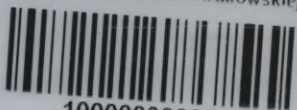




Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300970

x
2489

Handbuch
der
Wasserbaukunst

von
G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Theil:
Die Quellen.

Zweiter Band mit 13 Kupfertafeln.

Berlin 1870.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Brunnen, Wasserleitungen

und

Fundierungen.

Von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Annalen. sub. Litt. V. I. No. 334.

Zweiter Band.

Mit einem Atlas von 13 Kupfertafeln.

Berlin 1870.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Braun, Wasserleitungen

1870



~~115080~~



I-349956

Handwritten text, possibly a name or title, mostly illegible.

Zweiter Band.

Mit einem Atlas von 12 Kupfertafeln

Berlin 1870.

Verlag von Ernst & Korn

(Eingetragen nach dem Königl. Patent)

BVH-B 372/907

Inhalts-Verzeichnifs

des zweiten Bandes.

Abschnitt V.

Seite

Fundirungen. 1

§. 31.	Fundirungen im Allgemeinen	3
§. 32.	Fundirung auf festem Boden	23
§. 33.	Verbreitung des Fundamentes	38
§. 34.	Der Pfahlrost	57
§. 35.	Die Zugramme	81
§. 36.	Die Kunstramme	123
§. 37.	Rostpfähle	146
§. 38.	Tragfähigkeit der Pfähle	176
§. 39.	Spundpfähle	185
§. 40.	Die Grundsäge	204
§. 41.	Ausziehn der Pfähle	217
§. 42.	Darstellung der Baugrube	236
§. 43.	Umschließung der Baugrube	244
§. 44.	Trockenlegung der Baugrube	268
§. 45.	Schöpfmaschinen	275
§. 46.	Hydraulischer Mörtel	301
§. 47.	Béton	322
§. 48.	Béton-Fundirung	330
§. 49.	Senkkasten	358
§. 50.	Fundirung unter Luftdruck	374
	Inhalts-Nachweisung	414

Inhalts-Verzeichnis

des zweiten Bandes

Seite	Abschnitt V.	Veränderungen
1		Veränderungen
2		Veränderungen im Allgemeinen
23		Veränderung auf Kosten haben
24		Veränderung des Fundamentes
27		Der Falschheit
28		Die Verzinsung
128		Die Räumung
146		Haartheil
178		Tragfähigkeit der Fülle
185		Grundtheil
204		Die Grundtheil
217		Anzahl der Fülle
226		Bestimmung der Menge
244		Bestimmung der Menge
252		Bestimmung der Menge
272		Schöpfungsplan
301		Hydraulischer Mäkel
312		Beton
330		Beton-Fundament
352		Beton
374		Bestimmung einer Leistung
414		Inhalts-Verzeichnis

Fünfter Abschnitt.

F u n d i r u n g e n .

§. 31.

Fundirungen im Allgemeinen.

Die Oberfläche des natürlichen Bodens ist nur selten so fest oder tragfähig, daß sie unter der Last eines darauf gestellten Gebäudes gar nicht in Bewegung gesetzt oder zusammengedrückt werden sollte. Wenn dieses aber auch während des Baues nicht der Fall ist, so dürfen die spätern Einwirkungen der Witterung nicht unbeachtet bleiben. Der Regen dringt in die meisten Bodenarten ein und erweicht dieselben, während er sogar zuweilen noch Unterspülungen veranlaßt. Der Frost verursacht dagegen andre Bewegungen, indem das eingedrungene Wasser beim Gefrieren sich ausdehnt und beim Schmelzen wieder ein geringeres Volum einnimmt, so daß auch hierdurch der Untergrund gelockert wird.

In dieser Weise kann der Bau, den man unmittelbar auf den natürlichen Boden stellen wollte, entweder sogleich oder später die sichere Unterstützung verlieren. Geschieht dieses in seiner ganzen Ausdehnung gleichmäÙig, so ist die Senkung weniger nachtheilig, da die einzelnen Constructions-Theile sich weder trennen, noch aus dem Lothe weichen. Im entgegengesetzten Falle ist die Gefahr viel größer, und steigert sich nicht selten so sehr, daß der vollständige Einsturz erfolgt.

Das kunstgerecht ausgeführte Gebäude bildet einen Körper, dessen Theile unter sich nicht nur fest, sondern auch so dicht schließend verbunden sind, daß der Regen dazwischen nicht eindringen kann. Die sichere Unterstützung fehlt aber, wenn der Untergrund nicht hinreichend fest ist, oder durch die erwähnten atmosphärischen Einflüsse gelockert werden kann. Indem letztere in der natürlichen Oberfläche und nahe unter derselben im All-

gemeinen viel wirksamer sind, als in gröfserer Tiefe, so mufs der Bau soweit herabgeführt werden, bis die Erd-Schichten die nöthige Tragfähigkeit besitzen und dauernd behalten. Diesen Theil des Bauwerkes, der in solcher Absicht unter die Oberfläche des natürlichen Bodens herabreicht, nennt man die Fundirung oder den Grundbau.

Wo festes und zusammenhängendes Gestein zu Tage tritt, bedarf es unter gewöhnlichen Verhältnissen keiner Fundirung, um selbst einen schweren Bau darauf zu stellen, weil der Boden bereits die erwähnten Eigenschaften des künstlichen Mauerwerks besitzt. Es kommt also nur darauf an, ihn mit diesem so innig zu verbinden, dafs er eine Fortsetzung desselben bildet. Dabei mufs man aber auch dafür sorgen, dafs ein Abgleiten verhindert wird.

Bei andern Bodenarten mufs dagegen der Bau tiefer herabgeführt werden, und wenigstens so tief, dafs man ihn jenen atmosphärischen Einwirkungen entzieht. In unserm Klima pflegt der Frost nicht tiefer, als etwa 4 Fufs in den Grund einzudringen, auch verschwinden alsdann die auffallenden Aenderungen des Feuchtigkeits-Zustandes, wenn nicht etwa Quellen sich in der Nähe befinden. Dieses Maafs bezeichnet also unter günstigen Umständen und wenn nicht etwa andre Rücksichten, wie Kelleranlagen, ein weiteres Herabgehn fordern, die Tiefe der Fundirung.

Der aufgeschwemmte Boden besitzt jedoch häufig in den obern Lagen noch nicht die nöthige Tragfähigkeit, um einen schweren Bau sicher zu unterstützen. Bei gleichmäfsiger Beschaffenheit des Bodens vermindert sich dieser Mangel bei zunehmender Tiefe, weil theils zur Seite ein stärkerer Gegendruck sich bildet, theils aber auch die unter der Fundirung liegende Schicht nicht so leicht, wie in der Nähe der Oberfläche seitwärts ausweichen kann. Aus diesem Grunde mufs man im Allgemeinen um so weiter herabgehn, je schwerer das Gebäude ist. Die gröfsere Tiefe des Fundamentes giebt aufserdem noch Gelegenheit, die Basis desselben stufenförmig zu verbreiten und dadurch den Druck auf eine gröfsere Fläche zu vertheilen, oder den natürlichen Boden verhältnismäfsig weniger zu belasten.

In dem Falle, dafs verschiedenartige Erdschichten über einander lagern, kann es leicht geschehn, dafs die obere feste Schicht das Gebäude zu tragen im Stande ist, auch vermöge ihres innigen

Zusammenhanges jede Bewegung und jedes Ausweichen der darunter befindlichen loseren Masse verhindert, daß jedoch der Bau in die letztere einsinkt, sobald man die Fundirung tiefer herabführt und jene feste Schicht ganz oder theilweise durchschneidet. Um in dieser Beziehung sich zu sichern, muß man durch Aufbohren des Grundes dessen Beschaffenheit bis zu größerer Tiefe genau untersuchen, und zwar ist dieses in allen Fällen nothwendig, wenn schwere Gebäude an Stellen errichtet werden sollen, woselbst die Tragfähigkeit des Bodens noch nicht durch das Verhalten andrer ähnlicher Gebäude erprobt ist. Ueber die Ausführung dieser Bohrungen ist im II. Abschnitte bereits das Nöthige mitgetheilt worden. An der ausgehobenen Erde kann man die Zusammensetzung des Bodens in den verschiedenen Tiefen sicher erkennen, die Festigkeit der Ablagerung desselben wird jedoch durch das in das Bohrloch eindringende Wasser oft wesentlich verändert. Der Sand wird häufig vollständig aufgelockert, so daß er Trieb sand zu sein scheint, dem jede Tragfähigkeit mangelt, während er in der That fest abgelagert war, und nur durch das von unten in die Bohrröhre eindringende Wasser gehoben wurde. Indem bei Untersuchungen dieser Art die Tiefen, bis zu welchen man hinabgehen muß, gemeinhin nicht bedeutend sind, so kann man durch stumpfe eiserne Stangen, die man in das Bohrloch stößt, von der Festigkeit der natürlichen Lagerung des Sandes sich schon meist ein ziemlich sicheres Urtheil bilden.

Zuweilen ergibt sich aus den Bohrversuchen, daß bis zu großer Tiefe der Boden aus einer zähen und dickflüssigen Masse besteht. Oft ist dieselbe aus mehr oder weniger zersetzten organischen Substanzen gebildet, denen Thon beigemischt ist. Gewiß ist es sehr bedenklich, hierauf ein schweres Gebäude zu stellen. Findet sich in einer noch erreichbaren Tiefe ein fester Untergrund, so läßt sich mittelst des Pfahlrostes der Druck auf diesen übertragen. In vielen Fällen gewinnt der Pfahlrost aber auch schon die nöthige Tragfähigkeit in dem weichen Boden. Letzterer wird nämlich durch die eingetriebenen Pfähle comprimirt, und übt gegen diese eine bedeutende Reibung aus. In solcher Weise sind die Pfähle, so lange sie nicht zu stark belastet werden, gegen ein tieferes Einsinken sicher gestellt. Die Festigkeit der Pfahlroste in den Niederlanden beruht gemeinhin allein auf dieser Reibung, da

man aus dem starken Eindringen der Pfähle, wenn sie auch die beabsichtigte Tiefe nahe erreicht haben, sicher entnehmen kann, daß sie in keine an sich tragfähige Erdschicht eingedrungen sind.

Sollte der Boden so stark mit Wasser durchzogen sein, daß selbst durch eine große Anzahl von Pfählen, weder die nöthige Verdichtung, noch eine hinreichende Reibung sich darstellen läßt, und festere Schichten nur in einer nicht erreichbaren Tiefe vorkommen, so könnte man daran denken, noch einen schweren Bau dadurch sicher zu fundiren, wenn man ihn theilweise in der Art versenkt, daß er förmlich schwimmt. Das ganze Gewicht des Baues darf alsdann aber nicht größer sein, als die ausgehobene Schlamm- masse, die früher seine Stelle einnahm. Bei manchen Arten von Bauwerken läßt sich diese Bedingung leicht erfüllen. — So³ kann z. B. eine Entwässerungsschleuse, deren Mauern sich nicht über den Boden erheben, so eingerichtet werden, daß sie den Grund, auf dem sie erbaut wird, durchschnittlich nicht stärker belastet, als er früher durch die daraufliegende Erde gedrückt wurde. Ebenso können Souterrains, die man unter Wohn- und andern Gebäuden anbringt und die man wasserfrei erhält, auch den Druck vermindern. Bei hohen und massiven Gebäuden läßt sich indessen in dieser Weise der Druck nie vollständig aufheben. Es ist auch nicht bekannt, daß man jemals von diesem hydrostatischen Princip vollständig Gebrauch gemacht hat, nur bei Erbauung der Albion-Mühlen in London hat Rennie zum Theil diese Idee verfolgt. Farey^{*)} beschreibt die hier gewählte Fundirungsart mit folgenden Worten:

„Das Gebäude der Albion-Mühlen hat man auf den losen Anschüttungen am Stirnpfeiler der Blackfriars-Brücke erbaut, und um theils die Mauern zu sichern und theils mit dem Fundamente nicht gar zu tief herabgehn zu dürfen, so entwarf Rennie den Plan, das ganze Gebäude auf umgekehrte Gewölbe zu stellen. Zu diesem Zwecke wurde der Grund unter den Mauern so befestigt, wie dieses auch sonst üblich ist. Wo es nöthig war, schlug man Pfähle ein, oder legte einige Schichten von recht großen und flachen Steinen aus, und bildete so die Fundamente. Damit dieselben durch die Belastung jedoch nicht in die lose Erde einsinken möchten, wurden alle Räume dazwischen mit starken umgekehrten Gewölben versehen,

^{*)} *Treatise on the Steam Engine by J. Farey.*

die sich unter der ganzen Fläche des Gebäudes zwischen allen Mauern hinzogen. Diese Gewölbe hatten ihre Widerlager in den Fundamenten der Mauern, und letztere konnten nicht sinken, ohne daß die Gewölbe sich in gleichem Maasse in den Grund eindrückten. So wurden die sämtlichen Fundirungen mit einander verbunden, und bildeten eine so große Basis, daß sie selbst in dem Falle das Gewicht des ganzen Gebäudes hätten tragen können, wenn auch der Grund aus Schlamm bestanden hätte, denn das Gebäude mußte schwimmen, wie ein Schiff im Wasser schwimmt. Welche Senkung aber auch eingetreten wäre, so hätte daran das ganze Gebäude gleichmäßig Theil nehmen müssen, und ein Ausweichen oder Einsinken einzelner Mauern war unmöglich. Der Grund hatte indessen doch einige Festigkeit, und durch die erwähnte Ausdehnung der tragenden Fläche wurde der ganze Bau so gesichert, daß er sich gar nicht gesenkt hat.“

Hiermit stimmt gewissermaßen das Verfahren überein, welches man beim Stollenbau im leichten Boden anwendet. Der schlammige Untergrund pflegt nämlich unter dem Gewichte der Seitenmauern zwischen denselben, wo er keinen Gegendruck erfährt, aufzuquellen, und den Stollen mehr oder weniger auszufüllen. Man begegnet diesem Uebelstande wieder durch ein umgekehrtes Gewölbe, das man am Boden anbringt. Diese Methode wird gegenwärtig bei allen unterirdischen Canalstrecken und Tunnelirungen angewendet, so oft der Boden nicht aus festem Gestein besteht.

Gewiß ist die Frage von großer Wichtigkeit, in welcher Tiefe bei gleichmäßigem Boden eine gegebene Grundfläche die nöthige Unterstützung findet, um eine gegebene Last zu tragen. Ich hatte hierüber und zwar sowohl für Sand- als für Thonschüttungen schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes (1841) einige Beobachtungen mitgetheilt, und war zu dem Resultate gekommen, daß die Belastung im Sande dem Quadrate der Einsenkung, im Thone dagegen der Einsenkung selbst proportional sei. Außerdem hatte ich auch bemerkt, daß im Sande die Einsenkung momentan vollständig eintritt, während sie im Thon nur nach und nach erfolgt. Bei Wiederholung dieser Beobachtungen und zwar in weiterer Ausdehnung bestätigten sich zwar im Allgemeinen die erwähnten Resultate, es zeigten sich dabei jedoch manche Eigenthümlichkeiten, welche nicht unwichtig sind. Ohne die einzelnen Mes-

sungen vollständig mitzutheilen, mögen nachstehend die daraus hergeleiteten Schlufsfolgen, so wie die wichtigsten dabei wahrgenommenen Erscheinungen zusammengestellt werden.

In einem Blechcylinder wurden die verschiedenen Ablagerungen gebildet, deren Tragfähigkeit untersucht werden sollte. Eine vollständige Gleichmäfsigkeit liefs sich dabei aber ohnerachtet aller Vorsicht nicht erreichen und dieses war der Grund, weshalb bei Wiederholung derselben Beobachtungen die Resultate oft merklich verschieden waren.

Die Beobachtungen wurden in der Art angestellt, dafs ein Cylinder mit glatter Seitenfläche, der also möglichst wenig Reibung veranlafste, nach dem Lothe und in sicherer Führung auf die Schüttung sanft aufgestellt wurde. Dieser Cylinder war oben mit einer Scheibe versehen, worauf nach und nach gröfsere Gewichte gesetzt wurden. Bei dieser zunehmenden Belastung mufste jedoch jede Erschütterung vermieden, und daher jedesmal der Cylinder anderweitig gestützt und später vorsichtig gelöst werden. An dem Cylinder befand sich eine scharfe Marke, welche gegen einen festen Maafsstab die jedesmalige Einsenkung sicher erkennen liefs. Zwei solcher Cylinder wurden benutzt, von denen der eine 3,5 und der andre 5,4 Linien im Durchmesser hielt. Die horizontal abgeschnittenen Grundflächen derselben maafsen also 0,0669 und 0,1590 Quadratzoll, oder verhielten sich zu einander nahe wie 8 zu 19. Die Cylinder mit den zugehörigen Scheiben wogen 3,80 und 20,56 Loth. Es mag gleich bemerkt werden, dafs die mit beiden angestellten Messungen in den meisten Fällen mit grofser Wahrscheinlichkeit herausstellten, die Einsenkungen seien dieselben, wenn die Brutto-Gewichte den benannten Grundflächen proportional waren. Hiernach konnte das Gewicht berechnet werden, welches einen Cylinder, dessen Basis 1 Quadratzoll misst, in den verschiedenen Schüttungen bis zu gewisser Tiefe eindringen läfst.

Nachdem in jedem einzelnen Falle sechs bis zehn Einsenkungen unter verschiedenen Belastungen beobachtet waren, untersuchte ich zunächst, ob das Gewicht der ersten oder der zweiten Potenz der Einsenkung proportional sei, indem ich unter beiden Voraussetzungen die wahrscheinlichsten Werthe der constanten Factoren bestimmte, und nach Einführung derselben die Summen der Quadrate von den übrigbleibenden Fehlern mit einander verglich. Bei allen Sand-

schüttungen, sowohl den festeren, als den losen, und eben sowohl bei trocknen, wie bei feuchten und nassen ergab sich, daß diese Summe unter Einführung des Quadrates der Einsenkung viel geringer blieb, als wenn die erste Potenz gewählt war. Nur bei einer einzigen unter den zahlreichen Beobachtungsreihen mit fest abgelagertem feuchten Sande stellte sich das Gegentheil heraus, aber gerade bei dieser Bodenart zeigten sich die größten und zwar höchst auffallende Abweichungen, die ohne Zweifel davon herrührten, daß die Ablagerung sich nicht gleichmäÙig darstellen lieÙ, wenn darauf auch die möglichste Sorgfalt verwendet wurde. Bei dem Thonboden, und zwar ebensowohl, wenn er mit mehr oder mit weniger Wasser vermengt war, wurden die Fehlerquadrate dagegen viel kleiner, wenn ich die Gewichte der ersten Potenz der Einsenkung proportional setzte. Hierbei trat überdies noch der wesentliche Unterschied gegen die Erscheinung im Sandboden ein, daß die Cylinder nach und nach tiefer einsanken, bis sie nach 20 bis 30 Minuten eine sichere Unterstützung gefunden hatten und keine weitere Bewegung bemerken lieÙen. Die Einsenkungen wurden nach Verlauf dieser Zwischenzeiten gemessen. Bei Sandschüttungen konnten die Beobachtungen dagegen sogleich angestellt werden, weil die Cylinder momentan bis zur erforderlichen Tiefe eindrangen und ohne äußere Veranlassung später sich nicht weiter senkten.

Bei der Vergleichung der einzelnen Beobachtungen jeder Reihe mit den bezeichneten einfachen Ausdrücken ergab sich indessen, daß letztere nicht passend gewählt seien, weil jedesmal die Gewichte, die den kleinsten Einsenkungen entsprachen, bedeutend größer waren, als sie nach der Rechnung sein sollten. Die Uebereinstimmung wurde viel vollständiger, sobald ich noch ein constantes Glied einführte. Dasselbe entspricht ungefähr demjenigen Widerstande, den man in der Maschinenlehre Reibung nach der Ruhe zu nennen pflegt, und es erklärt sich dadurch, daß ein gewisser Druck erforderlich ist, bevor überhaupt eine Bewegung eintritt und daß letztere durch den Ueberschuß des ganzen Druckes über diesen bedingt wird. Auch bei Thonablagerungen wurde durch ein solches constantes Glied eine bedeutend größere Uebereinstimmung der einzelnen Beobachtungen erreicht.

Augenscheinlich lieÙ die Uebereinstimmung sich noch vermeh-

ren, wenn dem Ausdrucke drei Glieder gegeben wurden, nämlich aufser diesem constanten eines, welches die erste und ein anderes, welches die zweite Potenz der Einsenkung zum Factor hatte, oder wenn die Form

$$\gamma = r + s\varepsilon + t\varepsilon^2$$

gewählt wurde, wo γ die Brutto-Last, ε die Einsenkung bedeutet, während r , s und t die jedesmal zu bestimmenden Constanten sind. Dieser Ausdruck schien sich auch insofern zu rechtfertigen, als man vermuthen durfte, daß die Widerstände, welche beim Sande vorwiegend der zweiten, und beim Thon vorwiegend der ersten Potenz der Einsenkung proportional sind, jedesmal oder doch in gewissen Fällen vereinigt vorkommen. Diese Voraussetzung ergab sich indessen als irrig, da in den ausgedehntesten und sichersten Beobachtungsreihen, für die ich die Werthe der drei Constanten methodisch berechnete, eine oder die andere derselben sich in den meisten Fällen als negativ ergab, was an sich unmöglich ist. Ich blieb daher bei den einfachen Formen

$$\gamma = r + \varepsilon^2 t$$

$$\text{oder } \gamma = r + \varepsilon s$$

und gelangte dadurch zu den nachstehenden Resultaten.

Was die Sandschüttungen betrifft, so war das Material dasselbe, welches ich zu den Beobachtungen über die Filtration (§. 20) benutzt hatte. Der Sand war, wie oben erwähnt, durchaus frei von jeder fremden Beimengung und bestand aus sehr gleichen Körnchen, die durchschnittlich 0,13 Linien im Durchmesser hielten.

Das specifische Gewicht der Sandkörnchen fand ich gleich 2,64. Bei möglichst vorsichtiger Einschüttung in ein cylindrisches Gefäß, wobei der trockne Sand in feinem Strahle immer nur wenige Linien tief herabfiel, und jede Erschütterung vermieden wurde, füllte die Masse nur 0,604 des Raumes an. Wenn der Sand dagegen schichtenweise angestampft wurde, so nahm er 0,640 des ganzen Raumes ein. Diese beiden Grenzen wurden, sobald Wasser hinzu kam, merklich überschritten. Durch Einschütten des Sandes in Wasser, wobei die Körnchen einzeln und zwar sehr sanft niedersanken, also Tribsand bildeten, füllte ein Volum, das in compacter Masse nur 0,574 des ganzen Raumes einnahm, den letzteren vollständig an, wenn ich dagegen dem Sande so wenig Wasser zusetzte, daß er nur schwach befeuchtet war, und in diesem Zustande ihn

schichtenweise anstampfte, so maafs sein Volum 0,647 des ganzen Raumes *).

Diese verschiedenen Ablagerungen, sowohl des trocknen, wie des feuchten und nassen Sandes wurden möglichst gleichmäfsig in dem cylindrischen Gefäfse von 6 Zoll Weite und 8 Zoll Höhe dargestellt. In dem Boden desselben befand sich eine verschleifsbare Oeffnung, an welche auch ein Gummischlauch befestigt werden konnte, um zur Darstellung des Triebandes das Wasser von unten und zwar unter beliebigem Drucke eindringen zu lassen.

In der folgenden Zusammenstellung sind die Mittelwerthe der Belastungen auf 1 Quadratzoll Grundfläche und zwar in Pfunden ausgedrückt, mit γ , die Einsenkungen ε dagegen in Zollen bezeichnet.

Trockner Sand war möglichst lose in das Gefäfs geschüttet, also unter Anwendung der vorhin erwähnten Vorsicht

$$\gamma = 2,0 + 3,2 \cdot \varepsilon^2.$$

Bei trockenem Sande, der fest gestampft und durch lange fortgesetztes Einstofsen eines Drahtes möglichst dicht abgelagert war, fand ich

$$\gamma = 1,1 + 6,1 \cdot \varepsilon^2.$$

Dafs das erste Glied, welches von wenig Bedeutung ist, bei der festen Schüttung einen geringeren Werth hat, als bei der losen, rührt augenscheinlich nur von der Unsicherheit der Beobachtungen her. Man dürfte vermuthen, dafs diese Constante in beiden Fällen gleich grofs ist, da die Oberfläche des trocknen Sandes sich überhaupt nicht befestigen läfst.

Indem ich in die Schüttung des trocknen Sandes Wasser von unten eintreten liefs, und dieses mit einer Druckhöhe wirkte, die sich etwa 1 Zoll über die Oberfläche des Sandes erhob, so quoll der Sand schon stellenweise hoch auf und verlor alle Festigkeit. Wenn dagegen die Druckhöhe nur einige Linien betrug, so trat solche Bewegung nicht merklich ein und ich konnte das Wasser längere Zeit hindurch von unten nach oben durchfliefsen lassen,

*) Wenn diese Zahlen-Verhältnisse von den in §. 7 angegebenen zum Theil abweichen, so rührt dieses davon her, dafs der früher untersuchte Sand, der vom Strande selbst entnommen war, aus Körnchen von sehr verschiedener Gröfse bestand.

indem es über den Rand des vollständig gefüllten Gefäßes austrat. Für diesen Fall ergab sich durchschnittlich

$$\gamma = 2,0 + 4,4 \cdot \varepsilon^2.$$

Wenn andererseits das Wasser in entgegengesetzter Richtung, also von oben nach unten den Sand durchströmt hatte, so zeigte der letztere eine viel gröfsere Tragfähigkeit, und nach mehreren Versuchsreihen ergab sich durchschnittlich

$$\gamma = 14,6 + 12,4 \cdot \varepsilon^2.$$

Die Festigkeit der Ablagerung liefs sich wesentlich noch dadurch verstärken, dafs der Sand in feuchtem Zustande eingeschüttet und in dünnen Lagen angestampft wurde. Er lagerte sich alsdann so dicht, dafs das darauf gegossene Wasser nur sehr langsam eindrang und nur tropfenweise durch die untere Oeffnung abflofs, dabei lockerten sich indessen die oberen Schichten wieder etwas auf. Bei Prüfung des festgestampften feuchten Sandes, dem kein Wasser später zugesetzt war, fand ich

$$\gamma = 12,7 + 62,3 \cdot \varepsilon^2.$$

Hierauf untersuchte ich braunen plastischen Thon, wie solcher zur Fabrikation feiner Thonwaaren zubereitet war. Das specifische Gewicht desselben in trockenem Zustande, also nachdem er einige Stunden hindurch der Siedehitze ausgesetzt gewesen, fand ich gleich 2,26. Ich setzte ihm zunächst so wenig Wasser zu, dafs er so eben nur noch plastisch blieb, das heifst Formveränderungen annahm, ohne zu reifsen. Der Wassergehalt betrug alsdann 0,249 der ganzen Masse. Ich füllte hiermit wieder schichtenweise das bereits beschriebene Gefäfs an, indem ich durch Andrücken der jedesmal aufgelegten Masse die etwa gebildeten hohlen Räume zu beseitigen mich bemühte. Wenn alsdann einer oder der andere mit mäfsigen Gewichten beschwerte Cylinder aufgestellt wurde, so schien derselbe zunächst gar keinen Eindruck zu machen, doch sank er nach und nach tiefer ein, bis etwa nach einer halben Stunde die Bewegung ganz aufhörte, oder wenigstens unmerklich geringe wurde. Es gab sich also wieder die auffallende Verschiedenheit gegen die mit Sand angestellten Messungen zu erkennen, in welchen das Gleichgewicht momentan eintrat.

Eine zweite eben so auffallende Verschiedenheit zeigten die Reihen der mit denselben Cylindern gemachten Beobachtungen, indem nach und nach gröfsere Gewichte aufgelegt wurden. Die

Gewichte waren nämlich, abgesehn von dem constanten Theile derselben, der die erste Bewegung veranlafste, nicht mehr dem Quadrate der Einsenkung, sondern deren erster Potenz proportional.

Die Mittelwerthe mehrerer Reihen von Beobachtungen mit dem dünneren Cylinder ergaben

$$\gamma = 17,9 + 11,1 \cdot \varepsilon.$$

Die Summe der Quadrate der übrig bleibenden Fehler betrug alsdann 17,3 während diese Summe sich auf 2600 stellte, wenn ich ε in der zweiten Potenz einführte. Die mit dem stärkeren Cylinder angestellten Versuchsreihen ergaben dagegen die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten unter Berücksichtigung der ersten Potenz der Geschwindigkeit und zwar wieder auf die Grundfläche von 1 Quadratzoll reducirt

$$\gamma = 30,1 + 23,7 \cdot \varepsilon.$$

Die Summe der Fehlerquadrate stellte sich auf 18,4 während dieselbe bei Einführung von ε^2 , 6700 betrug.

Hiernach leidet es keinen Zweifel, daß selbst bei diesem sehr steifen Thone das Verhalten sich dem der Flüssigkeiten anschließt, und die Tiefe der Einsenkung, also das Volum der verdrängten Masse, dem Drucke annähernd proportional ist.

Die Vergleichung dieser beiden Resultate läßt indessen noch einen andern sehr wesentlichen Unterschied gegen die mit dem Sande angestellten Beobachtungen erkennen. Bei Reduction der Gewichte auf die Einheit der drückenden Bodenfläche zeigt sich nämlich, daß die Einsenkungen keineswegs gleich sind, vielmehr bei gleichem Drucke der Coefficient der Einsenkung ungefähr der Ausdehnung dieser Fläche proportional ist. Annähernd findet dasselbe auch bei dem ersten, oder dem constanten Gliede statt. Es würde sich daraus ergeben, daß für verschiedene drückende Flächen die Einsenkungen den Quadraten dieser Flächen oder den vierten Potenzen ihrer Durchmesser umgekehrt proportional sind. Dieses Resultat stellt sich auch nicht als unwahrscheinlich heraus, insofern die verdrängten Theilchen der steifen Masse um so schwieriger der drückenden Fläche ausweichen können, je weiter der Weg ist, den sie seitwärts machen müssen.

Schließlich stellte ich aus demselben Thon noch einen dicken Brei dar, welcher ungefähr diejenige Consistenz hatte, welche der Töpfer beim Setzen der Oefen dem Thone giebt. Der Wasser-

gehalt betrug in diesem Falle 0,306 der ganzen Masse. Beide Cylinder ergaben, wenn ich den Druck auf die Fläche von 1 Quadratzoll reducirte, ungefähr gleiche Resultate, nämlich

$$\gamma = 2,21 + 2,31 \cdot \varepsilon.$$

Der Versuch, die zweite Potenz der Einsenkung einzuführen, stellte die Beobachtungen viel weniger dar, und zwar betrug die Summen der Quadrate der übrig bleibenden Fehler ungefähr das Hundertfache der Summen, die sich aus der ersten Annahme ergaben.

Bei diesen Beobachtungen zeigten sich noch andre Erscheinungen, welche über die Art des Ausweichens des Bodens unter dem Cylinder einigen Aufschluss geben. In den möglichst lose aufgeschütteten trocknen Sand drangen die Cylinder ein, ohne daß irgend eine Erhebung der Oberfläche umher bemerkt werden konnte. Es bildete sich vielmehr eine trichterförmige Vertiefung daneben, die Cylinder führten also, obwohl beide glatt und polirt waren, den sie zunächst berührenden Sand mit herab, und sowohl die an der Basis verdrängte Masse, wie der Inhalt des hohlen Trichters, drängten sich nur in die Zwischenräume der lockern Schüttung und verdichteten dieselbe.

War der trockne Sand dagegen schichtenweise fest angestampft, so erschien zwar wieder eine solche conische Höhlung, jedoch von geringerer Ausdehnung und ein schwaches Aufsteigen der Oberfläche war bemerkbar.

Im fest abgelagerten feuchten Sande, der also nur wenig benetzt war, entstand dagegen rings um den Cylinder eine starke Fuge, und in einiger Entfernung schwoll die Oberfläche etwas auf.

War das Wasser von unten nach oben durch den Sand hindurchgedrungen, so gab sich die dichtere Ablagerung der Masse nur dadurch zu erkennen, daß die Oberfläche sich mit Wasser bedeckte, eine Erhebung derselben war aber nicht zu bemerken.

Bei den Thonschüttungen trat dagegen das Ansteigen der Oberfläche sehr deutlich hervor, und zwar erhob sich bei dem weichen Thone die Masse in der Nähe des Cylinders besonders hoch, während bei dem steiferen Brei die Anschwellung sich mehr über die ganze Oberfläche verbreitete und daher weniger auffallend blieb.

Aehnliche Messungen über die Tragfähigkeit des Bodens in größerem Maasstabe sind nicht bekannt geworden. Die Bestimmung der Tiefe der Fundirung, wie die der Ausdehnung der tra-

genden Fläche pflegt daher ziemlich willkürlich zu erfolgen. Ob jedesmal das richtige Maafs getroffen wird, dürfte zweifelhaft sein. Nur in den nicht seltenen Fällen, das Senkungen eintreten, stellt es sich heraus, das man für die Sicherheit nicht genügend gesorgt hat, es bleibt aber ungewifs, ob man nicht vielfach ohne Grund die Fundirungen zu weit ausdehnt, und dadurch unnöthiger Weise die Kosten vergrößert.

Wie sich aus vorstehenden Beobachtungen ergibt, stellt sich bei weichem Boden, der an einer Stelle stark belastet wird, das Gleichgewicht dadurch her, das zur Seite Erhebungen eintreten. Bei Gebäuden, für deren Sicherung man zu sorgen pflegt, tritt dieser Fall nicht leicht ein, wohl aber bei hohen Dammschüttungen, die durch Sümpfe und Wiesen mit weichem Untergrunde geführt werden. In stark durchnäfstem Thon, und so auch in vegetabilischer Erde, wenn sie stark mit Wasser durchzogen ist, pflegen Dämme nicht nur zu versinken, sondern daneben entstehn Anschwellungen, die zuweilen den Damm überragen. Dabei nimmt aber das umgebende Terrain eine merkliche Seitenbewegung an, die sich namentlich dadurch zu erkennen giebt, das Seitengräben in der Nähe zugeschoben werden, indem die nächsten Ufer derselben weiter zurückweichen, als die gegenseitigen. Bei Ausführung der Bahn von Nantes nach Lorient und Brest mußte eine Niederung durchbaut werden, die auf 60 Fufs Tiefe mit weichem Schlamm gefüllt war. Die aufgebrachte Erde versank nicht nur, sondern bei fortgesetzter Schüttung erhob sich im Abstände von 100 bis 200 Fufs der Boden sogar bis gegen 30 Fufs über sein früheres Niveau. Aehnliche Erscheinungen, wenn auch in geringerer Ausdehnung, wiederholen sich vielfach bei der Ausführung von Eisenbahndämmen. So hob sich der Thonboden in solchem Falle bei Oldesloe neben der Bahn zwischen Hamburg und Lübeck weit über die Dammschüttung, und indem seine obern Schichten weniger feucht waren, so erschienen die abgebrochenen Massen wie mächtige Felsblöcke, die in langer Reihe aus dem Boden emporgestiegen waren.

Solche Bewegungen sind besonders bei Brücken und Durchlässen, die immer an den niedrigsten Stellen erbaut werden, höchst bedenklich. Dem Zusammenschieben der Stirnpfeiler kann man zwar durch gegenseitige Verstrebung oder durch eingespannte Gewölbe begegnen, aber häufig tritt dabei noch eine Seitenbewegung

ein, wodurch die Stirnpfeiler zerrissen werden. Namentlich geschieht dieses, wenn die Fundirung auf Pfahlrosten gewählt und für eine sichere Verbindung des Rostes in der Längenrichtung des Pfeilers nicht gehörig gesorgt ist. Die Erde zwischen den Pfählen wird alsdann in Folge der starken Belastung, eben so, wie die unter dem Damme lagernde, seitwärts gedrängt, und da die Pfähle, wenn auch gegen tieferes Eindringen gesichert, doch keinen festen Stand haben, so werden sie theils nach der einen und theils nach der andern Seite gedrängt. Der Rost zerreißt und es öffnet sich eine Quer-Fuge durch das Gewölbe, welches die beiden Stirnpfeiler verbindet. Ereignisse dieser Art sind keineswegs selten, am auffallendsten sah ich solche Brüche in dem Durchlasse unter der hohen Dammschüttung ohnfern Feucht bei Nürnberg, welche den Ludwigs-Canal trägt, und wo man die beiderseitigen Stirnmauern durch starke Anker von etwa 200 Fufs Länge gegen weiteres Ausweichen sichern mußte.

Um in solchem Falle eine zu starke Verbreitung der aufgeschütteten Erdmasse zu verhindern, hat man verschiedene Sicherungs-Maafsregeln versucht. Am erfolgreichsten wäre gewifs die Drainirung des Bodens, doch ist solche wegen der niedrigen Lage meist unausführbar. Der Versuch, das Terrain an beiden Seiten und zwar bis zu gröfserer Tiefe durch Comprimirung zu befestigen, indem man etwa Gräben aushebt und diese mit Steinen anfüllt, ist schon wegen der großen Kosten gemeinhin unausführbar. Der Erfolg bleibt aber auch ungewifs, wenn die Belastung nicht so stark ist, dafs bis zu großer Tiefe die Compression eintritt. An einzelnen Stellen, wie etwa neben Brücken und Durchlässen, haben Erdschüttungen zur Seite, die starke Widerlager bilden, in vielen Fällen den Bewegungen Einhalt gethan; gemeinhin bleibt aber nur übrig, die Erdschüttungen so lange fortzusetzen, bis endlich das fernere Versinken aufhört, doch darf man in dieser Beziehung das Gleichgewicht, welches sich einige Zeit hindurch einstellt, nicht als vollständig gesichert ansehen, da vielfach die Bewegungen wieder später eintreten und es Beispiele giebt, dafs nach Zwischenräumen, die Decennien umfassen, die Dämme wieder versinken. So erzählt Tetens *), dafs der 1757 ausgeführte Seedeich vor der Wilster-Marsch bei einer

*) Reisen in die Marschländer an der Nordsee. Leipzig 1788. Seite 299.

vorgenommenen Erhöhung um das Jahr 1780 plötzlich um 14 Fufs versank, und dieselbe Erscheinung wiederholte sich nach einem Zwischenraume von 86 Jahren vor Kurzem aufs Neue.

Indem der Untergrund keineswegs immer von gleichmäfsiger Beschaffenheit ist, so geschieht es nicht selten, dafs die obern Schichten eine gewisse Festigkeit besitzen, welche den darunter befindlichen fehlt. Der Boden ist alsdann im Stande, mäfsige Lasten zu tragen, doch hört seine Widerstandsfähigkeit auf, sobald er einem stärkeren Drucke ausgesetzt wird. Bei Ausführung der Oesterreichischen südlichen Bahn mußte das Laibacher Moor durch eine Dammschüttung überbaut werden. Dem seitlichen Ausweichen des Bodens suchte man durch Steinschüttungen zu begegnen und man prüfte die Tragfähigkeit der dazwischen befindlichen weichen Masse, indem man einen Pfahl, dessen stumpf abgeschnittene Grundfläche 1 Quadratfufs maafs, darauf stellte und durch eine Führung dafür sorgte, dafs er nur lothrecht herabsinken konnte. Indem man denselben mit 25 Centnern belastet hatte, hörte seine Einsenkung auf, sobald man dagegen noch 10 Centner aufbrachte, versank er vollständig im Moore.

Es ergibt sich hieraus, wie wichtig es ist, vor der Ausführung eines Baues, die Beschaffenheit des Untergrundes durch hinreichend weit ausgedehnte Bohrungen genau zu ermitteln, und dabei nicht unbeachtet zu lassen, dafs die mit dem Bohrer ausgehobene Masse bei starkem Zudrange von Wasser oft eine ganz andre Consistenz zeigt, als der Boden im natürlichen Zustande hatte.

Wenn man von künstlichen Fundirungen absieht, also die Fundament-Mauern unmittelbar auf den gewachsenen Boden stellen will, so läfst sich diejenige Tiefe, welche volle Sicherheit bietet, vielfach nicht erreichen, weil theils die Kosten für die Erdarbeiten und Fundamentmauern zu bedeutend ausfallen, theils aber auch ein so starker Wasserzudrang zu befürchten ist, dafs die Arbeit dadurch aufs Neue vertheuert oder wohl gar unmöglich wird. In diesem Falle bietet sich zunächst das Mittel dar, dafs man die tragende Fläche des Fundaments vergrößert. Nach Maafs-gabe dieser Vergrößerung müssen beim Nachsinken um so mehr Erd- oder Sandtheilchen verdrängt werden, und die doppelt so grofse Fläche kann unter übrigens gleichen Umständen auch das doppelte Gewicht tragen. Dazu kommt noch, dafs der Weg, den

die einzelnen Erdtheilchen beim Ausweichen zurücklegen müssen, durch die Vergrößerung der tragenden Fläche verlängert wird, oder die Tragfähigkeit des Fundaments gewinnt durch die Verbreitung desselben noch mehr, wenigstens ist dieses zu erwarten, wenn die Erdtheilchen eine merkliche Reibung gegen einander ausüben. Gewissermaßen wird die Verbreitung des Fundaments fast jedesmal eingeführt, indem man die Mauern mit Banketen versieht. Auch manche andre künstliche Fundirungsarten bezwecken allein dasselbe, wie der liegende Rost und die Sandschüttungen, wovon später die Rede sein wird.

Demnächst trifft es sich zuweilen, daß die Erdschicht, welche nicht die nöthige Festigkeit besitzt, sich nur etwa 10, 20 bis 30 Fufs tief erstreckt und hier auf Felsboden oder doch auf einer festeren Schicht lagert. In solchem Falle kann man die Last des Gebäudes durch eingerammte Pfähle auf den festen Untergrund übertragen und dieses ist der eigentliche Zweck des Pfahlrostes. Perronet, dem wir die wichtigsten Belehrungen über die Grundpfähle und über das Einrammen derselben verdanken, stellt ausdrücklich die Regel auf, daß die Pfähle immer bis zum Tuff oder Fels herabgetrieben werden müssen *). Dabei hat Perronet freilich nur eine gewisse Localität vor Augen gehabt, wie solche sich in Frankreich oft vorfinden mag, nichts desto weniger muß man anerkennen, daß der Pfahlrost die volle Sicherheit nur bietet, wenn er eine feste Schicht in der Tiefe erreicht.

Der Pfahlrost wird indessen auch häufig angewendet, wenn diese Bedingung nicht stattfindet und der Boden in der größeren Tiefe unverändert dieselbe geringe Festigkeit beibehält, die er oben hat. In diesem Falle erreicht man noch denselben Vortheil, welchen die Tieferlegung des Fundaments gleichfalls herbeiführen würde, man vertheilt den Druck auf die sämtlichen Schichten, welche von den Pfählen durchdrungen sind, weil überall, wo die Reibung gegen den Pfahl wirksam ist, ein Theil des Druckes übertragen wird. Auch diese Anwendung des Pfahlrostes ist unter Umständen angemessen, man darf jedoch nicht unbeachtet lassen, daß der Vortheil dabei zuweilen so geringe ausfällt, daß er die

*) *Mémoire sur les pieux et pilotis* in dem großen Werke *Description des Ponts de Neuilly etc. par Perronet*. Paris 1788. pag. 588.

sehr bedeutenden Kosten, die mit dieser Fundirungsart verbunden sind, nicht aufwiegt. Dabei treten zuweilen noch unerwartete und sehr störende Erscheinungen ein. Man hat zuweilen Baugruben ausgehoben, worin wegen des zähen Thones der Wasserzudrang so unbedeutend war, daß eine Handpumpe zur Wasserwältigung genügte, sobald man aber zu rammen anfang, so eröffnete sich neben jedem Pfahle ein Quell, und das Wasser nahm zuletzt so sehr überhand, daß es selbst durch die kräftigsten Maschinen nicht mehr zu beseitigen war und man versuchen mußte, durch Aenderung der beabsichtigten Fundirungsart die Quellen einigermaßen zu stopfen. Ein Fall dieser Art ereignete sich beim Bau der Brücke zu Orleans. Perronet, der diese Brücke weder projectirt hatte, noch auch an der Ausführung unmittelbar betheilig, sondern nur mit der Abnahme des Baues beauftragt war, beschreibt die Verlegenheiten, welche auf solche Art veranlaßt wurden und die verschiedenen Mittel, die man dagegen in Anwendung zu bringen versuchte. Indem man aber den Rost nur auf die Pfähle aufzubringen pflegt, nachdem der Wasserspiegel bis zu denselben gesenkt ist, so fordert diese Fundirungsart meist eine starke Wasserwältigung und oft die Umschließung mit Fangedämmen. Daß durch anhaltendes Pumpen der Untergrund wesentlich verschlechtert werden kann, namentlich, wenn er aus feinem Sande besteht, ist schon oben (§. 7) erwähnt worden *).

Wenn die Pfähle den festen Untergrund erreichen, oder den umgebenden Boden stark comprimiren, so sinkt das von ihnen getragene Fundament nicht merklich unter der Last des darauf gestellten Gebäudes. Anders verhält es sich, wenn auf einem nicht ganz festen Baugrunde nur die Verbreitung des Fundamentes vorgenommen wird. Die Senkung, die alsdann erfolgt, ist zwar meist nicht nachtheilig, sobald sie ziemlich gleichmäÙig am ganzen Gebäude sich zeigt, dagegen wird der Verband in den Mauern und Wänden aufgehoben, wenn ein Theil des Baugrundes sich stärker senkt, als der andere. Man muß daher eine ziemlich gleichmäÙige

*) Ueber die verschiedenen Fundirungs-Arten auf losem Grunde hat Croizette Desnoyers eine Reihe wichtiger Erfahrungen zusammengestellt, die er beim Bau der Bahn von Nantes nach Brest zu machen Gelegenheit hatte. *Mémoire sur l'établissement des travaux dans les terrains vaseux de Bretagne.* In den *Annales des ponts et chaussées.* 1864. I. p. 273.

Senkung überall darzustellen suchen und deshalb die theilweise Anwendung des Pfahlrostes möglichst vermeiden. Hughes *) erzählt, wie beim Bau einer Wasserleitung einzelne Pfeiler auf Felsen und andere auf aufgeschwemmten Boden aufgeführt waren und sämmtlich unversehrt standen, ein Pfeiler aber, der halb auf Erde und halb auf Felsen gegründet war, spaltete plötzlich auf 30 Fuſs Höhe. Bei großer Ausdehnung der Gebäude und wenn der Boden sehr verschiedenartig ist, kann man es zuweilen nicht vermeiden, verschiedene Fundirungsarten zu wählen. Alsdann muß man sich aber auf ein ungleichmäßiges Setzen gefaßt machen, und damit dieses ohne großen Nachtheil für das Gebäude eintreten kann, so ist es am vortheilhaftesten, die einzelnen Theile nur stumpf gegen einander zu stellen.

Der liegende Rost sowohl; als der Pfahlrost müssen so tief gesenkt werden, daß sie immer unter Wasser bleiben, weil sie bei abwechselnder Nässe und Trockenheit ihre Festigkeit verlieren und alsdann nicht mehr den darauf gestellten Bau tragen können. Aus diesem Grunde ist es Regel, die Roste immer unter den tiefsten Wasserstand der daneben befindlichen Gewässer oder unter das tiefste Grundwasser zu legen. Man muß indessen darauf Rücksicht nehmen, daß natürliche oder künstliche Veränderungen im Bette des Baches oder des Flusses möglicher Weise eine noch tiefere Senkung des Wasserspiegels herbeiführen können, als bisher beobachtet worden. Die meisten Stromregulirungen haben den Erfolg, daß der Abfluß befördert und sonach der Wasserspiegel gesenkt wird, daher geschieht es nicht selten, daß die Roste der Brückenpfeiler und der sonstigen Bauwerke neben dem Strome über Wasser treten, wenn sie auch bisher immer davon bedeckt waren.

Zur Darstellung dieser tief liegenden Roste wird es nöthig, die Baugrube bis unter das Grundwasser auszuheben und so lange vom zudringenden Wasser frei zu halten, bis man den untern Theil des Baues vollendet hat. Dazu kommt noch, daß gewisse Bauten, wie Schleusen und Freiarchen, noch in einer bestimmten Tiefe unter dem kleinsten Wasser, andre dagegen, wie etwa Brückenpfeiler, unter der Sohle des Flußbettes fundirt werden müssen. Aus diesen Gründen ist es oft erforderlich, bis zu einer großen Tiefe unter

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p. 59.*

den Wasserspiegel herabzuehnen und zwar zuweilen in dem Flußbette selbst. Es wird alsdann nöthig, die Baugrube mit wasserdichten Umfassungswänden oder sogenannten Fangedämmen zu umgeben, auch wohl den Boden gegen ein zu heftiges Durchquellen des Wassers zu sichern und das zudringende Wasser herauszuschaffen. Die Schwierigkeiten, die hierbei eintreten, sind häufig sehr groß, und um so unangenehmer, als man selten vorhersehen kann, in welcher Art sie sich zeigen werden. Aus diesem Grunde ist man namentlich in Frankreich seit langer Zeit bemüht gewesen, in solchen Fällen andere Fundirungsarten zu wählen, wobei man diese Wasserwältigung umgeht, die höchst unsicher, kostbar und nicht selten für den Baugrund nachtheilig ist. Hauptsächlich dienen hierzu zwei Methoden, nämlich die Bétonbettung und die Fundirung in Senkkasten oder Caissons. Nach dem ersten Verfahren wird der an sich feste Untergrund durch Baggern und unter freiem Zutritt des Wassers bis zur nöthigen Tiefe ausgehoben, und mit starken Bétonschichten bedeckt, d. h. mit einem Mauerwerk, welches aus Steinstücken und Mörtel besteht und ohne Verband in die Baugrube geschüttet wird. Ist der Béton erhärtet, so sind alle Quellen, die sonst durch den Boden hervorbrechen würden, gestopft, man kann leicht die Baugrube trocken legen und hat dadurch noch die beiden wichtigen Vortheile erreicht, daß der Untergrund gegen jede Auflockerung durch Quellen gesichert ist und die Bétonlage schon den untern Theil des Fundaments bildet. Was die Caissons betrifft, so fand die Anwendung derselben anfangs weniger Eingang, doch hat diese Methode in neuester Zeit manche wesentliche Verbesserungen erfahren, woher sie besonders geeignet erscheint, um in weichem Untergrunde die Fundirung tief herabzuführen. Sie schließt sich gegenwärtig ziemlich nahe an die vielfach gewählte Gründung auf gemauerten Brunnen an, und unterscheidet sich von dieser vorzugsweise durch die viel größeren Dimensionen der unmauerten Räume.

Um das Eindringen des Wassers in die Baugrube zu verhindern, und um bis zu großer Tiefe durch gewöhnliches Aufgraben herabzuehnen zu können, wird gegenwärtig vielfach der verstärkte Luftdruck benutzt, und zwar nicht nur in der Taucherglocke und in sonstigen Taucher-Apparaten, sondern in großen luftdichten eisernen Kästen, welche die ganzen Fundamente bilden. Den neue-

ren Fortschritten des Maschinenbaues verdankt diese Methode ihren Ursprung, denn die Darstellung, Sicherung und gleichmäßige Versenkung dieser Kasten beruht allein auf der äufsersten Schärfe, womit alle einzelnen Theile der Apparate ausgeführt und mit einander verbunden werden.

Im Allgemeinen wäre über die verschiedenen Fundirungs-Arten hier noch zu erwähnen, dafs der Druck eines Bauwerkes nicht immer senkrecht wirkt, wie bei einer unmittelbaren und gleichmäßigen Belastung der Fall sein müfste. Namentlich bildet sich ein starker horizontaler Druck, wenn das darauf ruhende Mauerwerk das Widerlager eines Gewölbes ist, oder wenn es eine Erdschüttung, die sich dagegen lehnt, halten soll. Die Mittelkraft, welche sich aus diesem horizontalen und dem senkrechten Drucke zusammensetzt, mufs möglichst in die Mitte des Fundaments oder doch wenigstens in die Basis desselben treffen, ohne sich dem Rande zu nähern, weil sonst der Widerstand auf der einen Seite nicht genügen möchte, um eine Drehung zu verhindern. Wird das Fundament in diesem Falle noch horizontal gehalten, so kann möglicher Weise und namentlich, so lange der Mörtel noch nicht erhärtet ist, ein Verschieben zwischen den einzelnen Schichten oder auf dem Roste erfolgen. Wenn diese Gefahr auch nicht grofs ist, und vielleicht nur sehr selten eintritt, so hat es andererseits auch keine Schwierigkeit, die Fundirung so anzuordnen, dafs sie dem jedesmaligen Drucke, mag er vertical oder schräge gerichtet sein, den kräftigsten Widerstand entgegensetzt. In England verfolgt man dieses Princip mit grofser Consequenz, indem man die Schichten des Fundaments normal gegen die Richtung des Druckes legt, man begegnet dadurch vollständig der angedeuteten Gefahr. Besonders ist dieser Umstand bei Anwendung eines Pfahlroste von Wichtigkeit, und manche Unfälle an massiven Brücken sind, wie es scheint, nur dadurch veranlafst, dafs die Pfähle, deren oberer Theil in losem Boden steckt und die sonach einem horizontalen Drucke wenig Widerstand entgegensetzen, durch solchen wirklich verschoben oder gebogen wurden. Bei den neuern Bauten in England wird durch die schräge Stellung der Pfähle jeder Besorgnifs dieser Art vorgebeugt, und wenn es sich auch nicht leugnen läfst, dafs die Arbeit beim Rammen, sowie beim Legen des Rostes und beim Zuhauen und Versetzen der Steine oder beim Vermauern

der Ziegel etwas erschwert wird, sobald nicht mehr das Loth und die gewöhnliche Setzwage unmittelbar angewendet werden dürfen, sondern gewisse schräge Neigungen darzustellen sind, so ist diese Rücksicht doch nicht so wesentlich, dafs sie die Annahme einer solideren Construction verhindern könnte. Hierbei tritt aber auch noch eine Ersparung an Material ein, weil alle Verbandstücke und Bausteine so angewendet werden, dafs sie dem jedesmaligen Drucke den stärksten Widerstand entgegensetzen, und man darf daher nicht mehr den Ausfall an Festigkeit, welchen der schräge Druck bewirkt, durch gröfsere Massen und durch Vermehrung der Unterstützungspunkte decken.

§. 32.

Fundirung auf festem Boden.

Wenn ein Gebäude auf Felsboden ausgeführt werden soll, so empfiehlt es sich, wie bereits erwähnt, tiefer herabzugehn, als die Einwirkung des Frostes und der Nässe sich erstreckt. Im Uebrigen hat man in diesem Falle gewöhnlich kein Einsinken des Fundaments zu befürchten und kann daher mit voller Sicherheit die schwersten Gebäude aufführen. Dennoch trifft es sich zuweilen, dafs der Felsboden nicht die Festigkeit und Tragfähigkeit hat, die man im Allgemeinen voraussetzen darf. Hierher gehört zunächst der Fall, dafs mancher Boden einer starken Verwitterung unterworfen ist und daher Gebäude, welche ohnfern steiler Abhänge aufgeführt werden, mit der Zeit in Gefahr gerathen. Es zeigt sich dieses nicht selten bei den Ruinen alter Burgen in Gebirgsgegenden. Unter dem Wasser pflegt das Gestein sich im Allgemeinen besser zu halten, als wenn es abwechselnd der Nässe und Trockenheit ausgesetzt ist, nichts desto weniger kann eine starke Strömung oder auch der Wellenschlag einen Felsen gleichfalls angreifen und nach und nach Theile desselben lösen, so dafs das Ufer zurückweicht. Diese Wirkungen sind freilich gemeinhin sehr langsam, aber dennoch unverkennbar. Die Flussbetten in Gebirgsgegenden zeigen vielfach solche Einbrüche, woselbst das Ufer sich ganz steil erhebt, während gegenüber auf der convexen Seite eine flache Verlandung sich gebildet hat, die ursprünglich hier nicht existirte. Ebenso zeigen auch felsige Meeresufer die deutlichsten Spuren des

dauernden Abbruches, der im Laufe der Zeit noch durch das Zurückweichen der Küste sich zu erkennen giebt, wie man dieses z. B. längs der französischen und englischen Küste am Kanale bemerkt.

