor dem Fusse eine Vertiefung eintritt. Man stellt die Bank, auf welcher die Faschinen gebunden werden, unmittelbar am Uferrande und zwar parallel zu demselben auf. Sobald eine Faschine fertig ist, wird sie gleich herabgerollt, dasselbe geschieht mit der zweiten, dritten und so weiter, bis endlich die Reihe fertig ist. Alsdann erst wird die Bank versetzt, und man schiebt sie nicht nur um die ganze Länge der Faschine, sondern noch um 1 bis 1½ Fuss weiter vor, damit die folgende Reihe nicht durch die vorhergehende gehemmt wird. Die Länge der Faschinen im Badenschen beträgt 18 Fuss und ihre Stärke 3 Fuss: in Frank-

*) In den *Annales des ponts et chaussées* 1833. II. pag. 70 ff. befindet sich eine ausführliche Beschreibung dieser Senkfaschinen.

reich machte man sie nur 4 Meter oder $12\frac{1}{4}$ Fuss lang bei einer Stärke von $2\frac{1}{4}$ Fuss.

Die Bank ist in Fig. 114, Taf. XXXVIII. dargestellt: zwei schwache Bäume oder zwei Stücke Kreuzholz von der Länge, welche die Senkfaschinen erhalten sollen, werden parallel neben einander im Abstände von etwa 2 Fuss auf den Boden gelegt. Man sichert ihre Stelle dadurch, dass acht kleine Pfähchen, nämlich zwei an jeder Seite jedes Baumes und zwar in der Nähe der Enden derselben, in den Boden eingetrieben werden. Hierauf schlägt man wieder in Abständen von etwa 2 Fuss an beiden Seiten schräge Pfähle ein, die sich gegen die ersten Bäume lehnen und an diesen eine sichere Stütze finden, woher es nicht nöthig ist, sie besonders fest im Boden einzuschlagen. Sie müssen auch an der dem Strome zugekehrten Seite jedesmal beim Herablassen der Faschine ausgezogen werden, daher ist es nicht zweckmässig, sie fester zu stellen, als gerade nöthig ist. Neben jedes Paar dieser Pfähle legt man sodann einen Riegel, und auf diese Weise bildet sich eine Rüstung, worin man bequem die Packung der Faschinen vornehmen kann. Um aber hierbei ein genaues Maass für die Länge zu haben, so wird an jedem Ende noch ein Pfahl vorgeschlagen, der bis gegen die Mitte der fertigen Faschine heraufreicht. Fig. 114 *b* zeigt den Grundriss, *a* den Längendurchschnitt und *c* den Querschnitt der Rüstung.

Um die Senkfaschine zu binden, legt man für die in der Zeichnung angegebenen Dimensionen sechs Stück gewöhnliche Faschinen in diese Rüstung, und zwar so, dass die Sturzenden von je drei Faschinen an jedem Ende nach aussen gekehrt sind. Sie werden aufgeschnitten und die Sturzenden werden sorgfältig soweit eingestossen oder herausgezogen, dass sie in die Vertical-Ebenen treffen, welche durch die beiden äussern Pfähle markirt sind. Nun breitet man das Strauch gehörig aus über den Boden und die Seiten, so dass ein gleichmässiges Bette sich bildet. Die Oeffnungen an den Enden des Bettes werden durch Pfropfen aus kurzem Strauche geschlossen, und wenn dieses geschehn, so schüttet man gereinigten groben Kies hinein. Zum Füllen einer solchen Faschine gehören nahe 20 Cubikfuss. Man breitet diesen Kies recht gleichmässig aus und legt endlich noch vier Faschinen darüber, die eben so wie die ersten aufgeschnitten und mit den