Demnächst ist der Felsboden zuweilen auch nicht sicher unterstützt. Gewöhnlich sind die tieferen Formationsschichten die festeren, und im Allgemeinen darf man daher, sobald der Felsboden erreicht ist, nicht mehr besorgen, daß derselbe bei starker Belastung die darunter befindlichen Schichten noch zerbrechen oder eindrücken möchte, nichts desto weniger tritt dieses Bedenken doch zuweilen ein. So traf man bei dem Durchstiche bei Blisworth auf der London-Birmingham Eisenbahn eine jüngere Kalksteinformation an, die auf Thonschichten lag, von denen die obern stark mit Quellen durchzogen waren und keine Festigkeit hatten. Man muß also, wann die geognostischen Verhältnisse einige Zweifel begründen, die Bohrungen noch in den Felsen hinein fortsetzen, um sich zu überzeugen, daß derselbe eine gehörig sichere Unterstützung bietet und die nöthige Mächtigkeit besitzt.

Es kann auch geschehn, daß die feste Formation, die man antrifft und für gewachsenen Felsen hält, nur aus losem Geschiebe besteht, welches durch starke Fluthen oder auf andre Art herbeigeführt wurde. Besonders ist dieser Fall bei Fundirungen unter Wasser denkbar, wo eine genaue Untersuchung des Bodens gemeinhin sehr beschwerlich wird. Ein Beispiel hiervon beschreibt Vicat bei Gelegenheit des im Jahre 1822 und 1823 ausgeführten Baues der Brücke zu Souillac über die Dordogne *). Der Grund, worauf der erste Pfeiler am linken Ufer fundirt wurde, zeigte in dem untern Drittel von der Länge des Pfeilers eine ganz ebene und horizontale Oberfläche des Kalkfelsens, im Uebrigen bemerkte man nur einige scharf zulaufende Felsspitzen und tiefe Spalten, die mit Kies und Steinschutt angefüllt waren. Man versuchte daselbst Pfähle einzurammen, doch trafen diese bald auf stark geneigte Felsflächen und nahmen alsdann eine schräge Stellung an, oder krümmten sich und zerbrachen die Stützen, womit man sie lothrecht halten wollte. Auf diese Art war das Rammen unmöglich. Ein Taucher liefs sich durch einige Felsblöcke, die er vorfand,

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur.* 1821—1825, I. Partie.

täuschen und sagte aus, daß er den gewachsenen Felsen an mehreren Stellen vortreten sähe. Das Sondireisen widerlegte nicht diese Behauptung, und da die Jahreszeit weit vorgerückt war und zu genauen Untersuchungen keine Zeit blieb, so mußte man sich rasch entschließen. Man nahm also an, daß der Kies sich weder comprimiren, noch auch ausweichen würde und versenkte ohne Weiteres den Béton. Nachdem dieser erhärtet war, brachte man im folgenden Jahre die Probe-Belastung auf und zwar ruhte dieselbe auf einer starken hölzernen Rüstung. Von dieser Belastung waren etwa zwei Drittheile aufgepackt, als man bemerkte, daß die Oberfläche des hölzernen Bodens, die früher horizontal gewesen war, stromaufwärts sich um nahe einen Zoll senkte und stromabwärts um $1\frac{1}{2}$ Linien hob. Diese beiden Messungen waren etwa in einem Abstände von 50 Fufs von einander angestellt. Man untersuchte sogleich mit möglichster Aufmerksamkeit alle Fugen in dem Mauerwerke der Probe-Belastung, die man zu diesem Zwecke von aufsen mit Mörtel verstrichen hatte, worin sich auch nicht der kleinste Riss zeigte. Sonach blieb kein Zweifel, daß der ganze Bétonkörper sich stromaufwärts neigte und ohne zu brechen um eine Querachse in der Nähe des Hinterkopfes des Pfeilers sich drehte. Dieser Hinterkopf selbst, der sich gehoben hatte, mußte augenscheinlich seine Unterstüzung verloren haben und konnte nur durch die Cohäsion des Mörtels schwebend erhalten werden. Der Béton war damals vor 10 Monaten versenkt worden und die Probebelastung betrug $3\frac{2}{3}$ Millionen Pfund. Die Belastung wurde nun mit möglichster Schnelligkeit vervollständigt und bis auf $5\frac{1}{3}$ Millionen Pfund gebracht. Plötzlich brach mit heftigem Krachen der etwa 16 Fufs starke Bétonkörper nahe auf ein Drittel seiner Länge auseinander. Der kleinere, stromabwärts belegene Theil desselben senkte sich wieder und behielt im Ganzen nur eine Neigung von $3\frac{1}{2}$ Linien, während der andere gröfsere Theil sich neben dem Bruche um $6\frac{1}{2}$ Linien senkte und am Vorkopfe um 6 Zoll tiefer war. Während der nächsten 8 Monate zeigte sich nicht mehr eine fernere Senkung und die Quer-Achse des Pfeilers hatte die horizontale Richtung beibehalten. Man erweiterte nunmehr die Bruchfuge im Béton, so daß sie gefüllt werden konnte, verankerte die untersten Steinschichten des Pfeilers mit einander, sicherte den Fufs des Fundaments durch eine starke Steinschüttung und ver-

minderte endlich, soviel es möglich war, die Belastung, indem man in der Uebermauerung des Pfeilers eine cylindrische Oeffnung anbrachte. Eine weitere Bewegung trat bei der Fortsetzung des Baues nicht ein, die erwähnten Erscheinungen liefsen aber keinen Zweifel darüber, dafs man den Pfeiler nicht auf gewachsenen Felsboden, sondern auf lose Blöcke gestellt hatte.

Der gewachsene Felsboden verliert zuweilen durch bergmännische Arbeiten seine natürliche Festigkeit, namentlich in Gegenden, wo Steinkohlen gewonnen werden, weil dabei die grössten Massen gefördert werden und Erdstürzungen sich daher am häufigsten wiederholen. Man pflegt zwar bei der Anlage von Gebäuden solche Stellen zu vermeiden, doch bemerkt man in Chausseen zuweilen die Senkungen, die hierdurch entstanden sind. Die vielfachen und bedenklichen Sackungen und Trennungen, die man an einzelnen Stellen in den Gebäuden der Stadt Essen im Regierungs-Bezirk Düsseldorf bemerkt, stehen vielleicht mit den darunter liegenden in früherer Zeit ausgebeuteten Kohlen-Flözen in Beziehung, wiewohl die darüber angestellten Untersuchungen noch zu keinem sichern Resultate geführt haben.

Als die Brücke gebaut wurde, welche die Eisenbahn von New-Castle nach Noth Shields über ein weites Thal führt, entdeckte man in dem Boden unter den Pfeilern die hohlen Räume, welche nach der Ausbeutung der Kohlenflöze geblieben waren, und ehe man die grofse Last der Brücke darauf zu stellen wagte, wurden die Höhlungen mit Bruchsteinmauerwerk wieder ausgefüllt *). Auch in Paris, wo die Gypslager sich oft in grofser Tiefe unter dem Boden hinzieln, und in früherer Zeit, ehe die Stadt noch ihre gegenwärtige Ausdehnung hatte, gebrochen wurden, findet man zuweilen bei tiefen Fundirungen die hohen und weiten Gallerien, die schwach gestützt, der Besorgnifs Raum geben, dafs sie ganz unvermuthet einbrechen möchten. Namentlich waren diese leeren Räume bei der Anlage des Canales St. Martin und der dazu gehörigen Werke höchst bedenklich und liefsen besonders einen sehr starken Wasserverlust befürchten. Man sah sich gezwungen, die Gallerien auszufüllen, und mit einem starken und wasserdichten Mauerwerke zu bedecken.

*) *Theory, practice and architecture of bridges.*

Es kann sich auch ereignen, daß andre künstliche Anlagen auf die Festigkeit des natürlichen Steines Einfluß üben, so glaubt man, daß die an der Brücke zu Tours eingetretene Senkung zweier Pfeiler durch die vielen in der Nähe ausgeführten Artesischen Brunnen veranlaßt worden. Es befindet sich nämlich in der Tiefe von 360 Fufs unter dem Wasserspiegel der Loire eine besonders ergiebige Schicht, deren Quellen bis 50 Fufs über den Sommerwasserstand des Stromes sich erheben. Diese hat man durch vielfache Bohrlöcher aufgeschlossen, aber häufig die Quellen mit so wenig Vorsicht eingefafst, daß sie nur zum Theil an der Oberfläche erscheinen und eine große Wassermenge sich in den Kalkmergel ergießt, worauf die Brückenpfeiler stehn. Die Brücke ist 1766 bis 1769 erbaut worden, und wenn sich auch schon sogleich einzelne Pfeiler senkten und einige Bogen einstürzten, so zeigte sie nach der Wiederherstellung, die 1810 beendigt wurde, doch keine Spur einer Gefahr, bis man 1835 die erwähnten Senkungen bemerkte. Die Fundamente wurden in der Art untersucht, daß man die Pfeiler von oben bis unten durchbohrte, und es ergab sich, daß unter dem Roste leere Räume von 1,2 und sogar von nahe 3 Fufs Höhe sich vorfanden. Beaudemoulin *) der diese That- sachen beschreibt, meint, daß Beschädigungen, die sich nach mehr als 60 Jahren ereigneten, durch besondere spätere Ursachen herbeigeführt sein müßten, und als solche betrachtet er die Artesischen Brunnen in der Nachbarschaft, die kurze Zeit vorher in Ausführung gebracht waren. Es läßt sich hiergegen freilich einwenden, daß auch sonstige Ursachen eine allmähliche Ausspülung des Grundes zwischen dem Pfeiler und dem Felsen verursacht haben mögen und die Wirkung davon sich nicht früher zu erkennen geben konnte, als bis der leere Raum eine gewisse Ausdehnung erreicht hatte, nichts desto weniger kann man die von Beaudemoulin gegebene Erklärung nicht unbedingt ganz zurückweisen, da unter gewissen Umständen auch die Quellen Veränderungen erfahren können, wodurch nachtheilige Wirkungen veranlaßt werden.

Endlich ist bei Gelegenheit des Felsgrundes noch zu erwähnen, daß derselbe, ganz abgesehn von den vulkanischen Einwirkungen,

*) *Sur les divers mouvements du pont de Tours. Annales des ponts et chaussées.* 1839. II. p. 86 ff.

auch durch andere Kräfte in Bewegung gesetzt werden kann. Dieser Fall tritt besonders in den geschichteten Gebirgen ein, wo das Wasser bei einer geneigten Lage der Schichten leicht die Fugen durchdringt und häufig durch Absetzen von Thontheilchen darin eine förmliche Schmiere bildet, wodurch die Bewegung um so mehr erleichtert wird. Eines der wichtigsten Beispiele dieser Art ist der am 2. Septbr. 1806 nach lange anhaltendem Regen erfolgte Einsturz einer Kuppe des Rofsberges, östlich vom Zugersee, wobei einzelne Felsblöcke von mehreren tausend Cubikfufs Inhalt eine halbe Meile weit und darüber fortgeschleudert und drei Dörfer verschüttet wurden. Es kommt indessen nicht leicht vor, daß grössere Felsmassen sich auf diese Art von selbst lösen, gemeinhin sind es künstliche Anlagen, welche ein solches Ereigniß herbeiführen. Dieses kann entweder durch eine besonders starke Belastung der zunächst am Abhange befindlichen Schichten geschehn, und noch häufiger, indem man durch tiefe Einschnitte die schrägen Schichten an ihrem Fusse löst und ihnen die natürliche Unterstützung nimmt. Das Wasser, welches bisher vielleicht nur die Fuge füllte, ohne sie zu durchfliessen, weil der untere Ausgang geschlossen war, dringt nunmehr lebhaft hindurch. Es verstärkt seinen Angriff auf das Gestein und der auf einer solchen Fuge ruhende Theil stürzt oft erst nach Jahren mit den Bäumen und Allem, was darauf befindlich ist, herab. Besonders kommt dieser Fall im Thonschiefer nicht selten vor und man muß daher bei Bauausführungen in und auf demselben die Neigung der Schichten und die Sicherung ihres Fusses aufmerksam in Betracht ziehn.

Wenn keine Besorgniß in Bezug auf die sichere Lage des Felsbodens besteht, worauf man den Bau stellen will, so wird zunächst die Oberfläche geebnet und zwar gewöhnlich horizontal ausgebrochen, wenigstens muß dieses immer geschehn, wenn nur ein verticaler Druck stattfinden kann. Im entgegengesetzten Falle würde es sich auch hier rechtfertigen, die tragende Fläche normal gegen die Richtung des Druckes zu neigen, doch ist dieses gemeinhin nicht nöthig, indem bei weit gespannten Bogenbrücken, wo der stärkste horizontale Druck sich bildet, die felsigen Ufer hinreichende Höhe haben, um demselben kräftig entgegenzuwirken, und es kommt daher nur darauf an, das Fundament auch rückwärts gegen eine gehörig feste Felswand zu lehnen. Dabei ist es aber nicht noth-

wendig, daß das ganze Fundament des Pfeilers auf derselben horizontalen Ebene aufsteht, vielmehr kann man ohne Nachtheil eine Abtreppung vornehmen und den Bau auf mehreren einzelnen, aber horizontalen, Fundamenten ruhen lassen, die stufenweise hinter einander liegen und durch senkrechte Flächen verbunden sind. Diese Anordnung hat Telford beinahe jedesmal auf Felsboden gewählt und sie auch da angewendet, wo das Gestein an einzelnen Stellen eine geringere Festigkeit zeigte oder etwas tiefer lag, in welchem Falle zugleich das Fundament auf eine entsprechende Tiefe gesenkt wurde. Zuweilen haben diese verschiedenen Stufen auch eine sehr große Höhe. So hebt sich z. B. das felsige Ufer am Birkwood-Burn bei Lismahago, wo Telford die massive Brücke in der Strafe von Glasgow nach Carlisle baute, auf der südlichen Seite so steil, daß die Fundamente der Flügelmauern treppenförmig in tiefen Absätzen unter einander liegen, von denen der eine, wie Fig. 135 zeigt, sogar 30 Fufs mißt *). Eine solche Anordnung läßt sich nur da rechtfertigen, wo das Gestein so fest und auf solche Art geschichtet ist, daß ein Abgleiten desselben unmöglich wird, die einzelnen Theile des Fundaments müssen aber durch senkrechte Wände von einander getrennt werden, denn schräge Flächen, wenn sie auch einer solideren Unterstützung des dahinterliegenden Gesteines entsprechen, darf man bei senkrechtem Drucke nicht anbringen, weil dabei eine Bewegung zu befürchten wäre. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß der eigentliche Widerlagspfeiler in diesem Beispiele nicht in verschiedener Höhe fundirt ist, sondern sein Fundament, welches 8 Fufs Breite hat, vollständig in dem tiefsten Einschnitte liegt. Die Stärke dieses Pfeilers beträgt aber am Anfange des Bogens nur 5 Fufs und sonach beziehen sich die Abtreppungen nicht auf ihn, sondern nur auf die beiden Flügelmauern, welche in der Verlängerung der Stirnmauern der Brücke liegen. Diese Rücksicht war auch nothwendig, insofern das unvermeidliche Setzen des Mauerwerks die Brücke selbst in Gefahr bringen könnte, während dieses bei der getroffenen Anordnung nur in den Flügelmauern Risse erzeugen würde, die weniger nachtheilig sind.

Zuweilen hat Telford die Fundamente nur wenig in den Fels-

*) *Life of Telford.* Taf. 54.

boden eingeschnitten, wie z. B. für das Dock zu Dundee, das auf dem Rücken einer Klippe erbaut ist und wobei die schwachen Abtreppungen zu beiden Seiten nur die Unebenheiten in der Oberfläche ausgleichen. Es ist bei einem Bau von dieser Ausdehnung und Lage, und besonders wenn der Fels auch in den obern Schichten eine gehörige Festigkeit zeigt, nicht zu besorgen, daß die Witterung noch einigen Einfluß darauf ausüben möchte, und so nach verliert der oben angeführte Grund für eine tiefe Fundirung in diesem Falle seine Bedeutung. Ein eigenthümliches Einschneiden des Fundaments kommt, wie Fig. 136 *a* zeigt, noch bei der Maidenhead-Brücke auf der Great-Western Eisenbahn vor, wo das Fundament mit förmlichen Zahnschnitten in den Kalkfelsen eingreift, um die flachen Bogen von 128 Fuß Spannung gegen das Ausweichen zu sichern. Fig. 136 *b* ist die Seitenansicht des Stirnpfeilers dieser Brücke *).

Andre Gebäude, welche verhältnißmäfsig auf einer sehr kleinen Basis stehn und dabei dem stärksten Wellenschlage ausgesetzt sind, wie diejenigen Leuchthürme, die man auf Klippen in dem Meere erbaut, werden zuweilen noch mit dem Felsgrund verbunden, indem einzelne Steine der untern Schicht in denselben eingreifen. Dieses ist z. B. bei dem Leuchthurme auf Bell-Rock geschehn. Als man nämlich die Oberfläche der Klippe, die aus einem festen Sandsteine bestand, zur Aufnahme des Fundaments geebnet hatte, zeigten sich darin noch mehrere Vertiefungen und minder feste Stellen, die regelmäfsig ausgehauen, und worin 16 Granitquader versetzt werden mußten. Auf solche Art bildete sich die erste unvollständige Schicht, die mittelst steinerner Dübel ebenso gegen die nächste Schicht befestigt wurde, wie dieses zwischen allen folgenden geschah.

Die Fundirung dieses Leuchthurmes, so wie auch diejenige des Thurmes auf Eddystone bot übergroße Schwierigkeiten, da die ganz isolirt in der See liegenden Klippen nur bei der Ebbe trocken wurden, und die Gelegenheit zur Unterbringung der Materialien und Utensilien durch Rüstungen künstlich beschafft werden mußte. Die Schwierigkeiten steigern sich aber noch wesentlich, wenn die Klippe, worauf der Thurm gestellt werden soll, tief unter dem niedrigsten Wasserstande liegt. Dieses war beim Bau des Leucht-

*) *Public works of great Britain.* Taf. 57 u. 58.

thurmes auf der Klippe Cassidaigne im Mittelländischen Meere, ohnfern la Ciotat der Fall. Dieselbe ist etwa eine halbe Meile von der Küste entfernt, den heftigsten Brandungen und starken Strömungen ausgesetzt, und besteht aus einem Kalkfelsen, dessen Kuppe nur bis 12 Fufs unter Wasser ansteigt. Die eisernen Rüstungen, die man bei ruhiger See aufstellte, wurden vielfach beim Wellenschlage zerstört, bis es endlich gelang, sie so fest zu verbinden, das man die Eisenstäbe sicher anbringen konnte, an welchen die Tafeln herabgelassen wurden, innerhalb deren die Béton-Fundirung erfolgte. Der Bau wurde unter Leitung des Ingenieur Choll im Jahre 1850 ausgeführt *).

In Betreff der Fundirung auf Felsboden wäre noch zu erwähnen, das es in manchen Fällen vortheilhaft sein kann, wie Sganzin empfiehlt, eine an sich glatte Oberfläche absichtlich uneben und rauh zu machen, damit der Mörtel darauf gehörig haftet und man im Stande ist, gleich die erste Steinschicht in ein Mörtelbett zu versetzen. Da jedoch in vielen Fällen der Mörtel mit dem Felsen nicht hinreichend bindet, so möchte es noch passender sein, eine dünne Bétonlage, die sich an alle Unebenheiten der Oberfläche anschliesst, auszubreiten und darüber das Mauerwerk aufzuführen. Wenn die Fundirung aber in einiger Tiefe unter dem Grundwasser vorgenommen werden soll und das Gestein klüftig und oft in jeder Richtung mit weiten Spalten durchzogen ist, so pflegt der Wasserzudrang so stark zu werden, das alle Versuche zur Trockenlegung der Baugrube mißglücken. Alsdann wird die Aufbringung von starken Bétonlagen nothwendig, und nachdem selbige erhärtet sind, gelingt es erst, das Wasser zu gewältigen und das Mauerwerk darzustellen.

Der feste Baugrund beschränkt sich indessen keineswegs allein auf den gewachsenen Felsboden, sondern auch aufgeschwemmter Boden, wie Kies, Sand, Lehm und reiner Thon, sind häufig im Stande, selbst die schwersten Gebäude sicher zu tragen. Die oben erwähnten Rücksichten zur Vermeidung des Eindringens der Nässe und des Frostes mufs man bei diesen Bodenarten freilich in viel höherem Grade wahrnehmen, um den Untergrund vor Quellen möglichst zu schützen, sowie man auch verhindern mufs, das viel-

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1861. S. 187 ff.

leicht der Angriff des Wassers von der Seite den Bau in Gefahr bringt und unterwäscht.

Der reine Kies, so wie jedes gröbere Steingerölle ist bei heftigen Strömungen niedergeschlagen, woher es so sicher lagert, daß man dabei eine lose Schüttung, ähnlich dem Triebande, niemals befürchten darf, man muß sich aber davon überzeugen, daß der Kies nicht etwa auf andern lockern Schichten ruht und bei starker Belastung vielleicht selbst versinkt. Findet eine solche Besorgniß nicht statt und hat der Kies vielmehr eine Mächtigkeit von 10 bis 20 Fufs, so kann man leichtere und schwerere Gebäude mit aller Sicherheit darauf stellen, ohne daß man ein merkliches Nachgeben des Bodens befürchten darf. Er gewährt überdies den Vortheil, daß er auch in der Sohle der Baugrube schon eine hinreichende Festigkeit hat und die Fundamentsteine ihre Lage unverändert beibehalten. Ein großer Uebelstand ist dabei aber der starke Wasserzudrang, der sich sogleich einstellt, wie man unter den Wasserspiegel der nebenliegenden Flüsse oder unter das Grundwasser herabgeht. Man darf freilich hierbei nicht eine solche Auflockerung des Bodens, wie bei dem feinen Sande, befürchten, aber es giebt sich dennoch bei anhaltendem Ausschöpfen der Baugrube zu erkennen, daß der Wasserzudrang an Stärke zunimmt, und sonach scheint es, daß die Quellen auch hier einige Auflockerung veranlassen, oder wenigstens die Fugen stärker öffnen. In Fällen dieser Art, oder wo überhaupt im Kiesboden eine tiefe Fundirung vorgenommen werden soll, findet daher die Versenkung von Béton passende Anwendung.

In welchen Fällen der reine Sand einen festen Baugrund bildet, ist schon früher angedeutet worden. Begründet sich in dieser Beziehung keine Besorgniß und entspricht die Mächtigkeit der Sandschicht gleichfalls dem Gewichte des darauf zu stellenden Gebäudes, so muß man sich besonders hüten, ein starkes Ausschöpfen des Wassers in der Baugrube vorzunehmen, wodurch jedenfalls die Festigkeit der Ablagerung gefährdet wird. Auch hier ist eine Bétonbettung wieder sehr wirksam, um die Quellen zu stopfen, doch hat man zu diesem Zwecke auch andere Methoden zuweilen benutzt und auf andere Art den Sand zu bedecken und dadurch die Quellen zu sperren gesucht. Häufig zerlegt man die Baugrube in mehrere kleine Theile, und indem man jeden derselben

besonders behandelt, so schwächt man die schädliche Einwirkung des aufsteigenden Wassers. Auch der Gebrauch der Spundwände, die im Sande sich sehr regelmäfsig ausführen lassen, verhindert zuweilen schon einen zu heftigen Andrang des Wassers. Man sagt oft, dafs der Sand nicht comprimirbar sei *), doch findet diese Eigenschaft in aller Strenge nicht statt. Die einzelnen Körnchen lassen sich freilich nicht zusammendrücken und jedenfalls wird eine feste Sandschicht auch keine grofse Comprimirbarkeit zeigen, aber ganz fehlt sie ihr doch nie, denn wie fest auch der Sand bereits gelagert sein mag, so tritt bei einer starken Vergröfserung des darauf gestellten Gewichtes doch gewöhnlich ein noch näheres Zusammenrücken der Körnchen ein. Dieses ergibt sich schon aus den von mir angestellten Beobachtungen, und die Bewegung, welche der Pfeiler der Brücke zu Souillac annahm, scheint dieses gleichfalls zu beweisen. Besonders bleibt aber die Oberfläche des Sandes sowohl im trocknen Zustande, als auch, wenn sie vom Wasser bedeckt ist, immer sehr locker. Nur wenn der Sand stark benetzt war, und das Wasser in ihm herabgesunken ist, nimmt er eine festere Lage an, und durch Abrammen kann man in diesem Falle eine recht geschlossene Lage der Körnchen hervorbringen und ein ferneres Eindrücken des Baues vermeiden. Der trockne Sand und ebenso der ganz nasse wird durch die Schläge der Handramme nur hin- und herbewegt, ohne sich dadurch fester zu lagern. Aus diesem Grunde sinken die untersten Steine des Fundamentes bei einer starken Belastung jedesmal noch etwas tiefer ein, und wahrscheinlich comprimirt sich auch die darunter befindliche Sandschicht. Dieser Erfolg pflegt indessen so geringfügig zu sein, dafs er keine wirkliche Gefahr für das Gebäude veranlafst, besonders wenn man das Fundament nach Maafsgabe der Belastung verbreitet und es bis zur gehörigen Tiefe unter die Oberfläche des Bodens herabführt.

Die Eigenschaft des Sandes, dafs die einzelnen Körnchen gegenseitig eine starke Reibung äufsern und sich daher in ihrer Lage halten, und folglich auch einen verschiedenartigen Druck unter sich ausgleichen, läfst den Sand bei Fundirungen so vortheilhaft erscheinen, dafs man ihn vielfach als unterste Schicht des Fundamentes benutzt. Sein eigentlicher Zweck ist in diesem Falle

*) *Régemortes, description du pont à Moulins.* Paris 1771. p. 3.

aber nur, den Druck auf eine große Fläche zu verbreiten. Es muß noch erwähnt werden, daß ein festgelagerter reiner Sand bei Rammarbeiten den Pfählen einen sehr sichern Stand giebt und daß man in solchem Boden kein Setzen des Fundamentes befürchten darf, sobald die Pfähle einigermaßen bis zum Stehn herabgetrieben sind.

Der größte Uebelstand beim Sande ist der geringe Widerstand, den er dem durchfließenden Wasser entgegengesetzt. Seine Körnchen haften nicht aneinander und folgen daher, wenn sie nicht gedeckt sind, jeder Strömung, bei ihrer Feinheit werden sie aber auch leicht gehoben und durch die Zwischenräume einer Steinschüttung und selbst durch die Fugen einer Spundwand hindurchgeführt. Der Sand gewährt sonach als Baugrund nur in dem Falle die nöthige Festigkeit, wenn kein Wasser hindurch, oder unmittelbar daneben fließt. Aus diesem Grunde darf man in Flußbetten auf feinen Sandboden keinen Bau stellen, oder solchen nur wenig darunter versenken, ohne einer möglichen Unterspülung sicher vorzubeugen. Dieses geschieht vielfach durch Steinschüttungen, die man nach und nach in dem Maße verstärkt, wie sie herabsinken. Eine Ueberdeckung der umgebenden Flächen mit Béton hat man zu gleichem Zwecke auch verschiedentlich angewendet.

Die Eigenschaften des Thones sind in mancher Beziehung denen des Sandes gerade entgegengesetzt. Derselbe widersteht dem Eindringen des Wassers, wenn er gegen eine Spundwand oder eine andere ziemlich dichte Wand gestampft ist, auch bei seiner natürlichen Ablagerung läßt er keine Quellen hindurchdringen. Er widersteht ferner einem starken Drucke, wenn er gehörig trocken ist, aber wenn er mehr Wasser in sich aufgenommen hat, so ist seine Tragfähigkeit nicht nur beschränkt, sondern der Mangel derselben giebt sich auch später zu erkennen. Indem der Druck sich nach und nach in ihm ausgleicht, so sinken mit der Zeit die am stärksten belasteten Theile des Gebäudes herab, wenn sie auch Anfangs gehörig unterstützt waren, und selbst Rostpfähle, die unter dem Schläge der Ramme nicht mehr wichen, geben im Thonboden dem dauernden Drucke zuweilen nach. Ein stark durchnässter Thon ist daher ein gefährlicher Baugrund und dieses um so mehr, als er in diesem Zustande auch dem Eindringen des Wassers wenig Widerstand entgegengesetzt. Anders verhält es sich, wenn der Thon-

boden ziemlich ausgetrocknet ist. Auf solchem können freilich schwere Gebäude sich noch etwas setzen, doch meist nur unbedeutend, und man kann dieses grofsentheils vermeiden, wenn man den Boden vorher stark comprimirt. Dieses geschieht am besten, wenn man faustgrofse Steine regelmäfsig auf der Sohle der Baugrube als Pflaster ausbreitet, und mit einer Handramme fest eintreibt. Beim Bau des Primrosehill-Tunnels auf der London-Birmingham Eisenbahn wurde dieses Verfahren ausdrücklich vorgeschrieben.

In ähnlicher Weise kann man selbst einen sehr nachgiebigen Baugrund, wenn feste Schichten in mäfsiger Tiefe darunter liegen, sicher befestigen und zum Tragen grofser Lasten geschickt machen. So werden in Bremen die hohen und oft mit schweren Gütern gefüllten Packhäuser oder Speicher an der Weser nur unter denjenigen Mauern mit einem Pfahlroste versehen, die unmittelbar oder sehr nahe am Ufer stehn, während die entfernteren Umfassungsmauern und die schwer belasteten Unterzugständer oder gemauerten Pfeiler auf festgerammten Steinschüttungen ruhn. Das Verfahren dabei ist folgendes. Man gräbt den Boden so tief auf, bis man das Grundwasser erreicht, alsdann wird eine 1 bis 2 Fufs hohe Schüttung von unbrauchbaren oder zerbrochenen Ziegeln in der Richtung der Mauern ausgebreitet, und man stellt eine Zugramme, die jedoch nur aus einem dreibeinigen Bocke besteht, darüber. Der Klotz, der etwa 5 Centner schwer ist, bewegt sich in einer Schere, die ein Arbeiter hält, und mittelst deren der Schlag, ohne dafs die Ramme verstellt werden darf, einige Fufs weit seitwärts, oder vor- und rückwärts erfolgen kann. Die erste Steinlage wird hierdurch sehr schnell ins Wasser herabgetrieben, eine zweite Lage gleicher Art leistet dagegen schon mehr Widerstand, und man fährt mit dem Aufschütten von Steinen und dem Festrammen derselben so lange fort, bis endlich der Rammklotz keinen merklichen Eindruck mehr macht. Die Steine der obern Lagen werden dabei in feinen Staub zerschlagen, indem das Grundwasser sie aber durchzieht, so bilden sie auch in diesem Zustande eine feste Masse und bei gehöriger Führung des Rammklotzes nehmen sie eine ebene und horizontale Oberfläche an, worauf die untere Mauerschicht bequem versetzt werden kann. Es mufs erwähnt werden, dafs man bei Packhäusern, die theils auf solche Art fundirt sind, theils auf Pfahlrosten ruhen, keine Risse in den Mauern bemerkt, woraus

sich ergibt, daß diese abgerammten Steinschüttungen dieselbe Tragfähigkeit, wie der Pfahlrost haben.

In ähnlicher Weise hat man auch statt der Steine kurze Pfähle benutzt und diese letzte Methode kommt mit der Anwendung der sogenannten Füllpfähle ziemlich nahe überein, die in früherer Zeit zur Comprimirung des Grundes nicht selten benutzt wurden. In Venedig braucht man sie auch jetzt noch, und gewöhnlich bekommen daselbst die großen Privatgebäude keine andere Fundirung, als daß man so viele kleine Pfählchen mit der Handramme in die ausgehobene Baugrube einschlägt, bis sie sehr schwer eindringen.

Die Eigenschaft des steifen Thons, das Wasser nicht durchzulassen, macht ihn unter vielen Verhältnissen besonders wichtig, und man hat ihn sogar benutzt, um einen künstlichen Baugrund darzustellen. Dieses war zum Theil schon von Régemortes und de Cessart geschehn, doch dehnte Telford dasselbe Verfahren auf eine früher nicht gekannte Weise aus, um Schwierigkeiten zu überwinden, die unübersteiglich schienen. Am nordöstlichen Eingange des Caledonischen Canales, nicht weit von Inverness, sollte in dem Loch-Beauley die erste Schleuse, genannt die Schleuse von Clachnarry, erbaut werden. Hätte man sie auf das Ufer gelegt, so würde die Einfahrt der Schiffe durch das weit ausgedehnte davorliegende Watt (ein aufgeschwemmter thoniger Boden, der bei der Fluth mit Wasser bedeckt ist) noch gesperrt worden sein, und selbst durch den kostbaren Bau langer Molen oder Hafendämme, wäre die Tiefe im Vorhafen nicht dauernd zu erhalten gewesen, daher entschloß sich Telford, die Schleuse 97 Ruthen von der Grenze des Hochwassers ab in die See hinein zu verlegen. Der Grund war an dieser Stelle so weich, daß eine 55 Fuß lange eiserne Stange darin versank, woher an gewöhnliche Fangedämme nicht gedacht werden konnte. Die Hügel neben der Küste bestanden aber aus einer festen und zähen Klaierde, und es wurden in der Richtung der künftigen Canaldeiche Eisenbahnen angelegt, um zunächst das Material für die Deiche selbst herbeizuschaffen. Nachdem diese dargestellt waren, führte man große Thonmassen an die Stelle, wo die Schleuse erbaut werden sollte, und bildete daraus eine mächtige Schüttung auf dem Watten. Dieselbe erhielt eine solche Ausdehnung, daß sie zugleich die Fangedämme um die Schleuse bildete, und ihre ganze Höhe betrug 60 Fuß. Dar-

über packte man noch große Steine, die später beim Schleusenbau benutzt werden sollten und überließ das Ganze ungefähr 6 Monate lang der Wirkung des Wellenschlages. Während dieser Zeit war die Oberfläche der Thonmasse 11 Fuß gesunken, und da sie endlich keine weitere Bewegung zeigte und man daher annehmen konnte, daß der weiche Untergrund gehörig comprimirt sei, so fing man an, die Baugrube darin auszuheben. Eine Kettenpumpe, die durch 6 Pferde getrieben wurde, schöpfte das Wasser bis auf die Tiefe von 15 Fuß aus, und bei der ferneren Vertiefung, die man bis 30 Fuß unter Hochwasser trieb, wurden die Pumpen durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt. Man kam hierbei bis 8 Fuß in den comprimirten natürlichen Boden hinein, doch hütete man sich, auf einmal eine große Oeffnung darin darzustellen, mauerte vielmehr in einzelnen Theilen von etwa $1\frac{1}{2}$ Ruthen Länge den Schleusenboden in der Mitte 2 und an den Seiten 5 Fuß hoch in Bruchsteinen aus und spannte alsdann im Zusammenhange ein umgekehrtes Gewölbe darüber, welches in den Schleusenmauern sein Widerlager fand. Es verdient bemerkt zu werden, daß die Rostpfähle, die man nur unter den beiden Häuptern der Schleuse anwendete, sehr schnell und in ununterbrochener Arbeit eingerammt werden mußten, weil sie nach einer Pause von einer Stunde weder tiefer eingeschlagen, noch auch herausgezogen werden konnten. Ueber das ganze Verfahren sagt Telford: „diese Methode, den „Schlamm zu comprimiren und die ganze Baustelle darin zu versenken und später den Klai-Berg zu durchstechen, um die Eingänge zur Schleuse zu bilden, war nur ein Nothbehelf, doch ergab die Vergleichung der Kosten, daß, wenn auch gewöhnliche Fangedämme hier anwendbar gewesen wären, die Ausführung derselben sich doch nicht so wohlfeil als dieses Mittel herausgestellt haben würde.“ *)

Schließlich muß in Bezug auf Fundirungen im aufgeschwemmten Boden noch bemerkt werden, daß dieselben nur insofern eine sichere Unterstützung finden, als die Erde darunter nach keiner Seite leicht ausweichen kann. Wollte man sie daher in der Nähe

*) *Life of Thomas Telford*. London 1838. S. 58. Eine Beschreibung dieses Baues gab schon früher Flachet in seiner *Histoire des travaux du Canal Calédonien*, Paris 1828, doch stimmen die Angaben darin größtentheils mit denen von Telford nicht vollständig überein.

eines steilen Abhanges anbringen, woselbst der Boden leicht entweichen könnte, so wäre eine Senkung zu besorgen, die noch dadurch befördert würde, daß auch die Quellen in eben dieser Richtung sich hinzuziehn pflegen. Die Vorsicht, die man zuweilen in diesem Falle empfiehlt, nämlich dem Fundamente einige Neigung, und zwar dem Abhange entgegengesetzt, zu geben, ist bei aufgeschwemmtem Boden ohne Nutzen, indem dieser Boden selbst in Bewegung geräth, sobald er stark belastet wird. Das sicherste Mittel besteht darin, daß man das Fundament entweder bis zur Thalsohle herabführt, oder es doch wenigstens so weit senkt, daß die gerade Linie, welche von demselben nach der nächsten Stelle der Thalsohle gezogen wird, nicht steiler als etwa unter 20 Graden gegen den Horizont geneigt ist. Diese Regel begründet sich dadurch, daß selbst lose Erdarten keine flachere Böschungen zu bilden pflegen und daher in diesem Falle der nachtheilige Einfluß der Quellen aufhört.

§. 33.

Verbreitung des Fundamentes.

Abgesehn von den schmalen Banketen, durch welche man selbst bei festem Boden die Grundmauern etwas zu verbreiten pflegt, soll hier nur von stärkeren Verbreitungen die Rede sein, welche die Vertheilung des Druckes auf eine bedeutend größere Fläche bezwecken. Jeder Baugrund, wenn er auch noch so lose wäre, widersteht einigem Drucke, und weicht nur, sobald dieser Druck größer wird, als seine Tragfähigkeit ist. Vertheilt man daher den Druck auf eine recht große Fläche, so wird er vergleichungsweise um so geringer, und um so sicherer kann der Grund die Last tragen. Gemeinhin wird hierbei noch eine andere Absicht verfolgt. Ein weicher und nachgiebiger Boden ist nämlich häufig nicht überall von gleicher Beschaffenheit, und kann an einzelnen Stellen ein größeres Gewicht tragen, als an andern. Wollte man unmittelbar ein Gebäude darauf stellen, dessen Theile unter sich nicht innig verbunden sind, so würde leicht eine Ecke oder ein andrer Theil tiefer versinken, als die übrigen, wodurch das

Gebäude augenscheinlich mehr leidet, als wenn es sich im Zusammenhange und möglichst gleichmäfsig gesetzt hätte. Hiernach ist es Bedingung, dafs die tragende Fläche unter dem ganzen Gebäude zusammenhängt und so innig verbunden ist, dafs nirgend eine Trennung erfolgen kann. Dieses allein genügt aber noch keineswegs, denn ein Biegen dieser Fläche darf gleichfalls nicht stattfinden, wenn jeder Bruch im Gebäude verhindert werden soll.

Die gewöhnlichen liegenden Roste sind keineswegs so steif, dafs sie jeder Biegung widerstehn, und eben so wenig findet dieses bei denjenigen Constructionen statt, die man statt derselben zuweilen anwendet. Das Mauerwerk an sich hat dagegen, wenn es in gehörigem Verbande und aus gutem Material ausgeführt worden, einen starken innern Zusammenhang, wodurch ein mögliches Biegen des Fundamentes oder des Rostes meist verhindert wird. Man darf sonach in der erwähnten Beziehung von dem liegenden Roste sich nicht zu viel versprechen. Abgesehn von der gröfsern Ausdehnung der tragenden Fläche gewährt der liegende Rost auch beim Beginne des Baues den Nutzen, dafs die Steine nicht sogleich und vielleicht bis zu verschiedenen Tiefen sich eindrücken. Diesem Effecte wirkt er vollständig entgegen, und so lange er noch nicht stark belastet ist, zeigt er auch eine hinreichende Steifigkeit. Endlich erwartet man zuweilen von einer solchen Unterlage unter dem Fundamente auch noch, dafs sie nicht nur steif ist, und daher das Brechen des Gebäudes verhindert, sondern dafs sie auch ein ganz gleichmäfsiges Setzen bewirken, und verhüten soll, dafs nicht etwa eine Seite tiefer herabsinkt, als die andere, und sonach der Bau eine schiefe Stellung einnimmt. Es darf kaum erwähnt werden, dafs dieser Erfolg nur von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt, und dafs der liegende Rost dazu nichts beitragen kann.

Beim Abbruche alter Gebäude findet man zuweilen Fundirungsarten gewählt, die einem liegenden Roste nahe kommen. Als man die Altstädtsche Kirche in Königsberg abtragen mußte, die auf einem sehr unsichern Grunde im sumpfigen Thale des Pregels vor mehr als fünf Jahrhunderten gebaut war, fand man unter den hohen Umfassungsmauern und Pfeilern eine Reihe von Aesten und Stämmen von Ellernholz neben einander flach auf den Boden gelegt. Dieselben hatten sich so gut erhalten, dafs sie grosentheils noch fest waren und man die Holzart wieder erkannte. Besonders

interessant war es, daß man unter ihnen auch noch den Rasen deutlich wahrnehmen konnte, woraus sich also ergab, daß man gar keine Fundamentgräben für dieses große und hohe Gebäude eingeschnitten, sondern sich begnügt hatte, nur den natürlichen Rasen mit Holzstücken zu bedecken und darauf die Mauern aufzuführen.

Ein ähnliches Verfahren ist auch gegenwärtig noch in den Marschen Ost-Frieslands üblich. Die Festigkeit, welche der Rasen besitzt, wird zum Tragen der leichten Gebäude mitbenutzt. Man legt auf denselben eine Holzdecke, welche einen liegenden Rost darstellt, und auf dieser werden die Grundmauern ausgeführt. Ein starkes Sacken pflegt in dem wenig consistenten Untergrunde nicht auszubleiben, woher der Bau bis zur beabsichtigten Tiefe herabsinkt, die Vertiefung, die sich um ihn bildet, wird durch Erdschüttungen später ausgeglichen.

Eine der merkwürdigsten Anwendungen des liegenden Rostes ist bei Erbauung der Seilspinnerei zu Rochefort durch Blondel gemacht. Der thonige Boden zeigte an der Oberfläche eine genügende Festigkeit, doch nahm diese in einiger Tiefe bedeutend ab, und bei 12 Fuß ging er bereits in einen dicken Schlamm über. Letzterer setzte sich so weit fort, daß man die festen Schichten darunter gar nicht auffinden konnte und daher an einen Pfahlrost nicht zu denken war. Das Gebäude mußte also allein durch die oberen Erdlagen getragen werden, und es kam darauf an, diese möglichst wenig durch Einschneiden zu schwächen. Deshalb wurde in geringer Tiefe der Rost gelegt und der Bau darüber ausgeführt, der sich auch wirklich gleichmäßig setzte.

Es fehlt nicht an Beispielen, welche zeigen, daß Gebäude, die auf dem liegenden Roste fundirt wurden, einer starken Senkung ungeachtet, doch weder Risse bekamen, noch auch eine schiefe Stellung annahmen. Es läßt sich hieraus indessen keineswegs der Schluß ziehn, daß dieser günstige Erfolg wirklich durch diese Fundirungsart veranlaßt wurde, vielmehr mußte der Boden daselbst schon an sich eine so gleichmäßige Beschaffenheit haben, daß er überall ungefähr in gleicher Art nachgab. Ein wichtiger Vortheil des liegenden Rostes beruht noch darauf, daß man mittelst der Schwellen desselben die Fundamente unter den einzelnen Mauern mit einander verankern kann, was besonders unter den Wider-

lagern von Gewölben sehr vortheilhaft ist, sobald der Boden nur geringe Festigkeit hat.

Bei der Ausführung eines Rostes muß man zunächst dafür sorgen, ihn in solche Höhe zu legen, daß er beständig vom Wasser bedeckt bleibt. Wäre dieses nicht der Fall, so würde er bald faulen oder verrotten und man könnte alsdann nicht nur gar keinen Vortheil von ihm erwarten, sondern er würde unter der darauf ruhenden Last auch noch zerdrückt werden und dadurch eine neue Veranlassung zur Senkung des Gebäudes geben. Im Thonboden, wo die Feuchtigkeit länger zurückgehalten wird, ist dieser Uebelstand zwar etwas weniger zu besorgen, als im Sande, der viel schneller austrocknet, nichts desto weniger muß man aber auch dort bis unter den kleinsten Wasserstand herabgehn und dabei auch noch darauf Rücksicht nehmen, daß dieser Wasserstand vielleicht durch besondere Umstände, wie etwa durch Strom-Correctionen, tiefer gesenkt werden kann.

Fig. 137 *a*, *b* und *c* zeigt einen liegenden Rost im Querschnitte und in den Ansichten von oben und von vorn. Den wichtigsten Theil desselben bilden die Langschwellen, welche das Fundament der Länge nach zusammenhalten. Zu diesem Zwecke müssen sie in den Stößen gehörig verkämmt, auch wohl durch eiserne Klammern verbunden sein, damit sie sich nicht auseinanderziehen, und ebenso ist es auch nöthig, daß diese Stöße gehörig im Verbande liegen und immer auf die Unterlager treffen. Die Langschwellen haben eine Stärke von 8 bis 12 Zoll und man legt sie in solcher Entfernung von einander, daß die Bohlen darüber noch mit Sicherheit die Mauer tragen. Die Bohlen sind 3 bis 6 Zoll stark, und werden mit hölzernen Nägeln befestigt, auch giebt man ihnen zuweilen durch Einhauen mit der Axt eine raue Oberfläche, damit das Mauerwerk besser darauf haftet. Die eigentliche Verbindung unter sich erhalten die Langschwellen durch die Unterlager, die zugleich wirkliche Zangen sind. Sie werden nach der Schnur und Setzwage in Abständen von 4 bis 6 Fufs auf die Sohle der Baugrube verlegt, und unter den Schwellen sind sie 2 bis 3 Zoll tief eingeschnitten, während die Schwellen selbst in voller Stärke darüber fortgehn. Hierbei darf indessen keineswegs die ganze Last des darauf gestellten Baues auf den Unterlagern und Rostschwellen ruhen, denn beide würden sich in diesem Falle in den losen Unter-

grund eindrücken und das Senken des Fundamentes wäre alsdann sogar stärker, als ohne den liegenden Rost. Es ist sonach nothwendig, die Rostfelder und ebenso auch den Raum zur Seite bis zur obern Fläche der Schwellen sorgfältig anzufüllen und festzustampfen. Man kann hierzu verschiedenes Material benutzen. Wenn man Thon oder Lehm anwendet, so ist ein Zusatz von Kies oder kleinen Steinen dabei insofern vortheilhaft, als dadurch der Thon weniger comprimierbar wird. Hat man dagegen nur Sand, so pflegt man denselben von oben stark anzugießen, wodurch die Körnchen eine geschlossene Lage annehmen, doch muß in dieser Zeit der Wasserstand mittelst der Schöpfmaschine einige Fuß tiefer gehalten werden. Etwas Aehnliches gilt auch vom Bauschutte, der gleichfalls durch starkes Angießen sich fest lagert, der aber wegen der häufig darin befindlichen ungebrannten Thonerde durch Anstampfen noch um so fester wird. Jedenfalls muß man dafür sorgen, daß diese Füllung bis zur untern Fläche des Bohlenbelages heraufreicht, damit hier eine vollständige Unterstützung stattfindet. Wenn auch ein Herabsinken der obern Erdschichten nicht verhindert werden kann, so darf doch keineswegs der Rost sich in diese eindrücken.

Zuweilen umgibt man den liegenden Rost noch mit einer Spundwand und dieses hauptsächlich in der Absicht, um das Auswaschen des Grundes und das Unterspülen des Fundamentes zu verhindern. Ein solcher Zweck läßt sich indessen hierdurch nicht mit Sicherheit erreichen, denn man darf nicht voraussetzen, daß die Spundwand wasserdicht sei. Dazu kommt noch, daß, wenn überhaupt ein Auswaschen oder Auflockern des Grundes zu besorgen ist, dieses durch die Spundwand nur unter dem Fundamente, aber keineswegs in dessen nächster Umgebung verhindert werden kann. Letzteres ist aber eben so nachtheilig, wie jenes, denn sobald der Grund sich hier erweicht, so wird die Spundwand von dem auf der innern Seite stattfindenden Drucke herausgedrängt und der Rost senkt sich. Es muß sonach für den liegenden Rost ebenso, wie für jede andere Fundirung, als Regel gelten, daß überhaupt keine Quellen sich darunter hindurchziehn, und wenn die tiefer liegenden Wasseradern, von denen früher die Rede war, die man weder leicht entdecken, noch abschließen kann, hiervon auch eine Ausnahme machen, so dürfen wenigstens keine Quellen so nahe unter dem Fundamente vorkommen, daß ein Ausspülen zu

besorgen ist. Man vermeidet dieses, indem man das Fundament so tief senkt, daß der Weg, den die Wasseradern nehmen müssen, wenn sie unter demselben noch durchdringen, so lang und deshalb mit so vielen Widerständen verbunden ist, daß eine starke Strömung darin nicht mehr eintreten kann. Die möglichst tiefe Lage des Rostes ist besonders geboten, wenn später und dauernd verschiedene Wasserstände an der einen und der andern Seite des Bauwerkes sich bilden, wie dieses etwa bei Wehren der Fall ist. Doch ist dabei stets darauf zu achten, daß nicht etwa durch anhaltendes und starkes Pumpen der Untergrund gelockert und dadurch seine Tragfähigkeit vermindert wird. Wo dieses zu besorgen, darf der liegende Rost nicht angewendet werden.

Die Spundwand um den liegenden Rost gewährt noch einen andern wichtigen Vortheil. Zunächst schwächt sie schon während des Baues den starken Wasserzudrang, indem sie manche Adern, die sich sehr nachtheilig zeigen würden, theils unmittelbar und theils durch die Compression der Erde sperrt, und überdies hinter ihr ein Thonschlag zu gleichem Zwecke angebracht werden kann.

Die Verbindung des liegenden Rostes mit der Spundwand geschieht in der Art, daß man die äußere Langschwelle beim Einrammen der Spundpfähle schon als Lehre benutzt. Man erreicht dadurch den Vortheil, daß zwischen der Spundwand und dem Bohlenbelage die Erde unter dem Roste sicherer umschlossen wird, wie Fig. 138 zeigt. Eine vollständige Verbindung darf aber zwischen der Spundwand und dem liegenden Roste nicht stattfinden, weil ersterer seiner Natur nach einer gewissen Senkung ausgesetzt bleibt und diese unregelmäßig ausfallen müßte, wenn sie durch die Spundwand zum Theil gehindert würde.

Häufig geschieht es, daß die Mauer, die auf dem Roste steht, unter einem gewissen Winkel und oft unter einem rechten Winkel sich seitwärts abzweigt, wie dieses bei Flügelmauern vorzukommen pflegt. In solchem Falle läßt sich der Verband zwischen beiden Theilen des Rostes am leichtesten darstellen, wenn die Schwellen des einen Theiles über die des andern fortschiefsen, also die Enden einzelner Schwellen zugleich Unterlager für die andern Schwellen werden. Der Bohlenbelag liegt alsdann nicht durchweg in derselben Höhe, sondern es bildet sich auf den Ecken eine Stufe. Dieser Umstand ist für die Festigkeit nicht nachtheilig, man muß aber

dafür sorgen, daß beide Theile des Rostes noch unter dem kleinsten Wasser liegen und daß die Schwellen mit einander gehörig verbunden werden. Da die Fundirung in der größeren Tiefe kostbarer wird, so pflegt man gewöhnlich denjenigen Theil des Rostes am tiefsten zu legen, der die geringste Ausdehnung hat. Wenn ferner die Flügelmauer nicht senkrecht, sondern schräge von der Hauptmauer abgeht, so müssen die Schwellen dennoch parallel zu den Mauern liegen. Sie überschneiden sich also in schräger Richtung und dieser entsprechend werden auch die nächsten Unterlager nicht rechtwinklig, sondern schräge verlegt, bis sie die normale Lage annehmen können. Die Bohlen müssen sämmtlich auf allen Schwellen aufliegen, man darf sie daher nicht als kurze dreieckige Stücke aufbringen, vielmehr erhalten sie nur an einer Seite eine geringere Breite, als an der andern, damit sie nach und nach in die senkrechte Richtung übergehn. Fig. 139 *a* und *b* zeigt diese Anordnung im Grundrisse und im Querschnitte.

Bisher ist nur von derjenigen Construction des liegenden Rostes die Rede gewesen, die bei uns üblich ist, in England weicht man in mancher Beziehung wesentlich davon ab. Beim Bau der Brücke zu Gloucester über den Severn, wo der Bogen von 150 Fufs Spannung sehr feste Widerlager erforderte, fundirte Telford dieselben 18 Fufs unter dem niedrigen Wasser auf einem groben Kieslager und zwar in einer Ausdehnung von 40 Fufs Länge und 37 Fufs Breite. Er liefs zuerst auf dem geebneten Grunde eine Schicht flacher und lagerhafter Steine ausbreiten und hierüber legte er den Rost. Derselbe bestand in der einen Richtung, wie in der andern, aus Balken von Kiefernholz, die weniger hoch als breit waren und 3 Fufs von Mitte zu Mitte entfernt lagen. Vierzehn Stück derselben von 37 Fufs Länge wurden senkrecht gegen die Richtung des Stromes verlegt, und dreizehn andere, 40 Fufs lang, kamen quer darüber. Beide wurden bis zur Hälfte überschritten, so daß sie oben wie unten bündig waren. Die viereckigen Felder, die etwas über 2 Fufs im Quadrat hielten, wurden mit Bruchsteinen sorgfältig ausgemauert und dann kam ein vierzölliger Bohlenbelag von Buchenholz darüber, der auf den Rost genagelt wurde.

Beim Bau einer Schleuse auf dem North-Walsham- und Durham-Canale in Norfolk wählte Hughes die folgende Construction: der Boden bestand daselbst aus Mooreerde, worin sich Sandadern

und einzelne Kieslager vorfanden, die in allen Richtungen das Wasser zudringen liefsen und den Grund so erweicht hatten, dafs man ohne grofse Mühe ein eiserne Stange 28 Fufs tief einstofsen konnte. In dieser Tiefe befand sich ein festerer Untergrund, doch scheute die Actiengesellschaft die Kosten, um das Fundament so weit herabzuführen, oder einen Pfahlrost anzuwenden. Es wurde daher wieder der liegende Rost gewählt. Man streckte Balken von Kiefernholz 1 Fufs breit, 6 Zoll stark und 32 Fufs lang im lichten Abstände von 3 Fufs, nach der Quere der Schleuse auf die Sohle der Baugrube. Hierüber nagelte man unmittelbar den dreizölligen Bohlenbelag und rammte Spundwände vor und hinter den Rost. Die Spundpfähle drangen nie tiefer, als 15 Fufs, und oft nur 9 bis 10 Fufs ein, und wenn die Arbeit auch nur sehr kurze Zeit (Hughes sagt wenige Secunden) unterbrochen war, so liefsen sie sich nicht mehr bewegen und konnten alsdann weder unter den Schlägen der Ramme tiefer herabgebracht, noch auch herausgezogen werden.

Eine eigenthümliche Construction des liegenden Rostes, die Telford bei der Tewkesbury-Brücke über den Severn anwandte, verdient noch erwähnt zu werden. Das eine Ufer bestand aus festerem Boden, so dafs ein Pfahlrost, der auf der andern Seite gewählt werden mußte, hier nicht nöthig schien. Es wurde eine Lage Halbholz von 6 Zoll Stärke dicht schließend auf der geebneten Baugrube verlegt und zwar so, dafs die einzelnen Stücke die Achse der Brücke unter einem Winkel von 45 Graden schnitten. Hierüber kam eine ganz gleiche Lage, welche die erstere unter einem rechten Winkel kreuzte. Beide wurden durch eiserne Nägel mit einander verbunden und eine Spundwand umgab sie auf der dem Flusse zugekehrten Seite.

Auch bei andern gröfseren Bauten in England hat man den liegenden Rost angewendet, man ist indessen in neuerer Zeit hiervon meist abgegangen und giebt einer Fundirung auf Béton unbedingt den Vorzug. Es leidet keinen Zweifel, dafs die letzte Methode gröfsere Bequemlichkeit und Sicherheit gewährt, insofern die Trockenlegung der Baugrube dabei ganz umgangen wird, oder doch nicht früher erfolgen darf, als bis die Quellen darunter vollständig geschlossen sind, also eine Auflockerung des Untergrundes nicht mehr zu besorgen ist. Dazu kommt noch, dafs der Béton schon

wirkliches Mauerwerk ist, sich also mit dem darüber ausgeführten innig verbinden läßt, auch nicht leidet, falls vielleicht später das Grundwasser gesenkt werden sollte.

Bei dem liegenden Roste, wie man ihn in Frankreich anwendet, befinden sich gewöhnlich die Rostschwellen unten, und die Zangen liegen darüber, die Zwischenräume zwischen den letztern werden mit Bohlen ausgefüllt und diese fallen entweder mit der Oberfläche der Zangen in eine Ebene, oder bleiben tiefer, jenachdem man die Zangen und Querschwellen mehr oder weniger in einander eingelassen hat. Bei uns pflegt man die Fläche, worauf die Mauer aufgeführt wird, möglichst eben darzustellen und läßt daher auch beim Pfahlroste die Zangen gewöhnlich nicht über den Bohlenbelag vorstehn. Der Grund dafür ist, daß schon die untern Schichten der Mauer ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe ausgeführt werden können. Diese Rücksicht ist indessen nicht wesentlich, wenn man nur dafür sorgt, daß bei Anwendung geformter Steine die obere Fläche der Zangen mit einer gewissen Anzahl von Schichten genau erreicht wird, die folgende Schicht also darüber fortläuft. Bei der mangelhaften Verbindung, die zwischen dem Bohlenbelage und dem Mauerwerke stattfindet, dürfte es in manchen Fällen vortheilhaft sein, durch die Unebenheiten der Rostfläche einem möglichen Verschieben der darauf stehenden Mauer vorzubeugen.

Demnächst kommen bei den liegenden Rosten in Frankreich noch manche andre Abweichungen vor, wie die Einfassungen in Rahmen, wovon bei Gelegenheit der Pfahlroste die Rede sein wird. Zuweilen läßt man den Rost auch nur aus den Schwellen und dem Bohlenbelage bestehn. Eine eigenthümliche Abänderung beruht noch darin, daß man sogar den ganzen Bohlenbelag fortläßt. Schon Bélidor *) bemerkt, daß, wenn man die Rostfelder bis zum Bohlenbelage ausmauert, wie er dieses für nothwendig hält, und wenn man über dem Bohlenbelage die Mauer fortsetzt, daß alsdann der Bohlenbelag selbst überflüssig und sogar nachtheilig ist. Sganzin meint gleichfalls, daß der Bohlenbelag nur den Verband des Mauerwerks unterbricht und daher die Festigkeit beeinträchtigt. Die Fortlassung der Bohlen scheint in der That nicht unpassend zu sein, obgleich man dadurch sich der Gefahr aussetzt, daß von dem

*) *Science des Ingénieurs*. Buch III. Cap. 9.

Mauerwerk einzelne Theile sich lösen und tiefer einsinken. Dieser Uebelstand ist jedoch nur während des Baues zu besorgen und läßt sich durch ein gehöriges Ausmauern der Rostfelder verhindern. Fig. 140 *a* und *b* zeigt im Grundrisse und Querschnitte den Rost eines Durchlasses, der auf diese Art angeordnet ist und wobei einzelne Zangen beide Widerlager mit einander verankern *).

Eine andere Methode zur Verbreitung des Fundamentes, wodurch man gleichfalls das Einsinken einzelner besonders nachgiebiger Stellen verhütet und den Druck, der auf solche trifft, auf die festeren Umgebungen überträgt, besteht in der Anwendung starker Sandschüttungen. Man hat dieses Verfahren in Frankreich vielfach und seit längerer Zeit angewendet, in Surinam sollen aber alle Gebäude auf diese Art fundirt werden und die Erfahrung zeigt, daß der Zweck des liegenden Rostes (mit Ausschluß der erwähnten Verankerungen) dadurch vollständig erreicht werden kann. Es ergeben sich hierbei aber noch die beiden wichtigen Vortheile, daß die Sandschüttung beinahe jedesmal wohlfeiler und leichter darzustellen ist, als der liegende Rost, und daß die Fundirung keineswegs so tief zu sein braucht, daß sie immer unter dem niedrigsten Grundwasser bleibt, denn die Festigkeit der Sandablagerung leidet nicht, wenn sie auch abwechselnd nass und trocken wird. Es kommt nur darauf an, sie vor der unmittelbaren Berührung des strömenden Wassers zu sichern.

Daß eine Sandschüttung von angemessener Stärke den Druck auf ihre ganze Grundfläche vertheilt und das Einsinken besonders stark belasteter oder nicht hinreichend unterstützter Stellen verhindert, läßt sich leicht nachweisen.

Der Horizontal-Druck des Sandes gegen eine verticale Wand ist dem Quadrate der Höhe der Schüttung proportional, vorausgesetzt, daß die Oberfläche horizontal abgeglichen ist und daß die Wand, welche den fraglichen Druck erfährt, bis zu dieser Oberfläche heraufreicht. Aus einfachen Betrachtungen, die später bei Untersuchung der Stabilität der Futtermauern mitgetheilt werden sollen, ergibt sich dieser Druck gleich

$$\frac{1}{2} a^2 b \gamma A$$

*) Entnommen aus dem *Récueil de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur*, Collection I.

wenn a die Höhe der Schüttung, b die Breite der Wand, γ das Gewicht der Raumeinheit des Sandes und A eine von der Natur des Sandes abhängige Constante bezeichnet. Nennt man ferner den Reibungs-Coëfficient des Sandes gegen die Wandung n , so ist die Reibung, welche die Sandschüttung gegen einen Cylinder ausübt, gleich

$$\frac{1}{2} n a^2 b \gamma A$$

oder wenn der Radius des Cylinders gleich r ist, also $b = 2 r \pi$, so wird jene Reibung

$$n r \pi \gamma A a^2$$

Diese Reibung läßt sich direct messen, wenn man hohle Cylinder ohne Boden auf Platten stellt, dieselben mit Sand füllt, und an einen Wagebalken befestigt. Das Gewicht, durch welches sie alsdann gehoben werden, nach Abzug ihres eignen Gewichtes, ist diese Reibung. Ich fand auf solche Art für den eisenhaltigen Streusand in Glascylindern

$$n A = 0,12$$

während $\gamma = 2,82$ Loth war, wobei der Rheinländische Zoll als Maafseinheit angenommen ist.

Der Druck, den die Schüttung im vorliegenden Falle gegen den Boden des Cylinders ausübt, ist aber gleich dem Gewichte der Schüttung, weniger dieser Reibung, also

$$r \pi \gamma a (r - n A a)$$

Es folgt hieraus, daß der letzte, in die Parenthese eingeschlossene Factor für eine gewisse Höhe der Schüttung gleich Null und für eine noch gröfsere Höhe sogar negativ wird, das heifst, die Reibung des Sandcylinders könnte unter gewissen Umständen nicht nur den Druck auf den Boden vollständig aufheben, sondern denselben auch noch mit einer solchen Kraft zurückhalten, daß ein daran gehängtes Gewicht davon getragen würde. Diese Schlufsfolge ist indessen nicht richtig, da der Sandcylinder keine zusammenhängende Masse bildet, vielmehr an jeder Stelle sich trennen kann. Die untere Sandschicht kann sonach durch die Reibung, welche die obern Schichten erfahren, nicht zurückgehalten werden, drückt vielmehr fortwährend den Boden. Wenn man in einer cylindrischen Röhre Anfangs eine sehr niedrige Sandschüttung anbringt und diese nach und nach erhöht und dabei jedesmal den Druck mißt, den der Boden erleidet, so ist der Druck Anfangs dem Gewichte des San-

des gleich, nimmt aber später in einem geringeren Maasse zu, als dieses Gewicht, und zwar wird die relative Vergrößerung desselben immer geringer, bis sie zuletzt ganz aufhört. Sobald man diese Grenze erreicht hat, tritt keine Zunahme des Druckes ein, wie hoch man auch die Aufschüttung fortsetzen und welche andere Belastung man auf dem Sande auch noch anbringen mag. Ich benutzte einen Glascylinder, dessen Radius gleich 1,02 Zoll war, und befestigte ihn vertical in der Art, daß die obere und untere Oeffnung frei blieb, alsdann nahm ich eine ebene Scheibe, welche die untere Oeffnung schloß, hing sie an einen Wagebalken und brachte sie durch Gegengewichte in der Schale am andern Arme ins Gleichgewicht. Nunmehr schüttete ich Sand in die Röhre, so daß die Höhe der Schüttung oder a verschiedene Werthe annahm. Eine Sandschüttung in der andern Schale hob jedesmal im Anfange der Beobachtung den Druck auf den Boden der Röhre vollständig auf. Eine feine Oeffnung im Boden der Wageschale liefs indessen diesen Sand, der das Gegengewicht darstellte, langsam ausfließen, so daß eine sehr sanfte Verminderung des Gegendruckes erfolgte, bis endlich der Boden der Röhre nicht mehr gehörig unterstützt war und plötzlich herabfiel. Sobald dieses geschah, wurde der fernere Ausfluß des Sandes aus der Schale gehemmt und das Gewicht des noch zurückgebliebenen Theiles desselben ergab den Gegendruck für die Zeit, wo der Druck auf den Boden das Uebergewicht erhielt. Auf diese Art liefs sich der Druck sehr sicher bestimmen, ohne daß die Wage berührt und die Gewichte durch Abheben und Zusetzen verändert werden durften. Es war aber auch nöthig, dieses zu vermeiden, indem die geringsten Erschütterungen schon sehr bedeutende Abweichungen hervorbrachten. Die Beobachtungen schlossen sich an die Resultate der Rechnung etwa bis auf 5 Procent an, und es ergab sich, daß schon bei der Höhe der Schüttung von $a = 4,2$ Zoll der Druck den größten Werth annimmt, der 19,38 Loth betrug.

In derselben Art benutzte ich demnächst auch eine engere Glasröhre. Ihr Radius maafs 0,57 Zoll, und um dabei nicht zu kleine Gewichte zu erhalten und zugleich einige Abänderung in die Versuche zu bringen, so füllte ich die Röhre diesesmal mit feinem Schrote an. Für letzteres war

$$\gamma = 8,245 \quad \text{und} \quad nA = 0,135.$$

Das Maximum des Druckes trat diesmal bei einer Höhe der Schüttung von 2,13 Zoll ein und betrug 8,85 Loth.

Um von der gegebenen Formel auf den vorliegenden Fall Anwendung zu machen, muß bemerkt werden, daß, wenn unter einer ausgedehnten Sandschüttung ein Theil des Bodens schwächer unterstützt ist, als die gleichmäßige Vertheilung des Druckes bedingt, während die umgebende Grundfläche eine mehr als genügende Widerstandsfähigkeit besitzt, daß alsdann jene Stelle nicht sogleich einsinkt, sondern ein Theil des darauf treffenden Druckes sich seitwärts durch die Reibung überträgt und der Boden hier wieder nur die Differenz zwischen dem darüber befindlichen ganzen Gewichte und der Reibung tragen darf. Wenn sonach in einem Gefäße, welches bis zur Höhe a mit Sand gefüllt ist, ein kreisförmiger Theil des Bodens, dessen Radius gleich r ist, ausgeschnitten und durch eine passende Scheibe ersetzt wird, so trifft bei gleichmäßiger Vertheilung auf letztere ein Druck gleich

$$r^2 \pi \gamma a.$$

Die Scheibe sinkt indessen noch nicht herab, wenn sie auch nur dem Drucke

$$r \pi \gamma a (r - a n A)$$

Widerstand leistet. Dieses gilt aber allein für kleinere Werthe von a , denn das Maximum des Druckes, das bei

$$a = \frac{r}{2 n A}$$

eintritt, bezeichnet auch für höhere Schüttungen das Gewicht, welches auf dem Boden lastet, und sich nicht seitwärts überträgt.

Dasselbe ist
$$= \frac{r^3 \pi \gamma}{4 n A}$$

Der Druck, dem die Scheibe Widerstand leisten muß, um die Schüttung im Gleichgewichte zu erhalten, entspricht dem Gewichte eines senkrechten Paraboloïds dieser Sandschüttung, das sich dem Umfange der Scheibe anschließt, und dessen Höhe gleich

$$\frac{r}{2 n A}$$

ist. Zu der erzeugenden Parabel gehört aber der Parameter

$$2 r n A.$$

Bei Schüttungen, die nicht den Scheitel des Paraboloïds erreichen,

ist der entsprechende Druck gleich dem Gewichte desjenigen Theiles dieses Paraboloids, der innerhalb der Schüttung liegt.

Directe Versuche bestätigten wieder die Richtigkeit dieser Schlusfolger. In zwei Messingplatten, die nach einander den Boden der Schüttung bilden sollten, schnitt ich kreisförmige Oeffnungen von 0,379 und 0,727 Zoll Halbmesser ein, und schloß dieselben von unten durch genau passende Scheiben, die in den Mittelpunkten durch Haken unterstützt waren, welche jedesmal an einen Arm einer Wage gehängt wurden. Die Scheiben und Oeffnungen mußten sehr sorgfältig bearbeitet sein, damit theils kein Klemmen erfolgte, theils aber auch kein Sandkörnchen in die Fuge drang. Auch mußten die obern Flächen in eine Ebene fallen. In die andre Schale wurde reichlich Sand geschüttet, um sicher das Gegengewicht zu bilden, dieses verminderte sich aber nach und nach, indem der Sand durch eine feine Oeffnung im Boden abfloß.

Die Schüttung, deren Druck ermittelt werden sollte, bestand aus dem eisenhaltigen Streusande, der aber nach sorgfältiger Reinigung etwas schwerer wurde. Der Cubikzoll wog 2,9 Loth. Die Messungen erforderten große Vorsicht, und namentlich mußte dafür gesorgt werden, daß die Ablagerung des Sandes recht gleichmäßig war. Wenn die Höhe der Schüttung $\frac{1}{2}$ Zoll betrug, so war der Druck gegen die größere Scheibe nahe dem Gewichte eines Cylinders von derselben Höhe gleich. Ungefähr bei 1 Zoll Höhe erreichte der Druck seinen größten Werth, so wie für die kleinere Scheibe bei $a = \frac{1}{2}$ Zoll. Die Reibung war in diesem Falle wesentlich anders, als bei Anwendung der Glasröhre, weil sie hier zwischen Sand und Sand erfolgte. Der Werth von nA variirte zwischen 0,31 und 0,35.

Diese merkwürdige Eigenschaft des trocknen Sandes, daß sein Druck auf einzelnen Stellen des Bodens, der höhern Schüttung oder fremden Belastung ohnerachtet, ein gewisses Maafs nicht übersteigt, ist auch sonst bemerkt worden. Im Jahre 1829 machte Huber-Burnand die Entdeckung bekannt, daß die Sandmasse, welche durch eine Oeffnung am Boden eines Gefäßes ausfließt, von der Druckhöhe ganz unabhängig ist. Diese Erscheinung erklärt sich vollständig durch die obige Herleitung. Später stellte Niel*) Versuche

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. II. p. 192.

in größerem Maafsstabe über den Druck an, welchen Sandmassen auf Oeffnungen im Boden von Gefäßen ausüben und gelangte dabei zu Resultaten, welche sich ungefähr an die von mir gefundenen anschliessen, da jedoch die Specialien nicht vollständig mitgetheilt sind, so läßt sich der Vergleich nicht scharf durchführen. Niel erklärt die Verminderung des Druckes, die sich bei größeren Höhen der Schüttung zu erkennen giebt, durch die Bildung von Gewölben in dem Sande. Diese Auffassung läßt sich indessen nicht weiter verfolgen, auch ist sie gewiß nicht richtig, denn die Sandkörnchen lagern sich beim Niederfallen nur in der Art, daß sie senkrecht unterstützt sind, aber keineswegs lehnen sie sich in jeder Richtung, wie die Steine eines Gewölbes gegen einander, wodurch sie den Druck aufheben, der irgend eine freiwerdende Oeffnung im Boden trifft. Wenn die Bildung eines Gewölbes hier überhaupt denkbar wäre, so könnte sie erst eintreten, nachdem beim Ausweichen der darunter befindlichen Sandmasse die betreffenden Theilchen zusammengedrückt sind.

Aus dem Angeführten ergibt sich, daß eine Sandschüttung, wie Fig. 141 dargestellt ist, den liegenden Rost ersetzt, sie kann zwar keineswegs einer Senkung überhaupt, oder auch nur einer ungleichmäßigen Senkung vorbeugen, was man vom liegenden Roste gleichfalls nicht erwarten darf, aber sie bildet eine feste Sohle der Baugrube, worauf man die Fundamentmauer aufführen kann, ohne die einzelnen Steine derselben der Gefahr auszusetzen, daß sie ungleichmäßig versinken, und wenn überdies der Grund an einzelnen Stellen besonders weich oder die Belastung sehr groß sein sollte, so wird der Druck sich nach Maafsgabe der Tragfähigkeit des Bodens vertheilen, wodurch ein theilweises Einsinken innerhalb gewisser Grenzen vermieden wird. Die Wohlfeilheit und Dauer der Sandschüttungen sind bereits erwähnt worden. Die Schüttung gewährt noch einen andern Vortheil, daß sie sich nämlich geschlosssen ablagert und alle Unebenheiten genau ausfüllt. Begießt man sie mit Wasser, welches sich von oben nach unten durch sie hindurchzieht, so wird sie um so compacter und wenn sie nur wenig feucht ist, so kann man sie durch Abrammen noch fester lagern.

Eine wichtige Anwendung dieser Fundirungsart wurde bei

dem Canale St. Martin in Paris gemacht *). Die Kaimauern dieses Canales stellte man, so viel es möglich war, unmittelbar auf den Kalkstein, den man gewöhnlich in einer nicht grossen Tiefe antraf, doch zuweilen konnte man ihn nicht erreichen und man war alsdann gezwungen, die Mauer auf den aufgeschütteten und grossentheils sehr ungleichmässigen Grund zu stellen. So sah ich (1823) den Fundamentgraben in der Sohle fest anstampfen und darüber eine Sandschüttung von 3 Fufs Höhe aufbringen, worauf alsdann die Mauer unmittelbar aufgeführt wurde **). Im Jahre 1830 stellte man in gleicher Art die Säulen der Vorhalle des Wachtgebäudes zu Bayonne auf Sandschüttungen, und im folgenden Jahre wurde ebendasselbst diese Fundirungsart beim Bau eines Bastions auf aufgeschüttetem, sehr weichem Boden wiederholt. Der letzte Versuch zeigte ein sehr starkes und ungleichmässiges Setzen, was indessen davon herrührte, dafs der lose Untergrund nicht überall gleich mächtig war. An der einen Seite berührte die Sandschüttung beinahe den gewachsenen Boden, während sie auf der andern etwa 5 Fufs davon entfernt blieb, und so geschah es, dafs sie dort gar nicht und hier sehr stark sank, was bei einem liegenden Roste auch der Fall gewesen sein würde. In und bei Paris sind seitdem vielfache Anwendungen dieser Fundirungsart gemacht worden, eine der wichtigsten unter denselben kam bei der Erbauung des Hauses eines Canalwärters im sumpfigen Thale der Beuvronne vor, wo der Boden aus Torf bestand. Man brachte hier eine 6 Fufs hohe Sandschüttung auf, welche das Gebäude auch ohne alle Spuren einer ungleichmässigen Senkung trug.

In neuerer Zeit haben die Sandschüttungen auch in Deutschland mehrfache Anwendung gefunden. Das Empfangsgebäude der Hamburger Bahn in Berlin, über einem losen Wiesengrunde erbaut, ruht auf einer mächtigen künstlichen Sandschüttung und hat sich in vollkommen gutem Zustande erhalten. Bei Anlage des Bahnhofes in Emden wurden über diese Fundirungsart vielfache Ver-

*) *Sur la fondation sur sable. Note par Devilliers. Annales des ponts et chaussées. 1835. II. p. 404.*

**) Beschreibung neuerer Wasserbauwerke. S. 169.

suche angestellt, deren Resultate den obigen Mittheilungen entsprachen *).

Zuweilen hat man versucht, den Sand durch Uebergießen mit Kalkmilch zu binden, der Erfolg ist indessen wohl immer nur sehr geringe geblieben, so lange man nicht so große Kalkmassen zusetzte, daß sich ein wirklicher Mörtel bilden konnte, wie dieses neben den Kalkgruben für ausgedehnte Bauten und zwar im Sandboden zuweilen der Fall ist. Ein solches Verfahren, absichtlich gewählt, würde schon den Uebergang zu den Fundirungen in Béton bilden.

Man hat von den Sandschüttungen noch eine andere Anwendung gemacht, die freilich nicht mehr dem liegenden, vielmehr dem Pfahlroste entspricht, die jedoch mit dem Vorstehenden so nahe zusammenhängt, daß davon hier am passendsten die Rede sein wird. Die Bauten im Arsenal zu Bayonne verlangten wegen des losen Untergrundes einen Pfahlrost, und da wegen der hohen Holzpreise von der Anwendung sehr langer Pfähle abgesehen werden mußte, so machte man den Versuch, diese Pfähle, nachdem sie eingerammt waren, wieder auszuziehen und die Löcher, worin sie gesteckt hatten, mit Sand auszufüllen. Aus Furcht, daß der Sand zu weit versinken möchte, schlug man aber noch mittelst hoher Aufsetzer Pfahlspitzen hinein, auf welchen der Sand auflag. Auf die in solcher Art gebildeten Sandcylinder stellte man unmittelbar das untere Banket der Mauern, wie Fig. 142 zeigt **). Dasselbe Verfahren hat man auch später benutzt, jedoch mit dem Unterschiede, daß man das Eintreiben der Pfahlspitzen unterließ und statt des Sandes förmlichen Béton anwendete, den man fest einstampfte.

Man darf wohl nicht erwarten, daß diese Sandpfähle oder die aus reinem Sande gebildeten Säulen eine irgend merkliche Tragfähigkeit besitzen sollten. Wenn es auch wirklich glückt, das Loch, das der eingerammte Pfahl gebildet hat, bis zum Einschütten des Sandes offen zu erhalten, so füllt es sich doch mit

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins. XI. Seite 154.

***) *Annales des ponts et chaussées*. 1835. II. p. 172.

Wasser an und der hineinfallende Sand lagert sich ganz lose, oder bildet Triebssand. Er ist überdies durch keine feste Wand eingeschlossen, und kann also mit Leichtigkeit nicht nur abwärts, sondern auch zur Seite ausweichen. Ein geringer Erfolg dabei wäre nur denkbar, wenn der Boden schon an sich nahe die erforderliche Tragfähigkeit besäße, und diese demselben durch die Compression beim Einrammen der Pfähle und durch die geringe Vergrößerung der festen Masse beim Hineinschütten des Sandes hinreichend gegeben werden könnte. In diesem Falle müßten aber die Pfähle ziemlich nahe neben einander gestellt werden, und hierdurch, so wie durch das Einrammen und Wiederausziehen derselben möchten die Kosten sich so sehr steigern, daß diese Fundirungs-Art vergleichungsweise gegen andre kaum noch einen Vortheil bieten würde.

Das Verfahren hat, soviel bekannt, in neuerer Zeit keine weitere Anwendung gefunden, und wäre daher hier gar nicht zu erwähnen gewesen, wenn es nicht bei Deichanlagen auf losem Grunde mehrfach, und zwar angeblich mit großem Nutzen, gewählt wäre. Solche Sandpfähle sollen nach verschiedenen, in der Provinz Preußen gemachten Erfahrungen das starke Sacken der Deiche verhindert haben. Ich muß mich begnügen, diese Ansicht historisch mitzutheilen, da keine sicheren Messungen beurtheilen lassen, welchen Erfolg die Sandcylinder wirklich herbeiführten.

Endlich muß noch von den Steinschüttungen die Rede sein, die man zuweilen anwendet, um große Bauwerke darauf zu stellen, sie finden indessen weniger bei einem losen und nachgiebigen Baugrunde ihre Anwendung, als vielmehr da, wo die Wassertiefe sehr groß ist und der Wellenschlag jede andere Fundirungsart sehr schwierig macht. Die wichtigsten Beispiele dieser Art sind bei Seehäfen vorgekommen. So wurde der Damm, der die Rhede von Cherbourg sichert, durch eine lose Steinschüttung gebildet, doch zeigten die eben daselbst gemachten Erfahrungen, daß solche Werke, wenn sie einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind, keinen sichern Untergrund bilden. Die in der Mitte dieses Dammes angelegte Batterie wurde nach wenig Jahren bei einem heftigen Sturme vollständig zerstört. In welcher Art man durch

Anwendung von großen Blöcken die Steinschüttungen gegen den Wellenschlag sichern kann, ist im dritten Theile dieses Werkes bei Behandlung der Hafendämme mitgetheilt. Es ist aber hier zu erwähnen, daß man zuweilen auch große Bauwerke auf regelmäßig versenkte Steinblöcke fundirt hat.

Ein Fall dieser Art kam bei Inverness vor. Man wollte da selbst einen Hafendamm (*Pier*), der zum Anlegen der Schiffe bestimmt war, im Ness-Flusse erbauen, und indem die Geldmittel ziemlich beschränkt waren, so schlug Telford die folgende eigenthümliche Construction vor, die auch wirklich gewählt wurde. Das Flußbette, welches 4 Fufs unter dem niedrigsten Wasser lag, bestand aus einer festen Ablagerung von grobem Kiese und Klai, und der Hafendamm, an dessen innerer Seite die Schiffe, vor dem Wellenschlage gesichert, zur Zeit des Hochwassers anlegen sollten, erhielt die Länge von 160 Fufs und die Breite von 8 Fufs. Der Anfang wurde damit gemacht, daß man in der Richtung des Dammes das Bette 2 Fufs tief ausbaggerte. Alsdann wurden an jeder Seite in 20 Fufs Abstand von einander schwache Pfähle von 12 Fufs Länge eingerammt, und je zwei gegenüberstehende Pfähle verband man in der Höhe der gewöhnlichen Ebben durch seitwärts angenagelte Bohlen und schnitt die vorstehenden Pfahlköpfe ab. Auf diese Bohlen nagelte man Halbhölzer, welche die Holme für die Pfahlreihen bildeten. An der innern Seite dieser Holme ramnte man endlich in weiten Zwischenräumen von 10 bis 12 Zoll Dielen ein, die nur wenige Zolle tief in den Boden eindrangen. Auf solche Art war der ganze Raum, der massiv ausgemauert werden sollte, umschlossen, und nunmehr versenkte man darin die regelmäßig bearbeiteten Steine, indem man sie möglichst genau schließend an einander stellte und durch Abwechselung der Fugen auch für einigen Verband sorgte. Das Versenken geschah mittelst der später zu beschreibenden Vorrichtung, der Wolf genannt, wodurch jeder Stein nur in seiner Oberfläche gefaßt und selbst unter Wasser leicht gelöst werden konnte. Nachdem mehrere Schichten großer Werkstücke so versetzt waren, erreichte man den Wasserstand der Ebbe und der folgende Theil des Baues wurde als gewöhnliches Mauerwerk in Mörtel ausgeführt. Im Jahre 1815 hatte man den Damm erbaut, und das Werk hielt sich so gut, daß vier und zwanzig Jahre

später noch keine Spur von einer Beschädigung sich darin zu erkennen gab *).

Für den Hafendamm bei Ardrossan wählte Telford eine etwas abweichende Fundirungsart. Die Unebenheiten, welche der Felsboden hier zeigte, wurden durch Schichten von aufrechtgestellten Steinblöcken von 6 bis 10 Fufs Höhe und 3 Fufs Breite ausgeglichen. Diese Blöcke versetzte man mit der Teufelsklaue unter Wasser und zwar so, dafs sie sämmtlich sich gegen einander lehnten und deshalb eine schräge Stellung erhielten. Von ausen umgab sie eine Schüttung grofser Steine.

Dafs man auf weichen und thonigen Untergrund zuweilen eine Lage von Steinen bringt, die gewöhnlich 3 bis 4 Zoll im Durchmesser haben, und dieselben fest einrammt, ist bereits erwähnt worden. Es findet hierbei indessen auch eine Verbreitung der tragenden Fläche statt, wenn das Pflaster an beiden Seiten vor das Fundament tritt, und man legt zuweilen mehrere solcher Steinschichten möglichst geschlossen über einander, rammt sie jedesmal fest an, und füllt die Fugen mit Sand aus, worauf man endlich durch Einschlämmen von Sand noch diejenigen Räume zu dichten sucht, die vielleicht offen geblieben waren **). Es ist kaum zu vermuthen, dafs diese Methode einen Vorzug vor der oben beschriebenen Sandschüttung haben sollte.

§. 34.

Der Pfahlrost.

Der Pfahlrost findet seine eigentliche Anwendung, wenn der feste Boden, der mit Sicherheit das Gebäude tragen kann, zu tief liegt, um das Fundament unmittelbar darauf zu stellen, vielmehr eine lose Erdschicht sich darüber befindet, die keinen sichern Baugrund bildet. Indem die Pfähle die letztere durchdringen und mit ihrem Fusse auf der festen Schicht aufstehn, oder in dieselbe ein-

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. VI. p. 17.* Dasselbst ist auch der Hafendamm bei Ardrossan beschrieben.

***) *Crelle's Journal, Bd. III. S. 484.*

greifen, so übertragen sie auf diese den Druck des Gebäudes und geben dadurch dem letzteren eine sichere Unterstüztung. Häufig wendet man indessen den Pfahlrost auch da an, wo der Baugrund durchweg von gleichmäztiger Beschaffenheit ist, oder wo die Spitzen der Pfähle keine festere Schichten erreichen, als diejenigen sind, welche sie bereits durchdrungen haben. In diesem Falle kann nur die Reibung, welche das umgebende Erdreich gegen die Pfähle ausübt, den stärkeren Widerstand erzeugen, und man pflegt aus der Leichtigkeit, womit der Pfahl unter der Ramme eindringt, auf die Gröfse der Last zu schliesen, welche man darauf stellen kann. Im folgenden wird die Tragfähigkeit der Grundpfähle näher untersucht werden, zunächst aber ist die Anordnung des Pfahlrostes und seine Construction zu beschreiben.

Für den Pfahlrost gilt die Bedingung, welche für den liegenden Rost bereits angeführt ist, dafs er nämlich immer unter dem Grundwasser sich befinden mufs. Man weicht von dieser Regel zuweilen insofern ab, als man annimmt, dafs der Boden umher, wenn er vor dem Zutritte der Luft geschützt ist, nicht so schnell austrocknet, und namentlich erwartet man dieses von einer zähen thonigen Erde. Ein Beispiel hiervon giebt die Victoriabrücke über den Fluß Wear auf der Durham-Verbindungseisenbahn, wo man den Pfahlrost des linken Widerlagspfeilers für den 100 Fufs gespannten Bogen auf dem hohen Ufer etwa 50 Fufs über dem Wasserspiegel angebracht hat. Dergleichen Abweichungen haben indessen häufig sehr unangenehme Verlegenheiten herbeigeführt, und vielfach mufsten Gebäude allein aus diesem Grunde abgetragen werden. Die Vergänglichkeit eines solchen Rostes zeigt sich aber nicht nur in einem leichten Boden und in grofser Höhe über dem Wasser, sondern zuweilen auch an solchen Stellen, wo kein vollständiges Austrocknen des umgebenden Grundes stattfindet. In dem sumptigen aufgeschwemmten Boden bei Danzig, und zwar in der Tiefe von 8 Fufs unter der Oberfläche des Terrains und nur in geringer Höhe über dem Wasserspiegel der nahegelegenen Mottlau, sah ich das Holz eines Rostes vollständig verzehrt, so dafs man leicht mit einem Stocke hindurchstiefs. Wenn es sich aber trifft, dafs man bei einem alten Gebäude eine solche unpassende Lage des Rostes entdeckt, die seine Zerstörung in Kurzem erwarten läfst, so mufs man Sorge tragen, durch eine dichte Umgebung mit fetter Thon-

erde ihn möglichst sicher zu stellen. Es ereignet sich dieser Fall nicht selten bei den Fundamenten der Brückenpfeiler, und man pflegt in solchem Falle durch Spundwände ringsumher einen Kasten darzustellen, der mit einem Thonschlage gefüllt wird. Es mag hier auch noch an die Erfahrung erinnert werden, die man in Bayonne gemacht hat und die eben zu der oben (§. 33) erwähnten Anwendung des Sandes Veranlassung gab. Die Rostschwellen von Kiefernholz hatten, obgleich sie in der Höhe des mittleren Wasserstandes lagen und einen Fuß stark waren, doch so gelitten, daß sie beim Aufschlagen in eine Menge Splitter zerbrachen, und kleine fichtene Pfählchen, die wahrscheinlich zur Befestigung des Grundes eingetrieben waren, konnte man mit dem Spaten durchstechen. Nach diesen Erfahrungen, die sich oft genug wiederholen, darf man wohl annehmen, daß es jedesmal ein sehr gewagter Versuch ist, einen Rost, der über dem niedrigsten Wasserstande liegt, beständig naß zu erhalten und ihn vor Fäulniß oder vor Verrottung zu sichern. Bei Neubauten muß es daher immer als Regel gelten, eine solche Gefahr nicht eintreten zu lassen und den Rost so tief zu legen, daß er unter allen Umständen stets vom Grundwasser bedeckt bleibt.

Nach manchen Erfahrungen ist es selbst zweifelhaft, ob diese Vorsicht in allen Fällen genügt, um das Holz unversehrt zu erhalten. Als der schadhafte Stirnpfeiler einer kleinen Brücke über den Bach Gélise in den Landes der Provinz Gascogne wieder hergestellt werden sollte, fand man den alten Pfahlrost, obwohl derselbe den niedrigsten Wasserstand des Baches nicht überragte, also dauernd unter Wasser geblieben war, doch so verrottet, daß sowohl der Rost selbst, wie die Pfähle, die ihn trugen, mit dem Spaten leicht durchstoßen werden konnten. Es zeigte sich auch, daß bei andern Bauwerken in dortiger Gegend dasselbe geschehn war. Die Ursache dieser Erscheinung soll die Zersetzung der organischen Bestandtheile des Bodens sein, wobei ein Ferment sich bildet, das bei der Berührung des Holzes auch dieses, und zwar selbst unter Wasser in Fäulniß versetzt *). Wird das Holz dagegen von fließendem Wasser unmittelbar berührt, so zeigen vielfache Erfahrungen, daß seine Oberfläche mit der Zeit ange-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1857. I. p. 122 und 369,

griffen wird, und sich vollständig auflösen scheint, da die Zapfen und selbst die vortretenden Pfähle nach mehreren Jahrzehenden auffallend geringere Dimensionen annehmen.

Die Holzart, die zu den Pfählen vorzugsweise gewählt wird, ist Kiefernholz, doch ist auch die Anwendung des Eichenholzes, wo dasselbe wohlfeil zu haben ist, nicht ungewöhnlich, sowie man auch Ellern-, und jedes andere feste Holz dabei zuweilen benutzt.

Es ist schon früher (§. 32) darauf aufmerksam gemacht worden, daß jedes Fundament in derjenigen Richtung den hinreichenden Widerstand leisten muß, in welcher der Druck wirkt. Diese Regel findet besonders Anwendung auf den Pfahlrost, und namentlich in dem Falle, wenn die Pfähle den festen Grund nur mit der Spitze erreichen und mit dem größten Theile ihrer Länge in losem Boden stehn, oder wenn sie vielleicht sogenannte Langpfähle bilden, welche den Rost weit über dem Boden tragen, wie bei Brücken zuweilen geschieht. Wie wichtig die Vorsicht in dieser Beziehung ist, hat sich besonders an der bereits erwähnten massiven Brücke über die Loire bei Tours gezeigt. 1765 begann der Bau, 1777 stürzte schon ein Pfeiler ein und man schrieb die Schuld der schlechten Beschaffenheit der Grundpfähle zu, die drei Jahre lang nach der Ablieferung auf dem Bauplatze gelegen hatten. Das wichtigste Ereigniß trat aber im Jahre 1789 ein, nämlich beim Eisgange wurden vier Brückenbogen zerstört. De Cessart meint, daß der Stofs des Eises sie umgeworfen habe, doch bestätigte sich dieses nicht nach den Untersuchungen, die Beaudemoulin darüber anstellte *), denn die Brücke stand noch acht Stunden, nachdem der Eisgang aufgehört hatte, als sie plötzlich etwa auf den dritten Theil ihrer Länge zusammenfiel. Die Ursache davon lag aber in den Rostpfählen, die nicht gehörig unterstützt waren. Der feste Felsgrund (ein Tufstein) erreichte gerade an dieser Stelle seine größte Höhe, und um das Einrammen der Pfähle zu erleichtern, hatte man die Baggerung so weit getrieben, daß die Pfähle nur 4 Fufs im aufgeschwemmten Boden standen, der ihnen allein einige Haltung geben konnte, da ihre Spitzen nur den Felsen berührten. Gegen seitliches Ueberweichen waren sie um so weniger geschützt,

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. II. p. 86 ff.

als möglicher Weise die lose Erde vielleicht beim Eisgange noch stärker ausgewaschen war, als man später bemerken konnte.

Auch bei gleichmäßigem Grunde, der in seinen obern Schichten nicht besonders lose ist, bleibt der Widerstand, welchen die Pfähle einem Seitwärtsschieben und einem Verbiegen entgegensetzen, ziemlich unbedeutend, und es kommt daher darauf an, einem solchen Erfolge durch andere Mittel vorzubeugen. Hierher gehört zunächst die möglichst innige und solide Verbindung des ganzen Rostes, und wenn es geschehn kann, auch die gegenseitige Verbindung der verschiedenen Roste, die unter den einzelnen Theilen des Gebäudes liegen. So ist es z. B. sehr vortheilhaft, die Roste unter den beiden Widerlagern eines Bogens mit einander zu verankern. Es können indessen auch in anderer Art Trennungen erfolgen. Hierher gehört die bereits oben (§. 31) erwähnte Erscheinung, daß unter der Last einer hohen Dammschüttung die zwischen den Rostpfählen befindliche Erde an der allgemeinen Bewegung Theil nimmt, und die Pfähle nach der einen und der andern Seite drängt.

Nicht selten ist die auf dem Pfahlroste stehende Mauer einem starken Seitendrucke ausgesetzt. Dieses geschieht namentlich, wenn sie das Widerlager eines weit gespannten Bogens bildet, oder wenn gegen sie als Futtermauer eine hohe Erdschüttung sich lehnt. In solchem Falle setzt der Seitendruck sich auch auf den Rost und die Pfähle fort, und letztere würden, besonders wenn sie auf große Länge entweder ganz frei, oder in lockerem Boden stehn, diesem Drucke nicht Widerstand leisten, vielmehr sich seitwärts neigen. Um dieses zu verhindern, hat man verschiedene Mittel angewendet. Am passendsten ist es gewiß unter diesen Umständen, die sämmtlichen Rostpfähle nicht vertical, sondern schräge, und zwar in der Richtung desjenigen Druckes zu stellen, der sich aus dem verticalen und horizontalen zusammensetzt. Der Druck trifft sie alsdann in ihrer Achse, und es ist keine weitere Kraft vorhanden, die sie seitwärts drängt. Das Einrammen der Pfähle in schräger Richtung, die sich etwa 20 bis 30 Grade von der des Lothes entfernt, verursacht aber wenig Schwierigkeit, wenn die Läuferuthe der Ramme beliebig geneigt werden kann.

Man hat in England dieses Verfahren häufig angewendet. So wurden die Rostpfähle unter den Stirnfeilern der Southwark- und der neuen London-Brücke schräge eingerammt, und man findet

mehrfache Beispiele dafür unter den neuesten englischen Brückenbauten. Für die Roste der Kaimauern, welche durch den Druck der Erde eine horizontale Pressung erleiden, ist die schräge Stellung der Pfähle sogar ganz gewöhnlich geworden. Fig. 143 zeigt die Fundirung des einen Widerlagspfeilers der neuen London-Brücke *) und es muß dabei bemerkt werden, daß die an der innern Seite vorgerammte Spundwand gegen den Lehrbogen verstrebt wird, weil sonst die Gefahr eintreten möchte, daß gleich beim Bau die ersten Schichten des Pfeilers herabgleiten, indem die horizontale Pressung, welche sie dagegen sichert, erst eintritt, sobald der ganze Bogen geschlossen und ausgerüstet ist. Die Spannungen der Bogen dieser Brücke betragen 130 bis 152 Fufs. Fig. 144 stellt dagegen das Profil der Kaimauer dar, welche das Verbindungsdock in Hull umgiebt **).

Vielfach giebt man nicht allen Pfählen, sondern nur der vorderen Reihe derselben, oder auch wohl nur einzelnen Pfählen eine schräge Stellung. Diese müßten, wenn der Horizontaldruck das Gleichgewicht stören sollte, sich aufrichten, also in ihren Köpfen eine höhere Lage annehmen und sonach die darauf ruhende Last heben. Um dieses zu vermeiden, muß man dafür sorgen, daß die Mauer sie hinreichend beschwert. Figur 213 auf Tafel XVI zeigt das Profil der Hafenmauer in Geestemünde, die auf einem Pfahlroste steht, in welchem zwischen den durch kurze Schwellen verbundenen Querreihen schräge Pfähle eingerammt sind, welche abwechselnd die vordere und die hintere Langschwelle mit Klauen umfassen. Indem sie vor die vordere Pfahlreihe weit vortreten, so konnte die Spundwand nicht vor den Rost, sondern mußte hinter denselben gestellt werden, und dieses war hier ohne Nachtheil, da die Erdböschung sich hinreichend erhebt, um das Ausspülen der Erde zwischen den Pfählen zu verhindern. Zur Erklärung der Figur mag noch hinzugefügt werden, daß man, um die Kosten zu vermindern, in der Mauer Oeffnungen von 9 Fufs Länge, 5 Fufs Breite und 8 Fufs Höhe frei gelassen hat, die rückwärts durch eine 1 Stein starke horizontal gespannte Kappe geschlossen und

*) *A practical treatise on bridge-building by Cresy.* London 1839.

***) *Transactions of the Institution of Civil Engineers.* Vol. I. p. 34.

mit sehr verlängertem Mörtel gefüllt sind. Zwischen je zweien Oeffnungen ist die Mauer in 5 Fufs Breite voll hindurchgeführt.

Ein anderes Verfahren, wodurch man das Ueberweichen der Rostpfähle verhindert, bezieht sich auf eine gegenseitige Absteifung derselben unter einander. Durch hölzerne Verbandstücke läfst sich dieser Zweck nicht erreichen, weil man alsdann die Baugrube bis zu grofser Tiefe trocken legen müfste, der zwischen die Pfähle versenkte Béton wirkt indessen nach seinem Erhärten in gleicher Weise und stellt sogar die Absteifung in jeder Richtung, also sehr vollständig dar. Diese Constructions-Art gewährt noch andre wichtige Vortheile. Die Spundwand kann und mufs sogar vor den Rost gestellt werden, und die Bétonschüttung, welche den natürlichen Boden, wie tief derselbe auch unter Wasser liegen mag, vollständig überdeckt und daher gegen Ausspülung sichert, darf auch ohne Nachtheil bis zum niedrigsten Wasserstande und selbst über diesen hinauf geführt werden. Sie findet sichere Unterstützung theils auf dem Untergrunde und theils auf den Pfählen, und zwar auf den letztern ebensowohl in den Köpfen, wie in Folge des genauen Anschlusses auch an ihren Seitenflächen. So bietet dieses Mittel Gelegenheit, die Trockenlegung der Baugrube ganz zu umgehn. Nachdem die Rammarbeiten beendigt sind, schneidet man die Pfähle einige Fufs tief unter dem niedrigsten Wasser ab und führt die Bétonschüttung, die sowohl unter wie über Wasser ein festes Mauerwerk bildet, so hoch hinauf, bis die eigentliche Maurer-Arbeit beginnen kann. In dieser Weise ist die Kaimauer an der Oder neben dem Bahnhofe in Stettin ausgeführt und hat sich nunmehr bereits 30 Jahre hindurch unversehrt erhalten. Im Pillauer Hafen ist in neuester Zeit dieselbe Fundirungsart der Hafenmauern zur Ausführung gekommen.

Verankerungen der Pfahlroste durch Erd-Anker, die rückwärts in den Boden greifen, sind nicht üblich, wiewohl sie bequem auszuführen wären, auch ihrer Anwendung kein wesentliches Bedenken entgegenstände. Andererseits werden aber nicht selten die beiderseitigen Roste unter den Widerlags-Pfeilern der Brücken mit einander verankert, wie Figur 150 auf Tafel XII zeigt.

Was die Anordnung der Pfahlroste betrifft, so werden die Pfähle reihenweise eingerammt, und auf die Köpfe derselben legt man gewöhnlich zunächst die Rostschwellen, welche durch

Zangen mit einander verbunden werden. Figur 145 auf Tafel XI zeigt einen solchen Rost. Die Entfernung der Pfahlreihen von einander, und zwar von Mitte zu Mitte, beträgt nach Maafsgabe des Gewichtes der darauf ruhenden Mauern $2\frac{1}{2}$ bis 4 Fufs. Die Entfernung der einzelnen Pfähle in jeder Reihe ist aber gewöhnlich etwas gröfser. Die Pfähle werden mit Zapfen versehen, und um diese genau in gleicher Höhe anzubringen, läfst man das Wasser in der Baugrube so hoch steigen, als die obere Fläche der Zapfen liegen soll. Die Höhe wird an allen Pfählen bezeichnet, und nachdem das Wasser wieder ausgepumpt ist, schneidet man die vorstehenden Enden der Pfähle ab und schnürt darauf die Zapfen von 2 bis 3 Zoll Breite und 6 Zoll Länge ab, die alsdann in einer Höhe von 3 bis 4 Zoll ausgeschnitten werden. Diejenigen Pfähle, auf welche die Stöfse der Schwellen treffen, erhalten Zapfen von der ganzen Breite der Pfähle, um jedesmal beide Enden der Schwellen sicher zu fassen. Zu den Schwellen wählt man recht lange Hölzer, um die Anzahl der Stöfse möglichst zu vermindern. Sie liegen gemeinlich nach der Länge des Baues, woher man sie auch Langschwellen nennt. Man versieht sie nur mit Zapfenlöchern für die Zapfen der Pfähle, ohne sie darauf weiter zu befestigen, weil ein Abheben undenkbar ist. Im Stofse kann nicht füglich ein Hakenkamm, wie bei dem liegenden Roste, angebracht werden, weil der Zapfen sich hier befindet, und sonach diejenige Stelle in der Schwelle, wo gerade die meiste Tragfähigkeit erforderlich ist, nicht gehörig sicher wäre. Bei dem liegenden Roste kommen solche besonders stark belastete Stellen nicht vor, indem derselbe in seiner ganzen untern Fläche und selbst gegen den Bohlenbelag unterstützt wird, während beim Pfahlroste die Pfahlköpfe allein die tragenden Flächen bilden und die Schwellen den ganzen Druck der Mauer auf diese übertragen. Aus diesem Grunde werden die Schwellen in den Stöfsen nur stumpf abgeschnitten, und erhalten die nöthige Verbindung durch eiserne Klammern, oder noch besser durch eiserne Schienen, die seitwärts aufgenagelt werden, doch müssen diese Schienen wenigstens $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ Zoll stark sein, auch mit Nägeln von 8 bis 9 Zoll Länge befestigt werden. Man schlägt die Nägel so ein, daß man sie beim Einstellen mit der Spitze an den äußern Rand des Nagelloches drückt, wodurch sie beim ferneren Eindringen wegen ihrer zunehmenden Stärke die Schiene nach der

Seite, oder die Schwelle nach dem Stofse hin pressen. Dafs die Stöfse in den Schwellen wieder gehörig abwechseln müssen, darf kaum erwähnt werden.

Die sämmtlichen nebeneinander liegenden Schwellen erhalten demnächst ihre Verbindung unter einander durch eine zweite Lage von Verbandstücken, welche sie rechtwinklig kreuzen. Dieses sind die Zangen oder Querschwellen. Ein Verschieben der letztern nach der Länge der Rostschwellen ist gewöhnlich ganz undenkbar und wird überdies durch die zwischenliegenden und aufgenagelten Bohlen verhindert. Die Schwelle braucht also nicht eingeschnitten zu werden und die Ueberschneidung wird allein in der Zange angebracht, wodurch die Rostschwellen im gehörigen Abstände von einander gehalten werden. Eine möglichst sorgfältige Ausfüllung und bei wichtigen Bauten eine Ausmauerung des Raumes in den Rostfeldern ist auch hier nothwendig. Gewöhnlich hebt man, nachdem die Pfähle eingerammt sind, den Grund 1 bis 2 Fuß unter dem Roste aus, wodurch das Anschneiden der Zapfen erleichtert wird, und bringt einen Lehmschlag darüber, auf welchem die Ausmauerung ruht, die zwischen den Schwellen bis zu deren oberer Fläche hinaufreicht. In Figur 145 *d* ist eine solche Anordnung dargestellt, wobei der Rost wieder eine ebene Fläche bildet, indem die Zangen so weit eingeschnitten sind, dafs sie nur die Stärke der Bohlen behalten und mit diesen bündig liegen. Es rechtfertigt sich eine solche Anordnung insofern, als bei einer gleichmäfsigen Vertheilung des Druckes die Zangen keine gröfsere Last zu tragen haben, als die Bohlen, die Bohlen selbst müssen jedoch in diesem Falle auch so stark gewählt werden, dafs sie mit Sicherheit den Druck tragen können und nicht etwa zwischen den Balken brechen. Endlich ist zu erwähnen, dafs die Bohlen auch hier fest genagelt werden. Die ganze beschriebene Anordnung ergibt sich aus Fig. 145. *a* ist nämlich der Grundriß des Rostes in den verschiedenen Bauperioden, und da, wo die Schwellen noch nicht mit den Zangen versehen sind, liegt eine solche ungekehrt darüber. Fig. 145 *b* ist die Ansicht von der Seite und *c* und *d* sind zwei Querschnitte, von denen der erste durch eine Zange und der letzte durch eine Bohle gelegt ist.

Wenn gleich die beschriebene Construction bei uns die übliche ist, so kommen doch manche Modificationen vor, die in Fig. 146

dargestellt sind. Zunächst bemerkt man hier, daß die Pfähle in den einzelnen Reihen sich nicht gegenüber stehn, sondern versetzt sind. Dieses begründet sich dadurch, daß die Pfähle bei gleicher Entfernung von einander eine gleichmäßigere Compression des Bodens bewirken. Durch die zuerst eingerammten Pfähle wird nämlich schon der Boden ringsumher verdichtet und das Eindringen der folgenden erschwert, und zwar geschieht dieses um so mehr, je näher die Pfähle neben einander stehn. Der Widerstand, den die letzten Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, bezeichnet aber keineswegs ihre Tragfähigkeit, denn nach und nach gleicht sich die im Boden hervorgebrachte Spannung einigermaßen wieder aus, und alsdann behält derjenige Pfahl eine geringere Tragfähigkeit, der nahe an einem andern eingerammt wurde. Daß die versetzten Pfähle nicht immer unter die Zangen treffen, ist klar, doch bleibt dieser Umstand in Bezug auf die Festigkeit des Rostes ziemlich gleichgültig. Ferner ist in der letzten Figur auch noch eine andere Verbindung der Zangen gegen die Schwellen, nämlich mit einer geringeren Verkämmung, dargestellt. Der Bohlenbelag liegt hier tiefer, als die Oberfläche der Zangen, was keineswegs als nachtheilig angesehen werden darf. Diese Construction könnte noch einigen Vortheil in Bezug auf die Festigkeit gewähren, indem solche Zangen nicht so leicht einbiegen.

Endlich muß bemerkt werden, daß man bei einer Veränderung in der Richtung des Rostes dieselben Verbandstücke, welche für einen Theil Schwellen waren, in dem andern als Zangen übergreifen läßt, ebenso wie dieses Fig. 139 für den liegenden Rost dargestellt ist.

Beim Pfahlroste ist die Anbringung einer Spundwand sehr gewöhnlich. Ihr Zweck ist wieder kein andrer, als derjenige, der schon für den liegenden Rost angedeutet wurde, nämlich einmal die Verminderung des Wasserzudranges während des Baues und sodann die Zusammenhaltung des Erdkörpers, welcher das Gebäude tragen soll. Da aber hier ein tieferes Einsinken durch fernere Compression des Bodens nicht stattfinden darf, so ist eine innige Verbindung der Spundwand mit dem Roste nicht mehr als nachtheilig anzusehn und man erreicht dadurch noch den Vortheil, daß man auch unter dem Roste Spundwände anbringen kann, die das Durchdringen der Quellen sicher verhindern, besonders wenn man

sie mit einem festen Thonschlage umgiebt. Dieses ist vorzugsweise in dem Falle wichtig, wenn das Gebäude ein Wehr oder eine Schleuse ist oder überhaupt einen höheren Wasserstand gegen einen tieferen begrenzt und als Stauwerk dient.