Sturzenden nach aussen gleichmässig über den Kies vertheilt werden. Nachdem man die Umbüllung mit Strauch auf diese Weise recht sorgfältig ausgeglichen hat, werden starke Bänder aus Haselnuss, Eiche, Esche oder einer andern harten Holzart, darum in Abständen von 1 Fuss umgelegt. Ueber die Zurichtung dieser Bänder soll später bei Gelegenheit des Faschinenbaues die Rede sein, hier will ich nur das Aufbringen derselben beschreiben. Beim Herabrollen der Senkfaschinen kann es nicht fehlen, dass sie starke Stösse erleiden, wobei sie wegen ihres grossen Gewichtes leicht beschädigt werden und wohl gar brechen könnten. Sie müssen daher recht fest verbunden sein: diese Verbindung erhalten sie aber allein durch die umgelegten Bänder. Es kommt also darauf an, diese recht fest anzuziehn, was durch die angegebene Wahl der Holzart möglich geworden ist.

Bevor ein Band angelegt wird, schnürt oder würgt man die Faschine dicht neben der Stelle, wo sie gebunden werden soll, sehr stark zusammen, und dieses geschieht mittelst der in Fig. 114 *d* dargestellten Vorrichtung. Ein starkes Tau, oder da dieses sich bald durchscheuert, besser eine Kette, wird um die Faschine geschlungen und durch die Ringe an den Enden steckt man zwei starke Hebel von 6 Fuss Länge. Jeder Hebel wird durch einen Arbeiter recht kräftig herabgedrückt, während ein dritter Arbeiter mit einem schweren hölzernen Hammer auf die Faschine und zwar dicht neben der Kette aufschlägt: dieses geschieht nicht nur oben, sondern auch zur Seite, so weit es durch die Hebel und die Rüstung nicht verhindert wird. Das Schlagen befördert wesentlich die Compression des Strauches und das scharfe Anlegen desselben an die Steine, sowie auch die gehörige Regulirung der Füllung, woher dieses eine sehr wichtige Operation ist. Dicht neben der Kette legt man alsdann das gehörig vorbereitete Band auf, in ganz gleicher Weise, wie beim Binden der Würste, was später beschrieben werden soll. Das Band kann natürlich nicht so fest angezogen werden, wie es mit der Kette geschieht, aber man hilft auch hier durch Aufschlagen mit dem Hammer nach, um es möglichst auszuziehn, und wenn die Faschine beim Abnehmen der Kette sich auch etwas wieder ausdehnt, so bleibt dennoch eine solche Spannung vorhanden, dass dadurch eine grosse Festigkeit erreicht wird. Man pflegt zuerst das

mittelste Band aufzulegen, alsdann aber die äussersten, und von diesen geht man wieder nach der Mitte zurück. Die Rüstung ist so eingerichtet, dass man die Kette und eben so auch die Bänder mit Leichtigkeit durchziehen kann, und indem gleichzeitig immer zwei Bänder umgelegt werden, wozu man, wenn die Bänder gehörig vorbereitet sind, nur etwa eine halbe Minute braucht, so ist die vollständige Anfertigung einer Senkfaschine in 15 bis 20 Minuten beendigt. Dabei werden sieben bis acht Arbeiter beschäftigt. Sobald alle Bänder aufgebracht sind, zieht man die schrägen Bäume der Bank auf der Stromseite heraus und rollt mittelst untergesteckter Hebel die Senkfaschine bis über den Uferstrand, von wo aus sie von selbst auf der steilen Dossirung ihre Bewegung fortsetzt. Fig. 115 *a* zeigt die Senkfaschine in der Seitenansicht, *b* im Längendurchschnitt und *c* im Querschnitt.