Wenn der letzterwähnte Fall nicht eintritt und die Spundwand nur den Rost umgeben soll, so erhält sie die passendste Stelle aufserhalb der vordern Pfahlreihe, weil sie nur hier für die sämmtlichen Pfähle die erwähnten Vortheile herbeiführen kann, und man thut sogar wohl, sie nicht gar zu nahe an diese zu stellen, weil das Einrammen der Pfähle durch sie schon erschwert würde. Jedenfalls muß die Spundwand zuerst ausgeführt werden, weil sie sonst in den bereits stark comprimirten Boden nicht regelmäßig und tief genug eindringen würde, man läßt sie aber einige Fufs hoch über den Rost vorragen, so daß der dahinter angebrachte Thonschlag die Stelle eines niedrigen Fangedammes versieht. Die Zangen und Bohlen des Rostes treten so weit vor, daß sie bis zur Spundwand reichen und sonach die ganze eingeschlossene Erdmasse, sowie auch den Thonschlag und dessen Uebermauerung vollständig bedecken. Fig. 147 Taf. XII zeigt diese Anordnung. Die schwache Spundwand ist mit keinem Fachbaume, das heißt mit keinem Rahmstück versehen, das auf ihr ruht, und worin alle Spundpfähle verzapft sind, sie wird vielmehr nur durch die an beiden Seiten dagegen lehrenden und mit einander verbolzten Zangen zusammengehalten. In vielen Fällen ist es jedoch nicht statthaft, die Spundwand vor den Rost vortreten zu lassen, auch ist bei größerer Stärke derselben der Fachbaum nicht füglich zu entbehren. Die Anordnung, die man alsdann wählt, zeigt Fig. 148. Der Fachbaum liegt hier neben der äußern Schwelle und ist durch Schraubenbolzen mit ihr verbunden, während die Bohlen und Zangen bis zu seinem äußern Rande reichen, also einen Theil des Druckes auf ihn übertragen. Die Zangen werden alsdann auf dieselbe Art, wie Fig. 146 zeigt, überkämmt, und nur wo sie auf dem Fachbaume aufliegen, müssen sie ausgeschnitten werden, da man den letztern nicht schwächen darf.

Die ganze Construction vereinfacht sich wesentlich, wenn man die Spundwand mit der äußern Pfahlreihe verbindet und die Rostpfähle in der letzten mit Nuthen versieht, welche als Nuthpfähle schon die Stelle einzelner Spundpfähle vertreten. Man erspart

alsdann auch den Fachbaum, da dieser mit der äufsern Rostschwelle zusammenfällt. Diese Anordnung ist besonders in Frankreich üblich; Fig. 149 stellt sie im Grundrisse dar, sie ist indessen insofern bedenklich, als die Spundwand, welche doch zur Sicherung der festen Stellung der Rostpfähle angebracht wird, auf die äufere Reihe derselben ihren Einfluß verliert. Außerdem wird auch die Ausführung einer Spundwand, die auf solche Art durch einzelne stärkere und tiefer eindringende Pfähle unterbrochen wird, sehr erschwert. Zuweilen stellt man die Spundwand sogar innerhalb der äufsern Rostpfähle, um ihr eine mehr gesicherte Lage zu geben. Dieses ist z. B. bei der Kaimauer Fig. 144 geschehn. Eine solche Anordnung ist indessen nicht passend, denn wenn die erste Pfahlreihe ohne die Spundwand schon gehörig gesichert ist, so wird dieses von den folgenden eben so gut gelten und die Spundwand wäre ganz entbehrlich. Endlich muß noch erwähnt werden, daß man zuweilen auch die vordere Pfahlreihe ganz fortläßt und dafür nur die Spundwand anbringt, wie dieses z. B. bei der Umschließungsmauer des Humber-Docks zu Hull geschehn ist, wie Fig. 154 zeigt.

Unter den Abweichungen gegen die beschriebene Constructionsart des Pfahlroste muß zunächst die Weglassung der Zangen erwähnt werden, die in Frankreich, England und Holland sehr gewöhnlich ist. Beim liegenden Roste hatten die Querschwellen (Unterlager) offenbar den Zweck, ein ungleichmäßiges Setzen zu verhindern. Beim Pfahlroste dagegen kann das Einsinken einzelner Stellen nicht erfolgen, indem jeder Pfahl gehörig fest stehn und sonach jede Rostschwelle hinreichend unterstützt sein soll. Die Ausgleichung des Druckes ist daher hier nicht erforderlich und die Zangen haben nur den Zweck, das Ausweichen der Rostschwellen nach der Seite zu verhindern, und dieselben immer in gleichem Abstände von einander zu erhalten. Die Tendenz zu einer solchen Bewegung ist in den meisten Fällen nicht vorhanden und zum Theil wird ihr schon durch die Befestigung des Bohlenbelages begegnet, der auf die Schwellen genagelt wird. Aus diesem Grunde ist die Fortlassung der Zangen in den meisten Fällen gerechtfertigt. Um einige Beispiele hiervon zu geben, ist Fig. 150 *a* und *b* im Längendurchschnitt und im Grundris die Fundirung einer massiven Brücke dargestellt, welche im Anfange die-

ses Jahrhunderts bei Catwijk aan den Rhijn bei Leyden für den großen Entwässerungscanal von Süd-Holland ausgeführt wurde. Die Brücke hat 60 Fufs Spannung, 10 Fufs Pfeilhöhe, die Rostschwellen erstrecken sich von dem einen Widerlager bis zum andern und sind jedesmal unter dem Bogen noch durch zwei Pfähle unterstützt. Auf diesen Schwellen liegt der Bohlenbelag und dazwischen befindet sich nur eine einzige Zange, welche 6 Zoll vorsteht und einen sichern Stützpunkt gegen den horizontalen Schub des Bogens bildet.

In England kommen bei den Pfahlrosten zuweilen Zangen vor, wie bei der neuen London-Brücke, Fig. 143. Ebenso sind solche auch beim Fundamente der Waterloo-Brücke vorhanden, gewöhnlich fehlen sie aber. Fig. 151 *a* und *b* zeigt im Grundrifs und im Querschnitt das Fundament eines Mittelpfeilers der Staines-Brücke über die Themse, wobei gegen die oben beschriebene Construction des Pfahlrostes auch noch der Unterschied stattfindet, daß die Schwellen nach der Quere des Pfeilers gerichtet sind. Sodann stellt Fig. 152 *a* und *b* die Kaimauer zu Aberdeen dar, die Telford erbaute*), wobei die Zangen gleichfalls fehlen und sogar unter den schmalen Verstärkungspfählern nicht vorkommen.

Perronet wendete die Zangen zuweilen an, wie bei der Brücke zu Mantes, gewöhnlich liefs er sie aber fort, wie bei denen zu St. Maxence, Chateau-Thierry und Neuilly. Da die letztere besonders den Ruhm ihres Erbauers begründete, so ist die dabei gewählte Anordnung des Pfahlrostes Fig. 153 *a* und *b* durch den Grundrifs und Querschnitt eines Pfeilers nachgewiesen, ich muß aber bemerken, daß die Zeichnungen im Perronetschen Werke ihrer sonstigen Sauberkeit unerachtet, dennoch wegen des kleinen Maafsstabes diesen Theil des Baues nicht ganz klar darstellen. Durch Vergleichung des Anchlages mit der Beschreibung des Baues und mit allen Zeichnungen ergab sich diejenige Construction, die hier mitgetheilt ist. Die äufsern Grundschwellen bilden einen geschlossenen Rahmen, der den ganzen Rost umgiebt, und sind 4 Zoll höher als die innern Schwellen, ihre Oberfläche trifft also in die Ebene des Bohlenbelages, der auf den Querschwellen aufliegt. Um die Bohlen, die zuweilen auch schräge verschnitten

*) *Life of Telford*. S. 134. Taf. 35.

sind und deren Enden daher nicht immer auf Querschwellen treffen, gehörig zu unterstützen, sind jene äußern Schwellen mit Falzen versehen, worin die Enden der Bohlen und überhaupt der äußere Rand des Bohlenbelages aufliegt. Es ist nicht zu verkennen, daß der letztere hierdurch eine sehr gesicherte Lage erhält. Außerdem ist der Rahmen und der ganze Rost noch dadurch verbunden, daß die Querschwellen schwalbenschwanzförmig in den erstern verkämmt und die Enden der äußern Schwellen gegenseitig überblattet sind. Eine Spundwand kommt hier nicht vor. Aehnliche Anordnungen wiederholen sich häufig in Frankreich *), doch gemeinhin giebt man den innern Schwellen dieselbe Höhe, wie den äußern, so daß die Bohlen parallel mit den letztern sich über beide erstrecken. In diesen Fällen pflegt man die schwalbenschwanzförmige Verkämmung und die Einrahmung des ganzen Rostes beizubehalten, und es läßt sich nicht leugnen, daß hierdurch die Ausmauerung der Felder sehr erleichtert wird. Die bei uns gewöhnliche Anwendung der Zangen, und zwar ebensowohl wenn sie mit den Rostschwellen bündig, als wenn sie vor denselben vorstehend verlegt werden, ist aber in Frankreich keineswegs unbekannt **).

In England fehlen nicht nur sehr häufig die Zangen, sondern man ersetzt auch oft die Rostschwellen durch Halbhölzer und selbst durch Bohlen. Hughes ***) beschreibt die Ausführung des Pfahlrostes indem er sagt, man müsse die Pfahlköpfe horizontal abschneiden, etwa einen Fuß darunter den Boden ausgraben und diesen Raum bis zum Niveau der Pfahlköpfe mit Steinstücken und Mörtel, also mit Béton, wieder anfüllen. Alsdann solle man Bohlen von Eichen, Buchen oder Ellern von 4 bis 6 Zoll Stärke über die Pfahlköpfe legen und mit eisernen Nägeln, Bolzen oder mit Nägeln von hartem Holze daran befestigen. Er führt weiter an, daß es üblich sei, eine Bohlenlage von gleicher Stärke, und zwar dicht schließend, über diese ersten Bohlen zu verlegen und darauf das Mauerwerk zu stellen. Auffallend ist es, daß nach dieser Beschreibung die Zwischenräume zwischen den ersten Boh-

*) Mehrere Beispiele dafür befinden sich in dem *Recueil de dessins relatifs à l'Art de l'Ingénieur*.

**) *Gauthey, traité de la construction des ponts. Tome II. pag. 289.*

***) *The theory, practice and architecture of bridges. Vol. I. Heft 4. S. 27.*

len hohl bleiben, was gewifs fehlerhaft ist und was wahrscheinlich auch in England nie geschieht. Fig. 154 *a* und *b* zeigt den Grundriß und Querschnitt von der Umfassungsmauer des Humber-Docks in Hull *). Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer halten 9 Zoll im Durchmesser und diejenigen unter den Verstärkungspfählern 8 Zoll, in beiden Fällen sind sie 10 Fufs lang. Die Spundwand, welche hier, wie bereits erwähnt, die Stelle einer Pfahlreihe vertritt, besteht aus wirklichen Spundpfählen, die mit Federn und Nuthen in einander greifen und 6 Zoll stark und 12 Fufs lang sind. Von den Schwellen, die sämmtlich aus Halbhölzern bestehen, liegen die innern flach auf den Pfahlköpfen, während die äufsern hochkantig gegen die Spundpfähle gebolzt sind. Der Bohlenbelag hat eine Stärke von 4 Zoll. Das sämmtliche Holz ist Kiefernholz von der Ostsee.

Eine andere Abweichung von der gewöhnlichen Construction bezieht sich darauf, dafs man ebenso wie beim liegenden Roste, den Bohlenbelag förtläfst, das Mauerwerk also unmittelbar auf den Rostschwellen und Zangen ruht. Beispiele dafür kommen besonders bei kleineren Brücken in Frankreich vor. Gegen dieses Verfahren wäre zu erinnern, dafs durch das ungleichmäfsige Setzen leicht schon vor der vollständigen Erhärtung des Mauerwerks der Verband desselben in den untern Schichten aufgehoben werden könnte. In England geschieht dieses gleichfalls, z. B. bei Fundirung der Kaimauer in Hull, die Fig. 144 zeigt, wobei wieder statt der Balken nur Halbhölzer benutzt sind. Bei den Pfeilern der eisernen Gerrards-Hostel-Brücke zu Cambridge, wo der dichte Bohlenbelag gleichfalls fehlt, sind sogar nur 6zöllige Bohlen über die Pfahlköpfe gestreckt und darauf genagelt, während ein 2 Fufs hohes Bétonbette zwischen den Pfählen den befestigten Untergrund für das Mauerwerk in den Rostfeldern bildet. Auch die Kammern der Schleuse des Verbindungsdocs in Hull sind in ähnlicher Art fundirt, wo die Zwischenräume zwischen den Bohlen eben so breit sind, wie die Bohlen selbst. Andererseits geschieht es in England aber auch, dafs man, nachdem die Pfahlköpfe in einer Ebene abgeschnitten und die Zwischenräume ausgemauert sind, einen dichten Bohlenbelag darüber streckt und darauf einen zweiten so verlegt,

*) *Transactions of Civil Engineers. Vol. I. p. 15.*

dafs die Fugen sich kreuzen, worauf beide zusammengenagelt werden. Dieses Verfahren ist in der Fundirung der Ely-Brücke und der Haddlesey-Brücke angewendet worden.

Endlich erleidet der Pfahlrost zuweilen auch noch die Vereinfachung, dafs das Mauerwerk unmittelbar auf die Pfahlköpfe gestellt wird und also der eigentliche Rost ganz fehlt. Ein Beispiel hiervon ist die Fundirung des Georges-Docks in Liverpool, wovon Fig. 155 das Profil sowohl der Mauer selbst, als auch eines Verstärkungspfeilers darstellt. Die eigentliche Mauer, welche sehr schwach ist, und ihre Stabilität allein durch die Pfeiler erlangt, reicht bis zum niedrigsten Wasserspiegel herab, so dafs die Pfähle, die sie tragen, nie trocken werden, die Pfähle dagegen, die sich unter den Pfeilern befinden, reichen 6 Fufs höher herauf, sind also der abwechselnden Nässe und Trockenheit ausgesetzt, wenn nicht die vordere Mauer die Nässe zurückhält. Letzteres ist insofern wohl anzunehmen, als alle zwölf Stunden Hochwasser eintritt, das bedeutend höher ansteigt. Die Pfähle unter der eigentlichen Mauer sind in drei Reihen eingerammt und zwar stehn sie sich nicht gegenüber, sondern sind versetzt, so dafs sie unter sich ungefähr gleiche Abstände von 2 Fufs 10 Zoll von Mitte zu Mitte bilden. Unter den Pfeilern sind dagegen in derselben Richtung acht Pfahlreihen vorhanden, die abwechselnd zwei oder drei Pfähle enthalten. Diese sind von Mitte zu Mitte $2\frac{1}{2}$ Fufs entfernt. Die Pfeiler sind 8 Fufs breit und im lichten Abstände von 30 Fufs angebracht. Sie treten 14 Fufs vor die Mauer vor, doch ist dabei die auffallende Anordnung getroffen, dafs die eigentliche Mauer an der innern Seite durch horizontale Bogen begrenzt wird, und in ihrer Basis neben den Pfeilern 4 Fufs über das in der Figur dargestellte Profil heraustritt, wie die punktirte Linie angiebt, so dafs also hier die Mauer nicht mehr überhängt. Die Pfähle bestanden bei diesem Bau aus Eichen, Buchen oder andern Holzarten. Sie hatten unter der Mauer selbst die Länge von 22, und unter den Pfeilern von 28 Fufs. Sie waren nicht beschlagen und wurden sorgfältig abgeschnitten in einer Ebene, die ihre Richtung unter einem rechten Winkel traf und im Verhältnifs von 1 zu 7 gegen den Horizont geneigt war. Als dann grub man den Boden ringsum die Pfähle 12 Zoll tief aus und füllte die Zwischenräume mit einem Mauerwerk von Hau-

steinen, die in Mörtel versetzt wurden. Dieses Mauerwerk wurde aber einen halben Zoll über die Pfahlköpfe heraufgeführt, damit die Füllmauer des Rostes sich noch etwas senken konnte. Die untere Schicht der Kaimauer bestand aus starken und großen Platten eines besonders festen Steines, die auch in den untern Flächen sorgfältig bearbeitet waren, um möglichst gleichmäßig auf den Pfahlköpfen aufzuliegen. Das übrige Mauerwerk ist aus Quadern ausgeführt *).

In gleicher Weise sind auch die Pfeiler der Chelsea-Brücke bei London gegründet. Dieses ist eine Hängebrücke, deren mittlere Oeffnung 323 Fufs mißt, während die beiden Seiten-Oeffnungen halb so weit sind. Die Breite der Brücke beträgt $45\frac{1}{2}$ Rheinländische Fufs. Sie ist nach dem von Page im Jahr 1846 aufgestellten Projecte ausgeführt. Bei der Gründung der Pfeiler dieser Brücke kam es darauf an, die Wasserstrasse nicht zu beengen, man durfte daher keine weit vortretenden Fangedämme anwenden. Zuerst wurden in gegenseitigen Abständen von 3 Fufs in der ganzen Ausdehnung der Pfeiler Pfähle eingerammt, die $13\frac{1}{4}$ Zoll im Gevierten hielten, und die nach dem verschiedenen Widerstande, den sie fanden, 24 bis 39 Fufs unter Niedrig-Wasser eindrangten. Sodann umgab man die Pfeiler mit einer gusseisernen Umfassung. Dieselbe bestand aus Röhren von 12 Zoll äußerem Durchmesser und 26 Fufs Länge, die an den gegenüberstehenden Seiten mit Nuthen versehen waren. In letztere schob man 1 Zoll starke und 7 Fufs lange gusseiserne Platten ein. Hierdurch wurde eine Umschließung bis auf 2 Fufs über Niedrig-Wasser gebildet. Der Raum innerhalb dieses Kastens wurde darauf bis zu dem groben Kiese, der auf dem ursprünglichen Kleiboden lagert, zwischen den Pfählen ausgebaggert, und mit Béton gefüllt. Letzterer erreichte nahe das Niveau des niedrigen Wassers und in dieser Höhe waren auch die Pfähle abgeschnitten. Die darauf gelegte Werksteinschicht, mit der das Mauerwerk begann, ruht daher theils auf den Pfählen und theils auf dem Béton **).

Es bleibt endlich in Betreff des Pfahlrostes noch die Frage zu erörtern, ob es ausreichend ist, denselben nur in solche Tiefe

*) *Strickland, Reports on Canals, Railways, Roads and other subjects. Philadelphia 1826. pag. 11.*

**) *Civil Engineer and Architects Journal. Vol. XXVII. 1864. p. 310.*

zu legen, daß er immer unter Wasser bleibt, oder ob man, wenn an der betreffenden Stelle vielleicht eine große Wassertiefe stattfindet, die Pfähle unmittelbar über dem Grunde abschneiden und hier den Rost verlegen muß. Die Kosten des Baues und besonders für die Wasserwältigung in der Baugrube vermehren sich ungemein, wenn man sehr tief fundirt, und da die Pfähle und der ganze Rost immer vom Wasser bedeckt sind, wenn man auch nur wenig unter dem kleinsten Sommerwasserstande bleibt, so möchte es passend erscheinen, die erste Anordnung zu wählen. Alsdann erregt aber die freie Stellung der Pfähle Besorgniß, und zwar theils in Bezug auf das Verbiegen und Brechen, theils aber auch, indem sie dem fließenden Wasser ausgesetzt bleiben und dadurch mit der Zeit leiden. Wenn sie aber nicht tief in den Boden eingreifen, so geschieht es auch wohl, daß sie sich sämmtlich überneigen und umfallen. Besonders ist dieses zu besorgen, sobald der Rost eine Futter- oder Kaimauer trägt, die einem starken Seitendrucke ausgesetzt ist. Auf solche Art stürzte ein großer Theil der Kaimauer am neuen Dock in Bremerhaven, noch vor Eröffnung des letzteren ein.

In manchen Fällen hat man die Zwischenräume zwischen den Rostpfählen mit Faschinen ausgepackt, wodurch indessen wohl nur wenig Sicherheit erreicht wird, auch die darüber geschüttete Erde, selbst wenn sie auf der äußern Seite durch eine Spundwand gedeckt ist, kann leicht ausgespült werden, und lagert sich auch nie so fest, daß sie dem Seitendrucke hinreichenden Widerstand leistet. Man muß also, wie bereits oben erwähnt, entweder durch Strebepfähle oder durch Einbringen von Béton die nöthige Widerstandsfähigkeit dem Bauwerke geben, wenn man nicht den Rost bis auf den festabgelagerten Boden senkt, der auch bei etwa eintretenden Vertiefungen noch durch eine Erd- oder Steinböschung gegen Ausspülung zu sichern ist.

Beim Bau der Brücke zu Rouen füllte man den Raum zwischen den Pfählen auf 13 Fuß Höhe mit Béton an und umgab das Ganze mit einer losen Steinschüttung. Die Kaimauer im Hafen zu Rouen fundirte dagegen de Cessart im Jahre 1779 sogar 36 Fuß über dem Strombette. Fig. 156 zeigt die dabei getroffene Anordnung. Zuerst wurde der Boden stellenweise 25 Fuß hoch, oder bis auf 16 Fuß unter dem kleinsten Wasser mit dem Mergelkalke und den

Feuersteinknollen, wie sie sich dort überall in einiger Tiefe vorfinden, ausgefüllt, um den Pfählen sogleich einen festen Stand zu geben. Nachdem hierauf die Rammarbeiten beendet und die Pfähle unter Wasser abgeschnitten waren, erfolgte die zweite Schüttung. Alsdann wurden die Futtermauern in Caissons aufgeführt, während man aber das Terrain hinter dem Kai erhöhte, so brachte man noch Erdanker an, die gegen das Banket der Mauer verbolzt wurden. Diese Anker sollten nur so lange einigen Widerstand äufsern, bis die Erde sich gehörig gesetzt haben würde, es ist jedoch zweifelhaft, ob sie in der frisch geschütteten Erde den nöthigen Widerstand leisten konnten. Endlich wurde die Hinterfüllung ergänzt und gleichzeitig noch eine dritte Schüttung vor der Kaimauer angebracht *).

Auf der gegenüberliegenden Seite der Seine erbaute Lamandé im Jahre 1784 eine ähnliche Kaimauer, doch brachte er eine starke Verstrebung, wie Fig. 157 zeigt, zwischen den Rostpfählen an. Die Streben bestanden aus doppelten Zangen, die über Wasser mittelst Bolzen zusammengesetzt wurden und so ausgeschnitten waren, daß sie die Oeffnungen für die Pfähle zwischen sich freiließen. Da jedoch ein hinreichender Spielraum hier erforderlich war, so trieb man später in diesen, zwischen die Pfähle und den äußersten Bolzen der untern Zangen noch je zwei starke Keile ein. Die untere Zange lag dabei auf der natürlichen Böschung. Ohne Zweifel wäre die Verstrebung sicherer und in der Ausführung leichter gewesen, wenn man die Pfähle schräge eingerammt hätte. Es muß noch bemerkt werden, daß der Wasserspiegel in dieser, wie auch in der vorhergehenden Figur der niedrigste ist.

Wenn neben dem auf einen Pfahlrost zu stellenden Bau keine bedeutende Wassertiefe erforderlich ist, so kann man durch vorhergehende Anschüttung eines festen Bodens den Stand der Pfähle sichern. Dieses geschah zum Beispiel beim Bau der Brücke über die Wiese St. Nicolas in der Bretagne in der Eisenbahn von Nantes nach Lorient und Brest. Die Brücke sollte eine Weite von nahe 48 Fufs erhalten und zum Durchgange von Canal-schiffen von etwa 4 Fufs Tiefgang eingerichtet werden. 38 Fufs unter dem ziemlich niedrigen Terrain fand sich fester Felsboden,

*) *de Cessart, description des travaux hydrauliques. Tome I. Paris 1806.*

darüber lag zunächst eine schwache Torfschicht vielfach mit Holzstücken durchzogen, und hierauf der schlammige Grund, der in der Nähe der Oberfläche bis etwa in 6 Fufs Tiefe etwas fester war. Vor dem Beginne des Baues überschüttete man die ganze Baustelle mit festem Boden, durchschnittlich 38 Fufs hoch. Der weiche Untergrund wurde dadurch fast vollständig fortgedrängt, so dafs die frühere etwas compactere obere Schicht beinahe den Torf erreichte. Nachdem dieses geschehn war, und keine Bewegung sich mehr zeigte, begann man das Einrammen der Pfähle unter den Stirnmauern, auf denen die Brücke ruhen sollte. Diese war aber keine feste, vielmehr eine Zugbrücke, es entstand daher die Besorgnifs, dafs die beiden Widerlager in Folge des Druckes der dagegen geschütteten Dämme sich dennoch einander nähern könnten. Deshalb wurde schliesslich noch unter der Sohle des Flußbettes ein 3 Fufs starkes Bétonbette angebracht, welches die Mauern gegenseitig absteift *).

Den Rost in grofser Tiefe zu verlegen, verbietet sich gewöhnlich durch den starken Zudrang des Wassers in der Baugrube, wenn es aber auch möglich wäre, durch besonders kräftige Pumpen eine sehr tiefe Grube trocken zu legen, so lockern die eindringenden Quellen doch den Boden auf, woher selbst die Pfähle den festen Stand verlieren, und sogar zuweilen sich so sehr von der umgebenden Erde trennen, dafs sie aufschwimmen. Um in solchem Falle noch einen Rost auf die unter Wasser in gleicher Höhe abgechnittenen Pfähle aufzubringen, hat man verschiedene Methoden versucht, die kurz angedeutet werden mögen, wenn gleich die oben erwähnte Bétonbettung zwischen und über den Pfählen unbedingt am passendsten ist.

Zunächst mufs der Fundirung in Caissons gedacht werden, das heifst in wasserdicht schließenden grofsen hölzernen Kasten, deren Boden aus nebeneinander liegenden Balken besteht, und der die Stelle des Rostes vertritt. Diese Kasten werden schwimmend über die Pfähle gebracht, versenkt, und in ihnen wird das Mauerwerk bis über Wasser aufgeführt, worauf man die Seitenwände entfernt. Von dieser Constructions-Art wird später ausführlicher die Rede sein.

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1864. I. pag. 294.

Eine andre mehrfach zur Anwendung gekommene Methode, die sich jedoch nur auf mäfsige Wassertiefen von etwa 3 Fufs beschränkt, beschreibt schon Gauthey *). Nachdem die Pfähle möglichst regelmäfsig eingerammt und in gleicher Höhe unter Wasser abgeschnitten sind, verbindet man den Rost aus Lang- und Querschwellen und schneidet beide bis zur Mitte ein, so dafs sie sowohl in der obern, wie in der untern Fläche bündig sind. Die Ueberkreuzungen müssen aber jedesmal auf Pfahlköpfe treffen. Jede Ueberkreuzung wird durchbohrt und ein mit Widerhaken versehener Bolzen in das Bohrloch gestellt. Ist der Rost in dieser Weise vorbereitet, so bringt man ihn schwimmend über die Pfähle und versenkt ihn durch aufgelegte grofse Steine, die man jedoch leicht abnehmen kann, wenn er beim ersten Herablassen nicht vollständig die Pfahlköpfe treffen sollte. Sobald letzteres erreicht ist, so treibt man jene Bolzen mittelst darauf gestellter Eisenstangen, die unten in einer Höhlung die Köpfe aufnehmen, in die Pfähle ein, und beseitigt die aufgelegten Steine. Die Zwischenräume zwischen den Verbandstücken, oder die rechtwinkligen Felder werden nunmehr mit Steinen und Béton sorgfältig und so ausgefüllt, dafs sie sich bis zu der obern Fläche des Rostes erheben. Der Bohlenbelag wird aus zwei Lagen sich kreuzender Dielen gebildet, die nachdem sie in sich verbunden sind, ebenso wie der Rost versenkt und auf letzteren aufgenagelt werden. Nach diesen Vorbereitungen beginnt man den Bau mit dem Verlegen einer Schicht Werkstücke, die so hoch sind, dafs sie ungefähr den Wasserspiegel erreichen. Die Fugen zwischen denselben kann man schon, wenigstens theilweise, mit steifem Mörtel füllen, und das darauf zu stellende Mauerwerk wird in gewöhnlicher Weise ausgeführt.

Beim Bau der Brücke zu Berry au bac wurde diese Fundirungsart angewendet, auch Wiebeking versuchte sie bei seinen Brückenbauten, doch gelang es ihm nicht, die Pfähle in gleicher Höhe abzuschneiden, woher er durch Taucher noch Keile zwischen die Pfahlköpfe und den Rost eintreiben liefs. Verschiedene Modificationen dieses Verfahrens sind später vorgeschlagen **), wodurch es auch möglich sein soll, den Rost bis auf 6 Fufs unter

*) *Traité sur la construction des ponts. Vol. II. Paris 1813. pag. 290.*

***) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1863. Seite 143.

Wasser zu versenken, doch dürfte dadurch wenig gewonnen werden, da man in dieser Tiefe doch keine gewöhnliche Maurerarbeit ausführen kann.

Wichtig ist die Fundirung des linkseitigen Pfeilers der Aar-Brücke bei Aarau in der Schweiz, wobei der Ingenieur Hürsch ein Verfahren in Anwendung brachte, das in gewisser Beziehung dem beschriebenen ähnlich ist *). Die alte Brücke war von dem zuweilen sehr reißenden Flusse lange Zeit hindurch angegriffen worden, und um namentlich den linkseitigen Pfeiler zu halten, der besonders von der heftigsten Strömung getroffen wurde, hatte man vor demselben Faschinenwerke und ganze Bäume versenkt und theils mit großen Steinen, theils aber mit beladenen Kähnen beschwert. Der Baugrund war also im höchsten Grade verunreinigt und dennoch mußte die neue Brücke wieder auf derselben Stelle, wo die alte gestanden hatte, erbaut werden. Dazu kam noch, daß wegen der großen Tiefe davor die Fundirung eben so weit herabgeführt, oder der Rost $10\frac{1}{2}$ Fufs unter das niedrigste Wasser verlegt werden mußte.

Man machte mit der Regulirung des Ufers und mit einer Umschließung der Baugrube den Anfang, um der starken Durchströmung Einhalt zu thun, eine Senkung des Wasserstandes war aber wegen des unreinen Grundes unmöglich. Sodann räumte man die Baugrube auf, indem mit Zangen die Steine, wie das Holz und Strauch gehoben und herausgerissen wurden, so daß man etwa bis 11 Fufs Tiefe alle hier lagernden Gegenstände entfernt hatte. Nunmehr wurde die Rammarbeit begonnen. Der Rost, der 52 Fufs lang und 26 Fufs breit war, sollte auf 8 Pfahlreihen ruhen, von denen jede aus 11 Pfählen bestand. Bei dem überaus unreinen Untergrunde war es aber unmöglich diese regelmäfsig einzutreiben, sie wichen bald nach einer, bald nach der andern Seite über, und erreichten sehr verschiedenartige, doch immer nur mäfsige Tiefen. Mit großer Sorgfalt wurden sie sämmtlich in gleicher Höhe abgeschnitten und über jede Querreihe eine 5 Zoll hohe und 13 Zoll breite Bohle nach der oben beschriebenen Methode genagelt, die dazwischen befindlichen Räume aber bis zur Oberfläche der letzteren mittelst eingeschütteter Steine ausgeglichen. Weshalb diese

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1845. Seite 131 ff.

Bohlen aufgebracht wurden, ist nicht ersichtlich, da der Rost so eingerichtet war, daß er in seiner ganzen Ausdehnung eine horizontale Ebene bildete, also auf jedem Pfahlkopfe, wenn solcher auch aus der Reihe gewichen war, sicher auflag.

Der Rost bestand aus Balkenholz von 9 Zoll Höhe, während die Breite der Verbandstücke etwas größer war. Die Lang- wie die Querschwellen waren überschritten, so daß sie sowohl oben, wie unten bündig lagen. In jedem Felde waren aber die Querschwellen auf der obern Seite mit 3 Zoll breiten und $4\frac{1}{2}$ Zoll tiefen Falzen versehen, worauf Zwischenbalken von 9 Zoll Höhe ruhten, die also, indem ihre Zapfen die halbe Höhe hatten, sowohl oben, wie unten mit den Hauptverbandstücken in dieselbe Ebene fielen.

Eine wesentliche Abweichung der Benutzungsart dieses Rostes von der oben beschriebenen Versenkung war durch die große Wassertiefe geboten. Man wollte nämlich den Rost nicht sogleich herablassen, vielmehr ihn über den Pfählen schwebend erhalten und ihn nur in dem Maasse senken, wie die Mauerschichten sich darüber erhoben, damit die Arbeit immer im Trocknen ausgeführt werden könnte. Zu diesem Zwecke umgab man den Rost mit einer auf eingerammten Pfählen ruhenden Rüstung. Da aber die Entfernung der gegenüberstehenden Wände desselben 34 Fuß betrug, also zu groß war, um an die übergespannten Balken den Rost mit der Mauer sicher aufhängen zu können, so wurden noch 6 Pfähle in einer Mittelreihe eingerammt, von denen 4 durch die Rostfelder hindurchgingen. Diese bildeten eine sichere Führung beim Herablassen, und die Zwischenbalken waren so ausgeschnitten, daß sie diese vierkantigen Pfähle nahe umschlossen.

Die drei so dargestellten Pfahlreihen wurden verholmt und darüber 11 starke Querbalken gelegt, welche die 39 eisernen Schrauben trugen, woran der Rost hing. Diese Schrauben waren sowohl oben wie unten mit Gewinden versehen. Die untern Gewinde waren links geschnitten, griffen durch die Langschwellen des Rostes neben den Querschwellen hindurch und wurden hier mit starken Muttern gehalten. Die obern Gewinde waren rechts geschnitten und so lang, daß beim Zurückdrehn der Muttern, die auf den Querbalken des Gerüsts lagen, der Rost vollständig herabgelassen werden konnte.

Man schrob nun den Rost so weit auf, daß seine obere Fläche einige Zolle über Wasser schwebte und versetzte darauf die erste Schicht Werksteine. Alsdann wurden die obern Muttern zurückgedreht, so daß die fertige Mauerschicht wieder nur wenig über den Wasserspiegel sich erhob. Bei diesem Zurückdrehn der Muttern war zu besorgen, daß die Schrauben selbst, wenn sie nicht in irgend einer Weise gehalten würden, an dieser Bewegung Theil nehmen möchten. Sie würden in diesem Falle sich von den untern Muttern gelöst haben, falls beide Gewinde in gleicher Richtung geschnitten gewesen wären. Bei der getroffenen Anordnung konnte dieses aber nicht geschehn, und man brauchte nur, nachdem die Senkung des Rostes vollständig erfolgt und die obere Mutter abgezogen war, die Schraube in umgekehrter Richtung zu drehen, um sie ausheben zu können. Das Mauerwerk wurde übrigens nicht unmittelbar bis an die Schrauben herangeführt, vielmehr waren die Steine so zugerichtet, daß sich hohle Cylinder von 8 Zoll Durchmesser um sie bildeten.

Es war Absicht, in dieser Weise die Mauer so hoch aufzuführen, daß ihre obere Fläche einige Fufs tief unter Wasser lag, diese aber mit einer Reihe Werksteine ringsumher zu umgeben, die einen Fangedamm um den noch auszumauernden hohlen Raum bilden sollte. Die Oeffnungen um die Schrauben sollten nach der vollständigen Versenkung des Rostes und nach Beseitigung der Schrauben und der hindurchgreifenden Rüstpfähle mit Béton gedichtet und alsdann der obere Raum ausgepumpt werden. Die Stärke der 39 Schrauben, die nicht angegeben wird, war nach der Mittheilung so gewählt worden, daß das daran hängende Gewicht jederzeit sicher getragen werden konnte, vorausgesetzt, daß man nach Vollendung jeder einzelnen Schicht, das Mauerwerk möglichst tief eintauchen liefs. Die Schrauben waren auch möglichst gleichmäfsig über die ganze Fläche vertheilt, und sämmtliche Muttern wurden beim Herablassen gleichzeitig und genau übereinstimmend gedreht, wodurch die gleichmäfsige Senkung des Rostes ermöglicht wurde.

Nach Vollendung der zweiten Schicht und nachdem man die äufsere Reihe der dritten Schicht versetzt hatte, wodurch das Mauerwerk sich etwa 8 Fufs über den Rost erhob, brachen indessen während des Versenkens plötzlich 3 Schrauben, und wenn man diese

auch durch Haken, die von außen untergeschoben wurden, zu ersetzen sich bemühte, so sah man sich doch gezwungen, nunmehr den Rost möglichst schnell auf die Pfähle zu stellen und einige Fuß tief die Maurer-Arbeit unter Wasser fortzusetzen.

§. 35.

Die Zugramme.

Zum Eintreiben der Rostpfähle, wie auch der Spund- und anderer Pfähle bedient man sich der Rammen. Der wesentlichste Theil derselben ist der hölzerne oder eiserne Rammklotz, auch der Bär genannt. Dieser wird abwechselnd gehoben und übt beim jedesmaligen Herabfallen auf den Pfahl den Stofs aus, wodurch letzterer tiefer in den Grund eindringt. Das Heben des Klotzes erfolgt entweder aus freier Hand; alsdann ist keine weitere Vorrichtung erforderlich und die ganze Ramme besteht nur aus dem Klotze. Man nennt eine solche die Handramme. Hat der Klotz dagegen ein größeres Gewicht, so daß er nicht mehr unmittelbar gefaßt werden kann, so hängt er an einem Tau, das über eine Rolle gezogen und am hintern Ende mit den Zugleinen verbunden ist, von denen jede durch einen Arbeiter gefaßt und bei jedem Hube angezogen wird. Diese Ramme, welche eine feste Rüstung erfordert, heißt Zugramme. Bei der Kunstramme endlich erfolgt das Heben des Klotzes durch eine mehr complicirte mechanische Vorrichtung, und wenn diese durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt wird, so nennt man die Ramme eine Dampf-ramme.

Die Handramme besteht wohl immer aus Holz, und zwar pflegt man der Festigkeit wegen dazu Eichenholz anzuwenden. Man versieht sie mit Armen oder Bügeln, an welchen die herumstehenden Arbeiter sie fassen und bequem heben und führen können, indem aber beim tieferen Eindringen des Pfahles auch der Klotz tiefer herabsinkt, während die Arbeiter unverändert in gleicher Höhe stehn bleiben, so muß man dafür sorgen, daß der Klotz in verschiedener Höhe gefaßt werden kann. Zu diesem Zwecke bringt man zuweilen vier Arme an, die in der halben

Höhe des Klotzes befestigt und gegen das eine Ende desselben gerichtet sind. Sobald der Pfahl gesetzt wird, also noch hoch ist, gebraucht man die Ramme so, daß die Arme abwärts gekehrt sind, man dreht sie aber um, sobald der Pfahlkopf sich nur wenig über dem Boden befindet.

Vortheilhafter ist es, die Ramme mit langen Bügeln zu versehen, die von oben bis unten herabreichen und sonach in jeder Höhe einen bequemen Angriffspunkt gewähren. Die Bügel müssen jedoch mindestens zwei Zoll vom Klotze entfernt bleiben, weil sonst die Arbeiter ihre Hände klemmen und wund stoßen. Am untern Ende versieht man die Handramme mit einem eisernen Ringe, der fest schliessen muß, um das Spalten des Klotzes zu verhindern. Am vortheilhaftesten ist es, ihn heiß und zwar von oben aufzutreiben, wodurch sein Herabfallen verhindert wird. Gewöhnlich wählt man die Form einer achteckigen abgestumpften Pyramide, weil diese sich ohne großen Verschnitt aus dem Rundholze am leichtesten darstellen läßt. Fig. 158 Taf. XIII zeigt in der Seitenansicht und der Ansicht von oben eine solche Ramme. Bei ihrer Anfertigung muß man besonders darauf sehn, daß das Holz trocken ist, weil es bei einem späteren Austrocknen schwinden und spalten, auch der eiserne Ring sich lösen würde.

Durch Nägel und Krammen läßt sich bei den heftigen Erschütterungen der Ring nicht sicher befestigen, es ist auch vortheilhaft, die Nägel ganz zu vermeiden, damit der Ring, sobald einiger Spielraum entsteht, tiefer herabsinken und sich dadurch von Neuem auf dem stärkeren Holze feststellen kann, in ähnlicher Art, wie dieses bei Gelegenheit der Zugrammen näher erörtert werden wird.

Den Gebrauch der Handramme kann man keineswegs bequem nennen und am wenigsten, wenn der Pfahl noch hoch steht und die Arbeiter den Klotz weit heben müssen, bei unvorsichtiger Handhabung kann derselbe alsdann leicht neben dem Pfahle vorbeischielen und die Leute beschädigen. Diese Besorgniß ist Veranlassung, daß die Arbeit gemeinhin sehr langsam von statten geht und der Klotz nur wenig gehoben wird. Aus diesem Grunde ist es auch unzulässig der Handramme ein großes Gewicht zu geben. Man darf auf jeden Arbeiter kaum 25 Pfund rechnen, und da nicht mehr als höchstens vier Mann dabei angestellt wer-

den können, so beschränkt sich das Gewicht der Handramme im Maximum auf 100 Pfund, und dennoch dürfen nur starke und geschickte Leute dabei angestellt werden, welche auch Uebung haben, um gleichmäfsig und kräftig die Ramme zu führen.

Um den Effect der Handramme zu vergrößern, hat man manche Modificationen dabei eingeführt. Zunächst gehört dahin die Anbringung einer eisernen Stange in der Mittellinie des Pfahles, an welcher der Klotz herableitet. Fig. 159 stellt sie dar. Sie ist wenigstens 5 Fufs lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll stark, unten mit einer Holzschraube versehen und darüber befindet sich ein vier-eckiger Kopf, mittelst dessen man sie mit dem Schlüssel fassen und aus- und einschrauben kann. Jeder Pfahl wird am Kopfe, und zwar genau in der Achse angebohrt, und ehe man den Pfahl setzt, schraubt man die eiserne Stange hinein. Der Rammklotz, der in diesem Falle etwas niedriger und stärker sein kann als sonst, ist der Länge nach und zwar mit reichlichem Spielraum durchbohrt. Er wird, nachdem der Pfahl gesetzt ist, oder auch schon vorher aufgeschoben, und indem die Leute nicht mehr ein Herabfallen desselben besorgen dürfen, so arbeiten sie kräftiger. Einige Uebung ist indessen auch hierbei noch nothwendig, weil bei ungleichmäfsigem Anheben eine starke Reibung eintreten würde.

Endlich ist zu erwähnen, dafs man beim Gebrauche der Handramme zuweilen auf dem einzurammenden Pfahle eine leichte Rüstung für die Arbeiter anbringt und diese alsdann nicht nur den Druck auf den Pfahl durch ihr Gewicht vermehren, sondern beim tieferen Eindringen desselben auch mit ihm herabsinken, und daher den Pfahlkopf immer in der passendsten Höhe behalten. Fig. 160 *a* und *b* zeigt diese Rüstung in der Ansicht von der Seite und von oben. Der Pfahl wird zwei Fufs unter seinem Kopfe durchbohrt und eine starke Brechstange hindurchgesteckt. Nachdem man ihn durch Hin- und Herbewegen so weit in den Boden getrieben hat, dafs er ohne weitere Unterstützung sicher steht, so legt man zwei Bohlen, deren hintere Enden beschwert werden, auf die Brechstange. Diese Bohlen dienen noch zur vorläufigen Befestigung des Pfahles, wenn eine solche nöthig sein sollte, und zwei kurze Brettstücke werden darüber gelegt. Alsdann stellen sich zwei, auch wohl drei oder vier Arbeiter auf die Bohlen und treiben zuerst leise den Pfahl ein, sobald er sich aber

fester stellt, so rammen sie mit voller Kraft und alsdann erst treten die oben erwähnten Vortheile ein.

Von den beiden erwähnten Methoden hat man mehrfache Anwendung gemacht und darin eine bedeutende Erleichterung im Gebrauche der Handramme gefunden, unter andern ist dieses auch bei der Correction des Wertach-Flusses geschehn, wobei aber die Rüstung noch besonders unterstützt wurde *).

Bei der Zugramme wird der Klotz, wie bereits erwähnt, nicht aus freier Hand, sondern mittelst eines Taus gehoben. Seine Führung geschieht zuweilen durch unmittelbares Anfassen, die gewöhnliche Anordnung ist aber diese, daß an der Rüstung besondere Ruthen angebracht sind, welche den Klotz sicher führen. Es sind dieses die Läufer oder Läufer Ruthen, auch Mäkler genannt, die entweder einfach oder doppelt sind und von den Armen des Klotzes umfaßt werden, oder einen Schlitz bilden, durch welchen die Arme hindurchgreifen. Die Figuren 161, 162 und 163 zeigen die drei verschiedenen hierbei vorkommenden Verbindungsarten. Fig. 161 ist diejenige, welche bei uns die üblichste ist und den Vortheil gewährt, daß man nur eine Läufer Ruthen braucht. Der Klotz hat vier Arme, die seitwärts an der Ruthe vorbeigehn und von denen je zwei hinter der Ruthe noch durch Riegel mit einander verbunden sind. Dabei tritt leicht der Uebelstand ein, daß der Klotz sich gegen die ziemlich schmale Fläche der Ruthe nicht sicher lehnt und stark seitwärts schwankt, was bei längerem Gebrauche der Ramme immer zuzunehmen pflegt, indem die Kanten der Ruthe sich nach und nach abstoßen. Nach Fig. 162 ist der Klotz nur mit zwei Armen versehen, die zwischen den beiden Läufer Ruthen hindurchgreifen und wieder durch Riegel gehalten werden. Wenn der Schlitz nur $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll breit ist, so pflegt man beide Ruthen aus einem Holzstücke zu bilden, indem man so weit, als der Schlitz sich erstreckt eine Bohle ausschneidet. In diesem Falle sind aber die Wangenstücke leicht so schmal, daß sie nicht die nöthige Steifigkeit behalten, wenn man sie nicht durch Bügel in der Mitte verbindet, wovon bei Gelegenheit der Kunstrammen die Rede sein wird. Häufig werden die beiden

*) Voit, über die Correctionen des Wertach-Flusses; in Crelle's Journal. Bd. II. S. 251.

Ruthen aus zwei schwachen Hölzern ausgeschnitten und oben wie unten durch dazwischen geschobene und gehörig befestigte Bohlenstücke in der beabsichtigten Entfernung von einander gehalten, wie Fig. 167 zeigt.

Nach beiden Anordnungen lehnt sich der Klotz beim Aufziehen und beim Herabfallen nur mit einer Seite an die Ruthe und dieser Umstand giebt Veranlassung, daß er zu schwanken pflegt, die Befestigung der Arme und Riegel erfordert aber große Vorsicht, damit sie nicht etwa abbrechen oder herausfallen, was für die darunter stehenden Arbeiter sehr gefährlich wäre. Bei den Rammen, die man in Holland gewöhnlich sieht und welche auch in Frankreich häufig vorkommen, sind diese beiden Uebelstände dadurch umgangen, daß nach Fig. 163 der Klotz acht Arme hat, welche zu beiden Seiten symmetrisch die Ruthen umfassen. Man nennt die beiden Ruthen in diesem Falle die Schere und die ganze Ramme heißt alsdann eine Scher-Ramme. Diese Anordnung gewährt manche Vortheile. Der Klotz kann bis zu beliebiger Tiefe unter die Verschwellung der Rammen herabfallen, ebenso kann man ihn seitwärts oder schräge wirken lassen, wie die jedesmalige Richtung des Pfahles es fordert. Die Arbeit wird hierdurch genauer, und besonders bei Ausführung von Spundwänden ist diese Ramme sehr brauchbar.

Was die Aufstellung der Zugrammen betrifft, so sind in den Figuren 164 bis 168 *) diejenigen Arten der Rüstungen dargestellt, welche wesentliche Verschiedenheiten zeigen. Fig. 164 ist die Ramme, die im nördlichen Deutschland besonders häufig vorkommt, und die Eytelwein die vierschwellige Ramme nennt. Sie zeichnet sich durch die Menge der starken Verbandstücke, woraus sie besteht, vor allen übrigen aus, und wenn die große Holzmasse durch ihr Gewicht auch zum festen Stande wesentlich beiträgt, so ist eben dieses Gewicht beim Aufstellen und Niederlegen der Ramme und beim Verfahren derselben sehr hinderlich. Gewöhnlich sind die Schwellen sowohl unter sich, als auch mit den Streben und der Läufer Ruthe durch Zapfen und Ueberwürfe

*) Diese Figuren sind so aufgetragen, daß das Auge 20 Fuß hoch über dem Boden der Rammen liegt und 8 Zoll von der Bildfläche entfernt ist, die vordere Seite der Läufer Ruthe schneidet aber unter einem Winkel von 45 Graden die Bildfläche.

verbunden, während die Streben am obern Ende mittelst Versatzung und durchgesteckter Schrauben- oder Splintbolzen an die Läuferutte befestigt werden. In die Läuferutte ist über den Streben die Rammscheibe eingelassen, welche das Rammtau vom Klotze nach der sogenannten Stube oder dem Raume über der Verschwellung führt. Hier stehn die Arbeiter auf einem losen Dielenboden und ziehn mittelst der angesteckten Zugleinen das hintere Ende des Rammtaues stofsweise herab, wodurch sie den Klotz heben, der beim plötzlichen Nachlassen des Zuges auf den Pfahl fällt und denselben eintreibt. Die eine Strebe in der vordern Wand der Ramme, und zwar die linkseitige, ist mit Sprossen versehen, auf welchen ein Arbeiter hinaufsteigen und die nöthigen Verrichtungen beim Einbringen der Taue, beim Schmieren der Scheiben und dergleichen bewirken kann. Diese Ramme hat endlich noch eine besondere Vorrichtung zum Setzen der Pfähle, nämlich eine Winde, die sich in Einschnitten auf den hintern Streben bewegt und durch eiserne Bügel darin gehalten wird. Das Windetau geht von ihr über den Krahnbalken, der auf dem obern Ende der Läuferutte aufliegt und häufig noch durch Winkelbänder befestigt ist, oder wohl nur mit starken Leinen angebunden wird. Das Richten dieser Ramme geschieht, indem man die Läuferuthen nebst den beiden vordern Streben und der zugehörigen Schwelle flach auf den Boden legt und hierauf die ganze Verschwellung stellt, und diese mit den hintern Streben verbindet. Ist dieses geschehn, so befestigt man ein starkes Tau am Kopfe der Ramme, zieht dieses über die hintere Schwelle und legt es um eine Winde oder läßt es mittelst eines Flaschenzuges scharf anzieh. Indem man den Kopf der Ramme Anfangs durch unmittlbares Anfassen etwas anhebt, so wird bald eine solche Stellung erreicht, wobei der Zug an jenem Tau schon minder stark sein darf, und schließlich wird es sogar nöthig, noch ein zweites Tau vom Kopfe der Ramme um einen Pfahl rückwärts zu befestigen (das Stopftau), womit man die Ramme zurückhält und verhindert, daß sie nicht zu heftig sich auf die Verschwellung stellt. Beim Niederlegen der Ramme ist das Verfahren dasselbe, doch wird dabei das erste Tau, Stopftau, und das zweite muß zunächst mit der Winde, oder aus freier Hand angezogen werden.

Fig. 165 stellt die sogenannte Winkelramme dar, welche

sich nur durch eine andere Anordnung der Verschwellung von der vorigen unterscheidet, aber sonst mit ihr übereinstimmt. Sie dient dazu, um in den Ecken der Baustelle, die vielleicht wegen der Fangedämme oder aus anderm Grunde für die erste Ramme unzugänglich sind, Pfähle einzuschlagen.

Fig. 166 ist die Ramme, die Perronet benutzte und die nahe mit denen übereinkommt, die man auch heut zu Tage in Frankreich anwendet. Sie hat nur eine hintere Strebe und sonach trifft die Winde, die zum Setzen der Pfähle dient, gerade in den Raum, wo die Arbeiter stehn, und diese müssen sich daher zu beiden Seiten gleichmäfsig vertheilen. Die Verbindung der ganzen Rüstung erhält durch Zangen und Schraubenbolzen eine grofse Steifigkeit, doch tritt dabei der Uebelstand ein, dafs die Zange über der Winde gerade in die Richtung des Taus trifft, mittelst dessen die Pfähle gehoben werden. Das Rammtau selbst berührt die Zange aber nicht, indem die Zuglein schon oberhalb abgehn. Bei vielen französischen Rammen fehlt indessen diese Zange und sie ist nur deshalb hier angegeben, um die von Perronet benutzte Anordnung vollständig darzustellen. Der wichtigste Theil ist die Schere, in welcher der Klotz vor der vordern Wand spielt. Sie ist hier zwar fest und sonach entbehrt sie des Vorzuges, dafs die Richtung des Schlages leicht verändert werden kann, aber sie gewährt dennoch den Vortheil, dafs man den Klotz bis unter die Verschwellung der Ramme kann spielen lassen, und dieses ist besonders beim Einrammen von Grundpfählen sehr wichtig, da es unbequem ist, die Ramme gar zu tief zu stellen. Ferner ist die Gröfse der Scheibe zu beachten, die $3\frac{1}{4}$ Fufs im Durchmesser hält, doch ist sie nicht vor, sondern hinter der vordern Wand der Ramme befestigt. Um die Schere deutlich darzustellen, war es nöthig, sie etwas weiter von der vordern Wand zu entfernen. Ihr Abstand beträgt in der Wirklichkeit nur 1 Fufs, wodurch auch die Scheibe eine andere Lage erhält, als in der Zeichnung angegeben ist.

Fig. 167 zeigt ferner die sogenannte Stützenramme oder Schwanzramme, die in den Ostseehäfen üblich ist, und sich theils durch die Bequemlichkeit der Aufstellung und des Transportes, und theils auch dadurch vortheilhaft auszeichnet, dafs man mit ihr in jeder beliebigen Neigung Pfähle einrammen kann. Sie

besteht, wie die Figur zeigt, nur aus der vordern verschwellten Wand und der Stütze oder dem Schwanze, während ein oder zwei Taue, die sogenannten Kopftaue, die jedoch nur bei einem beinahe senkrechten Stande erforderlich sind, sie zurückhalten, damit sie nicht vorn überschlägt. Die Windevorrichtung fehlt ihr, dagegen ist am obern Ende der Stütze ein Haken befestigt, woran man einen Flaschenzug hängen kann, und mittelst dieses hebt die zahlreiche Mannschaft noch schneller den Pfahl, als mit der Winde. Will man die Ramme richten, so legt man die Läufer Ruthe nebst den Streben mit ihrem obern Ende auf einen gewöhnlichen Rüstbock und befestigt die Verbandstücke der vordern Wand unter sich und gegen die Schwelle. Alsdann setzt man die Stütze ein und verbindet mit dem Fusse derselben den einen Block eines Flaschenzuges, während der andere an den Fuß der Läufer Ruthe befestigt wird. Sobald man das in beide eingeschorne Tau anzieht, so richtet sich die Ramme von selbst auf. Das Versetzen oder Verfahren dieser Ramme ist aber insofern überaus leicht, als die Stütze einigen Spielraum in der Läufer Ruthe hat und man daher zuerst die Schwelle mit Brechstangen um einige Fufs fortschieben und sodann die Stütze an dem daran gebundenen Hebel weiter rücken kann. Eine Ramme dieser Art, die ich zur Kunstramme eingerichtet hatte und die 40 Fufs hoch war, wurde durch sechs Arbeiter ohne Mühe verfahren. Die gewöhnliche Ansicht, daß man zum Versetzen großer Rammen 20 bis 30 Mann nöthig habe, gilt keineswegs für diese Einrichtung. Daß die Ramme minder fest steht, als andere, welche an sich viel schwerer sind und überdies noch durch die ganze Mannschaft belastet werden, ist nicht zu leugnen, doch ist ihre Beweglichkeit nicht störend und man kann durch passende Anordnung der Ueberwürfe, womit die Ruthe und die Streben gegen die Schwelle befestigt werden, die Schwankungen vollständig aufheben. Fig. 169 zeigt einen solchen Ueberwurf in der Ansicht von zwei Seiten, wobei der eingetriebene keilförmige Pflock beide Verbandstücke fest zusammendrängt, was beim gewöhnlichen Ueberwurfe nicht geschieht. Es ist hierbei aber nothwendig, alle Haken und Krammen recht stark zu machen und mit Widerhaken zu versehen, damit sie nicht aus dem Holze herausgerissen werden. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, daß die Schwelle nicht mit ihrer ganzen Grundfläche,

sondern nur mit drei niedrigen Füßen unter der Läufer ruthe und unter den beiden Streben aufstehn darf, weil man sonst nicht mit Brechstangen darunter fassen kann.