Wenn man statt des Kiesel grössere Steine benutzt, die sich gehörig verpacken lassen, so ist die sorgfältige Vorbereitung der Strauchbettung weniger nothwendig: man kann daher in diesem Falle die Rüstung oder die Bank ohne Nachtheil entbehren, und es genügt, statt derselben nur die Querschwellen in Abständen von 2 Fuss zu verlegen. Auf diese Art sind auch die Senkfaschinen erbaut, welche man am Unterrhein bei Wesel versenkt hat. Dieselben sind $20\frac{1}{2}$ Fuss lang und 3 Fuss stark, so dass ihr körperlicher Inhalt eine Schachtruthe misst. Sie wurden theils mit Basalten, theils aber, wo sie weniger dem Strom ausgesetzt waren, mit Sandsteinen und in andern Fällen auch mit Ziegeln gefüllt. Man rechnet auf jede derselben zwanzig Stück Faschinen und eine halbe bis zwei drittel Schachtruthen Steine.

Sehr wichtig ist es immer, dass die Senkfaschinen nicht weit gerollt werden, weil sie dabei sehr leiden: man muss sie daher unmittelbar neben der Stelle, wo sie versenkt werden sollen, auch anfertigen, und besonders ist dieses nothwendig, wenn sie mit weniger Vorsicht als hier beschrieben wurde, gebunden worden sind, und man vielleicht das Würgen ganz unterlassen hat.

Man wendet die Senkfaschinen auch häufig zu andern Zwecken an, als zur Uferdeckung. So wurden sie z. B. bei den im Französischen ausgeführten Coupirungen der Rheinarme zur Darstellung der Dämme benutzt, und in gleicher Weise sind sie auch beim Bau der Schwelle oder des Grundwehrs im Budericher

Canale angewendet. Im letzten Falle war es noch Absicht, sie reihenweise quer durch den Strom zu legen, und zu diesem Zwecke legte man ein Schiff, auf welches sie vom Ufer aus herübergebracht wurden, neben der Stelle vor Anker, wo sie versenkt werden sollten, und liess sie auf zwei eisernen Stangen, die schräge gegen das Schiff gelehnt waren, an umgeschlungenen Tauen herab. Ob sie regelmässig versenkt sein mögen, ist bei der grossen Tiefe und heftigen Strömung schwer zu untersuchen. Bei den Coupirungen am Oberrhein geschah die Versenkung auf eine ganz andere Art. Um zu verhindern, dass sie nicht etwa längs dem Strombette fortrollen möchten, verband man je drei Faschinen durch aufgebundene Bäume zu einer grössern Fläche, welche überall sicher liegen musste. Das Versenken geschah folgendermaassen. Ueber zwei Schiffen war ein Rüstboden angebracht, auf welchem die Faschinen angefertigt wurden: die Schiffe berührten sich aber nicht, sondern liessen zwischen sich einen freien Raum von $17\frac{1}{2}$ Fuss Breite. Eine quadratische Oeffnung von eben dieser Länge und Breite befand sich im Rüstboden über dem freien Raume, und wurde durch eine Klappe geschlossen, welche sich um eine horizontale Axe drehen konnte, die von dem einen Schiffe zum andern herüberging. Die Klappe war während der Zusammensetzung der Faschinen geschlossen und durch vorgeschobene Riegel in ihrer Lage ganz sicher gehalten. Sobald aber drei Faschinen fertig waren, rollte man diese auf die Klappe und zwar so, dass ein geringes Uebergewicht nach der stromabwärts gekehrten Seite sich bildete. Alsdann verband man die drei Faschinen in der beschriebenen Weise mit einander, und nachdem dieses geschehn, schlug man die Riegel zurück. Die Klappe drehte sich alsdann, und die Faschinen glitten auf ihr herab und stürzten in den Strom. Die Strömung war indessen so heftig, dass sie nicht lothrecht herabfielen, sondern ziemlich weit fortgetrieben wurden, bevor sie den Grund erreichten. Indem man eine Schnur an sie befestigte, konnte man sich davon überzeugen, wo sie lagen, und hiernach die Stellung des Schiffes so verändern, dass die folgenden an die gehörige Stelle kamen. Man wendete auch noch ein eigenthümliches Verfahren an, um je zwei solcher Systeme von Faschinen nahe an einander zu bringen: es wurde nämlich an einer der äussern Faschinen eine feste Oese

aus Weidenstrauch angebracht, durch diese zog man ein hinreichend starkes Tau, dessen beide Enden man im Schiffe behielt, um es später wieder zurückziehn zu können. An dem nächsten Systeme befand sich wieder an einer der äussern Faschinen eine Oese und durch diese wurde das eine Ende jenes Taus ebenfalls hindurchgezogen und scharf angespannt, damit dieses System längs dem Tau herabgleiten möchte. Nachdem die zweite Versenkung geschehn war, wurde das Tau zurückgezogen. Man hoffte auf diese Weise die Verbindungen von je drei Faschinen ganz regelmässig neben einander zu legen, doch ist es wohl sehr zweifelhaft, ob dieses wirklich erreicht sei.

Bei Ausführung derselben Coupirungen am Oberrhein wendete man noch eine andere Methode an, um den Kies in grössern Massen zusammen zu halten. Es wurden nämlich Senkkörbe, das heisst Kasten von verschiedener Form aus Flechtwerk gebildet, die man mit Kies anfüllte und alsdann versenkte. Fig. 116 *a*, *b* und *c* stellt einen solchen Kasten in der Form eines vierseitigen Prismas in der obern und in beiden Seitenansichten vor, und zwar zeigt die eine Hälfte der Figur jedesmal die äussere Ansicht, und die andere den Durchschnitt. Diese Senkkörbe waren 2 Meter ($6\frac{1}{2}$ Fuss) lang, 1 Meter ($3\frac{1}{6}$ Fuss) breit und 0,6 Meter (23 Zoll) hoch, Alles im Lichten gemessen. Sie fassten daher 1,2 Cubikmeter oder 39 Cubikfuss. Ihre Anfertigung geschah in der Art, dass man die vier Seitenwände in einem Stücke, den Boden und Deckel aber besonders bildete. Man steckte die Stäbchen, welche umflochten werden sollten, mit ihren zugespitzten Enden senkrecht in den Erdboden und zwar im Abstände von 0,15 Meter oder $5\frac{3}{4}$ Zoll von Mitte zu Mitte. Sodann flocht man die Weidenruthen herum, und stellte dadurch jeden der erwähnten Theile in den erforderlichen Dimensionen dar, doch wurde in dem Deckel eine Oeffnung freigelassen, die zur Füllung diente, und so gross war, dass man den Arm noch bequem hindurchstecken konnte. Die Oeffnung bildete sich sehr leicht, indem man die Flechtruthen vor derselben, nachdem die letzte Sprosse umschlungen war, wieder zurückzog und in entgegengesetzter Richtung weiter führte. Hierauf wurden die zugespitzten Sprossen der Seitenwände durch den Boden und zugleich durch den Deckel des Korbes hindurch gestossen, und über und unter den langen Seiten

je zwei Stäbe durch Weidenbänder mit einander verbunden. Alsdann war der Senkkorb fertig, und man stellte ihn auf die Klappe zwischen den beiden Schiffen, wovon schon die Rede war. Hier füllte man ihn mit gereinigtem Kies an, und schob zuletzt durch die freigebliebene Oeffnung, die etwas länger als breit war, noch ein Stück Flechtwerk ein, welches diese Oeffnung reichlich schloss, und durch Weidenruthen festgebunden wurde, die man schon vorher zu diesem Zweck daran befestigt hatte.