Es darf kaum erwähnt werden, daß man auch feste Rammen so einrichten kann, daß die Läufer ruthe schräge stehn, dieses geschieht jedoch nur, wenn eine große Anzahl Pfähle unter einer bestimmten Neigung eingerammt werden soll. Beim Bau der Anfahrtsdämme der Traject-Anstalt bei Lauenburg hatte man diese Einrichtung getroffen.

Beim Einrammen von Schräg-Pfählen verbietet es sich zuweilen, die Läufer ruthe an diejenige Seite des Pfahles zu bringen, wohin derselbe übergeneigt ist. Dieses geschieht zum Beispiel bei der Verstärkung von Duc d'Alben, indem man an dieselben auswärts neue Pfähle stellt, die nach der Mitte hin geneigt sein sollen. Auf dem Eise läßt sich dieses besonders bequem ausführen, und man könnte zwar die Stützen-Ramme, indem die Stütze verlängert wird, so schräge stellen, daß sie sich unter dem beabsichtigten Winkel nach vorn überneigt. Eine sorgfältige Verstrebung der Stütze gegen die Schwelle, wie auch die Anbringung starker Kopftaue wäre alsdann aber nothwendig. Es ist jedoch bequemer, die Ramme so über den Duc d'Albe zu stellen, daß die Schwelle außerhalb des zu setzenden Pfahles liegt. Man hängt dabei den Klotz verkehrt ein, so daß er auf der untern oder der innern Seite der Läufer ruthe spielt und die Arbeiter sich außerhalb der vordern Wand der Ramme befinden. Die Wirksamkeit wird dabei freilich durch den schrägen Zug an den Zugleinen merklich geschwächt, aber ein wesentlicher Vortheil liegt darin, daß man in solchem seltenen Falle noch mittelst der gewöhnlichen Apparate den Zweck überhaupt erreicht. Es ist hierbei jedoch nöthig, zur Verminderung der Reibung zwischen die Läufer ruthe und die Riegel an den Armen ein dünnes Brett einzuziehen, das so lang wie der Klotz ist. Ich habe diese Anordnung vielfach benutzt und bequem gefunden.

Sehr einfach ist die Ramme, die in Holland vorzugsweise, und selbst bei den größten Bauten angewendet wird. Fig. 168 zeigt eine solche. Sie hat gar keine Verschwellung und die drei Bäume, welche die Rüstung bilden, sind unten mit eisernen Dornen versehen, wie Fig. 171 einen solchen in größerem Maafsstabe dar-

stellt, oben sind sie durch einen Bolzen, den Fig. 170 zeigt, mit einander verbunden. Dieser Bolzen ist mit einem Charnier in der Mitte versehen, daneben hat er auf jeder Seite einen Ansatz, woran die Unterlagsscheibe sich lehnt, und an beiden Enden sind Schraubengewinde eingeschnitten, auf welche Muttern passen. Auf der linken Seite des Bolzen (nach der Zeichnung) werden die beiden Bäume in der vordern Wand der Ramme, und auf der rechten Seite derjenige Baum, der die Stelle der Stütze versieht, aufgeschoben und mit den Schraubenmuttern befestigt. Es ergibt sich hieraus, daß die drei Bäume leicht beweglich sind und man sie willkürlich weit auseinander stellen kann. Mit ihren Füßen stehn sie gewöhnlich nicht unmittelbar auf dem Boden, weil sie darin zu tief versinken würden, vielmehr werden, wie die Figur zeigt, Bohlen untergelegt, und auf diese oft noch andere Dielen, worauf die Arbeiter stehn. An das obere Ende dieses Bockes ist mittelst einer Kette oder eines Taues eine hölzerne oder auch eine eiserne Scheibe von 18 Zoll Durchmesser in gehöriger Fassung angehängt. Der Rammklotz spielt zwischen den dünnen Ruthen der Schere, die oben durch zwei eingeschrobene eiserne Bügel gehalten werden und die man unten unmittelbar auf den Boden oder auf untergelegte Brettstücke stellt. Mit der richtigen Stellung der Schere ist jederzeit ein Zimmergeselle ausschließlich beschäftigt, er verschiebt sie nicht nur in den Pausen, sondern auch während der Arbeit, sobald es ihm nöthig scheint, den Schlag des Klotzes mehr nach der einen oder nach der andern Seite zu führen, und zuweilen hält er sogar die Schere längere Zeit hindurch mit den Händen, um jeden einzelnen Schlag auf die angemessene Stelle zu richten. Wenn diese Ramme zum senkrechten Einschlagen von Pfählen benutzt wird, wie gemeinhin der Fall ist, so muß sie durch ein Kopftau noch besonders gehalten werden, das neben der Stütze angebracht wird und welches das Umfallen der Rüstung, sowie auch das Verschieben derselben verhindert.

Viele Rammen, die man in Holland sieht, sind indessen noch einfacher, als diese, indem ihnen sogar die Stütze fehlt. Sie bestehn nur aus den beiden Bäumen, welche die vordere Wand bilden, und aus der Schere. Solche Rammen bedürfen indessen nicht nur desjenigen Kopftaues, welches Fig. 168 zeigt, sondern aufser diesem noch eines zweiten, welches nach vorn herabgeführt ist. Dabei darf nicht unbemerkt bleiben, daß man in den Niederlanden, obwohl da-

selbst fast jeder gröfsere Bau auf einen Pfahlrost gestellt werden mufs, dennoch solche schwerfällige Zugrammen, wie bei uns, niemals sieht.

Die in England üblichen Zugrammen haben eine Rüstung, welche mit derjenigen der Kunstramme, die Fig. 195 auf Taf. XV dargestellt ist, ungefähr übereinstimmt. Sie unterscheidet sich jedoch von dieser theils dadurch, dafs ihr die Schere fehlt, und theils durch die kleinere Verschwellung. Man sieht zuweilen solche Rammen, die 40 Fufs hoch sind, deren Rammstube aber nur 8 Fufs im Gevierten hält. Aus diesem Grunde wird jederzeit ein Kopftau nach hinten ausgebracht, und oft befinden sich auch zwei solche seitwärts. Auf der vorderen Schwelle stehn die beiden Läufer Ruthen etwa im Abstände von 6 Zoll. Dieselben sind oben durch einen Riegel mit einander verbunden, und häufig noch durch einen zweiten nahe unter der Rammscheibe. Aufserdem erheben sich von der Schwelle zwei Streben, die jedoch gemeinhin die Läufer Ruthen nur etwa in ihrer halben Höhe fassen. Eine zweite kürzere Schwelle liegt am hintern Ende der Rammstube, und beide Schwellen werden durch zwei Querschwellen mit einander verbunden, die jedoch durch Ueberblattung vollständig in die ersten eingelassen sind. Von der hintern Schwelle gehn zwei Streben nach den zwei kurzen Riegeln, die an den Riegel über den Läufer Ruthen befestigt sind, wie die Figur zeigt. Zwischen diesen Riegeln befindet sich die eiserne Rammscheibe, und zwischen den hintern Streben sind Sprossen eingezogen, auf welchen man zur Scheibe steigen kann. Häufig, und besonders wenn die Ramme eine gröfsere Höhe hat, sind die vorderen und hinteren Streben noch durch horizontale Riegel verbunden, oder solche verbinden die hintern Streben mit den Läufer Ruthen. Die sämtlichen Verbandstücke bestehn nur aus schwachem Kreuzholz, doch sind sie sämtlich durch genau schliessende eiserne Bänder und durch Schraubenbolzen verbunden, und die ganze Rüstung wird sorgfältig im Oelanstrich unterhalten. Die äufsern Flächen der Läufer Ruthen, neben denen der gusseiserne Rammklotz sich bewegt, sind mit Eisenschienen bekleidet.

Die in Frankreich üblichen Rammen schliessen sich ungefähr den von Perronet benutzten an, doch stehn die Läufer Ruthen oft so nahe neben einander, dafs der Klotz nicht dazwischen hängt, sondern mit seinen beiden Armen hindurchgreift, wie Fig. 162 angiebt,

Hier wäre nur zu bemerken, daß man zuweilen auch Rammen mit zwei Scheiben und zwei Rammtauen sieht. Letztere steigen dicht neben einander vom Klotze zu den beiden Scheiben auf, die sich also nahe berühren müssen, diese sind aber nicht parallel, sondern unter einem rechten Winkel gegen einander gerichtet, und werden von besondern Rahmen getragen. Die beiden Rammtaue entfernen sich bei dieser Anordnung von einander, und dadurch wird es möglich, die Zugleinen weniger schräge herabzuführen. Da jedoch die Entfernung der herabgehenden Rammtaue, wenn die Scheiben auch 4 Fufs im Durchmesser halten, noch nicht 6 Fufs beträgt, also jedes Tau sich nur 3 Fufs von derjenigen Richtung entfernt, die das einfache Tau haben würde, so ist der hierdurch erreichte Vortheil in Betreff des mehr senkrecht gerichteten Zuges nicht von Bedeutung.

Endlich wäre noch einer Ramme zu erwähnen, die sich von allen übrigen dadurch unterscheidet, daß sie in bedeutendem Abstände von ihrer Verschwellung die Pfähle setzt und eintreibt. Beim Bau der Hafendämme in Stolpmünde kam es darauf an, in der Richtung dieser Dämme Rüstungen frei in die See hinauszuführen, von welchen aus die weiteren Ramm- und sonstigen Arbeiten bewirkt werden könnten. Es sollten nämlich im Abstände von 8 Fufs Joche hergestellt werden, deren jedes zunächst aus drei Pfählen bestand. Indem die See aber selten so ruhig ist, daß die Rammarbeit vom Prahne aus erfolgen kann, und beim Beginne des Baues, mitten im Winter, dieses am wenigsten erwartet werden konnte, so mußte man eine Ramme benutzen, deren Läufer so weit vortrat, daß man von der Rüstung auf den bereits fertigen Jochen aus, die Pfähle des neuen Joches setzen konnte. Die zu diesem Zwecke construirte Ramme, die auf Fig. 214 auf Taf. XVI perspectivisch dargestellt ist, erfüllte diese Aufgabe vollständig, und wurde unausgesetzt benutzt, wiewohl ihre Leistung noch dadurch erschwert wurde, daß bei der Ausführung ein Abstand der Joche von 9 Fufs gewählt war. Die Figur giebt die ganze Zusammensetzung der Maschine so speciell an, daß eine nähere Erklärung entbehrlich ist. Die Benutzung zweier Rammscheiben, wodurch unbedingt die Reibung vergrößert wird, liefs sich nicht vermeiden, doch war dieser Uebelstand nur geringe im Vergleich zu dem wesentlichen Vortheil, daß die Arbeit beinahe ganz unabhängig von Wind und Wetter ausgeführt werden konnte. Auf der Laufbrücke wurden die vorbereiteten Pfähle

beigeschafft, und mit der Ramme gesetzt und eingeschlagen. Von den beiden weit vortretenden Schwellen aus liefs sich auch leicht eine Bohle hochkantig an die neugestellten Pfähle nageln, und hierüber eine Rüstung legen, um die Pfähle abzuschneiden, mit Blattzapfen zu versehn und den Holm aufzubringen, worauf das folgende Joch in Angriff genommen werden konnte. Nur an sehr wenigen Tagen, wenn die Wellen bis zum Bohlenbelage anstiegen, mußte die Arbeit unterbrochen werden. Der Baumeister Leiter, der die Aufsicht über diesen Bau führte, hatte diese Ramme, die Pionir-Ramme genannt wurde, construirt.

Nächst der Rüstung verdient der Rammklotz oder der Bär eine nähere Beschreibung. Derselbe besteht aus Holz oder aus Gußeisen. Sein Gewicht beträgt nach Maafsgabe des Widerstandes, den die Pfähle dem Eindringen entgegensetzen, 6 bis 12 Centner, doch werden beide Grenzen zuweilen überschritten. Der hölzerne Rammklotz besteht aus einem gesunden und starken Stücke, gewöhnlich dem Stammende einer Eiche. Bei den harten Stößen, denen er ausgesetzt ist, so wie der dauernden Einwirkung der Witterung, wobei er bald naß, und bald durch Sonne und Wind wieder trocken wird, ist die Wahl eines besonders kräftigen und fehlerfreien Holzes unbedingtes Erforderniß. Ist man in dieser Beziehung nicht vorsichtig gewesen, so pflegt der Klotz bald zu reifen, zu splintern, auch wohl zu spalten und sich stumpf zu schlagen, das heißt die untern Enden der Holzfasern legen sich um, wodurch eine weiche Grundfläche entsteht, die jeden kräftigen Schlag mildert und seine Wirkung schwächt. Es kann indessen selbst das festete Holz der Erschütterung nicht lange widerstehn, die es bei diesem immer wiederholten Aufstossen erfährt, wenn man es nicht durch starke eiserne Ringe zusammenhält. Damit der Ring es aber fest umschließt, ist es nothwendig, daß das Holz schon vorher ziemlich ausgetrocknet war. Gewöhnlich wird der Rammklotz prismatisch und zwar mit quadratischem Querschnitte bearbeitet. Oben und unten schneidet man entweder ringsumher oder wenigstens an der Seite, welche sich gegen die Läufer ruthe lehnt, Falze von $\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe ein, weil der Beschlag daselbst nicht vorstehn darf, und in diese Falze treibt man die eisernen Ringe. Jeder derselben wird zum Theil durch Nägel befestigt, hauptsächlich geschieht dieses aber durch vier eiserne Schienen, die man in die Mitte der Seiten ein-

läßt und die mit ihren umgebogenen Rändern den Ring halten. Sie werden, nachdem der Ring aufgetrieben ist, unter demselben in die schon früher eingeschnittenen vertieften Rinnen eingeschoben und gleichfalls durch Nägel oder auch wohl durch Krammen befestigt, doch müssen im letzten Falle die Schienen auch am obern Ende einen umgebogenen Rand erhalten und lassen sich alsdann nur mit dem Ringe zugleich einbringen. Fig. 172 zeigt diese Anordnung sowohl in der Seitenansicht des Klotzes, als auch im Längendurchschnitte. Es tritt hierbei indessen der große Uebelstand ein, daß die Ringe durch die Schienen und Nägel wohl am Herabfallen gehindert werden, ihnen dadurch aber keineswegs der feste Schluß gesichert wird, sie daher beim Eintrocknen des Holzes lose werden und der Klotz Risse bekommt, sich stumpf schlägt und oft sogar in mehrere Stücke zerfällt. Will man dieses verhindern, so müssen die Ringe, welche durch die starken Stöße während des Gebrauches der Ramme immer abwärts getrieben werden, sich eben dadurch von selbst wieder festsetzen, wenn sie auch durch das Trocknen und Schwinden des Holzes lose geworden sein sollten. Zu diesem Zwecke darf der Klotz keine prismatische, sondern muß vielmehr eine pyramidale Form erhalten, indem er nach oben und zwar in beiden Richtungen sich verjüngt. Sowohl die untere, als die obere Fläche desselben wird gegen diejenige Seite, die sich an die Läufer- ruthe lehnt, senkrecht abgeschnitten, und damit die Ringe, von denen man bei größeren Klötzen sogar drei auftreiben kann, gehörig gespannt werden können, so müssen sie hinreichende Breite und Stärke erhalten, besonders gilt dieses aber von dem unteren, der wenigstens $\frac{1}{2}$ Zoll stark und 2 Zoll breit werden muß. Alle Ringe werden von oben aufgetrieben, und damit sie sämmtlich, wie auch der unterste sich noch senken können, so darf dieser dem untern Ende des Klotzes nicht zu nahe liegen, sondern muß Anfangs noch 6 Zoll davon entfernt bleiben. Alle Ringe stehn alsdann vor den Seitenflächen des Klotzes weit vor und würden die Läufer- ruthe stark beschädigen, wenn man sie nicht davon gehörig entfernt halten könnte. Dieses geschieht dadurch, daß man ein dünnes Brett von Eichenholz darüber nagelt, welches an den Stellen, wo es die eisernen Ringe trifft, passend ausgeschnitten ist. Man erreicht dadurch noch den Vortheil, daß man dieses Brettchen glatt behobeln und so auswählen kann, daß es recht gerade Fasern hat, wodurch die Rei-

bung gegen die Läuferuthe geringer wird, als wenn der Rammklotz sich unmittelbar dagegen lehnte. Fig. 173 *a* und *b* zeigt die beschriebene Anordnung. Ich habe einen Klotz dieser Art einige Jahre hindurch bei einer Kunstramme benutzt, und er wurde, trotz der viel stärkeren Erschütterungen, die er erlitt, dennoch weit weniger beschädigt, als die auf gewöhnliche Art beschlagenen Rammklötze der Zugrammen, doch auch bei den letzten zeigte sich dieser veränderte Beschlag in gleichem Maasse vortheilhaft, indem dadurch die vielfachen Reparaturen aufhörten, die früher immer erhebliche Kosten verursacht und häufig den Betrieb der Arbeit unterbrochen hatten. Es muß aber noch bemerkt werden, daß die Ringe heifs aufgetrieben werden müssen.

Die Verbindung der Arme mit dem Rammklotze ist demnächst sehr wichtig. Häufig versieht man die Arme nur mit gewöhnlichen prismatischen Zapfen, die bedeutend schwächer als sie selbst sind, und setzt diese in Zapfenlöcher ein, worin sie verbohrt und mit hölzernen Nägeln befestigt werden. Zuweilen giebt man ihnen schwalbenschwanzförmige Zapfen, wie Fig. 174 auf Taf. XIV zeigt, die durch Keile von unten festgestellt, auch wohl mit hölzernen Nägeln gehalten werden. Diese Verbindungen sind indessen nicht passend, denn es ist kein Grund vorhanden, die Ausarbeitung eines weiten Zapfenloches im Klotze zu vermeiden, da eine Schwächung desselben doch nicht eintritt. Diese Arme stehn aber seitwärts vor dem Klotze vor und jeder Stofs trifft sie eben so, wie den Klotz selbst, ein Abbrechen des Zapfens ist also leicht möglich, wenn derselbe in der Verbindung mit dem Arme geschwächt wird. Dazu kommt noch, daß die Nässe sich in das Zapfenloch hineinzieht, woher man beim Ausnehmen eines Armes immer bemerkt, wie derselbe besonders an der Stelle, wo er die Seitenfläche des Klotzes trifft, angefault und verrottet ist, während er in dem vorstehenden Theile noch frisches Holz hat. Gerade da, wo der Stofs am leichtesten den Bruch bewirken kann, ist auch der Einfluß der Witterung am nachtheiligsten. Hiernach ist es nicht zu billigen, wenn man an eben dieser Stelle den Querschnitt schwächt. Die in der Figur dargestellte Befestigungsart mit dem schwalbenschwanzförmigen Zapfen und dem eingetriebenen Keile ist aber auch an sich nicht angemessen, da eine solche Verbindung theils durch das Eintrocknen des Holzes, und theils durch die heftigen Stöße sich bald löst, so

dafs der Keil herausfällt, während die hölzernen Nägel auch in Kurzem brechen, wenn sie allein den Arm halten sollen. Das Abbrechen der Arme mufs aber mit der grössten Vorsicht vermieden werden, weil sie alsdann vielleicht aus gröszer Höhe auf die Arbeiter fallen und diese beschädigen würden. Am sichersten ist es, den Arm in seiner ganzen Höhe und Stärke in den Klotz eintreten zu lassen und ihn durch einen horizontal durchgesteckten eisernen Bolzen von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, der die ganze Breite des Klotzes zur Länge hat, zu befestigen, wie Fig. 173 auf Taf. XIII zeigt. Der Bolzen wird durch die Stöfse, die ihn von unten treffen, nicht verschoben, wenn er nur einigermaafsen im Bohrloche fest sitzt und sich nicht gar zu willig aus- und eintreiben läfst. Hat der Klotz vier Arme, so wird ein Bolzen immer je zwei derselben festhalten, und bei acht Armen oder bei einer Scher-Ramme genügen gleichfalls zwei Bolzen, doch können sie im letzten Falle auch ganz fehlen und durch hölzerne Nägel ersetzt werden, indem je zwei Arme aus einem hindurchreichenden Stücke Holz bestehn.

Werden die Arme an ihrem hintern Ende noch mit Riegeln versehen, so erhalten sie zu diesem Zwecke quadratische Oeffnungen von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll Weite und Höhe. Der Riegel hat an der einen Seite einen seitwärts vortretenden Kopf, damit er sich nicht ganz hindurchschieben kann, und auf der andern Seite wird er am besten durch einen vorgeschlagenen gewöhnlichen eisernen Nagel gehalten. Man wählt statt des letztern zuweilen auch einen kleinen Vorsteckbolzen, der aber leicht ausspringt, wodurch der Riegel gelöst wird und herabfällt. Jedenfalls wird der Riegel aber nicht fest angetrieben, sondern nur lose eingesteckt, und sonach sind die eisernen Ringe, die man auf die Arme aufzuschlagen pflegt, entbehrlich. Ueberhaupt mufs man sich hüten, am Rammklotze und an den Armen desselben viele Beschläge anzubringen, denn durch die heftigen Stöfse werden sie doch bald gelöst und sie nützen alsdann nicht nur nichts, sondern veranlassen beim Herabfallen auch Gefahr für die Arbeiter.

Die Oese, woran das Tau befestigt wird, kann entweder unmittelbar an den Klotz angeschnitten werden, wie dieses in Holland zu geschehn pflegt. Aus Figur 168 ergibt sich diese Anordnung, und dieselbe empfiehlt sich dadurch, dafs das Tau weniger leidet, indem es kein Eisen berührt, auch nicht so scharf gekrümmt ist,

doch läßt sich dieses auch bei eisernen Krammen vermeiden. Die Kramme verursacht weniger Kosten, als die hölzerne Oese, insofern sie unvergänglich ist, und von einem Klotze, sobald er zerschlagen oder verfault ist, auf einen andern übertragen werden kann, die hölzerne Oese ist aber nicht nur wegen der Arbeit kostbar, sondern bedingt auch für das zum Rammklotze zu wählende Holzstück schon eine etwas gröfsere Länge. Endlich aber gewährt die Kramme noch den Vortheil, dafs man mit grosfer Sicherheit, nachdem der Klotz vollständig bearbeitet, beschlagen und mit den Armen versehen ist, ihre Stelle genau über dem Schwerpunkte aussuchen und dadurch das Spiel der Ramme erleichtern kann. Fig. 175 zeigt eine eiserne Kramme in der Seitenansicht. Sie mufs mindestens 1 Zoll und bei schweren Rammen bis $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser halten und eine Länge von 9 bis 12 Zoll haben. Die beiden Spitzen, womit sie eingetrieben wird, sind mit Widerhaken versehen und genau parallel zu einander gerichtet. Wenn sie auf solche Art ausgeschmiedet ist und nach gehörigem Vorbohren der Löcher kalt eingeschlagen wird, so darf man nicht befürchten, dafs sie herausgerissen oder zerbrochen werden möchte, sie bleibt vielmehr, so lange man den Klotz brauchen kann, fest darin stecken und leidet in keiner Beziehung. Wenn aber endlich der Klotz zerschlagen wird, so kann sie unmittelbar und ohne alle Reparatur wieder bei einem andern Klotze gebraucht werden.

Gufseiserne Rammklötze werden bei Kunst- und Dampf-rammen gewöhnlich angewendet, aber auch bei Zugrammen werden sie in neuerer Zeit vielfach benutzt. Ihr Vorzug vor den hölzernen besteht darin, dafs sie an sich keine Unterhaltungskosten erfordern und in der That unverwüstlich sind. Man darf sie aber nicht unmittelbar an hölzernen Läufer Ruthen sich bewegen lassen, weil sie diese stark angreifen, es ist daher nöthig entweder die Ruthen mit Eisen zu beschlagen, oder den Klotz an der reibenden Fläche mit Holz zu verkleiden. Sodann ist auch die Befestigung der Arme schwieriger und weniger sicher, und überdies tritt bei ihnen noch der Uebelstand ein, dafs die Pfähle stark angegriffen werden und leicht zersplittern oder spalten, woher man auf die Köpfe derselben eiserne Ringe aufzutreiben pflegt. Der letzte Uebelstand vermindert sich einigermaafsen dadurch, dafs man dem Klotze keine convexe Grundfläche giebt, wie oft geschieht, sondern eine ebene, und noch

besser ist es, sie etwas concav zu machen. Zum Befestigen der Arme werden die Oeffnungen für diese gleich beim Gusse dargestellt, man muß aber dafür sorgen, daß sie hinreichend weit sind, weil schwache Arme bei dem dauernden Aufstossen auf die Eisenmasse leichter abbrechen, als bei hölzernen Rammklötzen. Die Befestigung der Arme ist sehr verschieden, erfordert jedoch immer große Vorsicht, damit kein Theil derselben sich lösen und herabfallen kann. Wenn der Klotz neben der Läufer ruthe verkleidet werden soll, so giebt man dem vortretenden Theile des Armes eine etwas größere Stärke, als diese Oeffnung hat, so daß er, wie Fig. 176 zeigt, mit den vortretenden Rändern zugleich das Brettchen hält, welches die unmittelbare Berührung des Klotzes und der Läufer ruthe verhindert. Keilförmige Splinte auf der andern Seite dienen zur Befestigung der Arme. Dieselbe Figur zeigt die gewöhnliche Oese, zuweilen benutzt man aber auch hier eine Kramme oder einen Bügel aus Schmiedeeisen, der in die Gufsform gesetzt und gleich angegossen wird.

Ein andrer wichtiger Theil der Zugamme ist die Scheibe, worüber das Rammtau geführt wird. Hauptbedingung für dieselbe ist es, daß sie das Tau in solcher Richtung faßt, daß es parallel zur Läufer ruthe gespannt wird. Die Scheibe muß also eben so weit vor die Läufer ruthe vortreten, wie der Aufhängungspunkt des Klotzes, oder nach der obigen Bedingung wie der Schwerpunkt desselben, und außerdem muß sie auch in die Ebene fallen, welche die Mittellinie der Läufer ruthe schneidet. Diese Bedingungen zeigen sich besonders in dem Falle als nothwendig, wenn der Klotz bis nahe an die Scheibe gehoben werden soll, was beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles der Fall zu sein pflegt. Demnächst darf die Scheibe nicht einen gar zu kleinen Durchmesser erhalten. Es geschieht nicht selten, daß dieser nur 8 bis 9 Zoll mißt, doch geht alsdann nicht nur ein großer Theil der Kraft in der Ueberwindung der Steifigkeit des Seiles verloren, sondern außerdem wird die Reibung an der Achse auch sehr groß, was hier um so mehr zu berücksichtigen ist, als gemeinhin die Scheibe sich nicht mit der Achse, sondern vielmehr um dieselbe dreht, wodurch eine weniger regelmäßige Bewegung und ein stärkeres Schleifen und Klemmen entsteht. Bis zu welchem Grade die Reibung auf diese Art anwachsen kann, läßt sich nicht sicher nachweisen, doch ist ihre Zunahme

jedenfalls viel gröfser, als man nach der Verschiedenheit der Halbmesser der Scheiben erwarten sollte. Was den Einfluss der Steifigkeit des Taues betrifft, so läfst sich dieser mit Zugrundelegung der gewöhnlichen Annahme für Scheiben von verschiedener Gröfse und für ein bestimmtes Gewicht des Rammklotzes leicht finden. Der Klotz mag 12 Centner wiegen und das Tau $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser halten, alsdann wird die Reibung, oder der nöthige Ueberschufs der Kraft über die Last,

wenn die Scheibe	9 Zoll misst	. . . .	165 Pfund
- - -	12 - - -	. . . .	121 -
- - -	18 - - -	. . . .	82 -
- - -	24 - - -	. . . .	62 -
- - -	30 - - -	. . . .	49 -
- - -	36 - - -	. . . .	41 -

Man kann also nach diesem Beispiele in Beziehung auf die Steifigkeit des Seiles die nöthige Kraft schon um 100 Pfund vermindern, sobald man die Scheibe von 9 auf 24 Zoll vergrößert. In Betreff der Reibung wird der Vortheil aber noch gröfser. In England hat man die Erfahrung gemacht, dafs der fünfte Theil der Mannschaft entbehrlich wurde, sobald man statt der dort üblichen Scheiben von 10 Zoll Durchmesser, 4 Fufs hohe Scheiben benutzte, die aber auch noch insofern eine Vervollkommnung erfahren hatten, als die Achse in der Scheibe befestigt war und in Pfannen lief.

Das Material, woraus die Scheibe gewöhnlich besteht, ist Holz, doch wählt man dazu solche Arten, die nicht nur hart sind, sondern sich auch recht glatt reiben, und wo sie über den Spahn geschnitten sind, keine grofse Schärfe zeigen. Aus diesem Grunde ist Eichenholz hierzu nicht passend, dagegen wird Weifsbuchen-, auch Birken- und bei kleineren Scheiben das sehr feste und dauerhafte Guajak- oder Pockholz besonders benutzt. Man dreht die Scheiben, wenn sie klein sind, aus vollem Holze aus, und selbst gröfsere werden zuweilen aus mehreren Bohlenstücken so zusammengesetzt, dafs die Holzfasern durchweg parallel liegen. Fig. 177 zeigt eine Scheibe dieser Art von 2 Fufs Durchmesser, die bei den Rammarbeiten am Ems-Canale in der Gegend von Lingen angewendet wurde. Die drei Bohlenstücke waren darin theils durch Federn und Nuthen und theils durch vier eingeschobene und verbohrte hölzerne Dübel, auferdem aber noch an jeder Seite durch fünf eiserne

Schienen verbunden. Es ist indessen vortheilhafter, die Scheiben aus mehreren Stücken so zusammensetzen, daß sie wie Wagenräder aus Armen und Felgenstücken bestehn. Fig. 178 zeigt in der Seitenansicht und im verticalen Durchschnitt eine solche hölzerne Scheibe, die häufig vorkommt. Die beiden Verbandstücke, welche die Arme bilden, sind überblattet und in die Felgen verzapft. Zwei eiserne Schienen, die in kreuzweiser Richtung auf beiden Seiten eingelassen sind, verbinden die Arme mit den betreffenden Felgen und bilden zugleich die Pfannen, womit die Scheibe den Bolzen umfaßt, der ihr zur Achse dient. Besonders wichtig ist es, möglichst wenig Hirnholz in der Rille, worin das Tau ruht, vortreten zu lassen, weil das Tau dadurch besonders leidet. Die Scheibe bewegt sich nämlich keineswegs immer übereinstimmend mit dem darauf liegenden Tau. Dieses geschieht freilich während des Aufhebens des Klotzes, wobei das Tau stark gespannt ist und durch seine Reibung der Scheibe die gleiche Bewegung mittheilt. Auch wenn der Klotz herabfällt, nimmt die Scheibe bald die der früheren entgegengesetzte Bewegung an, aber sobald der Klotz aufschlägt, so wird das Tau, das nunmehr ganz lose auf der Scheibe liegt, zurückgehalten, und die Scheibe, welche in diesem Moment eine große Geschwindigkeit angenommen hat, kommt nicht augenblicklich zum Stillstande, sondern dreht sich noch weiter und hierbei erfolgt vorzugsweise die starke Abnutzung des Taus, die immer um so größer ist, je rauher und schärfer das Holz in der Rille war. — Die Rille nimmt freilich in ziemlich kurzer Zeit eine polirte Oberfläche an, daß aber dennoch die Reibung nicht aufhört, giebt sich am deutlichsten dadurch zu erkennen, daß die Rillen immer tiefer werden. Am sanftesten gleitet das Tau über diejenigen Stellen, wo die Holzfasern tangential liegen, und dadurch rechtfertigt es sich, daß man den Kranz der Scheibe nicht nur aus vier Felgenstücken zusammensetzt, sondern daß man dazu, wo möglich, auch krummgewachsenes Holz nimmt, welches sich überdies sicherer durch die Zapfen verbinden läßt. Bei größeren Scheiben wird die Anzahl der Felgenstücke gleichfalls größer, und man muß alsdann auch die Anzahl der Arme vermehren, die sich in diesem Falle aber nicht mehr überblatten lassen, sondern mit Zapfen in einander greifen, oder man giebt der Scheibe, wie einem Wagenrade, eine vollständige Nabe und verwandelt die Arme in Speichen, wie in Frankreich oft geschieht. Dabei

wird es aber noch nöthig, die einzelnen Felgenstücke durch Schienen mit einander zu verbinden.

Die Scheibe findet gewöhnlich in der Läufer ruthe ihre Befestigung, woselbst sie in einen Schlitz eingesetzt wird, man durchbohrt alsdann die beiden Backen des Schlitzes so, daß theils der obenerwähnten Bedingung über das Vortreten der Scheibe vor die Läufer ruthe Genüge geschieht, und theils auch das Bohrloch für die Achse nicht gar zu nahe an den vordern oder hintern Rand der Backen kommt. Die Achse besteht bei den gewöhnlichen Rammen in einem losen Bolzen mit vorgestecktem und umgebogenem Splint, und gemeinhin pflegt dieselbe bei der Bewegung der Scheibe mit dieser zugleich einige Drehung anzunehmen. Sie greift alsdann die Schienen, worauf sie ruht, stark an. Aus diesem Grunde ist es vortheilhaft, die Schienen zu verstärken und mit förmlichen Pfannen oder Buchsen zu versehen, die gleich beim Ausschmieden dargestellt werden. Gemeinhin setzen sich diese Schienen noch weiter auf- und abwärts fort, und bei der Stützenramme ist es üblich, daß sie zugleich den Bolzen, durch welchen die Stütze gehalten wird, umfassen und bis unter die Ringe reichen, woran die Kopftaue befestigt werden. Dieselben Schienen reichen aber noch weiter abwärts und erhalten da, wo sie gegen die Streben treffen, Verlängerungen, welche durch Charniere mit ihnen verbunden sind und wieder den dritten Bolzen umfassen, der beide Streben mit der Läufer ruthe verbindet. Fig. 167 zeigt diese Anordnung.

Gewöhnlich ist die Rille in der Scheibe nicht tief eingeschnitten und es entsteht alsdann die Besorgniß, daß das Tau herausfallen möchte. Um dieses zu verhindern, setzt man an die Läufer ruthe zu beiden Seiten noch breite Backenstücke an, welche etwas weiter, als die Scheibe, nach vorn und nach hinten vortreten und dadurch ein Herausspringen des Taus unmöglich machen. Diese Backen darf man aber nicht allein durch Nägel befestigen, weil sie in diesem Falle sich leicht lösen und herabstürzen könnten, mindestens muß auf jeder Seite ein Schraubenbolzen, bei dem die Mutter recht fest angezogen ist, hindurchgehn.

Sobald die Scheibe einen Durchmesser von 4 bis 5 Fuß erhält, was in Deutschland und Holland zwar nicht vorkommt, wohl aber in Frankreich und England, so darf sie nicht mehr lose auf der Achse stecken, sondern letztere muß an sie befestigt sein und

sich zugleich mit ihr umdrehn. Dieses begründet sich dadurch, daß die Entfernung der Stützpunkte, welche die senkrechte Stellung der Scheibe sichern, ohne daß diese sich gegen die Läufer Ruthe lehnt, hierdurch größer wird und sonach eine Neigung nach der Seite nicht so leicht erfolgen kann. Wenn nach der gewöhnlichen Einrichtung die Scheibe sich auf der Achse dreht, so schleift sich ihre Buchse nicht gleichmäßig aus, sondern das ursprünglich cylindrische Loch wird bald an beiden Seiten weiter als in der Mitte, und nunmehr neigt sich die Scheibe stark seitwärts und fängt an, heftig gegen die Ruthen oder die erwähnten Backen zu schleifen, wodurch ein großer Kraftverlust entsteht. Diesem Uebelstande beugt man vor, wenn die Achse innerhalb der Scheibe viereckig und in den beiden vorstehenden Enden cylindrisch ausgeschmiedet und abgedreht wird. Mit diesen Enden läßt man sie in gehörigen Pfannenlagern laufen, und wenn sich hier nach und nach auch einige Abnutzung zeigt, die man jedoch durch gehöriges Einschmieren sehr vermindern kann, so läuft die Scheibe dennoch immer frei und jene Reibung gegen die Ruthe tritt nicht ein.

Die Pfannenlager kann man auf Knaggen legen, die man gegen die Läufer Ruthen befestigt, doch sind in diesem Falle durchgehende Schraubenbolzen nothwendig, weil die Nägel sich leicht ausziehen. Dasselbe ist auch zu besorgen, wenn man eiserne Eckbänder unter den Knaggen oder Riegeln anbringen wollte, die wieder nur mit Nägeln befestigt wären. Fig. 179 zeigt die Vorkehrung dieser Art, die bei den Rammen am Ems-Canale getroffen war. Jede Knagge wurde durch 2 Bolzen gehalten und beide verbreiteten sich im obern Theile, so daß sie zugleich die Stelle der Backen versah. Man muß statt der Knaggen schon Riegel anwenden, welche weiter rückwärts die Pfannen tragen, sobald das Rad so groß wird, daß seine Achse etwa 3 Zoll, oder noch weiter hinter die Läufer Ruthe trifft. Sehr einfach wird diese Anordnung, wie Fig. 180 in der Seitenansicht und im horizontalen Querschnitt zeigt, sobald die Ramme zwei Läufer Ruthen hat. An jede derselben bolzt man nämlich von außen einen Riegel, und beide Riegel sind auf der andern Seite wieder mit der Strebe oder Stütze durch einen Schraubenbolzen verbunden. Es ist hier jedoch nothwendig, daß die Stütze immer eine bestimmte Neigung gegen die Läufer Ruthe behält.

Endlich wendet man auch zuweilen zwei Scheiben an, um

wie bereits erwähnt die Zugleinen weniger schräge wirken zu lassen. Fig. 181 zeigt die Befestigungsart zweier Scheiben von 5 Fuß Durchmesser, wie ich solche in Havre sah. Jede Scheibe hat neben sich zwei Riegel, die theils auf einer gegen die Stütze gebolzten und durch Bänder unterstützten Schwelle aufliegen und theils gegen die Läufer Ruthen und zwei Stiele befestigt sind. Diese Stiele stehn auf einer andern Schwelle auf, welche wieder in gleicher Art, wie die erwähnte, von den Läufer Ruthen getragen wird. Hierbei waren an die Oese des Rammklotzes neben einander zwei Tauen angesteckt, deren hintere Enden auf den andern Seiten der Scheiben sich 7 Fuß von einander entfernten.

Es ist bisher nur von hölzernen Scheiben die Rede gewesen, zuweilen versieht man die Ramme aber auch mit gufseisernen Scheiben, oder es geschieht wohl, daß man die Rille in der hölzernen Scheibe, um ein Abschleifen zu verhindern, mit eisernen Schienen ausfüllt. Das erste kommt bei den bessern Rammen in England gewöhnlich vor, das letzte sieht man nicht selten in Frankreich, namentlich wenn größere Scheiben benutzt werden. Man glaubt häufig, daß das Rammtau, wenn es über Eisen oder überhaupt über Metall läuft, stark angegriffen wird, auch daß es sich dabei erhitzt und auf diese Art leidet. Die Erhitzung steht in genauer Beziehung zur Reibung, wenn daher letztere sehr groß ist, so wird auch die Abnutzung bedeutend, besonders wenn die Wärme so zunehmen sollte, daß das Tau zu rauchen anfängt. Ich habe häufig mit gufseisernen Rammscheiben arbeiten lassen, aber dabei nie eine Erwärmung der Scheibe und ebensowenig des Taus wahrgenommen. Die Reibung und die daraus hervorgehende Abnutzung des Taus kann freilich bei Anwendung gufseiserner Scheiben oder eiserner Schienen sehr bedeutend und viel größer werden, als beim Holze, wenn das Eisen noch die raue Gußfläche hat, oder die Schienen nur mit einer groben Feile bearbeitet sind und wohl gar vorstehende scharfe Ränder haben. Man muß also möglichst dafür sorgen, vor dem Gebrauche solche Unebenheiten zu entfernen, der Nachtheil derselben ist hier viel größer, als bei einer andern Benutzung der Scheiben, indem, wie bereits erwähnt, beim Aufschlagen des Rammklotzes die Scheibe sich noch weiter dreht, während das Tau festgehalten wird, und diese Bewegung der Scheibe setzt sich um so länger fort, je größer ihr Gewicht und namentlich das

des Kranzes ist. In der letzten Beziehung zeigt sich das Gufseisen aber nicht ungünstig, denn wenn es auch ein viel größeres specifisches Gewicht als Holz hat, so darf es dagegen auch schwächer gehalten werden, indem die vortretenden Ränder, welche die vertiefte Rille bilden, schon dem Rade die nöthige Festigkeit geben, und wenn sonach eine gufseiserne Scheibe auch immer noch schwerer bleibt als eine hölzerne, so ist der Unterschied des Gewichtes dennoch nicht so bedeutend, daß er das Moment der Bewegung auf eine nachtheilige Art vermehren könnte. Der wichtige Vortheil der gufseisernen Scheiben ist aber ihre Dauer und Festigkeit, auch läßt sich die Achse darin sicherer anbringen, so daß die Drehung regelmäßiger als bei hölzernen Scheiben erfolgt. Dazu kommt noch, daß diese Räder sich bei längerem Gebrauche sehr glatt auslaufen und die Rillen mit der Zeit solche Politur annehmen, als wenn sie ausgeschliffen wären. Alsdann ist die Abnutzung der Taue gewiß viel geringer, als bei hölzernen Scheiben.

Fig. 182 zeigt eine gufseiserne Scheibe, ähnlich der, welche schon bei Gelegenheit der Scher-Ramme (Fig. 168) erwähnt ist. Man kann dieselbe bei kleineren Rammen sehr zweckmäßig benutzen und sie ist auch sonst auf jeder größeren Baustelle sehr brauchbar. Ihre Construction ergibt sich aus den Figuren und es ist dabei nur zu erwähnen, daß die Achse in die Scheibe festgekeilt ist und auf Pfannen ruht, welche seitwärts vor die Fassung vortreten, die Fassung aber besteht aus zwei geschmiedeten Platten, die mittelst dreier Riegel mit einander verbunden sind. Jeder Riegel ist an jeder Seite mit einer Schraubenspindel versehen und durch jede Platte greifen drei solche Spindeln, die mittelst Muttern fest angezogen werden. Zwischen dem eigentlichen Riegel und dem Schraubengewinde befindet sich noch ein kurzer Theil mit quadratischem Querschnitt, dieser steckt in der Fassung und hindert das Drehen des Riegels, während die Schraubenmutter angezogen wird. Wenn die Riegel passend ausgefeilt sind, so erhält die ganze Fassung der Scheibe eine große Festigkeit. Es ist aber noch zu bemerken, daß durch die Mitte des obern Riegels ein Haken hindurchgreift, der unten mit einem Kopfe versehen ist und einen Wirbel bildet.

Das Rammtau ist derjenige Theil des Apparats, der am schnellsten abgängig wird, und dieses rührt hauptsächlich vom stofs-

weisen Anziehn her, wodurch das Tau nicht dauernd in einer gewissen Spannung erhalten wird, sondern eine solche abwechselnd eintritt und wieder aufhört. Aus diesem Grunde muß das Tau eine gröfsere Stärke erhalten, als wenn es nur dazu dienen sollte, den Rammklotz zu tragen, oder mit mäfsiger Geschwindigkeit zu heben. Andererseits ist aber eine grofse Dicke und ein grofses Gewicht des Taus auch sehr nachtheilig, denn durch die erstere vermehrt sich die Steifigkeit und die Kraft, die zur Ueberwindung derselben erforderlich ist, und das grofse Gewicht des Taus vermindert wieder den Effect des Klotzes beim Herabfallen. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, das beste Tauwerk, das man bekommen kann, zu wählen. Die Mehrkosten dafür werden, abgesehn von den übrigen Vortheilen, durch die längere Dauer desselben reichlich aufgewogen, Bedingung ist es aber, dafs das Rammtau bei geringem Durchmesser und Gewichte recht fest und dabei möglichst biegsam sein muß. Getheertes Tauwerk ist aus dem letzten Grunde ganz unpassend. Man hat vorzugsweise darauf zu sehn, dafs das Tau aus reinem Hanf gesponnen ist, und man überzeugt sich hiervon, wenn man ein Ende aufzerzt, es in die einzelnen Stränge und Drähte zerlegt und selbst diese noch löst und untersucht, ob überall recht feine und biegsame Fasern vorkommen, oder ob vielleicht dazwischen noch Stückchen der holzigen Masse des Hanfstengels liegen. Im letzteren Falle ist das Tau schon im Allgemeinen von geringem Werthe, als Rammtau aber ganz unbrauchbar. Ferner ist es vortheilhaft, das Rammtau links spinnen zu lassen. Es werden nämlich gewöhnlich alle Drähte, sowie auch die Stränge, die schon aus den einzelnen Drähten oder den zuerst gesponnenen Fäden bestehn, rechts gesponnen, das heifst die Windung ist in derselben Richtung angebracht, wie bei der gewöhnlichen Schraube. Hält man den Strang oder den Faden senkrecht vor sich, so sieht man die Windung von der linken Seite nach der rechten ansteigen. Werden die Stränge zu einem Tau verbunden, so spinnt man sie gewöhnlich wieder rechts, links gesponnen ist aber dasjenige Tau, in welchem die Windung der Stränge derjenigen der einzelnen Fäden entgegengesetzt ist. Hält man ein solches Tau wieder vor sich, so bemerkt man, dafs die Windung von der rechten Seite nach der linken ansteigt. In diesem Falle vermindert sich etwas die Steifigkeit der einzelnen Fäden und das Tau wird dadurch biegsamer, man meint

aber, daß es sich stärker reckt oder ausdehnt, als das rechts gesponnene, was jedoch bei dieser Anwendungsart nicht nachtheilig ist.

Wenn das Tau aus vorzüglichem Material besteht, so genügt eine Stärke von 16 Linien im Durchmesser *) für einen 12 Centner schweren Klotz, und ein solches Tau pflegt sich bei fortgesetztem Gebrauche während der gewöhnlichen Arbeitsstunden einige Monate hindurch ohne Beschädigung zu erhalten. Zuerst wird es da angegriffen, wo es die Rammscheibe trifft, während der Klotz auf dem Pfahle steht. Diese Stelle ist zwar bald höher und bald tiefer, da aber die Anzahl der Schläge auf jeden Pfahl, so lange er noch schnell eindringt, sehr unbedeutend gegen diejenige bleibt, die ihn trifft, wenn er schon beinahe seine ganze Tiefe erreicht hat, so bestimmt sich die Stelle der stärksten Beschädigung im Rammtaue nach der Tiefe, zu welcher die Pfähle durchschnittlich eingerammt werden. Wenn diese Stelle nicht gerade in die Mitte des Taues trifft, so kann man, sobald sich Beschädigungen zeigen, dasselbe noch umkehren und das Ende, woran früher die Zugleinen angesteckt waren, an die Oese des Klotzes befestigen.

Das Anbinden des Taues an den Klotz geschieht in ähnlicher Art, wie bei Gelegenheit der Befestigung des Gestänges beim Bohren Artesischer Brunnen (§. 10.) erwähnt wurde, und zwar ebensowohl, wenn eine hölzerne, als wenn eine eiserne Oese am Rammklotze angebracht ist. Im letzten Falle darf man indessen das Tau nicht unmittelbar um diese Oese oder die Kramme schlingen, weil hier die Windung zu scharf wäre, der Gebrauch der ringförmigen eisernen Rinnen oder der Kauschen ist hier aber nicht passend, weil dieselben sich bei den starken Stößen zu leicht verbiegen. Man umwindet daher die Kramme einige Zoll hoch mit altem Tauwerk und darüber mit Leinen, wodurch eine noch weichere Unterlage gebildet wird, als die hölzerne Oese bietet. Auch der Knoten im Tau erfordert hier gröfsere Vorsicht, und es ist gewöhnlich, daß, wenn auf die in Fig. 14 Taf. I dargestellte Art der Schlag gemacht

*) Bei Ankertauen und überhaupt bei der Takelage der Seeschiffe pflegt man unter der Benennung Stärke eines Taues nicht den Durchmesser, sondern den Umfang zu verstehn, doch ist diese Bedeutung hier nicht angenommen.

ist, man das kurze lose Ende des Taues in die einzelnen Stränge zerlegt und jeden derselben mehrmals zwischen die Stränge des andern Theiles hindurchzieht. Um die letzteren von einander zu trennen, bedient man sich eines starken eisernen Dornes. Wenn diese Arbeit sorgfältig gemacht wird, so erhält das Tau wieder eine regelmäßige Rundung, und hierdurch überzeugt man sich, daß alle Theile desselben gleichmäfsig tragen. Ein starker Faden wird alsdann möglichst fest umgewunden und zwar über die ganze Strecke, worin das Ende versteckt ist.

An den von der Scheibe herabhängenden Theil des Rammtaus werden die Zugleinen angesteckt, deren Anzahl eben so groß ist, wie die der Arbeiter. Sie dürfen nur etwa ein Viertel Zoll stark sein, es kommt aber sehr darauf an, daß sie die nöthige Länge haben und recht hoch am Rammtau befestigt sind. Die Arbeiter stellen sich nämlich rings um das Rammtau, und wenn ihrer sehr viele sind, so stehn die äußern wohl 10 Fuß von der verlängerten Richtung desselben entfernt. Sind nun die Zugleinen nicht bedeutend länger, als dieser horizontale Abstand, so ist der Zug sehr schräge, und die Arbeiter können in diesem Falle nur eine geringe Kraft entwickeln, außerdem aber überträgt sich auf das Rammtau nur derjenige Theil von dieser Kraft, der vertical abwärts gerichtet ist, und der horizontale Theil derselben wird durch den entgegengesetzten Zug aufgehoben, den die auf der andern Seite stehenden Arbeiter ausüben. Es ergibt sich hieraus der Vortheil, den die Anwendung zweier großen Scheiben (Fig. 181) gewährt, und es muß bemerkt werden, daß man auch andre Mittel angewendet hat, um für die ganze Mannschaft einen mehr senkrechten Zug möglich zu machen. Hierher gehört namentlich, daß man einen großen eisernen Reif von etwa 10 Fuß Durchmesser durch drei oder vier starke Leinen an das Rammtau horizontal aufhängt und an diesen die Zugleinen befestigt *), auch wählt man statt dessen zuweilen einen Baum oder eine Bohle, wie in Holland oft geschieht, wodurch gleichfalls die Zugleinen etwas weiter auseinandergebracht werden, aber sehr nachtheilig ist in beiden Fällen das Gegengewicht, wodurch der Schlag des Rammklotzes geschwächt wird, es pflegen dabei auch unangenehme Schwankungen einzutreten, welche

*) Perronet description des ponts. p. 589.

ein scharfes und kräftiges Anziehn verhindern. Das vortheilhafteste und einfachste Mittel zur Vermeidung des schrägen Zuges bleibt so-nach immer die Anwendung langer Zugleinen.

Die Knebel oder die Handhaben, woran die Arbeiter ziehn, müssen immer in passender Höhe sich befinden. Wenn dieses aber auch in einer gewissen Zeit der Fall ist, so ändert es sich bald, denn wie der Pfahl weiter eingeschlagen wird, so hebt sich der Knebel, und der Arbeiter ist alsdann nicht mehr im Stande, den kräftigen Zug daran auszuüben. Hiernach muß in kurzen Zwischenzeiten immer ein Verstellen vorgenommen werden, und dieses kann auf zwei verschiedene Arten geschehn, nämlich entweder sind die sämtlichen Zugleinen an ein besonderes kreisförmig gewundenes Tau, das sogenannte Kranztau, gebunden, und dieses steckt man, sobald es nöthig ist, mittelst eines hölzernen Pflöckes höher an das Rammtau fest. Fig. 183 zeigt die gewöhnliche Befestigungsart des Kranztaues, und man bemerkt leicht, wie durch die Entfernung des Pflöckes sogleich die durch das Kranztau hindurchgezogene Windung des Rammtaues frei wird und die Verbindung sich löst. Andererseits läßt man aber auch das Kranztau ganz fort, indem man die Zugleinen unmittelbar an das Rammtau bindet. Alsdann kann jeder Arbeiter den Knebel in der passenden Höhe befestigen und so oft es nöthig ist, verstellen. In diesem Falle wird das Ende der Zugleine um den Knebel gewunden, und indem man die letzte Windung verkehrt aufsteckt, so bildet sich die Befestigungsart, welche Fig. 184 zeigt. Der Arbeiter kann dabei den Knebel mit aller Kraft herabziehn, ohne die Leine zu lösen, sobald er aber den Knebel in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung zurückdreht, so verlängert sich sogleich die Zugleine.

Die letzte Methode hat zwar den Nachtheil, daß man lange Zugleinen braucht und daß dieselben dennoch, sobald ein neuer Pfahl gesetzt wird, ziemlich tief am Rammtau hängen, wodurch der Zug wieder sehr schräge wird. Dieser Umstand ist aber insofern von keiner Bedeutung, als der so eben gesetzte und daher noch lose Pfahl nur schwacher Schläge bedarf, um schnell einzudringen. Die Arbeiter pflegen in dieser Zeit auch gar nicht die Knebel zu benutzen, ziehn vielmehr die Zugleinen und das Rammtau nur mit den Händen herab und lassen auf solche Art den Klotz kaum einen Fuß weit fallen, es ist sogar nothwendig, daß Anfangs keine starke

Schläge erfolgen, weil dabei der Pfahl leicht eine schiefe Richtung annimmt. Viel bedenklicher ist die Anwendung des Kranztaues, insofern dasselbe leicht etwas zu hoch oder zu niedrig befestigt wird. Auch leidet dabei das Rammtau durch die scharfe Windung, die es beim Feststecken annehmen muß, und die jedesmal, nachdem das Kranztau verstellt wurde, immer von Neuem festgezogen wird. Endlich aber verlangen die Arbeiter, jenachdem sie näher am Rammtau stehn und von verschiedener Größe sind, auch eine verschiedene Höhe des Knebel. Aus dem letzten Grunde muß man selbst in dem Falle, wenn das Kranztau angewendet wird, dennoch die beschriebene Befestigungsart der Knebel beibehalten, damit jeder diesen nach Belieben passend einstellen kann. Dagegen hat die unmittelbare Befestigung der Zugleinen an das Rammtau keine Unbequemlichkeit, und selbst in dem Falle nicht, wenn die Pfähle bis 30 Fufs tief eingeschlagen werden. Man erspart dabei aber noch an der Länge des Rammtaues, denn dasselbe darf, wenn der Klotz an seiner tiefsten Stelle steht, nur etwa 3 Fufs über die Rammscheibe reichen, und in diesem Falle ist ein Umkehren des Taues, wie oben erwähnt worden, sehr wohl möglich.