Der in Fig. 117 dargestellte Senkkorb, der mit dem ersten gleiche Länge hat, ist etwas fester als jener, indem seine drei langen Seiten im Zusammenhange geflochten sind. Am einfachsten in der Construction und zugleich am festesten ist jedoch der in Fig. 118 *a* im Querdurchschnitt und 118 *b* in der Seitenansicht und im Längendurchschnitt dargestellte Senkkorb. Zehn starke Zweige von 3 Meter oder $9\frac{1}{2}$ Fuss Länge bindet man an ihren Enden fest zusammen. Alsdann schiebt man einen hölzernen Reif von etwa 20 Zoll Durchmesser in der Mitte zwischen diese Zweige ein, und vertheilt dieselben recht gleichmässig auf seinem Umfange. Nunmehr umflicht man wieder mit Weidenreisern von beiden Enden aus nach der Mitte hin diese Zweige: dabei wird eine Oeffnung zum Füllen frei gelassen, welche auch zur Vollendung des Flechtens nothwendig ist. An beiden Enden des Korbes kann man indessen das Flechtwerk nicht weit genug fortsetzen, um einen gehörig dichten Schluss hervorzubringen, man schiebt daher zu diesem Zweck von innen noch Stroh-Büschel ein, welche das Herausfallen des Kieses verhindern. Vor der Füllung stösst man endlich zwei Stücke durch den Korb, wie die Figur zeigt, um zu verhindern, dass er nicht etwa durch den Strom fortgerollt werden möchte. Die Füllung mit Kies erfolgt wieder in der schon beschriebenen Weise.

Es entsteht die Frage, ob die beschriebenen Senkkörbe so fest sind, dass sie wirklich den eingefüllten Kies zusammenhalten, und ob sie nicht vielleicht gleich beim Herabstürzen vollständig beschädigt werden. Da ihr Gewicht bei der vierseitigen prismatischen Form gegen 40 Centner beträgt, so sollte man das Letzte in der That vermuthen. Defontaine giebt an, dass nur etwa der zwanzigste Theil von der ganzen Anzahl der Körbe beschädigt worden sei, und auch diese wären nicht verloren, sondern

516 X. Regulirung d. Ströme. 74. Stein-Constructions.

man hätte sie, nachdem der Kies herausgefallen, wieder aufgefangen und aufs Neue gefüllt. Im Badenschen erzählte man mir dagegen den Verlauf der Sache ganz anders, und wiederholentlich hörte ich die Behauptung, dass, so oft man Körbe versenkt hätte, dieselben in grosser Menge den Rhein herabgeschwommen und gegen die Ufer getrieben wären, so dass grosse Massen davon gesammelt und als Brennholz verbraucht worden seien.

Eine andere Methode, den Kies zu grössern Massen zu verbinden, besteht darin, dass man Mörtel hinzusetzt und ihn in Béton verwandelt. Dieses Verfahren, welches ohne Zweifel eine weit grössere Sicherheit als das zuletzt beschriebene gewährt, hat man bei dem Hafengebäude in Algier angewendet. Bei Strombauten ist davon wohl nie Gebrauch gemacht worden.



Ende des ersten Bandes vom zweiten Theil.

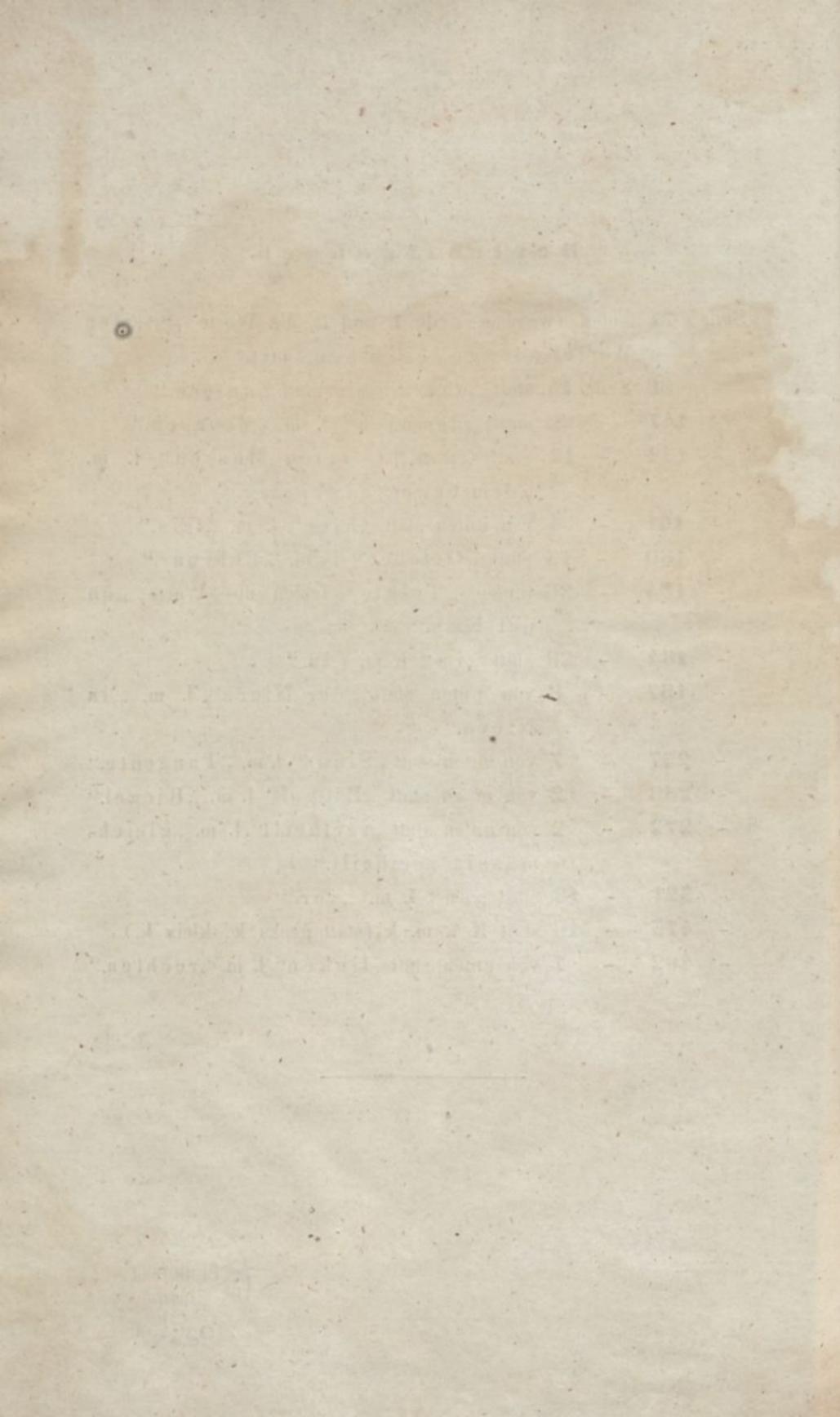