Was die Ausführung der Rammarbeiten betrifft, so werden die Arbeiter rings um das Rammtau gestellt, so daß sie sämtlich mit dem Gesichte demselben zugekehrt sind, sie dürfen dabei jedoch nicht zu dicht neben- und hintereinander stehn, und man muß auf jeden einen Flächenraum von 5 bis 6 Quadratfufs rechnen. Eine zu große Verbreitung ist andererseits aber auch nachtheilig, indem alsdann die Zugleinen gar zu schräge gerichtet werden. Für den Knebel, der in einem cylindrisch zugeschnittenen Holze von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser besteht, genügt eine Länge von 12 Zoll, wenn nur das Ende der Zugleine daran gebunden wird, er muß aber mindestens 15 Zoll lang sein, wenn noch 20 bis 25 Fufs Zugleinen darum geschlungen werden sollen. Die Windungen müssen auch in diesem Falle nur in der Mitte bleiben, und nie darf der Arbeiter während des Rammens darüber fassen, weil er sonst zu un bequem den Knebel halten würde. Die passendste Höhe für den Knebel ist diese, daß derselbe, sobald der Klotz auf dem Pfahle aufsteht, vor den Augen des Arbeiters schwebt, wenigstens ist dieses nothwendig, wenn man den einzelnen Arbeiter mit mehr als 30 Pfund belastet. Trifft auf jeden ein geringeres Gewicht, so ist es vortheilhaft, den

Knebel noch einige Zolle über dem Kopfe hängen zu lassen, wodurch die Höhe des Zuges vergrößert wird. Der Arbeiter faßt mit beiden Händen von oben über den Knebel und drückt denselben abwärts. Dieses geschieht im Anfange jedes Zuges mit einer mässi- gen Geschwindigkeit, indem theils die Masse in Bewegung gesetzt werden muß und theils auch die Kraftäufserung noch ziemlich un- bequem ist. Je weiter indessen der Knebel herabsinkt, um so vor- theilhafter läßt sich der Druck dagegen ausüben. Zuletzt wird der Knebel mit steifen Armen nicht mehr gedrückt, sondern heftig ge- stoßen, so daß der Klotz vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit noch merklich höher heraufspringt und dadurch der Effect des Schla- ges sich ansehnlich vermehrt. Die ganze Höhe des Zuges oder die Tiefe, zu der der Knebel herabgedrückt wird, beträgt meist nur $3\frac{1}{2}$ Fufs, gewöhnlich hebt sich der Klotz aber 4 Fufs hoch, er ge- winnt also einen halben Fufs Hubhöhe durch den Stofs, den er am Ende des Zuges erhalten hat. Man kann bei der gewöhnlichen Be- mannung der Rammen in einzelnen Hitzen auch leicht die Hubhöhe bis auf 5 Fufs vermehren, und wenn die Arbeit auf Accord ausge- führt wird, so steigt der Rammklotz selbst 6 und 7 Fufs. Büsch erzählt, er habe gesehen, daß bei Gelegenheit einer Wette ein 1800 Pfund schwerer Rammklotz durch 40 Menschen einmal 10 Fufs hoch geschleudert wurde. Man darf indessen dieses keineswegs als Norm ansehen und solche Leistung nicht dauernd verlangen, man muß sich vielmehr bei Anstellung gewöhnlicher Tagelöhner schon damit be- gnügen, wenn durchschnittlich während der ganzen Arbeitszeit die Hubhöhe 4 Fufs beträgt.

Bei uns rechnet man gewöhnlich auf jeden Mann ein Ge- wicht von 30 Pfund, wenn also der Rammklotz 6 Centner wiegt, so werden 20 Mann angestellt. Man weicht indessen häufig von diesem Satze bedeutend ab. Bei den Rammarbeiten, die ich in den franzö- sischen Seehäfen ausführen sah, belastete man jeden einzelnen Ar- beiter mit mehr als 40 Pfund, doch rechtfertigte sich dieses dadurch, daß man nur während des niedrigen Wassers, also täglich zwischen 3 und 6 Stunden arbeiten konnte, und bald nach dem Beginne der Fluth die Baustelle verlassen werden mußte. Bei den Arbeiten an der Brücke zu Orleans hatte Perronet für die Ramme von 600 Pfund 16 Mann angestellt, es traf also auf jeden ein Gewicht von $37\frac{1}{2}$ Pfund. In England rechnet man wieder auf 100 Pfund 3 Mann, was mit

der ersten Angabe übereinstimmt. Sehr häufig geschieht es aber, daß man den einzelnen Arbeiter viel weniger belastet. Perronet sagt in der Abhandlung über die Grundpfähle *), daß man bei Rammklötzen

von	600 Pfund	24 Arbeiter	
-	700	- 28	-
-	1200	- 48	-

anstellen müsse, es trifft also auf jeden nur ein Gewicht von 25 Pfund. Auch de Cessart stellte bei der Brücke zu Saumur bei einer Ramme, deren Klotz 1200 Pfund wog, 47 bis 50 Mann an. In Holland rechnet man gleichfalls auf den Mann nur 25 Pfund. Bei den sehr ausgedehnten Arbeiten am Ems-Canale, welche der Ober-Baurath Dammert mit großer Sorgfalt leitete, wurden die größten Rammen, deren Klotz 2000 Pfund wog, mit 70 Mann besetzt, der einzelne Arbeiter zog also $28\frac{1}{2}$ Pfund.

Eine mäßige Belastung empfiehlt sich im Allgemeinen, insofern bei solcher mit größerer Energie und mit weniger Unterbrechungen gearbeitet wird. Für die Rammen gilt dasselbe, wie für andre Maschinen. Der Effect setzt sich zusammen aus dem Producte des Zuges oder der Spannung in die Geschwindigkeit, womit derselbe ausgeübt wird, jemehr man den erstern vergrößert, um so geringer wird die letzte, und das Maximum des Effectes erreicht man gewöhnlich, wenn der Zug bedeutend unter seinem Maximum ist. Bei den Rammarbeiten kann es freilich unter Umständen vortheilhaft werden, die Anzahl der Arbeiter zu vermindern und sonach jeden einzelnen stärker zu belasten. Dieses ist namentlich der Fall, wenn eine große Mannschaft angestellt wird, die nur bei dem eigentlichen Rammen ihre volle Beschäftigung findet und während der vielfachen Nebenarbeiten beim Verfahren der Ramme und beim Setzen der Pfähle großentheils unthätig bleibt.

Die Rammarbeit ist so anstrengend, daß sie durch vielfache Pausen unterbrochen werden muß. Es erfolgen gewöhnlich 20 bis 25 Schläge unmittelbar nacheinander, man nennt dieses eine Hitze, und alsdann tritt eine Pause von 2 bis 3 Minuten ein. Ein kräftiger und zuverlässiger Arbeiter, der bei der übrigen Mannschaft in Achtung steht, leitet durch seinen Zuruf diese Arbeit. Er führt gewöhnlich nicht eine Zugleine, sondern hält das Haupttau und steht sonach in der Mitte der Arbeiter. Da das hintere Ende des

*) *Description des ponts.* pag. 588.

Rammtaues Schwanztau genannt wird, so heist er der Schwanzmeister.

Wenn auf alle drei Minuten eine Hitze trifft, so werden in der Stunde 20 und während der 10 Arbeitsstunden 200 Hitzen ausgeführt. Dieses kann man aber nicht leicht erreichen und man bringt es sogar selten über 150. De Cessart erzählt, dafs er nur mit recht starken Arbeitern, die überdies für jede Hitze besonders bezahlt wurden, es bis zu 170 Hitzen am Tage bringen konnte. Es ergibt sich hieraus, dafs die Tagesthätigkeit eines bei der Ramme angestellten Arbeiters, oder dafs die Anzahl der Pfunde, womit er belastet ist, multiplicirt in die ganze Höhe, zu welcher er sie erhebt, nur ungefähr 300000 beträgt. Coulomb *) führt an, dafs bei einer Münze in Paris, wo die Anzahl der wirklich gemachten Schläge gezählt wurde, bei der Ramme die Tagesthätigkeit eines Arbeiters durchschnittlich nur auf 270000 betrug. Da nun aber die Tagesthätigkeit beim Drehn einer Kurbel 790000 und beim Steigen sogar 1400000 ist, so ergibt es sich, dafs die Arbeiter bei der gewöhnlichen Ramme sehr unvortheilhaft angestellt werden und der Effect viel gröfser ausfallen würde, wenn man statt des ermüdenden stofsweisen Anziehens eine gleichmäfsige Kraftentwicklung zur Bewegung der Ramme anwenden könnte.

Ein andrer Uebelstand, der wieder die Wirksamkeit der Zugramme schwächt, beruht darauf, dafs so viele Arbeiter zugleich angestellt sind und es unmöglich ist, die Leistung des Einzelnen sicher zu controlliren. Man mufs bei allen Verrichtungen, die nicht auf Accord ausgeführt werden, die Arbeiter möglichst zu trennen suchen, damit man den Fleifs jedes Einzelnen zu beurtheilen im Stande ist. Bei der Ramme ist dieses nicht möglich, man darf aber auch nicht mit den Arbeitern in der Art accordiren, dafs sie für jeden Pfahl bezahlt werden, weil sich nicht vorher sehn läfst, welche Hindernisse vielleicht zufällig eintreten. Ein Accord ist nur möglich, wenn man bei zuverlässiger Aufsicht die einzelnen Hitzen vergütet und zugleich darauf achtet, dafs diese die gehörige Anzahl von Schlägen umfassen, und der Klotz dabei jedesmal hinreichend hoch gehoben wird. Gemeinhin begnügt man sich damit, einen tüchtigen Schwanzmeister anzustellen, der guten Willen hat und

*) *Théorie des Machines simples, nouvelle édition.* Paris 1821. p. 283.

dem die Leute zu folgen geneigt sind, wenn aber mehrere zuverlässige Arbeiter in der Mannschaft sich befinden, so beurtheilen sie ihre Cameraden sehr richtig und leiden es nicht, daß einzelne darunter sich zu wenig anstrengen. Die schlechtesten Arbeiter erkennt man auch daran, daß ihre Zugleinen beim Niederfallen des Klotzes steif bleiben, sie lassen sich nämlich, wenn sie sich mit den andern auch zugleich gebückt haben, durch den Klotz wieder heraufziehen und schwächen dadurch die Kraft des Schläges.

Beim Bau der Brücken über die Havel und Elbe in der Potsdam-Magdeburger und Magdeburg-Wittenberger Eisenbahn wurden durch eine sehr zweckmäßige Anordnung in den Rammarbeiten besonders günstige Resultate erreicht. Diese stellten sich indessen erst heraus, nachdem die Mannschaften sich aus besonders kräftigen Leuten zusammengefunden und längere Uebung erworben hatten. Die Arbeiten wurden in Accord ausgeführt und zwar in der Art, daß ein gewisser Tagelohn jedem Einzelnen als Minimum zugesichert war, und hierin die Bezahlung für 150 Hitzen bestand, daß jedoch die folgenden Hitzen besonders bezahlt wurden. Der Klotz wog 18 Centner und wurde durch 60 Mann in Bewegung gesetzt. Jede Hitze zählte 40 Schläge, von denen jeder $4\frac{1}{2}$ bis 5 Fuß hoch war. Gemeinhin wurden mehrere Hitzen, und oft 4 bis 5 derselben ohne Pause geschlagen, in seltenen Fällen sogar 8 bis 9, oder 320 bis 360 Schläge unmittelbar auf einander folgend. Die Anzahl der Hitzen stieg an einem Tage, wenn die Ramme nicht oft verstellt werden durfte, auf 270 und im Maximum auf 280 Hitzen. In diesem Falle verdiente jeder Arbeiter das Doppelte des ihm zugesicherten Tagelohnes.

Die Schläge waren indessen zuweilen viel stärker, besonders wenn ein Pfahl schon beinahe den festen Stand erreicht hatte. Der Klotz wurde nämlich so hoch geschneilt, daß die Arbeiter nicht nur mit den an die Zugleinen befestigten Knebeln gegen den Bohlenboden stießen, sondern ehe der Klotz herabfiel, schlugen sie noch zweimal auf den Boden, so daß man bei diesem Rammen zwischen den starken Schlägen des Klotzes das laute Trommeln mit den Knebeln vernahm. In diesen sogenannten Trommelhitzen betrug die Fallhöhe des Klotzes $6\frac{1}{2}$ bis 7 Fuß, und 40 Schläge derselben wurden als anderthalbfache gewöhnliche Hitze oder eben so, wie 60 andre Schläge vergütet.

Indem beim jedesmaligen Setzen eines Pfahles die Ramme ver­ stellt, der Pfahl gehoben, herabgelassen und anfangs nur mit schwachen Schlägen eingetrieben wird, damit er sicher die beabsichtigte Stellung einnimmt und behält, und für diese verschiedenen Operationen eine mäßige Anzahl von Arbeitern genügt, wobei also eine starke Bemannung der Ramme nicht gehörig beschäftigt werden kann, so ist es vortheilhaft hierzu eine besondere Ramme zu benutzen, die der andern vorangeht. Für diese genügt ein Klotz von 3 bis 4 Centnern und eine Bemannung von 16 bis 20 Leuten, während die Hauptramme mit dem schweren Klotze die bereits festgestellten Pfähle weiter herabtreibt, und abgesehn von der kurzen Unterbrechung beim Verfahren dauernd in Thätigkeit bleibt. Indem diese letzte Ramme aber nicht mehr zum Setzen der Pfähle benutzt wird, so bedarf sie auch keiner großen Höhe. Bei den vielfachen in jedem Jahre wiederholten Rammarbeiten im Pillauer Hafen führte ich diese Anordnung ein und dieselbe zeigte sich sehr vortheilhaft.

Bei Beschreibung der Rammgerüste ist schon von den Vorrichtungen zum Setzen der Pfähle die Rede gewesen. Gemeinhin dienen zu diesem Zwecke Winden, wodurch man zwar den Pfahl sicher, aber nur langsam heben kann. Häufig fehlt indessen die Winde, und es befindet sich am Kopfe der Ramme ein Haken, woran man einen Flaschenzug hängen kann. Letzterer gehört auf jeder größeren Baustelle zu den nothwendigsten Inventar­ stücken und es wird daher eine nähere Beschreibung der Construction und Erfordernisse desselben nicht überflüssig sein.

Der Flaschenzug oder das Takel besteht aus zwei Blöcken, deren jeder eine oder mehrere Scheiben oder Rollen enthält. Wenn mehrere Scheiben in dem Blocke befindlich sind, so stehn sie nebeneinander, so daß sie sich um eine gemeinschaftliche Achse drehn. Nur sehr selten sieht man noch die in den Lehrbüchern der Mechanik dargestellte Anordnung, wobei die eine Scheibe unter der andern angebracht ist: solche Blöcke heißen Violinblöcke. Diese Einrichtung ist aber un­ zweckmäßig, weil die auf der innern Seite des Flaschenzuges befindliche Scheibe sehr klein sein muß, damit die darüber gezogene Leine nicht gegen diejenige streift, welche über die äußere Scheibe läuft. Ein solches Streifen von einer Leine gegen eine andere muß man aber immer vermeiden, weil dadurch nicht nur Reibung entsteht, sondern auch starke Ab-

nutzung. Demnächst ist diese Anordnung aber auch kostbarer als jene, wo die Scheiben neben einander liegen, und hierzu kommt noch, daß die ganze Hubhöhe bei gleicher Befestigung der Blöcke und bei gleicher Länge der eingeschornen Leine geringer wird, weil die Blöcke länger sind.

Fig. 185 *a* und *b* auf Taf. XIV stellt einen gewöhnlichen dreischiebigen Block in der Ansicht von vorn und von der Seite dar, und Fig. 185 *c* zeigt denselben, nachdem er mit der Stroppe (einer Schlinge aus starkem Tau) und der Kausche versehen worden.

Die Scheiben werden aus dem sehr festen und harzigen Gajak- oder Pockholze gedreht und eben daraus besteht auch der Nagel oder die Achse, auf der die Scheiben laufen. Dieses Holz verursacht wegen des starken Gehaltes an Harz nur wenig Reibung und nutzt sich daher auch nur langsam ab. Aus demselben Grunde zieht es auch die Feuchtigkeit nicht an, selbst wenn nasses Tauwerk darüber gespannt wird, und es quillt weder, noch wirft es sich. Der abgedrehte Nagel steckt nicht sehr fest in der Fassung, und kann mit Leichtigkeit herausgeschlagen werden, er darf aber nicht so lose sein, daß er sich mit der Scheibe umdreht. Die Schmiere, die man hier von Zeit zu Zeit anbringt, und namentlich sobald der schrillende Ton beim Gebrauche des Takels sich hören läßt, besteht in reinem Talg. Man streicht dasselbe nicht nur in das Loch der Scheibe, sondern man reibt damit auch ihre beiden Seitenflächen ein, weil letztere sich gegen die Fassung lehnen. Beim Ankaufe eines Blockes muß man besonders darauf achten, daß die Schlitz für die Scheiben unter sich parallel ausgeschnitten sind und das Bohrloch für den Nagel in beiden Richtungen auf jenen Schlitz senkrecht steht, ferner müssen die Scheiben sich nicht gegen die Fassung klemmen, doch dürfen sie auch nicht zu viel Spielraum haben, und die Rinne, worin die Stroppe zu liegen kommt, die aber in der Nähe des Nagels immer verschwindet, muß keine scharfen Ecken haben, damit das Tau in sanfter Biegung herumgeführt werden kann. Hat der Nagel sich beim Gebrauche etwas ausgelaufen, so kann man ihn noch umdrehn, da er nur auf einer Seite angegriffen wird, sobald er aber merklich eingeschnitten ist, so muß man ihn durch einen andern ersetzen. Die Fassung besteht gewöhnlich aus Eschenholz, das sich hierzu theils durch seine Härte, besonders aber durch seine Zähigkeit empfiehlt,

indem es auch bei einem starken Stofse oder Schläge nicht leicht ausspringt oder splittert.

Will man einen Block gebrauchen, so muß er mit der Stroppe versehen werden, dieselbe umfaßt aber zugleich die Kausche (die ringförmig gebogene Rinne aus starkem Eisenblech), worin der Haken befestigt wird. Das Umlegen der Stroppe geschieht auf folgende Art: man zieht das Tau über die Kausche und den Block und schneidet es so ab, daß es etwa auf einen Fuß Länge doppelt ist. Nachdem der Block wieder entfernt ist, löst man die Stränge der beiden Enden auf und verknüpft und versteckt sie sorgfältig in einander, so daß sich hier wieder ein möglichst gleichmäßiges Tau bildet. Man darf hierbei aber keineswegs ganz willkürlich die Stränge verstecken, sondern man muß der Windung des Taus folgen und überhaupt sich bemühen, alle Stränge so zu legen, als ob sie vom Seiler zusammengesponnen wären. Durch starkes Schlagen mit einem hölzernen Hammer reguliren sich noch die Windungen und man bindet alsdann recht fest einen starken dünnen Faden um den zusammengesteckten Theil und verknüpft die Enden des Fadens, damit sie nicht lose werden. Nunmehr zieht man den Block wieder ein, und nachdem man ihn gehörig gerichtet hat, windet man eine starke dünne Leine wieder zwischen der Kausche und dem Blocke um die Stroppe, wodurch die gehörige Spannung und die sichere Lage der letztern erreicht wird. Hierbei kommt es besonders darauf an, daß, wenn der Block am Haken hängt, die Scheiben eine senkrechte Stellung annehmen, und man muß auch während des Gebrauches des Flaschenzuges hierauf immer aufmerksam bleiben, indem leicht ein Verschieben erfolgt und dadurch nicht nur starke Reibung entsteht, sondern auch der Block und die eingeschorne Leine sich abnutzen. Durch die Stroppe wird von beiden Seiten der Nagel bedeckt, so daß er nicht herausfallen kann, doch pflegt die Stroppe bald so lose zu werden, daß man sie etwas seitwärts schieben und den Nagel herausziehen kann, wenn das Schmieren nöthig wird. An einen von beiden Blöcken des Flaschenzuges muß noch die einzuscherende Leine befestigt werden, und dieses geschieht entweder, indem man sie unmittelbar durch die Stroppe hindurchzieht und anknüpft, oder noch besser ist es, eine zweite Kausche auf der andern Seite des Blockes an die Stroppe auf die-

selbe Art, wie die erste, zu befestigen, worin alsdann das Ende der Leine jedesmal eingehakt werden kann.

An diesen Blöcken kommt aufer der Kausche kein Eisen vor, doch findet dieses nicht immer statt und häufig werden sie auch mit Eisen beschlagen. Es leidet keinen Zweifel, dafs sie im letzten Falle dauerhafter sind, doch vergrößert sich alsdann auch ihr Preis, und das Aufbringen des Beschlages mufs mit grofser Sorgfalt geschehn, wenn dadurch nicht die Reibung vermehrt werden soll. Es gehört überhaupt das Beschlagen eines Blockes zu den schwierigeren Schmiedearbeiten, und wenn man nicht die nöthige Sorgfalt und Geschicklichkeit dabei voraussetzen kann, so thut man besser, den Block so zu benutzen, wie er aus der Hand des Blockmachers kommt, wobei die Scheiben und Nägel immer gehörig abgedreht zu sein pflegen. Ein beschlagener Block erhält eine eiserne Achse und deshalb mufs die Scheibe mit metallnen Buchsen versehen sein. Die letzten werden gegenwärtig sehr häufig aus Gufseisen dargestellt und sind alsdann viel billiger, als wenn sie geschmiedet werden. Sie erhalten, wie Fig. 186 zeigt, drei Lappen, worin die Bohrlöcher nach aufsen erweitert sind, damit man Nägel mit versenkten Köpfen einsetzen und dieselben auf der andern Seite der Scheibe, wo gleichfalls eine Buchse eingelassen ist, vernieten kann, so dafs die Flächen auf beiden Seiten ganz eben bleiben und nirgend das Eisen vortritt, wodurch die Fassung des Blockes leiden und die Scheiben den guten Schlufs verlieren würden. Das Einlassen der Buchsen in die Scheibe mufs mit grofser Sorgfalt geschehn, damit die Löcher an beiden Seiten sich einander genau gegenüberstehn und in die Achse der Scheibe treffen, der Bolzen, um den die Scheiben sich drehn, mufs aber abgedreht sein. Er ist auf der einen Seite mit einem Kopfe und auf der andern mit einem Schraubengewinde versehen, auf welches eine Mutter paft, die ihn fest hält. Damit er sich aber nicht etwa mit der Scheibe zugleich umdrehn kann, wodurch die Mutter gelöst würde, so ist er neben dem Kopfe viereckig ausgeschmiedet und dieselbe Form hat auch die Oeffnung in dem Beschlage der Fassung. Den eisernen Ring, der die Fassung des Blockes umgiebt, zeigt Fig. 187, und zwar mit einem Haken, der sich drehen läfst, häufig giebt man ihm aber sowohl oben wie unten eine solche Oese, wie die Figur am untern Ende zeigt und worin ein Haken oder

Ring eingeschmiedet werden kann. Die Schwierigkeit besteht hierbei hauptsächlich darin, daß sowohl der obere Haken, als die untere Oese genau in die Längsachse des Blockes fallen müssen, oder wenn der Block am Haken oder der Oese aufgehängt wird, müssen die Scheiben sich in senkrechter Lage befinden. Außerdem müssen auch die Achsenlöcher im Beschlage genau den Löchern im Blocke entsprechen, und endlich muß der Beschlag sich fest um den Block umlegen, ohne daß dieser durch das glühende Eisen gelitten hat und wohl gar theilweise verkohlt ist. Der Bügel, der den Beschlag bilden soll, muß sonach unter wiederholtem Aufpassen ausgeschmiedet werden, und damit dieses geschehn kann, so ist er anfangs noch nicht mit der engen Oese versehen, sondern nach einer weiteren Krümmung abgerundet. Nachdem er zuletzt noch heiß aufgelegt ist, wird erst die untere Oese durch starke Hammerschläge gebildet, indem man die Ecken zwischen derselben und dem Blocke einbiegt und dadurch den Beschlag in scharfe Spannung versetzt.

Wenn ein Pfahl gesetzt werden soll, so wird entweder das vordere Ende des Windetaues, das vom Krahnbalken herabhängt, oder wenn der Flaschenzug benutzt wird, ein am untern Blocke angestecktes Tau an den Pfahl befestigt. Dieses geschieht am leichtesten in der Fig. 188 dargestellten Art. Die untere Schlinge, die nur durch Umlegung des Taus gebildet wird, ist allein schon hinreichend, die meisten Pfähle zu halten, wenn man nur, sobald sie zu tragen anfängt und ehe der Pfahl die horizontale Lage verläßt, sie recht fest anzieht, was durch Herabstoßen der Schleife leicht zu bewirken ist. Wenn dagegen der Pfahl glatt ist, und ein Abgleiten zu besorgen wäre, so bringt man noch den einfachen Schlag an, der im obern Theile derselben Figur dargestellt ist, in manchen Fällen muß der Sicherheit wegen noch ein zweiter ähnlicher Schlag weiter aufwärts gemacht werden.

Die Leine, welche in den Flaschenzug eingeschoren ist, können nur zwei und höchstens drei Arbeiter unmittelbar herabziehen, und selbst diese müssen Uebung haben, wenn sie gleichmässig und kräftig wirken und sich gegenseitig nicht hindern sollen. Um die übrigen Ramm-Arbeiter auch zu beschäftigen, und dadurch das Heben des Pfahles zu beschleunigen, so befestigt man an die Schwelle der Ramme noch einen einscheibigen Block, der wegen der Stelle, wo er befestigt ist, der Fußblock genannt wird, zieht durch ihn jene

Leine und läßt an deren hinteres Ende, welches horizontal gerichtet ist, die ganze übrige Mannschaft anfassen. Auf solche Art wird die disponible Kraft zu diesem Zwecke gehörig benutzt, und wenn der Pfahl leicht, oder die Mannschaft stark ist, so hebt letztere nicht mehr stofsweise, sondern in vollem Zuge den Pfahl und alsdann erfolgt das Setzen besonders schnell.

Man bringt den Pfahl so weit, dass er frei vor der Läufer ruthe schwebt, der Rammklotz muß aber schon früher so hoch gehoben sein, daß er das gehörige Setzen des Pfahles nicht hindert, und er wird in dieser Stellung durch einen Vorsteckbolzen gehalten, den man in eins der dazu angebrachten Löcher in die Läufer ruthe steckt. Der Pfahl wird, während er noch schwebt, in diejenige Richtung gebracht, in welcher er eingerammt werden soll, und wenn er vielleicht etwas gekrümmt, oder ein anderer Grund vorhanden ist, ihn in einer gewissen Lage einzurammen, so muß man ihm diese geben, und ihn sogleich durch ein umgeschlungenes Tau gegen die Läufer ruthe befestigen. Gewöhnlich wird die Winde oder die Leine im Flaschenzuge plötzlich gelöst, damit der Pfahl mit Heftigkeit in den Grund eindringt. Dieses Verfahren ist aber nicht passend, indem wenige schwache Schläge mit dem Rammklotze dieselbe Wirkung hervorbringen und beim Herablassen des Pfahles die Rücksicht auf seine gehörige Einstellung besonders wichtig ist. Es ist daher besser, daß man den Pfahl langsam herabläßt, indem man ihn mit Hebeln oder Brechstangen und durch umgeschlungene Leinen leitet, auch wenn seine Spitze schon in den Grund eingedrungen ist, muß man seine Stellung immer aufs Neue prüfen, und wenn man Abweichungen entdeckt, durch Verstellen der Ramme und durch Herüberziehn und Absteifen des Pfahles solche wieder entfernen, was im Anfange der Rammarbeit auch bald gelingt. Späterhin ist diese unausgesetzte Sorgfalt weniger nöthig und es giebt alsdann auch kein Mittel mehr, die Richtung des Pfahles noch bedeutend zu verändern.

Häufig, und besonders bei Grundpfählen muß der Pfahl so tief eingerammt werden, daß man ihn nicht mehr unmittelbar mit dem Rammklotze erreichen kann. Bei der Scherramme tritt dieser Uebelstand nicht ein, indem die Schere sich durch Einsetzen anderer Ruthen beliebig verlängern läßt, so daß der Rammklotz auch unterhalb der Schwelle spielen kann. Eine eigenthümliche Vorrich-

tung, um die Pfähle mittelst gewöhnlicher Rammen sogar bis 20 Fuß unter die Rüstung herabzutreiben, und zwar durch die unmittelbaren Schläge des Rammklotzes, wurde beim Bau der Eisenbahnbrücke bei Wittenberge angewendet. Fig. 215 auf Taf. XVI zeigt dieselbe. Die Ramme war eine Winkelramme, und die einfache Ruthe derselben wurde durch die Arme des Klotzes umfaßt. Sobald der Pfahl so tief eingedrungen war, daß der Klotz den Kopf nicht mehr treffen konnte, so befestigte man eine zweite Ruthe in ihrem obern Theile gegen die erste, und zwar in gleicher Weise, wie der Klotz mit dieser verbunden gewesen war. Ihr unteres Ende hing man dagegen mittelst einer Kette an den bereits ziemlich fest stehenden Pfahl. Der Klotz wurde nunmehr an die zweite Ruthe gelegt und erhielt durch diese seine Führung, indem er eben so wie früher abwechselnd gehoben wurde. Das Rammtau nahm dabei kaum eine etwas schräge Richtung an, wenn man, wie die Figur zeigt, die zweite Ruthe an die äußere Seite des Pfahles befestigte, so daß der Pfahl zwischen beiden Ruthen sich befand.

Gewöhnlich wird der Aufsetzer oder Knecht angewendet, um die Pfähle unter der Schwelle der Ramme noch tiefer herabzutreiben. Fig. 189 zeigt denselben. Er besteht in einem eichenen Klotze, der oben mit zwei oder einem Arme versehen ist, die denen des Rammklotzes gleichkommen. Mit diesen umfaßt er die Läufer- ruthe, oder greift durch selbige hindurch und wird auch dahinter wieder mit einem Riegel gehalten, so daß seine Stellung gegen die Läufer- ruthe gehörig gesichert ist. Am untern Ende ist er mit einem eisernen Dorne versehen von etwa 6 Zoll Länge und dieser greift in ein Bohrloch, das im Pfahlkopfe angebracht ist. Sobald der Aufsetzer gebraucht werden soll, so wird zunächst der Kopf des Pfahles, der gemeinhin schon stumpf geschlagen ist, abgeschnitten und das Loch für den erwähnten Dorn eingebohrt, man muß aber darauf sehn, daß dieses an der passenden Stelle angebracht wird, damit der Aufsetzer in die Richtung der Läufer- ruthe und des Pfahles trifft. Bei Anwendung dieses Aufsetzers bemerkt man jedesmal eine bedeutende Schwächung des Effectes der Ramme, was eine Folge von der Uebertragung des Stosses von dem einen Klotze auf den andern ist, dieser Verlust wird aber noch bedeutender, wenn die Oberflächen des Pfahlkopfes und des Aufsetzers nicht aus festen Holzfasern bestehn, diese sich vielmehr getrennt und umgelegt haben.

Aus den Beobachtungen, die ich mit dem Modelle einer Ramme anstellte, ergab sich, dafs wenn abwechselnd eine gewisse Anzahl von Schlägen den Klotz unmittelbar traf, und eine eben so grofse Anzahl und zwar mit gleicher Hubhöhe des Klotzes auf den Aufsetzer geführt wurde, der Aufsetzer den Effect beinahe um ein Drittel schwächte. Bestand der Aufsetzer aber aus einem Korke, so betrug der Verlust beinahe die Hälfte.

Wenn Pfähle schräge eingerammt werden sollen, so mufs die Ramme so gestellt werden, dafs die Läufer ruthe der Richtung des Pfahles parallel ist. Mittelst der oben beschriebenen Stützenramme (Fig. 167) ist dieses leicht auszuführen. Zuweilen richtet man auch andere Rammen mit fester Verschwellung so ein, dafs durch verschiedene Befestigung der rückwärts angebrachten Stützen, der vorderen Wand eine beliebige Neigung gegeben werden kann. In einzelnen Fällen hat man indessen auch durch senkrechte Schläge die Pfähle schräge und oft stark geneigt eingerammt, indem man den Pfahlkopf jedesmal so abzusteifen sich bemühte, dafs derjenige Theil des Stofses, der normal gegen die Achse des Pfahles gerichtet war, aufgehoben wurde. Dabei ist aber der Verlust an lebendiger Kraft sehr grofs, was sich schon aus den heftigen Erschütterungen und Beschädigungen der Rüstung bemerken läfst. Neben der früheren Schiffbrücke in Bremen sah ich einst auf diese Art einen Pfahl einrammen, der etwa 30 Grade gegen das Loth geneigt war. Wenn derselbe auch wirklich nach und nach etwas tiefer eingetrieben wurde, so geschah dieses doch so unmerklich, dafs es eine überaus kostbare Arbeit zu sein schien, und dieses um so mehr, als die Absteifungen und die ganze Rüstung bei den Erschütterungen wiederholentlich sich lösten, auch einzelne Stücke zerbrachen.

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs man zuweilen auch von Fahrzeugen, und besonders von breiten und platten Prahmen aus die Rammarbeiten ausführt, namentlich wenn im Wasser eine Rüstung oder auch ein Fangedamm erbaut werden soll. Starke Grundpfähle wird man auf diese Art freilich nicht einrammen, weil die Arbeit zu unsicher ist, auch manche Schwierigkeiten dabei eintreten, das gewöhnliche Verfahren ist vielmehr dieses, dafs die eigentliche Rammarbeit erst später, und zwar mit Benutzung der auf diese Art ausgeführten Rüstung vorgenommen wird. Beim Gebrauche der auf Fahrzeuge gestellten Rammen tritt leicht ein starkes Schwanken ein,

indem der Klotz, der immer über das Fahrzeug hinaus hängen muß, beim Herabfallen und beim Aufschlagen auf den Pfahl, das Fahrzeug gar nicht belastet, wohl aber während er aufgezo-gen wird einen starken Druck veranlaßt, der sogar, wenn er schnell gehoben wird, größer als sein Gewicht ist. Auf diese Art wird vor der Läufer-ruthe die Belastung des Fahrzeuges abwechselnd bald größer und bald kleiner, und dadurch entsteht das Schwanken, welches jedesmal sehr merklich ist und oft so stark wird, daß es die Fortsetzung der Arbeit verhindert und man jede Hitze auf wenige Schläge beschränken muß. Man kann diesen Uebelstand wesentlich vermindern, wenn man die Ramme so stellt, daß die vordere Schwelle senkrecht gegen die Längsachse des Prahmes gerichtet ist, doch braucht man in diesem Falle zwei Prahme, und dieselben sind so zu verbinden, daß der einzurammende Pfahl zwischen sie trifft. Häufig erlaubt die Stellung der Pfähle nicht diese Anordnung, alsdann findet sich aber oft Gelegenheit, die Ramme oder den Prahm gegen die bereits fest stehenden Pfähle zu stützen. Man kann auch das Schwanken vermindern, wenn man einen Baum quer über den Prahm legt und unter das hintere Ende desselben einen Nachen bringt, der oft noch beladen wird, um nicht so leicht gehoben zu werden. Dieser Baum wird sowohl an beide Seitenwände des Prahms, als an den Nachen befestigt, und er verhindert die Schwankungen um so vollständiger, in je weiterer Entfernung er den Nachen faßt. Ich habe dieses Mittel vielfach benutzt und dadurch die Schwankungen so vermindert, daß sie nicht mehr störend waren. Dieselbe Anordnung war auch noch sehr vortheilhaft, wenn ein geringer Wellenschlag statt fand, der ähnliche Schwankungen erzeugt haben würde. Wird dagegen die Nasmythsche Dampf-ramme benutzt, wo die Schläge überaus schnell auf einander folgen, so versetzt dieselbe den Prahm, auf dem sie steht, gar nicht in Schwankung, weil die abwechselnden Aenderungen der Belastung in zu kurzen Perioden sich wiederholen, als daß der Prahm schnell genug sich senken und wieder heben könnte.

§. 36.

Die Kunstramme.

Wenn man eine Zugramme in Wirksamkeit sieht, und wahrnimmt, daß die große Anzahl der dabei angestellten Arbeiter den größten Theil der Zeit hindurch müßig stehn, und daß sie dieser Ruhe auch wirklich bedürfen, indem die Anstrengung während der kurzen Dauer einer Hitze von 40 bis 60 Secunden so groß ist, daß eine lange Unterbrechung eintreten muß, so vermißt man darin den geregelten und gemessenen Gang und die zweckmäßige Verwendung der Betriebskraft, wodurch die neueren Maschinen sich so vortheilhaft auszeichnen. Man bemerkt auch, daß die Arbeiter sehr unpassend bei der Zugramme beschäftigt werden, indem die starke Anstrengung, welche so schnell völlige Erschöpfung herbeiführt, unmöglich dem Maximum des Effectes für die ganze Tagesthätigkeit entspricht. Die im vorigen Paragraph angegebenen Erfahrungen zeigen auch, daß dieses sich wirklich so verhält, und daß dieselben Arbeiter weit mehr leisten könnten, wenn sie an Kurbeln angestellt wären. Demnächst ist aber die Vereinigung so vieler Menschen zu gleichem Zwecke auch unvortheilhaft, und man hat auf den Baustellen vielfach Gelegenheit, sich davon zu überzeugen, daß die Leistungen des Einzelnen immer um so geringer werden, mit je mehr Mitarbeitern er zusammenwirken soll: können z. B. zwei Mann ein gewisses Stück Holz noch leicht aufheben, und schnell forttragen, so genügen acht Mann nicht, um ein viermal so schweres Stück zu bewegen. Dieses wiederholt sich in allen Fällen, weil theils die Leistungen weniger gleichmäßig und übereinstimmend sind, theils aber auch Keiner zum Vortheil der Andern sich anstrengen mag. Hiernach begründet sich die Regel, daß man die Arbeiter wo möglich immer so anstellen muß, daß die Leistung jedes Einzelnen sicher controllirt werden kann und ein Zusammenwirken Vieler, wie bei der gewöhnlichen Ramme, soweit es irgend geschehn kann, vermieden werden muß.

Hiernach liegt der Gedanke sehr nahe, durch irgend eine mechanische Vorrichtung den Rammklotz zu heben, und dadurch die

Anzahl der Arbeiter an der Ramme zu beschränken. Man hat auch bereits seit langer Zeit vielfache Vorschläge zu diesem Zwecke gemacht und es fehlt keineswegs an Erfahrungen, welche zeigen, daß man auf diesem Wege zu sehr günstigen Resultaten gelangen kann. In England sind solche Rammen sogar seit mehreren Jahrzehenden ziemlich allgemein eingeführt, nichts desto weniger hat die Zugramme selbst jetzt ihre eifrigen Vertheidiger behalten, und es fehlt auch nicht an Beispielen, daß Versuche, die man mit Kunstrammen anstellte, mißglückt sind. Wenn aber ein Versuch ungünstig ausfällt, so folgt daraus keineswegs, daß die Sache unbedingt verwerflich ist, denn eine unpassende Anordnung oder Mangel an Sorgfalt ist gleichfalls sehr oft die Ursache des Mißglückens. Die Kunstramme erfordert allerdings in der Unterhaltung einzelner Theile eine größere Sorgfalt, als die gewöhnliche Zugramme. Letztere läßt sich noch immer im Gange erhalten, wenn auch die Läufer-*ruthe* stark bestoßen ist und der Klotz von der einen Seite zur andern schwankt, oder wenn das Nagelloch in der Rammscheibe schon einen Spielraum von mehreren Zollen erhalten hat. Auch wenn die Scheibe vielleicht sich gar nicht mehr dreht, so kann eine stärkere Bemannung dennoch die Ramme in Bewegung setzen. Die Arbeit wird alsdann freilich sehr schwierig und kostbar, es tritt aber keine vollständige Unterbrechung ein. Wenn dagegen bei der Kunstramme der Haken sich ausgeschliffen hat, oder der Klotz nicht sicher und scharf von der Läufer-*ruthe* geführt wird, so wird der Klotz gar nicht mehr gefaßt und die Wirkung hört in diesem Falle vollständig auf. Solche Zufälligkeiten lassen sich aber durch dauernde Aufmerksamkeit vermeiden und diese muß von dem Baumeister, der den Bau leitet, selbst ausgehn, da bei uns die Tagelöhner und selbst die Bauhandwerker in der Behandlung von Maschinen keine Uebung haben.

Es ist bisher nur davon die Rede gewesen, daß bei der Kunstramme die Arbeiter zweckmäßiger als bei der Zugramme angestellt werden, ein großer Vorzug der ersteren beruht aber noch darin, daß der Klotz höher gehoben und dadurch der Effect der Ramme verstärkt wird. Dieser Umstand bedarf einer näheren Auseinandersetzung, da die gewöhnlichen Voraussetzungen zu einem andern Resultate führen. Wenn man annehmen dürfte, daß der Widerstand, den der Pfahl der Bewegung entgegensetzt, allein darin

besteht, daß er der umgebenden Erdmasse seine ganze Geschwindigkeit oder einen gewissen aliquoten Theil derselben mittheilt, so würde sich der Schluß rechtfertigen, daß die Fallhöhe des Klotzes der Tiefe proportional ist, zu welcher der Pfahl bei jedem Schlage eindringt, alsdann würde beispielsweise der Effect sich gleichbleiben, wenn der Rammklotz einmal aus der Höhe von 20 Fufs, oder wenn er fünfmal aus der Höhe von 4 Fufs herabfällt. Bei gewissen Erdarten scheint dieses auch wirklich der Fall zu sein, und namentlich haben die vielfachen Beobachtungen, die man über das Einschlagen von Kugeln in Erde und Mauern angestellt hat, ergeben, daß die Tiefe, zu der sie eindringen, dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional ist. Lambert ging in seiner interessanten Untersuchung über das Eindringen der Pfähle *) von diesem Grundsatz aus, und fand denselben durch die Beobachtungen mit trockenem Sande auch bestätigt. Später ist man dieser Annahme gefolgt, ohne ihre Richtigkeit weiter zu prüfen.

Ich liefs das Modell einer Ramme auf einen Pfahl wirken, der in reinem trockenem Sande stand, und es ergab sich, daß derselbe wirklich bei kleinen Fallhöhen des Klotzes verhältnißmäfsig eben so tief wie bei gröfseren eindrang. Es zeigte sich auch bei diesem Versuche eine andere Eigenthümlichkeit, die ihn wesentlich von den Erfahrungen unterscheidet, die man beim Einrammen der Pfähle gemacht hat, nämlich die Tiefe, zu der der Pfahl durch eine bestimmte Anzahl von Schlägen mit gleicher Fallhöhe eingetrieben wurde, war beinahe unabhängig von der Tiefe, die der Pfahl bereits erreicht hatte. Betrug letztere z. B. 3 Zoll und bewirkte eine gewisse Anzahl von Schlägen eine Senkung von 1 Zoll, so drang der Pfahl unter denselben Schlägen noch 11 Linien ein, wenn er schon 12 Zoll tief im Boden steckte. Auch bei Anwendung nassen Sandes war die Wirkung jedes Schlages der Fallhöhe des Klotzes proportional, doch nahm der Widerstand sehr merklich bei grofser Tiefe zu.

Bei den Versuchen mit zähem Ton, der so durchnäfst war, wie er in einiger Tiefe unter der Erdoberfläche gewöhnlich vorkommt, zeigte sich dagegen sehr entschieden der Vortheil der gröfseren Hubhöhe. Die Höhen, zu welchen ich den Klotz erhob, betrug

*) Beiträge zum Gebrauche der Mathematik. Berlin 1772. Bd. III. Seite 456.

2 Zoll und 7 Zoll, ich benutzte auch zwei verschiedene Klötze, um zugleich den Einfluss eines schwereren Rammklotzes zu ermitteln. Der grössere Klotz wog 1,90 und der kleinere 1,08 Loth, sie verhielten sich also sehr nahe wie 7:4. Hiernach war in den folgenden vier Fällen die Betriebskraft oder die der Maschine mitgetheilte lebendige Kraft sich gleich, nämlich

- a) wenn mit dem grösseren Klotze 8 Schläge von 7 Zoll Höhe
- b) wenn mit demselben Klotze 28 Schläge von 2 Zoll Höhe
- c) wenn mit dem kleineren Klotze 14 Schläge von 7 Zoll Höhe und
- d) wenn mit demselben Klotze 49 Schläge von 2 Zoll Höhe

gemacht wurden. Es kam darauf an, zu prüfen, ob die Effecte oder die Tiefen, zu welchen der Pfahl eindrang, dieselben waren. Zu diesem Zwecke befestigte ich an das obere Ende des Pfahles einen eingetheilten Maassstab, an dem sowohl die Hubhöhe, als die Tiefe des Eindringens abgelesen wurde. Indem der Pfahl aber Anfangs leichter eindrang, als später, so durfte diese Differenz nicht auf das Resultat Einfluss behalten, ich entfernte sie dadurch, dass ich in der letzten Hälfte der Beobachtungen die Reihenfolge umkehrte und endlich aus den je vier entsprechenden Beobachtungen das arithmetische Mittel nahm. Die vorstehend gewählte Bezeichnung der verschiedenen Versuche durch *a*, *b*, *c* und *d* ist in der folgenden Zusammenstellung beibehalten.

Beobachtungsart	Abgelesene Höhe	Senkung des Pfahles
1) <i>a</i>	0,24 Zoll	0,24 Zoll
2) <i>b</i>	0,40 -	0,16 -
3) <i>c</i>	0,53 -	0,13 -
4) <i>d</i>	0,62 -	0,09 -
5) <i>a</i>	0,80 -	0,18 -
6) <i>b</i>	0,92 -	0,12 -
7) <i>c</i>	1,05 -	0,13 -
8) <i>d</i>	1,12 -	0,07 -
9) <i>d</i>	1,17 -	0,05 -
10) <i>c</i>	1,26 -	0,09 -
11) <i>b</i>	1,33 -	0,07 -
12) <i>a</i>	1,45 -	0,12 -
13) <i>d</i>	1,50 -	0,05 -

Beobachtungs- art	Abgelesene Höhe	Senkung des Pfahles
14) <i>c</i>	1,58 Zoll	0,08 Zoll
15) <i>b</i>	1,65 -	0,07 -
16) <i>a</i>	1,75 -	0,10 -

Man bemerkt, daß die Beobachtungen Litt. *a* den größten Effect geben und die Beobachtungen Litt. *d* den geringsten. Die mittleren Werthe sind

für <i>a</i>	0,160
- <i>b</i>	0,105
- <i>c</i>	0,108
- <i>d</i>	0,065

Dieselbe Betriebskraft gab also bei dem größeren Klotze und bei der größeren Hubhöhe einen $2\frac{1}{2}$ mal so großen Effect, als wenn der kleinere Klotz zu der kleineren Höhe erhoben wurde, die geringe Differenz zwischen den Werthen für *b* und *c* scheint aber anzudeuten, daß eine Vergrößerung der Hubhöhe vortheilhafter ist, als eine Vermehrung des Gewichtes des Klotzes.

Das erhaltene Resultat schließt sich an manche Erfahrungen an, die man oft genug zu machen Gelegenheit hat. Wenn man z. B. in einem beschränkten Raume, wo man einen Hammer nicht gehörig schwingen kann, einen Nagel einschlagen will, so wird man lange Zeit hindurch klopfen müssen, ehe man den Nagel soweit eintreibt, wie durch einen einzigen kräftigen Schlag geschehn wäre. Den Grund davon kann man zum Theil in der starken Reibung suchen, welche nach der Ruhe eintritt. Der Nagel setzt nämlich dem weiteren Eindringen einen gewissen Widerstand entgegen, aber bevor er überhaupt in Bewegung kommt, muß jene Reibung schon überwunden werden und der Impuls, den er erhält und wodurch er weiter eingetrieben wird, bestimmt sich durch die Differenz zwischen der lebendigen Kraft des Schlages und derjenigen lebendigen Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung nach der Ruhe erforderlich ist. Nun kann es sich treffen, daß die letzte beinahe eben so groß ist, als die erste, und alsdann ist jene Differenz sehr unbedeutend, sie kann sich sogar auf Null reduciren, oder die Wirkung hört ganz auf und alle Schläge werden vergeblich geführt. So bemerkt man beim Rammen, daß ein Pfahl, der schon ziemlich fest

steht, durch die wiederholten Hitzen von niedrigen Schlägen nicht mehr afficirt wird, während einige stärkere Schläge ihn gleich merklich herabtreiben. Aus den angeführten Versuchen ergiebt sich aber, daß die Beschaffenheit des Grundes von wesentlichem Einfluß ist. Sobald dem plötzlichen tieferen Eindringen bedeutende Widerstände entgegentreten, so geben wahrscheinlich die nächsten Erdschichten etwas nach, und folgen dem Klotze, wenn er einen schwachen Schlag erhält, ohne sich von ihm zu lösen, und heben ihn wieder an seine frühere Stelle, wenn die Wirkung des Schlages aufhört. Ein stärkerer Schlag dagegen löst die Verbindung und treibt den Pfahl herab. Diese Erklärung steht in naher Beziehung zu einer andern Erscheinung, die man beim Einrammen von Pfählen in zähem und nassem Thone mehrmals beobachtet hat, daß nämlich bei jedem Schlage der Pfahl zugleich mit seiner nächsten Umgebung sich merklich senkt, aber unmittelbar darauf auch sich wieder erhebt, und daher gar nicht eingerammt werden kann.

Es entsteht die Frage, ob der erwähnte Vortheil der grösseren Hubhöhe sich bei den Kunstrammen wirklich herausstellt, oder ob man ihn nur bei Versuchen im Kleinen bemerken kann. Beim Bau der Brücke zu Neuilly machte schon Perronet die Erfahrung, daß unter gleichen Umständen der Arbeitslohn für das Einschlagen eines Pfahles mit der Zugramme 13 Livres 15 Sous und mit der Kunstramme 5 Livres 1 Sous 7 Deniers kostete. *) Diese Vergleichung ist indessen insofern nicht entscheidend, als die Kunstramme nicht durch Menschen, sondern durch Pferde in Bewegung gesetzt wurde. Dagegen theilt de Cessart das noch günstigere Resultat mit, daß beim Bau der Brücke zu Saumur das Einrammen des Pfahles auf 26 Fufs Tiefe durchschnittlich mit der Zugramme 38 Francs 15½ Sous und mit der Kunstramme, die gleichfalls durch Menschen bewegt wurde, nur 12 Francs 13 Sous, also noch nicht den dritten Theil kostete. **)

Als ich bei den Bohlwerksbauten in Pillau eine Kunstramme eingerichtet hatte, liefs ich die gewöhnliche Zugramme, deren Klotz 10 Centner wog und die mit 36 Mann besetzt war, lange Zeit hindurch auf denjenigen Bohlwerkspfahl wirken, woran mit der Kunst-

*) *Description des ponts etc.* p. 75.

**) *Description des travaux hydrauliques. I.* p. 185.

ramme der erste Versuch gemacht werden sollte. Der Pfahl steckte in dem festen Sandboden so tief, daß er in der einzelnen Hitzte zuletzt gar nicht mehr merklich zog, und die 36 Mann in der Arbeitszeit von zwei Stunden ihn keinen Zoll tiefer herabbringen konnten. Nunmehr liefs ich die Kunstramme darüber stellen, und der erste Schlag des $10\frac{1}{2}$ Centner schweren Klotzes trieb bei der Fallhöhe von 20 Fufs den Pfahl $\frac{1}{2}$ Zoll herab, es hatten also in diesem Falle die vier Mann in Zeit von zwei Minuten an der Kunstramme mehr gewirkt, als 36 Mann an der Zugramme in einer Stunde leisten konnten. Dieses Resultat war so überraschend und augenfällig, daß die Arbeiter ihre Besorgnifs laut aussprachen, sie würden nunmehr die dauernde Beschäftigung an der Ramme verlieren. Später habe ich durch directe Beobachtung den Effect des Schlages, wenn er durch verschiedene Fallhöhen hervorgebracht wird, zu ermitteln versucht. Ich liefs nämlich, nachdem ein Pfahl schon einigermaßen fest stand, den Rammklotz zu verschiedenen Höhen heben und beobachtete das Eindringen des Pfahles. Dieses betrug der Reihenfolge nach

1)	bei 10	Schlägen von	3 Fufs	Höhe . . .	1,7 Zoll
2)	- 6	-	6	- - . . .	3,9 -
3)	- 4	-	9	- - . . .	5,9 -
4)	- 3	-	12	- - . . .	7,9 -
5)	- 10	-	3	- - . . .	1,7 -
6)	- 6	-	6	- - . . .	3,9 -
7)	- 4	-	9	- - . . .	6,0 -
8)	- 3	-	12	- - . . .	8,0 -

Es ergibt sich aus der Uebereinstimmung der vier ersten Beobachtungen mit den vier letzten, daß der Widerstand während des Versuches ziemlich unverändert blieb, und wenn man hiernach die mittleren Werthe für die Effecte der einzelnen Schläge darstellt, so findet man, daß diese nahe den Quadraten der Fallhöhen proportional sind, und es lassen sich die beobachteten Gröfsen ziemlich genau durch die Formel

$$s = 0,018 \cdot h^2$$

darstellen, wo s die Tiefe bezeichnet, zu welcher der Pfahl eindringt und h die Fallhöhe des Klotzes. Man findet hieraus

für $h = 3$	$s = 0,162$	also für 10 Schläge	1,62 Zoll
- $h = 6$	$s = 0,648$	- - 6	- 3,89 -
- $h = 9$	$s = 1,458$	- - 4	- 5,83 -
- $h = 12$	$s = 2,092$	- - 3	- 7,78 -

was mit den Beobachtungen ungefähr übereinstimmt.

In Frankreich stellte Vauvilliers *) einen directen Vergleich zwischen der Leistung der Zugramme und der Kunstramme an. Beide hatten gleich schwere Klötze, nämlich von 641 Pfund, und mit beiden wurden gleiche Pfähle in denselben Boden und gleich tief eingeschlagen. An der Zugramme arbeiteten 22 Tagelöhner und 1 Zimmermann, an der Kunstramme dagegen 4 Tagelöhner und 1 Zimmermann, und bei letzterer wurde der Klotz mittelst der Kurbel durch Rad und Getriebe jedesmal $12\frac{3}{4}$ Fufs hoch gehoben. Die erste Ramme schlug 48 Pfähle in 28 Tagen ein, die letzte eben so viele in 18 Tagen. Die Kunstramme arbeitete also noch schneller, als die Zugramme, und bei ihr betragen die Kosten an Tagelohn und Unterhaltung der Geräthe für jeden Pfahl 3,4 Fr., während bei der Zugramme diese Kosten auf 15,3 Fr. stiegen.

Auch verschiedene Erfahrungen aus neuester Zeit haben dasselbe Resultat ergeben. Bei den sehr ausgedehnten Rammarbeiten der Gebäude für die steuerfreie Niederlage in Harburg wurden sowol Zug- wie Kunstrammen benutzt, und zwar beide nur durch Menschenkraft bewegt. Die schließliche Berechnung ergab, daß die Kosten bei Anwendung der Kunstramme sich zu denjenigen der Zugramme nahe wie 4 zu 7 verhielten. **) Man darf dabei jedoch nicht unbeachtet lassen, daß der Vortheil der Kunstramme nicht früher eintritt, als bis der Pfahl so tief eingedrungen ist, daß man den Rammklotz darüber bis zu einer angemessenen Höhe erheben kann, auch der Pfahl dem weiteren Eindringen einen größeren Widerstand entgegengesetzt. Beim Bau der Brücke über den Cher neben Saint-Amand ergab sich ***) , daß das Setzen und das anfängliche Eintreiben der Pfähle mittelst der Zugramme weniger Kosten verursachte, als mit der Kunstramme, und daß der Vorzug der letztern sich nicht frü-

*) *Traité élémentaire de mécanique industrielle par Flachet.* Paris 1835. pag. 43.