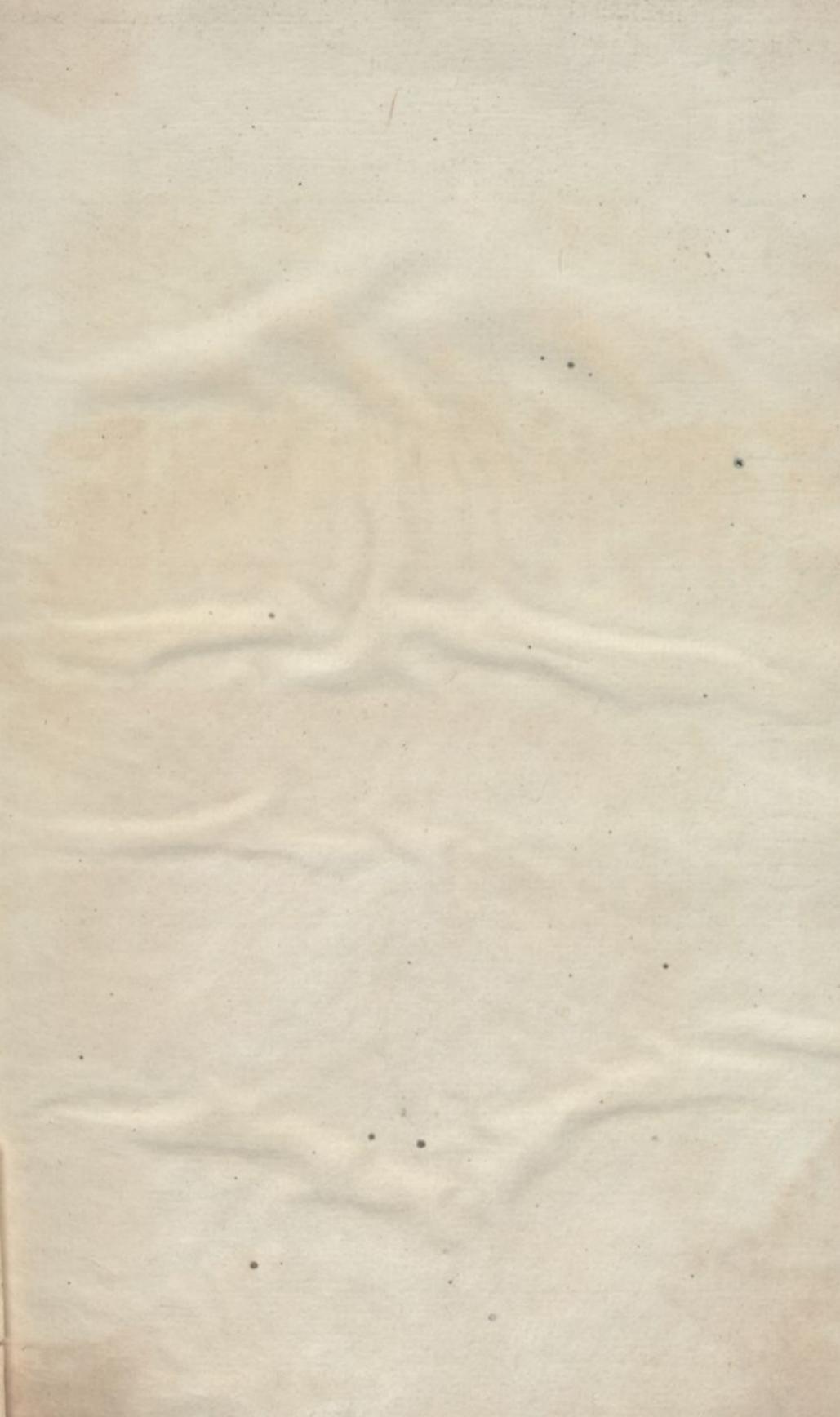
Berichtigungen.

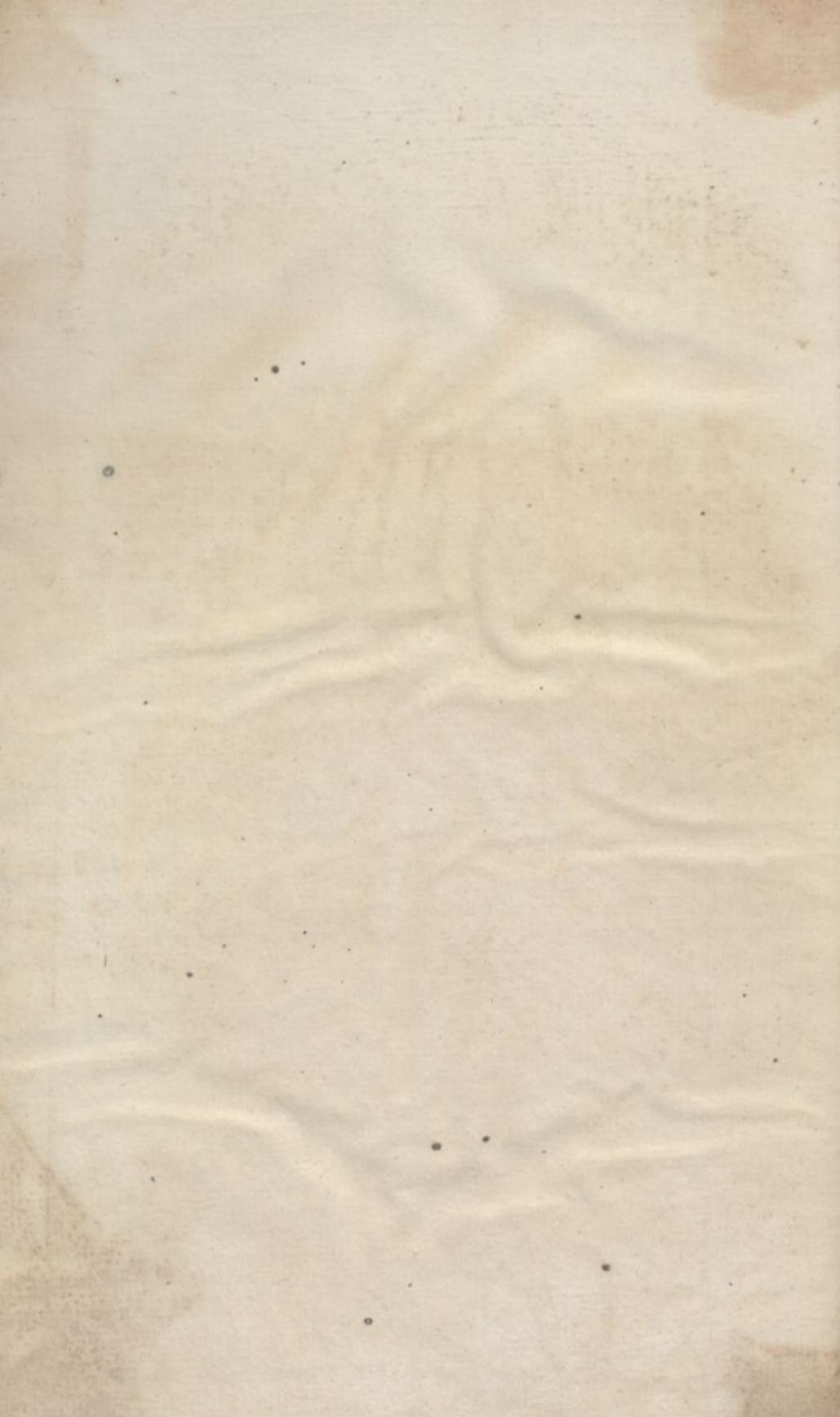
Seite 71 fehlen zwischen Zeile 1 und 2 die Worte „steifen
Mörtel oder zuweilen auch mit.“

- 89 Zeile 14 statt „obern“ lese man „untern.“
- 147 - 22 statt „demnach“ l. m. „dennoch.“
- 152 - 12 statt „den bewegten Massen“ l. m.
„dem bewegten Wasser.“
- 161 - 4 von unten statt „hier“ l. m. „fein.“
- 180 - 15 statt „October“ l. m. „Februar.“
- 184 - 26 hinter „Telgte“ fehlen die Worte „an
der Ems.“
- 184 - 28 statt „im“ l. m. „in.“
- 187 - 8 von unten statt „der Nicca“ l. m. „la
Nicca.“
- 257 - 7 von unten statt „Sinus“ l. m. „Tangente.“
- 258 - 2 von unten statt „Ringel“ l. m. „Riegel.“
- 272 - 2 von unten statt „vertheilt“ l. m. „gleich-
mässig vertheilt.“
- 321 - 18 statt „an“ l. m. „vor.“
- 473 - 16 statt K l. m. k (statt gross k, klein k.)
- 482 - 7 von unten statt „linken“ l. m. „rechten.“











BIBLIOTEKA GŁÓWNA

349048L/1