**) Zeitschrift des Hannöverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins. 1860. S. 288.

***) *Annales des ponts et chaussées* 1853. I. pag. 319.

her zeigte, als bis die Pfähle ungefähr 11 Fufs tief in den leichten Boden eingedrungen waren. Es dürfte sich sonach wohl diejenige Anordnung empfehlen, die ich in Pillau getroffen hatte, dafs nämlich mit einer hohen Zugramme, die jedoch nur einen leichten Klotz hatte, die Pfähle gesetzt und so tief herabgeschlagen wurden, bis sie in der gewöhnlichen Hitze nur noch etwa 4 Zoll eindringen, dafs alsdann aber die Kunstramme sie bis zur erforderlichen Tiefe einschlug.

Es ergibt sich hieraus, dafs die Kunstramme vergleichungsweise zur Zugramme in doppelter Beziehung die Leistung der dabei angestellten Arbeiter vermehrt, nämlich einmal gestattet sie eine angemessene Kraftäufserung, wodurch die ganze Tagesthätigkeit des einzelnen Arbeiters sich vergrößert, und sodann bewirkt der höhere Hub des Rammklotzes verhältnismäfsig ein tieferes Eindringen des Pfahles, woher der Effect gegen die Betriebskraft sich gleichfalls günstiger herausstellt. Es ist sonach in ökonomischer Beziehung vortheilhaft, sich der Kunstramme zu bedienen, und wenn die Pfähle sehr fest eingeschlagen werden sollen, so kann man durch sie die Hälfte bis zwei Drittheile des Arbeitslohnes ersparen. Dagegen gewährt die Zugramme den Vortheil, dafs man mehr Arbeiter dabei anstellen kann, und wenn man sonach auf eine gewisse Anzahl von Rammen beschränkt ist, und die möglichste Beschleunigung in diesem Theile der Arbeit erfordert wird, so kann es allerdings zuweilen zweckmäfsig sein, die Kunstrammen zu vermeiden. Nichts desto weniger dürften solche Verhältnisse sich nicht leicht wiederholen und wenigstens bei gröfseren Bauten wohl nie vorkommen.

Bei den Kunstrammen wird der Klotz mittelst einer mechanischen Vorrichtung durch verschiedene Haken gehoben, in einer gewissen Höhe löst sich diese Verbindung, der Klotz stürzt frei herab, und gemeinhin folgt ihm alsdann der Haken, um ihn aufs Neue zu fassen. Wird die Ramme durch Menschenkraft bewegt, so pflegt man, um den ganzen Apparat möglichst einfach darzustellen, die Arbeiter eine Kurbel drehen zu lassen, doch geschieht dieses zuweilen auch in andrer Weise. So waren beim Bau des Aqueducts über den Potamac zwei Kunstrammen im Gange, an jeder wog der Klotz 1300 Pfund und konnte 40 Fufs herabfallen. Die eine, die mittelst einer Kurbel durch 8 Mann bewegt wurde, machte nur alle $7\frac{1}{2}$ Minute einen Schlag und die andere, die durch 6 Mann in Be-

wegung gesetzt wurde, welche auf einem Tretrade gingen, schlug alle $1\frac{1}{4}$ Minute einmal, weshalb man später die erste Ramme auch mit einem Tretrade versah. *) In Frankreich hat man mehrfach auch andere Betriebskräfte und namentlich die Pferdekraft zu diesem Zwecke angewendet. So liefs Perronet schon die Winde, die den Klotz hob, durch ein Pferd in der Art in Bewegung setzen, daß dieses ein Tau von einer Trommel abwickelte und dadurch die letztere drehte. Bei den Bauten im Kriegshafen zu Lorient wurden zwei Kunstrammen durch Pferdegöpel in Bewegung gesetzt, und beim Bau der Brücke zu St. Maxence liefs Perronet die Ramme durch ein Wasserrad treiben. In England sind Kunstrammen schon seit langer Zeit theils durch besondere Dampfmaschinen, theils aber durch Locomobilen in Bewegung gesetzt, gegenwärtig geschieht dieses auch bei uns und anderweitig nicht selten, besonders wenn Rammarbeiten in großer Ausdehnung ausgeführt werden.

Zunächst mag hier die sehr einfache Kunstramme beschrieben werden, die ich nach dem Muster einer in Hull benutzten, in Pillau einrichtete und die ich bis zu meinem Abgange von dort mit sehr günstigem Erfolge bei allen dortigen Bohlwerks-Bauten gebrauchte. Sie hat vor den übrigen, von denen weiterhin die Rede sein wird, den Vorzug, daß sie mit sehr geringen Kosten (etwa 30 Thaler) aus einer gewöhnlichen Zugramme dargestellt war.

Der wichtigste Theil des Apparates ist der Haken, welcher den Klotz hebt und in einer gewissen Höhe ihn wieder fallen läßt. Derselbe ist Fig. 190 *a*, *b* und *c* dargestellt, *a* zeigt ihn von der Seite, dicht über dem Klotze schwebend, in dessen Bügel er bei fernerer Senkung von selbst eingreift, *b* ist die Ansicht von vorn und *c* von oben. In der letzten Figur sind zugleich die Läufer-ruthen im Querschnitte sichtbar. Der Haken muß so ausgeschnitten sein, daß er an der untern Seite eine schräge Fläche bildet, welche beim Aufstossen auf die Oese des Rammklotzes sich zurücklegt und dadurch ein Eingreifen in dieselbe möglich macht. Oben ist dagegen der Haken concav ausgefeilt, doch muß diese Krümmung einem Kreisbogen entsprechen, dessen Mittelpunkt in der Drehungsachse des Hakens liegt, weil er nur in diesem Falle sicher die Oese faßt und sie leicht hinausgleiten läßt, sobald er zurückgezogen wird.

*) *Civil Engineer and Architect's Journal*. I. p. 150.

An den Haken sind zwei Arme angeschmiedet, von denen der kürzere das Gegengewicht trägt, welches den Haken einstellt, der längere dient dazu, ihn zu lösen, sobald der Klotz hoch genug gehoben ist. Der letzte greift durch einen Schlitz in dem unteren Theile des Fallblockes hindurch und sichert dadurch nicht nur dem Haken die feste Stellung, sondern verhindert auch, daß nicht etwa das Gegengewicht ihn zu weit umdreht. Eine Schiene, die sich wieder in der Linie befindet, welche durch den Schwerpunkt des Klotzes parallel zur Läufer Ruthe gezogen ist und daher mit der Richtung des Rammtaues zusammenfällt, trägt den Haken. Oben ist sie mit einer Kausche versehen, woran das Rammtau angesteckt ist. Der hölzerne Klotz am Haken oder der Fallblock (*the follower*) greift zwischen die beiden Läufer Ruthen hindurch und wird rückwärts durch ein Brettstück, welches die Stelle der Riegel an den Armen des gewöhnlichen Rammklotzes versieht, gehalten. Diese Befestigung muß, wie die Figur zeigt, möglichst hoch angebracht werden, indem sie alsdann beim Herabfallen des Blockes die schräge Stellung des letzten verhindert, wobei dieser eine starke Reibung erfahren würde. Beim Aufsteigen wird dagegen der Fallblock durch das überwiegende Gewicht des Rammklotzes in der gehörigen Richtung erhalten, wodurch jedes Klemmen vermieden wird.

Der abwärts gerichtete Theil des Fallblockes, der unten mit einem eisernen Ringe beschlagen ist, muß so lang sein, daß, wenn er auf dem Klotze aufsteht, der Haken bereits in die Oese eingetreten ist, ohne jedoch weder diese noch die Oberfläche des Klotzes zu berühren. Sobald der Fallblock nunmehr aufgewunden wird, so hebt er den Klotz mit sich, bis der längere Arm am Haken herabgedrückt wird, worauf der Rammklotz sich löst und herabstürzt. Das Herabdrücken dieses Armes geschah Anfangs übereinstimmend mit der in Hull vorkommenden Einrichtung durch eine Leine, welche an die Schwelle der Ramme befestigt wurde. In einer gewissen Höhe zog sich diese Leine von selbst steif, drehte den Haken und löste den Klotz. Es trat jedoch hierbei der Uebelstand ein daß die Leine leicht in Unordnung kam, sie legte sich oft zwischen die Arme des Klotzes und die Läufer Ruthe, oder klemmte und verwickelte sich an andern Theilen des Apparates, so daß sie häufig rifs und noch öfter den Klotz löste, bevor er hoch genug gehoben war. Ich brachte daher die Aenderung an, daß ich den

erwähnten Arm am Haken eben so weit als die Arme des Rammklotzes verlängern liefs und etwas unter derjenigen Höhe, welche der Fallblock überhaupt erreichen durfte, einen Bügel anbrachte. An diesen stiefs der Arm und wurde dadurch herabgedrückt. Auf solche Art konnte die Leine nicht nur entbehrt werden, sondern ich erreichte auch noch den Vortheil, dafs das Auslösen des Klotzes immer möglichst spät erfolgte und letzterer dadurch jedesmal von der grössten Höhe herabstürzte, die er nach Maafsgabe des Rammgerüstes überhaupt erreichen konnte.

Die Vorrichtung zum Aufwinden und Herablassen des Fallblockes zeigt Fig. 191 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und von oben. Die Zusammensetzung dieses Theils des Apparates bestimmte sich hauptsächlich durch das Rad und Getriebe, welches am schnellsten zu beschaffen war. An einen starken Rahmen aus eichenen Bohlen, der durch zwei Riegel und zwei Schraubenbolzen verbunden war, wurde die Windevorrichtung befestigt, woran das Rammtau herabgezogen werden sollte. Bei dem starken Zuge, den das letztere aufwärts ausübt, kam es darauf an, nicht nur die Pfannen der Winde vor einem Ausheben gehörig zu sichern, sondern auch den Rahmen selbst zurückzuhalten. Letzteres geschah in der Art, dafs ein Stück Halbholz unter die Schwelle der Ramme neben den Läuferuthen untergeschoben wurde. Auf diesem ruhte der Rahmen, und eine um dessen beide Riegel geschlungene Kette, die noch durch zwischengetriebene Keile gespannt wurde, hielt ihn sehr sicher in seiner Lage. Endlich wurde noch das hintere Ende des Halbholzes durch Klötze oder Steine beschwert. Die Pfannendeckel für die Achse der Winde wurden, wie die Figur zeigt, durch zwei Schraubenbolzen an jeder Seite gehalten, welche durch den Rahmen griffen. Die Achse des Getriebes wird bei der Richtung, in welcher das Tau aufgewunden ist, abwärts gedrückt und sonach kommt ein Heben derselben nicht vor.

Indem das Getriebe nicht immer in das Rad eingreifen darf, sondern gelöst werden muß, sobald der Klotz herabgestürzt ist und der Fallblock demselben folgen soll, so ruht seine Achse auf einer Seite in einer Gabel und auf der andern in einem Loche in einem Hebel. Letzterer kann über einer Latte, die an den Rahmen genagelt ist, hin- und hergeschoben werden, und jenachdem er in der einen oder andern Kerbe ruht, ist das Getriebe im Eingriffe oder frei. Das Getriebe hatte 10 und das Rad 46 Zähne. An jede

Kurbel, deren Länge 15 Zoll betrug, konnte ich nur je zwei, also zusammen nur vier Mann anstellen und sonach durfte die Walze, um welche das Rammtau sich aufwindet, nur 8 Zoll im Durchmesser halten, weil sonst die Last für die Arbeiter zu groß geworden wäre. Hieraus ergab sich der Uebelstand, daß die Steifigkeit des Taus schon ein merkliches Hinderniß der Bewegung entgegensetzte, und was noch übler war, das Tau litt sehr stark und rifs schon nach kurzem Gebrauche. Ich sah mich daher wieder gezwungen, von dem besten Hanf zu diesem Zwecke Taus von 1 Zoll Durchmesser spinnen zu lassen, und diese zeigten sich so dauerhaft, daß sie jedesmal mehrere Monate hindurch benutzt werden konnten.

Sobald der Rammklotz herabgefallen war, so durfte man nicht ohne Weiteres das Getriebe auslösen, denn in diesem Falle stürzte der Fallblock mit großer Heftigkeit herab und ertheilte der Winde eine so starke Drehung, daß das ganze Tau abließ und das hintere Ende desselben sich verkehrt aufwand, wodurch nicht nur ein bedeutender Zeitverlust entstand, sondern auch das Tau, besonders da, wo es mit der Kramme an die Walze befestigt war, beschädigt wurde. Es mußte sonach diesem Uebelstande durch eine Bremsvorrichtung vorgebeugt werden, welche die beiden Figuren zeigen. Sobald einer von den vier Arbeitern an der Kurbel das Getriebe auslöste, so drückte der andre die Bremse auf die Winde, so daß diese sich nur mit mäßiger Geschwindigkeit und nur so weit bewegte, bis der Fallblock auf dem Klotze aufstand.

Was den Betrieb der Ramme betrifft, so hatte ich um alle Pausen zu vermeiden, sechs Mann dabei angestellt, von denen jedoch nur vier die Kurbeln drehten, während zwei ausruhten, um nach kurzer Zwischenzeit zwei der Ersten abzulösen. Es war aber die Bedingung gemacht, daß die Arbeit nie unterbrochen werden durfte und dieses ließ sich leicht controlliren, da die starken Schläge der Kunstramme sehr weit zu hören waren. In einer Minute erfolgten 38 Umdrehungen der Kurbel, oder der Klotz wurde um $19\frac{1}{2}$ Fuß gehoben. Von dem Augenblicke ab, wo sich der Klotz löste, bis zum Wiederbeginne des Drehens der Kurbel vergingen aber 50 bis 60 Secunden, sonach wurden durchschnittlich in der Stunde 25 Schläge gemacht. An einem Tage konnten $2\frac{1}{2}$ Pfähle nachgeschlagen werden, während die mit 36 Mann besetzte Zugramme durchschnittlich 4 solcher Pfähle nachschlug. Der Arbeitslohn für das

Nachschlagen der Pfähle betrug bei der Zugramme für jeden Pfahl 3 Thlr. 4 Sgr. und bei der Kunstramme sehr genau 1 Thlr. Die Ersparung würde also für den Pfahl 2 Thlr. 4 Sgr. betragen haben, sie stellte sich aber wirklich noch höher heraus, indem die Pfähle durch die Kunstramme fester und tiefer eingerammt wurden, als mit der Zugramme. Endlich muß noch bemerkt werden, daß besondere Reparaturen bei diesem Apparate nicht häufig vorkamen und die Unterhaltungskosten für Tauwerk, Schmiedearbeit u. dergl. sogar merklich geringer ausfielen, als bei der Zugramme. Die Pfähle wurden unter dem Rammklotze, der aus Eichenholz bestand, auch nicht beschädigt, wenn sie vorher gerade abgeschnitten und die Kanten am Kopfe gebrochen waren.

Es zeigte sich beim Aufstellen dieser Ramme noch der Uebelstand, daß die beiden Läufer Ruthen, die nur aus Bohlen bestanden, nicht steif genug waren, um den Rammklotz und den Fallblock sicher in der gehörigen Lage zu halten, daher geschah es häufig, daß bei einigem Spielraum in dem Schlitz der Ruthe der Klotz sich etwas nach der einen Seite drehte und der Block nach der andern, wodurch das Eingreifen des Hakens verhindert wurde. Diesen Uebelstand, der durch stärkere Läufer Ruthen zu beseitigen gewesen wäre, entfernte ich durch einen Bügel, der beide Ruthen in der halben Höhe in gehöriger Entfernung von einander hielt. Er war aus $1\frac{1}{2}$ zölligem Rundeisen geschmiedet und stand so weit von den Ruthen ab, daß die Arme des Rammklotzes nebst den Riegeln frei hindurchgehen konnten. Fig. 192 zeigt ihn, und es muß noch bemerkt werden, daß er in der Art eingesetzt wurde, daß man zunächst die beiden Ruthen etwas auseinander bog und die vier Bolzen einbrachte. Indem diese sich mit den Köpfen berührten, konnte der Bügel eingezogen werden und alsdann schob man durch letzteren die Bolzen hindurch. Auf diese Art erhielten die schwachen Ruthen eine hinreichende Steifigkeit und der Klotz, sowie der Block spielten sehr regelmäÙig, so daß das Eingreifen des Hakens nie versagte, auÙer wenn vielleicht nach Monaten der Haken sich etwas ausgeschliffen hatte und er alsdann beim ersten Anzieln sich aus der Oese des Klotzes auslöste. In diesem Falle mußte ihm die frühere Krümmung durch Abfeilen wieder gegeben werden.

Die Ramme, die man beim Bau der Docks in Hull benutzte, war mit einem Haken versehen, der mit dem beschriebenen nahe

übereinstimmte. Er ist Fig. 193 auf Taf. XV in der Ansicht von vorn und von der Seite dargestellt. Der Fallblock besteht gleichfalls aus Holz und zwar aus zwei Klötzen, welche durch zwei Bolzen mit einander verbunden sind. Bei dieser Ramme verdient die Befestigungsart des Klotzes gegen die Läufertritte einer besondern Erwähnung. Der Klotz, der in beiden Ansichten unter dem Fallblocke gezeichnet ist, besteht aus Gusseisen und statt der Arme sind zwei Bolzen hindurchgezogen, die am hintern Theile abgedreht sind und zugleich die Achsen für hölzerne Walzen bilden. Diese Walzen bewegen sich in dem Schlitze zwischen den Läufertritten, um die Reibung zu vermindern. Endlich sind hinter den Walzen noch Scheiben aus Eisenblech von 11 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke aufgezogen und festgeschraubt, welche theils das Abfallen und theils das Austreten der Walzen aus den Läufertritten verhindern. Die letztern sind sowohl hinten als vorn mit eisernen Schienen beschlagen und eine Walze nebst Scheibe, die der beschriebenen gleich ist, befindet sich auch am Fallblocke, um dessen Bewegung zu erleichtern und zu sichern. Der Rammklotz wog 1200 Pfund und wurde mittelst einer eisernen Winde durch 4 Mann 20 bis 30 Fuß hoch gehoben. Um das Spalten und Zerschlagen der Pfähle zu verhindern, wurde der Kopf eines jeden Pfahles etwas conisch zugeschnitten und ein starker eiserner Ring von 4 Zoll Höhe und 1 Zoll Stärke aufgetrieben. Nach den ersten Schlägen des Klotzes war das Holz, soweit es vor diesem Ringe vorstand, zerschlagen, aber weiter konnte der Pfahl auch nicht beschädigt werden, und sobald er bis zur gehörigen Tiefe eingerammt war, schnitt man das obere Ende ab, worauf der Ring wieder für die folgenden Pfähle benutzt wurde.

Häufig sieht man in England die in Fig. 195 dargestellte Einrichtung der durch Menschenkraft getriebenen Kunstrammen. Die Rüstung unterscheidet sich von der in England üblichen Zugramme dadurch, daß die beiden Querswellen vor die vordere Langschwelle vortreten, und außerhalb der letzteren die beiden Läufertritte umfassen, die eine Schere bilden und so oft es nöthig ist, unter die Verschwellung herabreichen. Der gusseiserne Rammklotz ist nicht mit vortretenden Armen, sondern an beiden Seiten mit ausgehobelten Rinnen versehen, und diese umfassen die gleichfalls sorgfältig bearbeiteten Eisenschienen von quadratischem Querschnitt, die mittelst versenkter Holzschrauben an die innern Seiten der Läufertritte be-

festigt sind. Diese Schienen liegen jedoch nicht in ihrer ganzen Länge parallel, sondern oben treten sie viel näher an einander, wie die Figur zeigt. Der Fallblock, der Fig. 194 *a* in der Seiten-Ansicht, *b* im horizontalen und *c* im verticalen Querschnitt dargestellt ist, besteht gleichfalls aus Gufseisen, und ist, wie *c* zeigt, übereinstimmend mit dem Rammklotze mit den Seitenrinnen versehen, in welche die Leitschienen eingreifen. In ihm befindet sich eine Zange, deren beide Arme abwärts hakenförmig gekrümmt sind, oben dagegen eiserne Rollen tragen, die mit ihren vorstehenden Rändern gleichfalls die Leitschienen umfassen. Diese Rollen bilden ein starkes Uebergewicht und halten daher die Zange geschlossen, so lange sie sich weit genug von einander entfernen können. Steht der Rammklotz nach einem so eben erfolgten Schlage auf dem Pfahle auf, und fällt der Fallblock auf ihn herab, so öffnet die Oese des Klotzes die Zange, doch schließt sich die letztere sogleich wieder, sobald die Haken sich in der Oese befinden. Wird nun die Kette aufgewunden so erhebt sich der Klotz und zwar so lange, bis die beiden Leitschienen am obern Ende der Läufer Ruthen die parallele Richtung verlassen und die beiden Rollen an der Zange einander nähern, worauf letztere sich öffnet und den Klotz fallen läßt. Bei dieser Maschine muß noch auf das Schwungrad aufmerksam gemacht werden, welches sich an der Kurbel befindet, und das insofern sich rechtfertigt, als die Arbeiter bei den verschiedenen Stellungen einer Kurbel sehr verschiedener Kraftäufserung fähig sind.

Bei den bisher beschriebenen Kunstrammen wird jedesmal der Betrieb unterbrochen, sobald der Klotz herabfällt, und es muß alsdann die Winde, welche die Kette anzog, zurückgedreht werden, bis der Haken am Fallblock wieder die Oese gefaßt hat. Um diese bei jedem Schlage sich wiederholende Unterbrechung zu vermeiden, hat man verschiedentlich Rammen erbaut, bei denen eine continuirliche Bewegung der Betriebswelle und zwar stets in derselben Richtung statt findet. Diese Maschinen sind indessen so complicirt, daß man sie wohl nicht auf gewöhnlichen Baustellen darzustellen im Stande ist, vielmehr können sie nur in Maschinenbau-Anstalten construiert werden. Eine specielle Beschreibung derselben ist daher hier entbehrlich, und es wird genügen, ihre Einrichtung in allgemeinen Umrissen anzugeben.

Am einfachsten ist unter diesen Rammen diejenige, auf welche

J. Bower im Jahre 1853 in England patentirt wurde. *) Eine Kette ohne Ende wird durch eine Trommel in Bewegung gesetzt, in ihr sind in gewissen Abständen eiserne Kegel eingeschaltet, die beim Aufsteigen die Basis nach oben und die Spitzen nach unten gekehrt haben. Damit die Kette der Bewegung der Trommel folgt, muß sie mehrmals um diese geschlungen sein, und alsdann legt sich jede neue Windung an die Seite der nächst vorhergehenden, woher die Kette bald über das Ende der Trommel herabfallen würde, wenn diese ganz cylindrisch gestaltet wäre. Aus diesem Grunde ist die Trommel an der Seite, wohin die Windungen vorrücken, mit einem stark vortretenden Rande versehen, neben dem die Seitenbewegung der Kette aufhören muß. Von dieser Trommel wird die Kette über eine Rolle zwischen die Läuferuthen geleitet, und über eine zweite Rolle am obern Ende der letzteren geht sie zur Winde zurück. Sie steigt also zwischen den beiden Läuferuthen auf, ohne vor dieselben vorzutreten.

Der gußeiserne Rammklotz greift mit einem angegossenen Arme, der eben so lang ist, wie er selbst, durch die Läuferuthen hindurch und wird rückwärts durch eine angeschrobene Platte gehalten. Der Arm ist in der ganzen Höhe durchbohrt, und zwar so weit, daß die Kette mit den kegelförmigen Ansätzen hindurch gezogen werden kann, ohne daß die letzteren die Wandungen berühren. Der Klotz trägt in seiner obern ebenen Fläche eine darauf liegende Zange, die durch einen vertikalen starken Bolzen, um welchen ihre beiden Arme sich drehn, an ihm befestigt ist. Diese Arme greifen, wie bei der gewöhnlichen Schere, über einander, so daß die Zange, deren kürzere Arme über jener Oeffnung im Rammklotze sich befinden, sich öffnen, sobald die längeren, die über diesen hinausgreifen, aus einander gedrückt werden. Dieses Trennen der Arme erfolgt durch eine keilförmige Eisenplatte, die man in solcher Höhe an die Läuferuthen schraubt, daß der Klotz, nachdem er auf den Pfahl herabgefallen ist, möglichst bald von dem folgenden kegelförmigen Ansatz gefaßt wird. Die Zange wird durch eine Feder geschlossen und in solcher Stellung gehalten, daß jeder kegelförmige Ansatz sich unter sie legt und sie zugleich mit dem Klotze hebt, bis der Keil die Zange öffnet, und worauf sie wieder mit dem Klotze herabstürzt.

*) *Civil Engineer and architect's Journal*. XVII. 1854. p. 373. Der Beschreibung ist auch eine ziemlich klare Zeichnung beigelegt.

Um die Kette gehörig zu spannen, kann die obere Rolle mittelst einer Schraube gehoben und gesenkt werden, doch auch dieses genügt nicht, indem die Kette sich bald mehr, bald weniger auf den ansteigenden Rand der Trommel auflegt, daher ist auch die untere Rolle beweglich und wird durch eine starke Feder dauernd herabgedrückt.

Obwohl diese Ramme verschiedentlich Anwendung gefunden hat, so ist doch die mehrfache, gewöhnlich dreimalige, Umschlingung der Kette um die Trommel höchst nachtheilig, weil die Kette dabei bis an den erhöhten Rand rückt, und von diesem stofsweise zurückgleitet. Außerdem ist es auch nicht vortheilhaft, dafs der Klotz nicht über seinem Schwerpunkte, sondern seitwärts gefafst und gehoben wird.

Der erste dieser Uebelstände ist in der Ramme von Sissons und White vermieden, die in England vielfach wie zum Beispiel beim Umbau der Westminster Brücke, und so auch in Bremen bei Erbauung der Entwässerungs-Schleuse des Blocklandes benutzt ist, und die sehr günstige Resultate gegeben haben soll. Sie ist für den Betrieb durch Dampf eingerichtet, steht auf einem Wagen, der auf einer Eisenbahn läuft, und kann außerdem um einen starken Zapfen gedreht werden, so dafs sie beim Vorrücken eine Reihe Pfähle und beim Rückgange auf derselben Bahn parallel zur ersten Reihe eine zweite eintreibt. Die Kette ohne Ende, welche den Rammklotz hebt, ist eine sogenannte Vaucansonsche Kette, deren Glieder abwechselnd aus einer und zweien durchbohrten Scheiben bestehn die durch Bolzen mit einander verbunden sind. Indem die Zähne eines Stirnrades zwischen die Doppel-Platten eingreifen, so wird die Kette schon sicher gefafst, wenn sie auch nur auf einem Quadranten des Rades aufliegt, sie bleibt also stets in derselben Ebene, und ihre Bewegung ist gleichmäfsiger und sicherer als bei der Bowerschen Ramme. Die Kette läuft wieder über zwei Rollen, von denen eine am Fusse und die andre am Kopfe der Läuferuthen angebracht ist, und von denen die letztere gleichfalls durch eine Schraube verstellt werden kann, um der Kette die nöthige Spannung zu geben.

Die Kette befindet sich hier sogar hinter der Läuferuthe und entfernt sich daher noch mehr von dem Schwerpunkte des Rammklotzes. Sie ist durch die hintern Enden der beiden Arme des Rammklotzes hindurchgezogen und an dem obern sind zwei Rollen ange-

bracht, die sich gegen die Rückseite der Ruthen lehnen, um die Reibung zu vermindern.

Aus dem Klotze tritt ein horizontaler Riegel gegen die Kette, der mittelst einer excentrischen Scheibe, gegen welche er sich lehnt, vor und zurückgeschoben werden kann. Die Achse dieser Scheibe trägt zur Seite des Klotzes zwei Arme, an einen derselben ist eine Leine angesteckt, welche, durch einen besonders dazu angestellten Arbeiter angezogen wird, sobald der Riegel in die Kette geschoben, und der Klotz gehoben werden soll. Der andere Arm stößt dagegen in einer gewissen Höhe an einen Daumen, der an die Läufer-*ruthe* geschoben ist, wird von diesem gedreht und zieht dadurch den Riegel zurück, worauf der Klotz herabstürzt. *)

Die verschiedenen Arten der Kunstrammen werden in neuerer Zeit häufig durch Dampf betrieben, und zwar entweder durch kleine Dampfmaschinen, die zu diesem Zwecke besonders bestimmt und auf die Verschwellung der Ramme gestellt werden, während letztere alsdann auf Rädern ruht und auf einem weitspurigen Eisenbahn-Geleise läuft, oder noch häufiger benutzt man eine Locomobile, welche mittelst einer Riemscheibe die Winde der Ramme treibt. Besonders vortheilhaft zeigt sich die Anwendung der Dampfkraft, wenn die Bewegung der Winde nicht bei jedem Schläge unterbrochen werden darf, vielmehr wie bei den zuletzt beschriebenen Kunstrammen die Winde in continuirlicher Drehung erhalten wird.

Eine eigenthümliche Dampf-*ramme*, in welcher die ganze Dampfmaschine unmittelbar auf dem einzutreibenden Pfahle ruht und diesen belastet, während die Schläge des mit der Kolbenstange fest verbundenen Klotzes sich überaus schnell wiederholen, verdient noch erwähnt zu werden, wenn auch die Beschreibung aller Details derselben nicht hierher gehört.

Nach manchen Erfahrungen ist es wenigstens bei gewissen Bodenarten vortheilhaft, die Rammarbeiten schnell fortzusetzen, und zwischen den einzelnen Schlägen keine langen Pausen eintreten zu lassen, wobei der Pfahl sich fester mit der umgehenden Erde verbindet, und alsdann zum weitem Eindringen eines stärkeren

*) Ausführliche Beschreibung und Zeichnung dieser Maschine ist in der Zeitschrift des Hannöverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins Bd. XII. 1866. Seite 418. mitgetheilt.

Stofses bedarf. Man darf hiernach vermuthen, daß die Arbeit erleichtert werden kann, wenn die Schläge sich sehr schnell folgen, und eigentlich den Pfahl gar nicht zur Ruhe kommen lassen, bis er die volle Tiefe erreicht hat. Dieses geschieht gewissermaassen bei der Dampfamme von Nasmyth, die, wenn die ersten Mittheilungen über ihre Wirksamkeit auch übertrieben waren, sich doch bei dauernder Benutzung als eine sehr brauchbare Maschine bewährt hat, namentlich wenn ausgedehnte Rammarbeiten möglichst beschleunigt werden sollen.

Sie wurde züerst bei den Hafenbauten in Devonport im Jahre 1845 angewendet, wo die 60 bis 70 Fufs langen Pfähle in 2 bis 3 Minuten 32 bis 40 Fufs tief eingerammt sein sollen. Beim Bau der High-Level Brücke bei Newcastle, so wie der Docks in Plymouth und des Viaducts über den Tweed bei Berwick stellte sich heraus, daß die Pfähle nach der Beschaffenheit des Grundes in einer Minute 5 bis 10 Fufs tief eindringen. Rob. Stephenson erklärte nach den von ihm gemachten Erfahrungen diese Ramme für eine der wichtigsten Maschinen, die in neuerer Zeit zur Erleichterung von Bauausführungen erfunden wären. *) Die Ramme wurde bald an verschiedenen andern Orten versucht, auch in der Nähe von Berlin geschah dieses, indem eine solche, in der Maschinenbauanstalt von A. Borsig erbaut, zum Einschlagen einer ausgedehnten Pfahlwand am Ufer der Spree vor dem Hüttenwerke bei Moabit benutzt wurde. Sie trieb die Pfähle mit überraschender Geschwindigkeit ein, so daß Nasmyth's Aeußerung, die Pfähle drängen eben so schnell in den Grund, wie man eine Stecknadel in ein Nadelkissen zu stecken pflege, sich nicht weit von der Wahrheit entfernte, wogegen freilich der viel gröfsere Zeitaufwand zum Verstellen der Ramme und zum Setzen eines neuen Pfahles sehr auffallend war. Auferdem treten dabei auch noch andere und zwar sehr bedeutende Unterbrechungen ein. Die starken Erschütterungen verursachen nämlich, aller Vorsicht in der Construction ohnerachtet, häufige Brüche einzelner Theile, oder sonstige Beschädigungen der Maschine, so daß man dieselbe nicht benutzen kann, ohne eine gehörig eingerichtete Werkstatt in der Nähe zu haben, und selbst in diesem Falle dürfte es immer gerathen sein, die am meisten einer Gefahr ausgesetzten Theile doppelt an-

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal.* 1848. p. 289.

zufertigen, um bei einer Beschädigung sie sogleich auswechseln zu können. Auf einer Baustelle, wo auch diese Vorsicht angewendet wurde, traten dennoch Unterbrechungen behufs Reparaturen so oft und zum Theil so lange ein, dafs sie ungefähr den vierten Theil der ganzen Zeit einnahmen, während welcher die Maschine aufgestellt war. Anfangs war das Verhältnifs aber noch viel ungünstiger gewesen.

Die Einrichtung dieser Rammen ist in mehreren technischen Zeitschriften beschrieben. *) Ihre Anordnung schliesst sich im Allgemeinen dem Nasmyth'schen Dampfhammer an, der schon früher auf gröfsern Hüttenwerken und Maschinenbau-Anstalten eingeführt war. Wie bei diesem die Eisenmasse, welche den Hammer bildet, unmittelbar an den Kolben des Dampfeylinders gehängt ist, so trägt auch bei der Dampfamme die Kolbenstange unmittelbar den schweren Rammklotz. Hierbei tritt indessen die Schwierigkeit ein, dafs der Dampfeylinder immer in gleicher und bestimmter Höhe über dem Pfahlkopfe schweben, oder in dem Maafse, wie letzterer herabsinkt, sich gleichfalls senken mufs. Dieses ist dadurch erreicht, dafs der Dampfeylinder mit einem Gehäuse aus starkem Eisenblech verbunden ist, worin der Klotz spielt, dieses Gehäuse aber auf dem Kopfe des einzurammenden Pfahles aufsteht. Das Dampfrohr mufs hiernach flexibel sein, um bei allen Stellungen des Cylinders denselben mit dem fest stehenden Dampfkessel zu verbinden.

Eine starke Rüstung, die bei der nach Dirschau gelieferten Ramme 15 Fufs lang und 13 Fufs breit ist, steht mit vier Rädern auf einer Eisenbahn und trägt die ganze Maschine. Auf der hintern Seite dieser Rüstung liegt der Dampfkessel, der wie ein Locomotivkessel eingerichtet ist. In der Mitte der vordern Seite steht dagegen die Läufer ruthe, die seitwärts durch Zugstangen und rückwärts durch einen starken gusseisernen Rahmen gehalten wird. Sie ist 45 Fufs hoch und 14 und 12 Zoll stark. Zwei starke Schienen, die auf ihrer vorderen Fläche befestigt sind, treten auf beiden Seiten 1 Zoll weit vor, und dienen zur Führung des erwähnten Gehäuses,

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. XV. Jahrgang. 1850. Seite 4. — Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses in Preussen. Jahrgang 1848. S. 151. Die letzte Beschreibung bezieht sich auf die beim Bau der Weichselbrücke bei Dirschau benutzte Ramme.

auf dem der Dampfcyylinder steht. Dieses Gehäuse ist nahe 10 Fufs hoch, und unten mit zwei starken gusseisernen Halbringen versehen, welche den Pfahlkopf umfassen, so dafs dieser innerhalb des Gehäuses unmittelbar vom Rammklotze getroffen wird.

Auf den Deckel des Gehäuses ist der Dampfcyylinder aufgeschoben, der $3\frac{1}{2}$ Fufs hoch und 13 Zoll weit ist. Die Kolbenstange tritt abwärts durch eine Stopfbüchse in das Gehäuse und ist hier an den Rammklotz befestigt. Das Gewicht des letztern mit Einschluß des Kolbens und der Kolbenstange beträgt 28 Centner, dagegen wiegen die festen Theile, die den Pfahl dauernd belasten, nämlich das Gehäuse und der Dampfcyylinder, 40 Centner.

Der Dampf ist stark gespannt und das Sicherheitsventil mit 70 Pfund auf den Quadratzoll belastet. Die Röhre, welche den Dampf nach dem Cylinder leitet, ist aus vier Theilen zusammengesetzt, von denen der erste mit der Kuppel des Dampfessels fest verbunden ist, während die drei übrigen gegen einander, wie gegen den ersten und die Dampfmaschine verschiedene Neigungen annehmen können. Dieses ist dadurch erreicht, dafs jedes Rohr durch eine kurze Ansatzröhre seitwärts ausmündet, und diese Ansatzröhren in einander greifen, wie Stopfbüchsen gedichtet sind, und eine in der andern sich drehen läßt. Wird der Cylinder mit dem Rammklotze beim Setzen eines neuen Pfahles gehoben, so nimmt der Röhrenstrang fast eine gerade Richtung an, wie die Maschine sich aber nach und nach senkt, so legt sich der Strang immer mehr zusammen, ohne dafs er den Durchgang des Dampfes verhindert, oder denselben seitwärts entweichen läßt.

Indem der Dampf unter den Kolben tritt, so hebt er diesen zugleich mit dem Rammklotze so lange, bis letzterer einen Hebel faßt, und dadurch das Schiebeventil verstellt. Alsdann hört die weitere Zuströmung auf, und der in den Cylinder eingetretene Dampf kann frei entweichen, aber die Bewegung des Kolbens ist so heftig, dafs er noch weiter, und über diese Oeffnung hinaus ansteigt. Der über ihm befindliche Dampf, der nunmehr nicht entweichen kann, wird bei der ferneren Bewegung stark comprimirt, und indem er wie ein elastischer Puffer wirkt, bringt er nicht nur den Kolben zum Stillstande, sondern verstärkt auch die Wirkung der Schwere, und stößt den Kolben schneller herab, als er frei fallen würde. Um nach erfolgtem Stofse den Dampf wieder in den Kolben treten zu

lassen, hat Nasmyth die Einrichtung getroffen, daß im Klotze ein schwerer Hebel hängt, der durch die Erschütterung beim Aufschlagen in Bewegung gesetzt wird, und mittelst einer Steuerung das Schiebeventil so stellt, daß die Einströmung des Dampfes sogleich wieder beginnt. Bei dieser Einrichtung hat die Maschine keine bestimmte Hubhöhe, eine solche darf auch in der That nicht eingeführt werden, insofern die Pfahlköpfe bald mehr, bald minder weit in den Kasten treten, und sogar derselbe Pfahl während des Rammens etwas abgeschlagen oder eingedrückt wird, und daher die Hubhöhe sich verändern muß. Die größte Hubhöhe, die der Klotz bei dieser Maschine annehmen kann, beträgt 34 Zoll. Der untere Theil des Klotzes besteht aus einem schmiedeeisernen Zapfen von 10 Zoll Durchmesser, der den eigentlichen Schlag auf den Pfahl ausübt.

Diese Beschreibung dürfte genügen, um von der Einrichtung und Wirksamkeit der Maschine im Allgemeinen ein klares Bild zu geben. Die Mittheilung der Einzelheiten gehört nicht hierher. Man wird aber aus Vorstehendem schon auf den kräftigen und raschen Gang der Maschine schließen können. Sie macht durchschnittlich 60 Schläge in der Minute, doch kann man deren Anzahl noch vergrößern und auf einige siebenzig treiben, so daß die ganze Dauer jedes Stosses oder Schlages nur etwa 0,8 Secunden beträgt. Die Zeit, in welcher der Rammklotz aus der Höhe von 34 Zoll allein durch die Wirkung der Schwere herabfällt, ist aber schon 0,42 Secunden, daher muß er nicht nur sehr schnell gehoben, sondern auch beim Fallen noch durch die comprimirte Luft herabgestoßen werden. Dabei ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß während seines Aufsteigens nicht nur das Gehäuse und der Cylinder den Pfahl belasten, sondern auch der Dampf auf den Boden des Cylinders drückt, also gleichfalls wirksam ist, und das Gewicht des Kolbens und des Klotzes auf denselben überträgt. Die Belastung ist also während dieser Zeit sehr groß und verhindert das Heben des Pfahles nach dem Schlage.

Unter dem Dampfkessel, und zwar quer gegen denselben gerichtet, befindet sich endlich noch ein zweiter Dampfcylinder, der eine eigne Dampfmaschine bildet. Diese dient zunächst zum Betriebe der Speisepumpe für den Kessel, sie wird aber auch benutzt, um nach dem Einschlagen eines Pfahles den Dampfcylinder mit dem Rammklotze und Gehäuse wieder in die Höhe zu winden, ferner

die ganze Rüstung mit dem Dampfkessel, der Ramme und allen Maschinen-Theilen auf der Eisenbahn soweit zu verfahren, daß der folgende Pfahl gesetzt werden kann, und endlich diesen Pfahl selbst zu heben und unter das Gehäuse zu bringen. In einzelnen Fällen hat man überdies eine Kreissäge angebracht und mit der zweiten Dampfmaschine verbunden, wodurch jeder Pfahl, nachdem er eingerammt ist, sogleich in der passenden Höhe abgeschnitten werden kann.

In neuester Zeit ist in den Niederlanden noch eine Kunstramme versucht, die sich von allen übrigen dadurch unterscheidet, daß der Klotz mittelst eines etwa 20 Fufs langen gleicharmigen Hebels, woran die Zugseilen befestigt sind, gehoben wird. Die Ramme wird also wie eine Zugramme bewegt, der Klotz hebt sich auch nur etwa 5 Fufs, doch muß er mit Auslösung versehen sein, weil ohne diese der Schlag durch den Hebel zu sehr geschwächt werden würde. Die mit dieser überaus complicirten Maschine, die von Bovy erfunden ist, angestellten Versuche sollen sehr günstige Resultate ergeben haben, doch läßt sich nicht ersehen, in welcher Beziehung sie vor der einfachsten Kunstramme einen Vorzug haben sollte, während ihre Zusammensetzung augenscheinlich viel kostbarer ist, auch die bei jedem Schlage erforderliche Drehung des schweren Hebels einen bedeutenden Theil der Betriebskraft in Anspruch nimmt.

§. 37.

Rostpfähle.

Die Rostpfähle, die entweder unbeschlagen, oder wie Balken vorher beschlagen sind, versieht man mit pyramidalen und meist vierseitigen Spitzen. Solche Pfähle nennt man Spitzpfähle, man unterscheidet dabei aber wieder zwei Arten, nämlich Grundpfähle und Langpfähle. Grundpfähle heißen sie, wenn sie ganz im Grunde stecken, Langpfähle dagegen, wenn sie mit einem bedeutenden Theile ihrer Länge über den Boden vorragen, und zwar ist es gleichgültig, ob der freistehende Theil sich über oder unter Wasser befindet. Sowohl Grundpfähle, als auch Langpfähle können Rostpfähle sein. Bohlwerkspfähle, Schiffshalter und dergleichen ge-

hören immer zur Klasse der Langpfähle. Hier sollen zunächst die Spitzpfähle behandelt werden, doch ist sogleich zu bemerken, daß diese Benennung nur zur Unterscheidung von den Spundpfählen beibehalten ist, und daher auch von solchen die Rede sein wird, die statt der Spitze mit einer Schneide versehen, oder auch wohl ganz stumpf abgeschnitten sind.

Das Material, woraus die Pfähle bestehn, ist fast immer Holz und zwar können nach Umständen sehr verschiedene Holzarten dazu benutzt werden. Hauptbedingung ist es, daß der Stamm, den man einrammen will, recht gerade ist, und in dieser Beziehung empfehlen sich vorzugsweise die Nadelhölzer, die man auch am häufigsten zu wählen pflegt. Das Kiefernholz widersteht wegen der harzigen Theile, die es enthält, einer abwechselnden Nässe und Trockenheit und besonders einem dauernden Angriffe des Wassers lange Zeit hindurch. In dieser Beziehung hat es selbst vor dem Eichenholze Vorzüge, wie ich dieses namentlich beim Ausziehn der alten Bohlwerkspfähle im Pillauer Hafen sehr deutlich bemerkte. Das Kiefernholz hatte, soweit es immer unter Wasser geblieben war, sich gut erhalten, was beim Eichenholze nicht der Fall war, auf den eichenen Pfählen war es sogar schwer, die Kette des Wuchtbaumes zu befestigen. Sobald diese angezogen wurde, drückte sie sich tief in das Holz ein und schnitt häufig den Kopf des Pfahles durch, wogegen das Kiefernholz großentheils in so gutem Zustande sich befand, daß es, nachdem es ausgezogen war, noch bei Rüstungen und manchen leichten Bauten benutzt werden konnte. Beide Sorten von Pfählen waren aber abwechselnd in früherer Zeit gewählt worden und mochten durchschnittlich etwa 50 Jahre im Grunde gesteckt haben. Nach der gewöhnlichen Ansicht ist das Eichenholz, wenn es immer vom Wasser bedeckt bleibt, vorzugsweise von langer Dauer, woher es zu Rostpfählen häufig angewendet wird, wahrscheinlich hält es sich auch besser, wenn es vollständig ausgewachsen ist, doch dürfte dabei die schon oben angedeutete Vorsicht noch besonders zu empfehlen sein, daß eine Berührung mit fließendem Wasser vermieden wird, oder daß die eichenen Pfähle wirklich Grundpfähle sind.

Es fehlt keineswegs an Erfahrungen, welche beweisen, daß das Eichenholz sich unter Wasser zuweilen sehr lange erhält. So fand man, das eichene Pfähle die in einem Moore bei Lancaster wahrscheinlich vor 900 Jahren eingerammt waren, noch ganz gesundes

Holz enthielten *), und als man einen Pfahl aus der Brücke, die Trajan unterhalb Belgrad erbaut hatte, am Ende des vorigen Jahrhunderts auszog, so ergab es sich, daß derselbe im äufsern Umfange etwa auf $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke in Chalcedon verwandelt war. Ebenso findet man zuweilen, daß das Holz von Schiffen, die vor langer Zeit gesunken sind, theilweise überaus fest geworden ist, so daß man aus einzelnen Stücken Lineale verfertigt, die so schwer und hart und sogar von derselben schwarzen Farbe wie Ebenholz sind. Doch kommt andererseits auch wieder der Fall vor, daß alte Schiffswrake, die aus Eichenholz bestehn, und immer unter Wasser gelegen haben, sogar durch die Baggereimer zerschnitten werden. Beide Fälle sind in der Nähe des Pillauer Hafens vorgekommen.

In England wählt man zu Rostpfählen gemeinhin Buchenholz, doch auch das Ellernholz hat seiner geringeren Festigkeit unerachtet, wenn es vom Wasser immer bedeckt geblieben, sich als sehr dauerhaft gezeigt. Auferdem wird man keinen Anstand nehmen, jede andre Holzart, wenn dieselbe in passenden Stämmen und billig zu beschaffen ist, zu Pfählen zu gebrauchen, und nur diejenigen Gattungen, welche besonders weich sind, wie Weiden und Pappeln, wird man ausschließen müssen. Endlich ist zu erwähnen, daß man auch gulseiserne Spitzpfähle zuweilen statt der hölzernen verwendet hat, dieses ist indessen bei Rosten wohl nur selten vorgekommen, vielmehr vorzugsweise bei Bohlwerken, wovon später die Rede sein wird.

Was die Stärke der Pfähle betrifft, so pflegt man selbige gemeinhin von ihrer Länge abhängig zu machen. Perronet sagt, daß die Pfähle bei 15 bis 18 Fufs Länge eine mittlere Stärke von 10 Zoll erhalten und letztere auf jede folgende 6 Fufs um 2 Zoll zunehmen muß, doch bemerkt er, daß für lange Pfähle, die grofsentheils im Grunde stecken und die sonach am Biegen und Brechen verhindert werden, es genügt, wenn man auf jede 6 Fufs der Länge (über jene ersten 18 Fufs) die mittlere Stärke um 1 Zoll wachsen läßt, woher z. B. ein 30 Fufs langer Pfahl nur 12 Zoll mittlere Stärke erhalten, oder derselbe am Stammende 14 und am Wipfelende 10 Zoll messen darf. Es ist klar, daß man bei sehr langen Pfählen von dieser Regel abweichen muß, auch bedingen die Um-

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal. II. p. 30.*

stände oft eine gröfsere oder mindere Stärke. Steckt der Pfahl seiner ganzen Länge nach in festem Boden, woselbst er sich nicht biegen kann, so wird eine geringe Stärke schon ausreichen, um grofse Lasten zu tragen, steht dagegen ein bedeutender Theil desselben entweder ganz frei oder in loser Erde, so mufs er solchen Querschnitt haben, dafs seine rückwirkende oder auch seine relative Festigkeit den darauf wirkenden Kräften entspricht. Am wenigsten ist der Bruch des Pfahles zu besorgen, wenn der Druck, den er erfährt, ihn genau in seiner Längenrichtung trifft. Ist dieses, wie etwa bei Bohlwerken, nicht möglich, so lassen sich die Pfähle durch Verankerung oder in andrer Weise noch unterstützen, wovon §. 34 schon die Rede war.

Die erforderliche Stärke der Spitzpfähle läfst sich nach den bekannten Gesetzen und Erfahrungen über die Festigkeit des Holzes in jedem Falle leicht ermitteln, wenn die Bodenart genau bekannt ist, in welche sie eingetrieben werden sollen. Man pflegt aber über dieses Maafs weit hinauszugehn, und solche Vorsicht rechtfertigt sich auch in sofern das Holz leicht leidet oder wenn es mit fließendem Wasser dauernd in Berührung bleibt, sogar mit der Zeit in seiner Oberfläche vollständig verzehrt wird. In England und Frankreich verwendet man ziemlich allgemein zu den Rostpfählen schwächere Hölzer, als bei uns.

Die Pfähle müssen, ehe man sie setzt, von der Rinde entblöfst werden. Dieses ist schon nöthig, um die Reibung beim Einrammen möglichst zu mäfsigen, denn die rauhe Rinde verhindert das Eindringen des Pfahles, ohne die Stärke und Tragfähigkeit desselben zu vergrößern. Am passendsten ist es, die Rinde gleich nach dem Fällen, oder wenigstens sobald das Holz angeliefert ist, abzuschälen, weil man dadurch das Austrocknen befördert und zugleich verhindert, dafs die Säfte in dem frischen Holze nicht in Fäulniß übergehn und das Holz verderben. Auferdem leiden diejenigen Stämme, welche lange unter der Rinde liegen, auch von dem Wurme, der jedoch bald stirbt, wenn das Holz dem Zutritt der Luft freigestellt wird. Das Entfernen des Splintes von den Pfählen ist nicht nöthig, denn wenn derselbe auch nur eine geringere Festigkeit hat, so vermehrt er doch immer noch einigermaassen die Tragfähigkeit des Pfahles, und besonders wichtig ist es, dafs er den Kern vor manchen Beschädigungen schützt. Nach den Untersuchungen, die

Buffon über die Festigkeit des Splintes im Vergleiche zu der des innern Holzes von demselben Eichenstamme anstellte, ergab sich nur die Differenz von etwa ein Fünfzehntel, was mit dem Unterschiede des specifischen Gewichtes beider übereinstimmt. Hiernach würde man den Pfahl schon bedeutend schwächen, wenn man den Splint beseitigen wollte. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, daß letzterer um Vieles vergänglicher ist, aber selbst in diesem Falle verhindert er noch immer die unmittelbare Berührung des Wassers mit dem festeren Kern.

Das scharfkantige Beschlagen der Spitzpfähle und namentlich der Rostpfähle läßt sich eben so wenig rechtfertigen. An manchen Orten ist man freilich zur Anwendung von Balkenholz gezwungen, indem nur solches zu haben ist, so ist z. B. das sehr feste Polnische Kiefernholz, welches die Weichsel herabgefloßt wird, und das sich durch die feinen Jahresringe augenfällig von dem deutschen Kiefernholze unterscheidet, jedesmal schon roh beschlagen. Andererseits ist der Ankauf von beschlagenem Holze auch insofern zuweilen zu empfehlen, als die Güte des Stammes sich alsdann leichter erkennen läßt. Wenn man jedoch Rundholz angekauft hat, so ist kein Grund vorhanden, dieses vor dem Einrammen noch beschlagen zu lassen, wenn die Pfähle nicht vielleicht zum Theil sichtbar bleiben und man dem Bau ein regelmäßiges Ansehn geben will.

Sehr wichtig ist die Bestimmung der erforderlichen Länge der Pfähle. Bei Bohlwerkspfählen hat dieses keine Schwierigkeit, indem solche nicht stark belastet werden und daher ein späteres Eindringen bei ihnen nicht zu besorgen ist, wenn sie auch nicht besonders fest eingerammt sind. Bei den Rostpfählen dagegen tritt, wie bereits erwähnt worden, entweder die Bedingung ein, daß sie den festen Untergrund erreichen und sonach die Last des Baues auf diesen übertragen sollen, oder sie müssen, wenn der Boden mehr gleichförmig ist, so tief eingerammt werden, daß die Reibung, welche sie von der umgebenden Erde erfahren, ihnen die nöthige Tragfähigkeit giebt. In beiden Fällen werden sie so lange herabgetrieben, als sie noch leicht eindringen, und nur, wenn sie bei der Hitze oder unter dem Schlage des durch die Maschine gehobenen Rammklotzes nur noch um einige Linien sich senken, pflegt man sie als feststehend zu betrachten und ihnen die erforderliche Tragfähigkeit beizumessen. Die Schwierigkeit besteht darin, vorher zu wissen, in

welcher Tiefe sie diesen festen Stand erreichen werden. Sind sie zu lang, so werden dadurch nicht nur unnöthiger Weise die Kosten für den Ankauf des Holzes vermehrt, sondern die Arbeit des Setzens der Pfähle wird auch schwieriger und man muß vielleicht höhere Rammen gebrauchen. Noch gröfser ist aber der Uebelstand, wenn die Pfähle zu kurz sind und während ihr Kopf den vorher bestimmten Horizont des Rostes schon erreicht, noch mit Leichtigkeit eindringen. Man muß, wenn man in diesem Falle sicher gehn will, die Arbeit unterbrechen und längere Pfähle herbeischaffen, doch zuweilen pflegt man auch, wenn dieses nicht thunlich ist, die Anzahl der Pfähle zu vermehren und sonach die Belastung jedes einzelnen zu ermäßigen. Endlich aber stellt man auch auf einen solchen Pfahl, der schon ganz in den Boden eingedrungen ist, ohne einen festen Stand angenommen zu haben, noch einen zweiten auf; man nennt dieses das Aufpfropfen der Pfähle. Ein solches Verfahren ist bei einzelnen Pfählen wohl zulässig, aber es darf nicht bei mehreren neben einander vorkommen, weil alsdann die Gefahr eintritt, daß der Theil des Rostes, der darauf ruht, seitwärts umfallen möchte. Dazu kommt auch noch, daß durch ein solches Aufpfropfen der Effect des Schlagens der Ramme sehr geschwächt wird und sonach ein andres Maafs über das Minimum des Eindringens während einer Hitze eingeführt werden muß. Perronet erzählt, daß beim Bau der Brücke zu Orleans manche Pfähle sogar zweimal gepfropft werden mußten, doch meint er, daß sie alsdann einen hinreichend festen Stand wirklich erreichten.

Die Art, wie bei diesem Brückenbau die Pfähle verbunden wurden, ist Figur 196 dargestellt, es wurden nämlich auf eine Länge, welche dem doppelten Durchmesser des Pfahles gleich kam, zwei Prismen sowohl aus dem untern Pfahle, als dem obern ausgeschnitten, von denen jedes einen Quadrant des Querschnittes zur Grundfläche hatte. Auf solche Art griffen beide Theile in einander und wurden in dieser Verbindung noch durch zwei eingelassene Zugbänder zusammengehalten, die jedoch über die äußere Fläche nicht vortraten, also weder verschoben werden konnten, noch auch die Reibung verstärkten. Man darf indessen nicht erwarten, daß ein in solcher Weise zusammengesetzter Pfahl an dieser Stelle dieselbe Steifigkeit besitzt, als wenn er aus einem Stücke bestände. Solches läßt sich überhaupt in keiner Weise er-

reichen, und es bleibt daher nur übrig, dafür zu sorgen, daß die beiden Enden der Pfähle sicher auf einander treffen und nicht etwa bei den starken Erschütterungen sich gegenseitig verschieben. Der Schlag des Klotzes wird aber um so vollständiger auf den untern Theil übertragen, je größer die berührenden Flächen sind, und daher empfiehlt es sich, beide Theile stumpf abzuschneiden. Aus diesem Grunde dürfte ein in die Achse des untern Pfahles eingetriebener starker eiserner Dorn, der etwa 6 Zoll weit in ein vorgebohrtes Loch des obern Pfahles eingreift, besonders zu empfehlen sein, während fest aufgetriebene Ringe das Spalten des Holzes verhindern. Noch vortheilhafter ist es, diese beiden Ringe zu einem höheren Cylinder zu verbinden, der beide Enden umfaßt. Der Dorn wird alsdann entbehrlich, aber man muß dafür sorgen, daß der Ring weder aufwärts noch abwärts gleiten kann, wodurch die Pfähle vollständig getrennt würden. Zu diesem Zwecke versieht man den Ring in der Mitte mit einer Bodenplatte, auf welche beide Pfahl-Enden sich aufstellen. Dergleichen eiserne Schuhe, und zwar aus Gufseisen bestehend, hatte man vielfach zu diesem Zwecke in England angewendet. Fig. 216 *a* und *b* auf Taf. XVI zeigt einen solchen im Durchschnitt und in der Seitenansicht. Beim Umbau der Brücke la belle croix zu Nantes über die Loire wurden dieselben aus starken vernietheten Blechen dargestellt, dabei aber zugleich der Dorn wieder angebracht, der durch die Mittelplatte hindurchreichte. *)

Wenn ein in dieser Weise verlängerter Pfahl sich nicht in der Richtung des Druckes befindet, den er auf das untere Stück des Pfahles überträgt, so kann er von dem umgebenden Erdreiche nicht gehörig gehalten werden. Er neigt sich alsdann seitwärts, ganz in derselben Art, als wenn er an dieser Stelle mit einem Charnier versehen wäre.

Um diesen Zufälligkeiten begegnen und beim Ankaufe der Pfähle schon deren Länge sicher beurtheilen zu können, ist eine genaue Untersuchung des Grundes nothwendig. Befindet sich in einer Tiefe, die mit dem Pfahle erreicht werden kann, eine durchaus feste Schicht, oder streicht etwa hier ein Felslager darunter fort, so giebt sich dieses durch das Bohren, oder durch den Gebrauch des Sondireisens sicher zu erkennen, es bleibt aber noch zweifelfaft, ob

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. I. pag. 41.

jene Schicht überall in gleicher Höhe liegt, oder in welcher Neigung und nach welcher Seite sie abfällt. Man muß sonach mehrere Stellen untersuchen und man kann aus der Uebereinstimmung der Tiefe auch darauf schliessen, ob vielleicht einzelne Klüfte im Gesteine sind, wo die Pfähle weiter eindringen und daher eine grössere Länge für sie angenommen werden muß. Bei der Brücke zu Orleans fand dieses in der That statt, der Tuff, der den Untergrund bildete, zeigte eine so abwechselnde Oberfläche, daß mehrere Pfähle sehr bald zum Stehn kamen, während die meisten erst in 30 Fufs Tiefe feststanden und einzelne sogar 50 bis 60 Fufs eindringen. Sobald die Pfähle wirklich den Fels erreichten, so gab sich dieses durch den hellen Klang und das starke Zurückspringen des Rammklotzes zu erkennen.

Wenn dagegen keine scharfe Begrenzung zwischen dem losen und dem festen Grunde stattfindet, oder auch die Pfähle immer im weichen Boden bleiben und nur durch die vermehrte Reibung beim tieferen Eindringen endlich einen festen Stand annehmen, so läßt sich durch die angedeutete Untersuchung nicht mehr mit hinreichender Sicherheit auf die erforderliche Länge der Pfähle schliessen, und es bleibt alsdann nur übrig, beim Entwerfen des Projectes und ehe das Holz angekauft wird, eine Ramme aufzustellen und einige Pfähle zur Probe einzutreiben. Dieses Mittel ist zwar umständlich, man darf es indessen nicht umgehn, wenn man spätern Verlegenheiten vorbeugen will, und wenn man einmal eine solche Probe einleitet, so muß man dieselbe auch an verschiedenen Punkten der Baustelle wiederholen, um sich zu überzeugen, ob überall ungefähr eine gleiche Länge für die Pfähle erforderlich ist, denn auch im losen aufgeschwemmten Boden zeigen sich zuweilen in geringen Abständen schon merkbare Verschiedenheiten. Endlich wäre noch zu erinnern, daß man der Sicherheit wegen lieber die Pfähle etwas zu lang, als zu kurz zu wählen pflegt, denn die Vermehrung der Kosten ist im ersten Falle geringer, als im letzten, und man entgeht dadurch mit einiger Sicherheit den Unterbrechungen der Arbeit, welche bei Fundirungen überaus nachtheilig sind, und leicht Veranlassung sein können, daß die beschränkte Dauer eines günstigen Wasserstandes unbenutzt vorübergehn muß.

Ferner ist hier die Frage zu berühren, ob man die Pfähle in der Richtung einrammen soll, wie sie gewachsen sind, oder so,

dafs das Stammende nach oben gekehrt wird. Es leidet keinen Zweifel, dafs ein Pfahl, der nur auf einen kleinen Theil seiner Länge im Boden steckt, dem Einbiegen oder Brechen besser widersteht, wenn das Stammende nach unten, als wenn dasselbe nach oben gekehrt ist. In ähnlicher Art mufs jede Stütze (wie z. B. der Fuß an einem Tische) so befestigt werden, dafs das stärkere Ende auf diejenige Seite trifft, wo die Befestigung stattfindet. Für den angegebenen Fall empfiehlt daher auch Perronet, das Stammende des Pfahles nach unten zu stellen. Er führt dabei an, dafs der Pfahl bei solcher Richtung in einer etwa um den vierten Theil kürzeren Zeit eingerammt werden kann, als wenn das Wipfelende abwärts gekehrt ist. Der letzte Umstand würde gleichfalls dafür sprechen, die erste Anordnung zu wählen, und man hat auch sonst bemerkt, dafs das Eindringen des Pfahles hierbei Anfangs zwar etwas langsamer, aber wenn er weiter herabgekommen ist, merklich schneller erfolgt, als im entgegengesetzten Falle. Dieses erklärt sich dadurch, dafs die Spitze eine weitere Oeffnung bildet und der dünnere Theil des Pfahles, welcher derselben folgt, weniger Widerstand findet, in ähnlicher Art wie man den Futterröhren bei Artesischen Brunnen auch einen auswärts vortretenden Schuh giebt, um den Druck oder die Reibung auf die Röhre selbst zu vermindern. Man mufs indessen hierbei befürchten, dafs in demselben Maasse, wie die Schläge des Rammklotzes wirksamer werden, auch ein Eindringen unter einer starken Belastung um so leichter erfolgen kann, und es kommt dazu noch der Umstand, dafs im Allgemeinen das Eindringen des Pfahles, während er eingerammt wird, durch die Compression des Bodens erschwert wird, die nicht dauernd ist. Man überzeugt sich hiervon durch die bekannte Erfahrung, dafs nach einer Pause von mehreren Arbeitsstunden die Pfähle gewöhnlich wieder merklich besser ziehn, als vorher geschah. Indem nun ein Pfahl, dessen Stammende abwärts gerichtet ist, eine solche Compression nur vor seiner Spitze erzeugt, so wird er nach der erfolgten Ausgleichung des Druckes weniger fest stehn, als wenn er auf seine ganze Länge einen gehörigen Druck erleidet und hier überall die Reibung ihn zurückhält. Man hat keine directen Versuche angestellt, wodurch diese Ansicht sicher bestätigt oder widerlegt wäre, aber sie wird ziemlich allgemein getheilt, und das gewöhnliche Verfahren ist auch dieses, dafs man das Wipfelende des Pfahles nach unten

kehrt. Eine Ausnahme davon macht man nur in dem Falle, wenn ein Heben der Pfähle durch Eis besorgt wird, wie dieses bei den Jochpfählen einer Brücke und bei Eisbrechern besonders vorkommt. Der wichtigste Umstand ist in dieser Beziehung aber wohl der, den auch Perronet anführt, daß man besonders dafür sorgen muß, das stärkere Ende des Pfahles an diejenige Stelle zu bringen, wo der größte Angriff des Wassers stattfindet oder andere Beschädigungen vorkommen. Bei Bohlwerks- und Brückenpfählen ereignen sich die meisten Beschädigungen durch Fäulniß und durch den Eisgang über dem niedrigen Wasserstande. Trifft diese Stelle über die Mitte des Pfahles, was gemeinhin der Fall ist, so muß das Wipfelende nach unten gekehrt werden. Alsdann werden nämlich solche unvermeidliche Beschädigungen weniger nachtheilig, als wenn der Pfahl umgekehrt gestellt wäre. Auch bei Rostpfählen findet etwas Aehnliches statt, weil die Angriffe durch Fäulniß oder durch fließendes Wasser in größerer Tiefe weniger zu besorgen sind.

Die Rostpfähle wie alle Pfähle, die nicht in geschlossener Reihe stehn, pflegt man an den untern Enden mit Spitzen zu versehen, damit sie unter den Rammschlägen um so leichter in den Boden eindringen. Man dürfte freilich vermuthen, daß in gleichem Maaße, wie die Spitze das Einrammen erleichtert, sie auch Veranlassung giebt, daß der Pfahl bei der spätern Belastung nur einem geringeren Drucke widersteht, und früher die Senkung des Gebäudes veranlaßt, als wenn er unten stumpf abgeschnitten wäre. Eine besonders scharfe Zuspitzung muß man unbedingt vermeiden, weil solche zu leicht beschädigt wird, auch wohl abbricht. Daß durch solche die Rammarbeit aber keineswegs erleichtert wird, davon hatte ich mich durch mehrfache Versuche vollständig überzeugt, obwohl die Zimmerleute stets das Gegentheil behaupten.

Soviel mir bekannt, sind niemals entscheidende Versuche darüber angestellt worden, ob die Spitze wirklich das Eindringen des Pfahles erleichtert. Unbedingt findet dieses wohl bei den ersten Schlägen statt, wenn der Pfahl aber tiefer herabgetrieben ist, so läßt sich das vergleichungsweise nur überaus geringe Eindringen desselben unter jedem Schlage des Rammklotzes nur durch die sehr starke Reibung erklären, dem seine Seitenwand ausgesetzt ist. Bei gleichmäßigem Boden, wie solcher oft vorkommt, muß die Spitze beim Durchdringen der tiefern Schichten eben so wirksam sein, wie

in den obern, sie scheint aber hier der starken Seitenreibung gegenüber allen Einfluß zu verlieren. Die Spitze drängt die Erde, auf welche sie trifft, unmittelbar zur Seite, veranlaßt also hier eine stärkere Compression, die wahrscheinlich die Reibung vermehrt. Aus diesem Grunde versieht man Spundpfähle und andre Pfähle, die eine geschlossene Wand bilden sollen, nicht mit Spitzen, sondern mit Schneiden. Letztere drängen nämlich die Erde nicht an die Stelle, wo der nächste Pfahl gesetzt werden soll, sondern vor und hinter die Wand. In welcher Richtung ein Pfahl, der stumpf abgeschnitten ist, die Erde fortschiebt, läßt sich freilich nicht bestimmt beantworten, aber es ist wahrscheinlich, daß er in seiner unmittelbaren Nähe nicht eine so starke Compression veranlaßt, und sonach wäre zu vermuthen, daß wenn er so tief eingedrungen ist, daß der zu überwindende Widerstand beinahe ausschließlich nur von der Seitenreibung herrührt, diese etwas geringer sein dürfte, als wenn er mit einer Spitze versehen wäre.

Der vorstehend angeregte Zweifel findet einigermassen Bestätigung in der Mittheilung *), daß bei dem Bau einer Brücke die mit einer Spitze versehenen Rostpfähle im Verhältnisse von 9 zu 7 langsamer eindringen, als wenn man ihnen eine schneidenförmige Zuschärfung gegeben hatte. Der für diese Erscheinung daselbst angegebene Grund ist wohl nicht richtig, aber es schien mir doch angemessen, durch Versuche, wenn auch nur in kleinem Maasstabe zu prüfen, welchen Einfluß die Form der Spitze auf das Eindringen des Pfahles hat.

Zu diesem Zwecke schnitt ich mit einer Kreissäge kleine prismatische Stäbchen aus hartem, geradefasrigem Holze von gleichem quadratischen Querschnitt aus, und versah sie mit verschiedenen Spitzen oder Schneiden, während einige derselben stumpf abgeschnitten waren. Die Seiten der Querschnitte maßen 0,27 Zoll, und die Länge der Pfähle betrug 7 Zoll. Jeder derselben war an dem der Spitze gegenüber befindlichen Ende in der Richtung der Achse mit einem Bohrloche versehen, worin ein etwas zugeschärfter Stahldrath paßte. Dieser diente theils zur lothrechten Führung des Stabes, indem er durch eine Oeffnung einer festen Metallplatte gezogen war, theils aber führte er auch den kleinen bleiernen Rammklotz, der

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1852. Literatur-Blatt Seite 271.

seiner Länge nach durchbohrt war und den Draht umfasste. An diesen Draht befestigte ich außerdem einen kleinen Cylinder in solcher Höhe, daß der Rammklotz dagegen stiefs, so bald er 4 Zoll hoch gehoben wurde, und endlich trug der Draht am obern Ende noch einen Zeiger, der neben einem senkrecht aufgestellten Maafsstabe schwebte und erkennen liefs, wie tief der Pfahl bei jedem Schläge eindrang. Die Schläge waren aber constant dieselben, indem der Klotz jedesmal 4 Zoll hoch gehoben wurde.

Dieser Apparat wurde bei verschiedenen Sandschüttungen versucht, doch trat dabei die schon früher erwähnte grofse Schwierigkeit hervor, die Schüttungen jedesmal möglichst gleichmäfsig darzustellen, und hieraus erklären sich die vielfachen Unregelmäfsigkeiten der Resultate. Um die verschiedenen Pfahlsitzen bei derselben Schüttung vergleichen zu können, benutze ich ein cylindrisches Blechgefäfs von 9 Zoll Weite und 6 Zoll Höhe, worin sich 4 Pfähle im gegenseitigen Abstände von 4 Zoll eintreiben liefsen, also nicht zu besorgen war, daß die Schüttung, welche ein neuer Pfahl durchdrang, schon durch das Eintreiben der früheren verändert sei. Die Pfähchen wurden aber jedesmal nur so tief eingeschlagen, daß ihre untern Enden noch etwa 1 Zoll vom Boden entfernt blieben.

Bezeichne ich mit *A* den stumpf abgeschnittenen Pfahl, mit *B* denjenigen dessen pyramidale Spitze 0,3 und mit *C* denjenigen, dessen Spitze 0,6 Zoll lang ist, so betrug die Einsenkung in den letzten Schlägen, wenn also die Pfähle beinahe die volle Tiefe erreicht hatten und ein gleichmäfsiges Eindringen sich einstellte:

- 1) bei trockenem Sande der möglichst vorsichtig, und zwar mit sehr geringer Fallhöhe eingeschüttet war, wobei sich also die lockerste Ablagerung bildete

A 0,127 Zoll

B 0,133 „

C 0,116 „

- 2) bei trockenem, schichtenweise mäfsig angestampften Sande

A 0,043 Zoll

B 0,044 „

C 0,055 „

- 3) bei trockenem Sande, der durch vielfaches Einstossen eines halbzölligen Drahtes eine möglichst dichte Ablagerung angenommen hatte

A 0,040 Zoll

B 0,033 „

C 0,034 „

4) bei feuchtem Sande, dem jedoch nur so wenig Wasser zugesetzt war, daß er so eben mit der Hand sich zu Klumpen formen liefs. Bei diesem Gemenge war es am schwierigsten, eine gleichmäfsige Ablagerung zu bilden, wie sich aus dem sehr verschiedenartigen Eindringen jedes einzelnen Pfälchlen zu erkennen gab. Die beste Methode war noch diese, daß ich sehr dünne Schichten von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Höhe einbrachte und jede derselben durch sanftes Aufsetzen eines 4 Pfund schweren Gewichtstückes an allen Stellen comprimirte. Hiernach ergab sich

A 0,159

B 0,208

C 0,131

Wenn man aus diesen Beobachtungen, welche wegen der ungleichmäfsigen Ablagerungen des Sandes sehr auffallende Unterschiede unter sich zeigen, einen Schlufs ziehn kann, so ergibt sich, daß das Eindringen des Pfahles unter gleichen Rammschlägen nahe dasselbe bleibt, wenn der Pfahl mit einer langen, oder mit einer kurzen Spitze versehen oder stumpf abgeschnitten ist. Einen Unterschied zwischen der Spitze und der Schneide konnte ich eben so wenig mit Sicherheit bemerken. Augenscheinlich hatte aber die scharfe Spitze oder Schneide auf das erste Eindringen wesentlichen Einfluß und beförderte dieses in hohem Grade, doch nur bis die Pfälchlen etwa 2 Zoll tief eingedrungen waren, also die Reibung, die sie seitwärts erfuhren, den Haupt-Widerstand bildete, der überwunden werden mußte.

Indem mittelst des beschriebenen Apparates das Eindringen der Pfälchlen unter den ganz gleichen Schlägen sich messen, und die Verminderung der Bewegung bei der tieferen Stellung des Pfahles sich leicht wahrnehmen liefs, so versuchte ich noch aus den regelmäfsigsten Beobachtungs-Reihen die Beziehung zwischen der Tiefe ε , zu welcher der Pfahl bereits eingedrungen war, und der Einsenkung τ bei jedem Schläge festzustellen.

Die einfachste Form des zum Grunde zu legenden Gesetzes schien diese zu sein

$$\tau = \frac{n}{\varepsilon^x}$$

worin x einen noch unbekanntem Exponenten und n eine Constante bedeutet. Die wahrscheinlichsten Werthe von x stellten sich aus den einzelnen Reihen ziemlich verschieden heraus und schwankten sogar zwischen 0,6 und 1,5. Die größten Abweichungen wurden aber jedesmal beim ersten Schläge bemerkt, dessen Wirkung auch am wenigsten sicher gemessen werden konnte. Bei den zugespitzten Pfählen war überdies der anfängliche sehr bedeutende Einfluß der Spitze nicht zu beseitigen, woher ich dieser Untersuchung allein die stumpf abgeschnittenen Stäbe zum Grunde legen durfte. Hiernach ergab sich der Exponent ungefähr gleich 1, so daß für jede Reihe das Product $\tau \varepsilon$ eine constante Zahl bildete. Der Werth derselben oder n ergab sich für verschiedene Schüttungen trocknen Sandes und bei den gewählten Dimensionen der Pfählchen und des Rammklötzes:

1) bei möglichst loser Schüttung

$$n = 0,783$$

2) wenn der Sand etwa 6 Zoll tief herabgefallen war, sich also etwas fester abgelagert hatte

$$n = 0,622$$

3) bei schichtenweiser Anschüttung und jedesmaligem sanften Andrücken des trocknen Sandes

$$n = 0,261$$

4) nach vielfachem Einstoßen eines starken Drahtes

$$n = 0,211$$

In welcher Beziehung diese Constanten mit dem Drucke stehn, unter dem die Pfähle weiter herabsinken, soll im folgenden Paragraph untersucht werden, so wie alsdann auch davon die Rede sein wird, wie man die mechanischen Verhältnisse beim Eindringen der Pfähle in den Boden aufzufassen pflegt. Hier mag nur ein Umstand erwähnt werden, der von großem Einflusse ist und auf den auch Weisbach und Whewell aufmerksam gemacht haben. Er betrifft die Beschaffenheit des Holzes sowol in den Pfählen, als in den Rammklötzen. Die Wirkung des Schläges äußert sich am vollständigsten, wenn beide Körper möglichst hart sind, in dem entgegengesetzten Falle wird ein Theil der ausgeübten Kraft auf die Lösung und Biegung der Fasern verwendet. Zum Theil läßt sich eine solche Schwächung nicht vermeiden und namentlich in der vom Schläge getroffenen Oberfläche des Pfahles. Hierauf beruht die §. 35 bereits

erwähnte Erfahrung, daß dieselben Schläge auffallend weniger wirksam werden, sobald der Klotz nicht mehr unmittelbar den Pfahl trifft, vielmehr ein Aufsetzer oder Knecht dazwischen gestellt ist. Noch auffallender schwächt sich die Wirkung, wenn in dem Hirnholz, auf welches der Klotz fällt, die Fasern sich trennen und umlegen und oft ein dickes Polster bilden, das man möglichst bald entfernen muß. Es begründet sich hierdurch die Regel, daß man nur gesundes und kräftiges Holz zu Rammarbeiten verwenden darf. Ist dieses der Fall, so hört man den Klotz scharf aufschlagen, und sieht auch wohl, wie er nach dem Schläge von selbst sich wieder etwas erhebt.

Wenn man die Pfähle mit Spitzen versieht, so ist besonders darauf zu achten, daß diese weder selbst zu scharf, noch auch daß die Kanten zwischen ihren Seitenflächen zu schwach werden, denn in diesem Falle brechen und spalten die dünnen Holztheile aus, und indem dadurch die noch übrigbleibende Spitze mehr nach einer Seite gerichtet werden kann, als nach der andern, so dringt der Pfahl schräge ein und erfährt überdies einen größeren Widerstand. Jedenfalls genügt es, der Spitze den doppelten Durchmesser des Pfahles zur Länge zu geben, wie dieses auch gewöhnlich geschieht, häufig mißt diese Länge sogar nur das Ein- und Einhalbfache des Durchmessers, oder noch weniger. Außerdem muß das äußere Ende der Spitze noch abgestumpft und in eine flache Pyramide verwandelt werden. Die Spitze wird mit quadratischem Querschnitte oder in Form einer vierseitigen Pyramide zugeschnitten, wie Fig. 197 zeigt. Sie läßt sich auf diese Art am leichtesten abschnüren und bearbeiten, und die Seitenflächen treffen dabei unter einem stumpfen Winkel gegen einander. Man giebt zuweilen auch der Spitze die Form einer dreiseitigen Pyramide, und zwar um das Drehn des Pfahles zu verhindern, doch wird dadurch eine Beschädigung leichter möglich, weil alsdann die Seitenflächen unter spitzen Winkeln zusammenstoßen.

Um die Beschädigung der Pfahlspitzen beim Einrammen namentlich in festem Boden zu verhindern, hatte man früher, wie Peronet erwähnt, die Methode, die Pfähle mit ihren Enden über ein helles Feuer zu legen, so daß die Spitzen in ihren äußern Flächen sich etwas verkohlten, doch war dieses gewiß nicht passend, denn wenn man dadurch auch vielleicht das Absplittern verhindern

möchte, so wurde das Ausbrechen um so leichter möglich. Dagegen pflegt man häufig die Spitze mit Eisen zu beschlagen oder einen Pfahlschuh darauf anzubringen. Fig. 198 zeigt einen solchen. Er besteht aus einer eisernen Pyramide, welche die Spitze des Pfahles bildet, und an diese sind zur Seite vier Federn angeschmiedet, welche auf die Seitenflächen der Pahlspitze mittelst starker Nägel befestigt werden. Das Aufbringen der Pfahlschuhe erfordert große Sorgfalt, weil eine innige Berührung zwischen dem Holz und Eisen stattfinden muß. Die Spitze des Pfahles, der mit dem Schuhe versehen werden soll, darf nicht zugeschärft sein, sondern muß senkrecht abgeschnitten werden, so daß sich eine quadratische Grundfläche von 4 bis 9 Quadratzoll bildet. Eine eben so große und ganz ebene Fläche muß der Pfahlschuh enthalten, damit ihn der Druck und der Stofs des Pfahles gleichmäfsig trifft. Wenn man auf diesen Umstand nicht aufmerksam ist und vielmehr die Verbindung nur durch die Federn und Nägel darstellen will, so bildet sich leicht ein ungleichmäfsiger Widerstand und der Pfahlschuh verschiebt sich. Bei der großen Anzahl alter Pfähle, die ich am Pillauer Hafen ausziehn liefs, waren diejenigen, welche vor dem sogenannten hohen Bohlwerke steckten, sämmtlich mit Pfahlschuhen versehen, aber kaum beim zehnten Theile derselben safs der Schuh noch in der Achse des Pfahles. Fast jedesmal hatte er sich seitwärts geneigt und häufig war er normal gegen den Pfahl gerichtet, oder er hatte sich sogar aufrecht gekehrt, indem alle Federn bis auf eine abgebrochen waren. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß der Schuh, sobald er sich schief stellt, das Eindringen des Pfahles mehr erschwert, als erleichtert, also seinen Zweck ganz verfehlt, und sogar höchst nachtheilig wirkt.

Man muß sonach dem Schuh eine sichere Befestigung geben, auch darf derselbe nicht heiß aufgebracht werden, weil dadurch jene Ebene, auf welcher der Pfahl ruht, verkohlt und sonach die unmittelbare Berührung des festen Holzes mit dem Eisen verhindert würde. Ferner ist es nothwendig, daß der Schuh aus einer hinreichend großen Eisenmasse besteht, damit jene Berührungsfläche die erforderliche Ausdehnung erhält. Der letzte Umstand war wohl vorzugsweise Veranlassung zur Verschiebung jener in früherer Zeit in Pillau angewendeten Pfahlschuhe, die durchschnittlich nur 5 und zuweilen sogar nur 3 Pfund wogen. Ein Gewicht von 10 Pfund dürfte das

Minimum sein, was auf jeden Pfahlschuh gerechnet werden muß, sehr häufig ist es aber noch größer. So wendete Telford bei den Fangedämmen des St. Katharine's Docks in London Pfahlschuhe an, die 16 Pfund wogen. Beim Bau der Brücke zu Neuilly benutzte Perronet dergleichen von 25 Pfund, und de Cessart wandte beim Bau der Brücke zu Saumur Pfahlschuhe von 25 bis 30 Pfund an. Viel größer ist indessen noch das Gewicht der gusseisernen Pfahlschuhe. Fig. 199 *a* und *b* zeigt in der Seitenansicht und im Durchschnitte einen solchen, wie ihn Deschamps angiebt. *) Die ebene Fläche, in welcher sich der Pfahl und der Schuh berühren, hat die halbe Stärke des Pfahles zum Durchmesser, woher das Gewicht des Schuhs bei 10 Zoll starken Pfählen schon gegen 50 Pfund beträgt. Batsch **) führt an, daß er bei einer Kaimauer in Paris dergleichen habe anwenden sehn, die 30 Kilogramme oder 60 Pfund wogen. Die Zeichnung, die von Batsch mitgetheilt wird, unterscheidet sich von der hier gegebenen dadurch, daß der Schuh nicht einen Kegel, sondern eine vierseitige Pyramide bildet, also auf einen beschlagenen Pfahl paßt. Diese gusseisernen Schuhe sind statt der Federn mit einem sie umgebenden Rande versehen und ihre Befestigung im Pfahle erhalten sie durch einen eingegossenen Dorn aus Schmiedeeisen, der Widerhaken hat und in den Pfahl eingreift.

In neuester Zeit wendet man in Frankreich vielfach die von Camuzat angegebenen Pfahlschuhe an. Dieselben bestehen aus einer pyramidalen oder kegelförmigen Hülse aus Blech von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Linien Stärke, die durch einen doppelt übergebogenen Rand in ihrer Form gesichert ist, und deren unteres Ende an einen massiven schmiedeeisernen Kegel oder Pyramide angeschweißt ist. Nach sorgfältiger Bearbeitung der Pfähle werden sie auf diese aufgenagelt. Bei dem bereits erwähnten Bau der Brücke la belle Croix zu Nantes gab man ihnen das Gewicht von 36 Pfund, und bei vorsichtiger Behandlung soll es gelungen sein, sie selbst durch altes Mauerwerk hindurch zu treiben. Dabei war man aber sehr aufmerksam, sobald ein starker Widerstand sich zeigte, die Hubhöhe der 1400 bis 2000 Pfund schweren Klötze der Kunstrammen zu mäßigen und durch

*) *Nouvelle Collection de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur.*

**) *Hydrotechnische Wanderungen.* Bd. II. S. 39.

anhaltende schwache Schläge die festen Massen zu durchbrechen, weil sonst die Pfähle und Schuhe litten. *)

Es entsteht die Frage, ob, und in welchem Falle Pfahlschuhe nothwendig sind. Es ist klar, daß sie in weichem Grunde nichts weiter nützen können, als daß sie vielleicht die Reibung an der Spitze des Pfahles etwas mäfsigen, doch ist dieses sehr gleichgültig, weil der frische Grund, den die Pfahlspitze erreicht, noch keinen starken Druck dagegen ausübt. Die grösste Reibung findet gegen die Seitenwände des Pfahles statt, soweit derselbe seine volle Stärke hat, und hierauf übt der Pfahlschuh augenscheinlich keinen Einfluß aus. Sein Zweck ist nur, die harten Körper, die in der Richtung des Pfahles liegen, zu durchstossen, oder zur Seite zu drücken. Es ist aber nicht zu bezweifeln, daß, sobald ein grofser und fester Stein getroffen wird, derselbe dem Pfahlschuh eben so wenig ausweichen oder nachgeben kann, als der hölzernen Spitze, und bei festen Holzstämmen, die im Grunde liegen, dürfte wohl dasselbe stattfinden. Es bleibt also ein Vortheil des Schuhes nur noch in dem Falle denkbar, wenn der berührte Körper keinen bedeutenden Widerstand leistet, wobei aber doch die hölzerne Spitze des Pfahles beschädigt werden möchte. Für diesen Fall wäre der Vorzug des Pfahlschuhes noch immer wesentlich, wenn man sicher wäre, daß er nicht leidet, auch seine Stellung nicht verändert, aber eben dieses darf man kaum voraussetzen, da seine Verbindung nie ganz fest ist, und die angeführten Erfahrungen auch zeigen, daß die Nägel leicht nachgeben, sobald die Tendenz zu einer Verschiebung vorhanden ist. Dazu kommt noch, daß der Stofs bei der Uebertragung gemäfsigt wird, woher man annehmen kann, daß in vielen Fällen die unbedeckte Spitze leichter eindringt, als der Pfahlschuh. Bei dem aus grobem Sande bestehenden Boden in Pillau bestätigte sich diese Vermuthung vollständig: die Pfähle, welche mit keinen Schuhen versehen waren, zeigten, wenn ich sie mitunter nach kurzer Zeit (wenn sie etwa vom Eise durchschnitten waren) ausziehen mußte, allerdings eine rauhe Oberfläche und die Enden der Fasern des Kiefernholzes hatten offenbar beim Einrammen sich zurückgelegt, auch waren hin und wieder starke Eindrücke zu bemerken, die wohl vom

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. I. pag. 40.

Aufstoßen auf harte Körper herrühren mochten, und zuweilen war die äußere Spitze etwas breit geschlagen. Ich konnte indessen niemals eine solche Beschädigung wahrnehmen, die eine merkliche Erschwerung des Eindringens des Pfahles hätte vermuthen lassen, und aus diesem Grunde prüfte ich durch einen sehr überzeugenden Versuch den Nutzen, den die Pfahlschuhe unter diesen Verhältnissen gewährten. Ich liefs nämlich an derselben Stelle, wo sie bisher immer angewendet waren, abwechselnd einen Pfahl um den andern damit versehn und es ergab sich, daß die Pfähle ohne Schuhe etwas leichter eindringen, als die, welche einen solchen hatten. Es sind später auch bei andern Bodenarten, und namentlich bei Kiesboden, und mit schwereren Pfahlschuhen ähnliche Versuche gemacht, die auch ergaben, daß man durchschnittlich wenigstens keinen Unterschied bemerken konnte. *) Hiernach scheint der Nutzen der Pfahlschuhe sehr zweifelhaft zu sein, jedenfalls wird er aber nur in seltenen Fällen eintreten, und um ihn zu erreichen, ist die Anwendung schwerer und sehr sorgfältig bearbeiteter Schuhe nothwendig, welche nicht ohne bedeutende Kosten zu beschaffen sind.

Bei Ausführung der meisten Bauten fehlt es nach Feststellung des Projectes an Gelegenheit, oft aber auch an dem guten Willen zur Anstellung vergleichender Versuche. Wenn man aber ausgedehnte Rammarbeiten leitet und vorher überzeugt ist, daß die Anwendung der Pfahlschuhe nothwendig sei, so wird man nach glücklicher Beendigung des Baues auch jedesmal überzeugt sein, daß die Pfahlschuhe von wesentlichem Nutzen gewesen. Zuweilen treten indessen doch Umstände ein, die ein sicheres Urtheil darüber gestatten. Dazu diene schon jenes Ausziehen der Pfähle; ein anderer Fall dieser Art ereignete sich beim Bau des Viaducts bei Tarascon. Dasselbst war eine Pfahlwand noch nicht gegen Ausspülung gesichert, als bei einer plötzlichen Anschwellung der Rhone der Grund um dieselbe so tief ausgewaschen wurde, daß die Pfähle ganz entblößt wurden und an den Holmen hingen. Die Untersuchung ergab, daß kein einziger Pfahl noch den Schuh trug, mit

*) Auch bei dem sandigen, mit etwas Lehm gebundenen Boden, bei Dirschau, worin die Pfähle schwer eindringen, bemerkte Lentze dasselbe. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbweises. 1848. S. 153.

dem man ihn vor dem Einrammen versehn hatte, auch dafs vielfache Brüche im Holze vorgekommen waren. *)

Was die Bearbeitung der Pfähle betrifft, so muß bemerkt werden, dafs sie vor dem Einrammen am Kopfe recht eben und zwar senkrecht gegen ihre Achse abgeschnitten werden müssen. Um aber ein Aufspalten des Kopfes zu verhindern, was besonders in dem Falle zu geschehn pflegt, wenn der Schlag nahe an den Rand trifft, so muß man die Kanten an der Oberfläche brechen. Zuweilen versieht man auch zu demselben Zwecke jeden Pfahl mit einem Ringe, wie dieses bereits bei Gelegenheit der Kunstramme bemerkt ist. Außerdem legen sich, wenn der Rammklotz längere Zeit hindurch den Pfahl getroffen hat, die sämtlichen Holzfasern um, und bilden dadurch eine weiche Unterlage, die den Effect der Ramme ungemein schwächt. Sobald dieses geschieht, muß man einige Zoll weit den Pfahl abschneiden, um frisches und festes Holz dem Schläge des Rammklotzes auszusetzen. Der Nutzen hiervon zeigt sich oft auf eine überraschende Art, indem der Pfahl sogleich wieder weit leichter eindringt. Dieselbe Wirkung übt zuweilen eine geringe Verstellung der Ramme, wodurch der Schlag des Klotzes mehr nach der Achse des Pfahles geführt wird, und überhaupt ist eine unausgesetzte Aufsicht auf die Rammarbeiten zu deren Beschleunigung und Erleichterung dringend nöthig.

Wenn mehrere Reihen von Rostpfählen hinter einander eingerammt werden sollen, so entsteht die Frage, ob man mit den äussern oder mit den innern den Anfang zu machen hat. Gewöhnlich wählt man das erste, weil durch die äufsern Pfähle schon der Boden in der Mitte der Baugrube comprimirt wird und die hier einzurammenden Pfähle daher schneller den für erforderlich erachteten Widerstand zeigen. Da jedoch die Spannung, welche ihr tieferes Eindringen verhindert, sich mit der Zeit wieder ausgleicht, so können sie dadurch auch leicht so lose werden, dafs der ganze Pfahlrost weniger feststeht, als wenn man mit den innern den Anfang gemacht und die Compression des Bodens allmählig nach der Seite hin getrieben hätte. Hiernach dürfte es sich empfehlen, zuerst die innern Pfähle einzutreiben. Wo Spundpfähle vorkommen,

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1861. Seite 180.

findet jedoch diese Regel eine Ausnahme, weil die Spundwand sich im festen Boden weniger genau ausführen läßt.

Es ist schon früher von manchen Eigenthümlichkeiten die Rede gewesen, die sich in verschiedenen Bodenarten beim Einrammen der Pfähle zuweilen zu erkennen geben. Hierher gehört, daß mancher Boden so elastisch ist, daß er mit dem Pfahle zugleich sich senkt, und sonach die beabsichtigte Wirkung der Ramme ganz aufhört. Man hat in solchem Falle eine Belastung des Pfahles angebracht, passender möchte es aber sein, das Moment des Stosses zu vermehren, oder den Klotz aus größerer Höhe fallen zu lassen. Andererseits hat es sich hin und wieder auch ereignet, daß Pfähle, die bereits gesetzt waren, sich plötzlich wieder hoben. Einen solchen Fall erzählt Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans, woselbst ein Quell den Grund rings um einen Pfahl so auflockerte, daß letzterer sich löste und heraufschwamm. Dasselbe geschah auch auf einer Schleusenbaustelle im Bromberger Canale. *) Der Boden bestand daselbst aus Thon, der auf Sand lagerte, und nachdem man die Rammarbeiten beinahe beendigt, auch bereits die Fachbäume auf die Spundpfähle aufgebracht hatte, so hoben sich plötzlich alle Pfähle und Spundpfähle und letztere so stark, daß sie den darauf liegenden Fachbaum sogar 9 Zoll aufwärts bogen. Man schrieb dieses Ereigniß der starken Seitenbelastung des Terrains und der geringen Consistenz des Thones zu, es möchte indessen die Hauptveranlassung dafür wohl in den Quellen zu suchen sein, die man durch das Trockenlegen der Baustelle hineinleitete und welche den Boden erweichten und ihn zugleich mit den bereits eingerammten Pfählen aufhoben. Man hat auch sonst dieselbe Erscheinung bemerkt, sie wiederholt sich aber immer nur da, wo durch starkes Wasserschöpfen eine feste Sandschicht in Trieb sand verwandelt wird. Zuweilen will man auch wahrgenommen haben, daß durch den Druck der später eingerammten Pfähle die früheren gehoben wurden, und eben um dieses zu vermeiden, hat man empfohlen, die Stammenden nach unten zu kehren.

Daß die Pfähle, wenn die Rammarbeit einige Stunden unterbrochen war, gewöhnlich wieder merklich leichter ziehn, als vor

*) Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst von Eytelwein. Heft I. S. 55.

dem Eintritt der Pause, ist bereits erwähnt worden. Die Erklärung dafür ist aber diese, daß die Compression des Bodens unmittelbar neben dem Pfahle sich nach und nach etwas vermindert, oder die Erdtheilchen seitwärts ausweichen. Es kann dieses offenbar nur geschehn, wenn der Boden weich ist oder in gewissem Grade eine dicke Flüssigkeit bildet, und es giebt sich diese Erscheinung auch vorzugsweise in einem zähen Thonboden zu erkennen. Bei den Rammarbeiten in Pillau im festen Sandgrunde war ein solcher Einfluß der Pausen weniger auffallend. Andererseits hat man in sehr seltenen Fällen auch wahrgenommen, daß die Unterbrechung der Arbeit einen Erfolg hatte, der dem erwähnten gerade entgegengesetzt war, so daß die Pfähle, wenn sie einige Stunden, oder auch nur kürzere Zeit hindurch gestanden hatten, gar nicht weiter eingetrieben, noch auch herausgezogen werden konnten. Beispiele hiervon sind schon bei Gelegenheit der Beschreibung von Schleusenbauten in England angeführt worden. Die näheren Umstände sind dabei jedoch nicht bekannt, vielleicht wurde durch die Pfähle dem Wasser ein freier Zutritt zu den untern Erdschichten eröffnet, wodurch der bisher trockne Thonboden zu quellen begann und die Reibung sich in hohem Grade vermehrte.

Ferner verdient hier das Drehen mancher Pfähle erwähnt zu werden. Dieses wird nicht immer durch eine äußere Krümmung veranlaßt, sondern vorzugsweise tritt es ein, wenn die Holzfasern in sich schon eine merkliche Windung zeigen, wie man nicht selten findet. Man muß annehmen, daß die Erschütterung durch den Schlag des Rammklotzes sich der Länge nach durch die Fasern fortsetzt, und wenn diese nicht gerade sind, so verliert auch der Stofs seine ursprüngliche Richtung. Bei den Bauten in Pillau wurden alle Stämme, welche eine Windung in den Fasern auf einzelnen Stellen und mitunter auf größere Längen bemerken ließen, nicht zu den eigentlichen Bohlwerken benutzt, weil sie sich nicht regelmäßig genug einrammen ließen, wohl aber konnten sie ohne Nachtheil als Eispfähle verwendet werden, das heißt, sie wurden vor das Bohlwerk gesetzt, um das letztere vor dem Angriffe des Eises sicher zu stellen. Bei diesen zeigte sich ein starkes Drehn unter der Ramme, und es sind Fälle vorgekommen, daß sie, obgleich sie ganz gerade Stämme bildeten, beim Eindringen auf etwa 15 Fufs Tiefe eine volle Umdrehung machten und sonach wieder in ihre ursprüngliche Lage

zurückkamen. Die Drehung erfolgte aber jedesmal in der Richtung, welche die Windung der Fasern angab, so dafs die Erscheinung ungefähr dieselbe war, als wenn diese Fasern, die jedoch gar nicht vortraten, sich in den Boden eingeschroben hätten.

Zuweilen ist man gezwungen, einzelne Pfähle im Felsboden aufzustellen. Wenn man z. B. im Flußbette unter Wasser auf dem Felsen eine Bétonfundirung ausführen will, so muß man Rüstungen darüber erbauen, auch die Baustelle einschließen, und zu diesem Zwecke ist es nöthig, Pfähle in den Boden einzutreiben. Nur bei sehr weichem Gestein gelingt es, mittelst starker Pfahlschuhe die Pfähle noch einzurammen, doch pflegen sie alsdann den Boden aufzubrechen, so dafs sie keinen festen Stand annehmen. Es bleibt daher nur übrig, das Loch für den Pfahl vorzubohren, in ähnlicher Art, wie man weite Bohrlöcher behufs der Artesischen Brunnen abteuft. Dieses geschah z. B. bei Anlage des Wehrs in dem Doubs-Flusse bei Néwy, welches zur Speisung des Rhein-Rhone Canales erbaut wurde. Der Boden bestand in klüftigem Jura-Kalk und die Fundirung sollte in Béton gemacht werden, man mußte aber die zu versenkenden Bétonmassen dem unmittelbaren Angriffe des Stromes entziehen und deshalb war eine Umschließung erforderlich, die man nur darstellen konnte, nachdem einige Pfähle eingerammt waren. Zu diesem Zwecke wurde mit einem Kronenbohrer ein Bohrloch von etwas geringerem Durchmesser, als dem der Pfähle, herabgetrieben, und hierin schlug man mit einer Handramme die Pfähle ein. *) Dasselbe Verfahren zeigte sich auch in einem andern Falle sehr vortheilhaft und ergab überdies, dafs solche Pfähle eine sehr feste Stellung annehmen.

Wird ein fester Felsboden durch weiche Erdschichten überdeckt, so kann es leicht geschehn, dafs die letzteren nicht mächtig genug sind, um das Ueberweichen und selbst das Umstürzen der Pfähle zu verhindern, wie dieses zuweilen, z. B. bei der Brücke zu Tours wirklich vorgekommen ist. Man versieht alsdann gewöhnlich die Rostpfähle mit recht scharfen Schuhen, und bemüht sich, sie durch anhaltendes Rammen noch bis zu einiger Tiefe in den Felsen einzutreiben. Dieses Verfahren ist aber sehr gefährlich, da der auf der festen und harten Unterlage aufstehende Pfahl von den Schlägen

*) *Recueil de dessins relatifs à l'art de l'Ingénieur. I. Collection.*

des Rammklotzes mehr als sonst angegriffen wird. Wenn er alsdann aber an seinem untern Ende spaltet und bricht oder vielleicht ganz zersplittert, so giebt sich dieses in seinem obern Theile gar nicht zu erkennen. Man bemerkt beim eintretenden Bruche nur, daß der Pfahl wieder besser zieht als früher, und glaubt alsdann, daß eine besonders feste Schicht, auf die er getroffen hatte, bereits durchdrungen ist und er nunmehr wieder weichere Lagen durchschneidet, worin er sich gehörig fest und sicher einstellen kann. Sehr interessant sind in dieser Beziehung die Erfahrungen, die man am rechtseitigen Stirnpfeiler der Brücke zu Bergerac über die Dordogne machte. Man schlug hier 15 Pfähle, wie es scheint, nur als Probepfähle ein, und da sie mit Ausnahme eines einzigen so weit herabgetrieben waren, daß sie tief genug im festen Boden zu stecken schienen, so entschloß man sich zur Anlage eines Pfahlrostes. Nichts desto weniger war das verschiedenartige Verhalten der Pfähle doch zu auffallend gewesen, um keinen Verdacht wegen ihrer sichern Stellung aufkommen zu lassen, und eine ganz eigenthümliche Beschaffenheit des Grundes mußte man voraussetzen, um den abwechselnden Effect der einzelnen Hitzten zu erklären. Man entschloß sich hiernach zu einer nähern Untersuchung, und grub den Boden auf. Es ergab sich, daß die sämmtlichen Pfähle, mit Ausnahme des einzigen, der nur auf eine geringe Tiefe herabzutreiben war, gespalten und gebrochen waren. Ich wähle aus den verschiedenen Gruppierungen der Pfahlstücken, die man hier vorfand, nur eine aus, welche Fig. 200 darstellt. Die sämmtlichen Pfähle bestanden aus starkem und festem Holze und zwar zwölfmal aus Eichenholz und dreimal aus Kiefernholz, doch scheint die Verschiedenheit des Materials auf den Effect keinen Einfluß gehabt zu haben. Jedesmal waren aber schwere Pfahlschuhe und hauptsächlich gußeiserne benutzt worden. *) Auch Beaudemoulin **) erzählt, daß er einst einen Pfahlrost im Felsboden ausgeführt, und später bei der Ausbaggerung der obersten losen Erdschichten gefunden habe, daß mehr als die Hälfte der Pfähle bei der Berührung des Felsens in

*) *Nouvelle Collection de dessins etc.* Eine Uebersetzung des Aufsatzes, sowie eine Mittheilung der sämmtlichen Zeichnungen befindet sich auch in *Crelle's Journal für die Baukunst*. Bd. V.

**) *Annales des ponts et chaussées*. 1839. II. p. 102,

ähnlicher Art zerbrochen waren. Die früher erwähnte Erscheinung bei der Brücke zu Orleans, wo einzelne Pfähle bald feststanden, andere dagegen bis 60 Fufs herabgetrieben werden konnten, dürfte sich durch die Voraussetzung ähnlicher Beschädigungen am einfachsten erklären.

Bisher ist nur von hölzernen Pfählen die Rede gewesen, und wenn die eisernen, die in neuerer Zeit besonders in England vielfache Anwendung gefunden haben, auch als eigentliche Rostpfähle nicht benutzt sind, so haben sie doch bereits unter schwierigen Verhältnissen sich bei Fundirungen so sehr bewährt und vergleichungsweise zu andern Constructions-Arten in ihrer Befestigung solche Erleichterungen geboten, daß ihre nähere Beschreibung nicht umgangen werden kann. Wenn eiserne und zwar gusseiserne Pfähle eingerammt werden, so treten diese Vortheile nicht ein, und über solche ist hier wenig zu sagen. Am häufigsten werden sie zur Darstellung von Spundwänden benutzt, wovon später manche Beispiele mitgetheilt werden sollen, indem man ihnen aber jeden beliebigen Querschnitt geben kann, so pflegt man selbst wenn sie einzeln stehn sie nicht cylindrisch, sondern als Platten zu formen, die durch Verstärkungsrippen die nöthige Festigkeit und Steifigkeit erhalten.

Die wichtigste Art der eisernen Pfähle sind aber die Schraubenpfähle, die nicht mit der Ramme eingetrieben, sondern in den Grund eingeschoben werden. Die Idee, auf diese Weise Pfähle eindringen zu lassen, ist schon früher angeregt worden; Gilly und Eytelwein *) erwähnen derselben als eines „lächerlichen Einfalles“, sie durfte auch wohl bei der damaligen unvollkommenen Fabrikation der Eisen-Arbeiten, wenigstens in Deutschland, als ganz verfehlt angesehen werden. Soviel bekannt, ist sie früher auch nie versucht worden, bis Mitchell im Jahre 1838 sich darauf ein Patent geben liefs und Anwendungen davon machte, die sogleich die allgemeinste Aufmerksamkeit erregten.

Die Schrauben, welche mit den Pfählen verbunden werden, sind in vielen Fällen und namentlich in reinem Sandboden dieselben, welche man zur Befestigung der Buoyen benutzt, also Grundschrauben, deren Beschreibung und Zeichnung im dritten Theil dieses Werkes gegeben ist. **) In dieser Form bestehn sie meist aus Schmiede-

*) Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst I. Heft. 1809. S. 34.

**) Seeufer und Hafengebäude. Vierter Band. S. 286.

eisen, und halten bis 4 Fufs und darüber im Durchmesser. Sie bilden nur einen einzigen Schraubengang von dieser Gröfse der am untern Ende sehr schnell sich verkleinert und in der Spitze der Spindel in einen Schneckenbohrer sich verwandelt. Die Steigung des Schraubenganges mufs ziemlich niedrig gehalten werden, weil sonst das Eindringen des Pfahles zu viel Kraft erfordert, es ist aber darauf zu achten, dafs dieselbe Steigung, welche der obere Schraubengang hat, bis zur untern Spitze sich fortsetzt. Die Spindel dieser Schraube besteht gleichfalls aus Schmiedeeisen, und ist mit dem Gange innig verbunden. In passenden Gesenken werden beide aus demselben Eisenstücke ausgeschmiedet. Der Gang ist am äufsern Rande etwa $\frac{1}{2}$ Zoll stark, verstärkt sich aber nach innen immer mehr, so dafs er im Anschlusse an die Spindel 3 bis 4 Zoll dick wird. Später hat Wells sich noch auf eine Abänderung dieser Schraube ein Patent geben lassen, die darin besteht, dafs der äufsere Rand des Gewindes nicht aus gewöhnlichem Schmiedeeisen besteht, sondern aus Stahl, und dafs darin Zähne, wie bei einer Säge angebracht sind, wodurch das Eindringen in unreinen und harten Boden erleichtert werden soll.

Die Spindel hat nach Maafsgabe der Last, die sie tragen soll, 4 bis 8 Zoll im Durchmesser und gewifs ist es vortheilhaft, sie wo möglich in ihrer ganzen Länge, also bis zu derjenigen Höhe, wo sie durch darüber gelegte Rahmstücke mit den andern ähnlichen Spindeln verbunden wird, aus einem Stücke bestehn zu lassen. Beim Bau einer Brücke über die Etsch in Verona waren die Spindeln bei 8 Zoll Stärke sogar 50 Fufs lang. *) Wenn dieses aber nicht geschehn kann, so mufs man dafür sorgen, dafs die übereinander stehenden Theile der Spindel nicht nur fest, sondern auch centrisch mit einander verbunden sind, so dafs ihre Achsen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Man pflegt alsdann das eine Ende kegelförmig abzdrehn und das andre, welches etwa den doppelten Durchmesser hat, mit einer entsprechenden Oeffnung zu versehen, so dafs jenes in dieses genau eingreift. Die innige Verbindung zwischen beiden wird alsdann durch fest eingetriebene starke Schlufskeile dargestellt.

Andrerseits bestehn die Schrauben auch häufig aus Gufseisen

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* 1867. p. 105.

und sind alsdann entweder wieder mit Spitzen versehen, auf denen das Gewinde mit unveränderter Steigung und mit abnehmendem Durchmesser sich fortsetzt, oder der weit vortretende Schraubengang endigt nahe über dem untern Ende einer cylindrischen Röhre. Ist letzteres der Fall, so hat der ganze Pfahl dieselben Dimensionen, auch die gleiche Weite im Innern wie der untere Cylinder. Die durch den Rand des letzteren abgeschnittene Erde kann also im Innern ansteigen. Solche cylindrische Pfähle bestehn aus gufseisernen Röhren, die in den vortretenden Flanschen durch Schrauben-Bolzen mit einander verbunden sind, man gießt auch wohl an die Flanschen zwischen den Schrauben Winkelbänder an, um das Abbrechen zu verhindern. Auch jene mit Spitzen versehene Schrauben pflegen im obern Theile hohle Cylinder zu bilden, die entweder in gleicher Weise mit andern gufseisernen Röhren verbunden werden, oder man streift sie auch über die vorher sorgfältig zugeschnittenen Enden hölzerner Pfähle, auf die sie sicher befestigt werden. Die gufseisernen Schrauben erhalten im Allgemeinen geringere Durchmesser, als die geschmiedeten, doch pflegt man ihnen mehr, als eine Windung zu geben, damit wenn irgend wo ein Stück des Schraubenganges abbricht, sie noch immer vollständig gehalten werden. Bei sehr reinem Grunde, worin man keinen Geschieben begegnet, ist indessen diese Vorsicht entbehrlich.

Der wesentliche Vorzug der Schraubenpfähle vor den eingerammten Pfählen besteht darin, daß sie auf einer viel größeren Grundfläche, nämlich auf der Kreisfläche des Schraubenganges, aufstehn, also selbst in losem Grunde einem weit stärkeren Drucke den nöthigen Widerstand leisten. Dabei sind sie auch nicht der Gefahr ausgesetzt, etwa durch das Eis gehoben zu werden, und aus diesem Grunde eignet sich die Schraube vorzugsweise zur Befestigung von Seezeichen und Buoyen, vor denen Schiffe liegen. Die ganze darauf ruhende Erd- oder Sandmasse, die in größerer Höhe einen größeren Durchmesser annimmt, also einen umgekehrten Kegel bildet, ruht darauf und müßte herausgerissen werden, wenn die Schraube gehoben werden sollte.

Demnächst ist auch das Einstellen eines Schraubenpfahles unter ungünstigen Verhältnissen bequemer und sicherer, als das Einrammen von Pfählen. Wenn eine feste Rüstung auch immer vorzuziehn wäre, so bieten doch auch zwei fest geankerte Fahrzeuge hierzu

schon volle Gelegenheit. Die Schraubenpfähle lassen sich alsdann leicht an jede beliebige Stelle bringen, und es ist gleichgültig ob sie senkrecht, oder etwas geneigt stehn sollen. Das Einschrauben eines Pfahles ist aber, wenn für hinreichend kräftige Windevorrichtungen gesorgt und Alles gehörig verbreitet ist, meist in wenig Stunden ausführen.

Die erste bedeutende Anwendung fanden die Schraubenpfähle bei Erbauung des Leuchthurmes auf Maplin-Sand vor der Mündung der Themse *), woselbst neun Pfähle aus gewalztem Eisen bestehend, 20 Fuhs tief in den Sand eingeschoben wurden. In gleicher Weise wurden bald darauf andre Leuchthürme gebaut, und unter diesen ist besonders derjenige an der Küste von Florida wichtig, woselbst ein Korallenriff durchbohrt werden mußte. Später ist diese Constructionsart auch zu andern Zwecken benutzt, so dienten beim Bau des Hafens von Portland hölzerne Pfähle mit gufseisernen Schrauben versehen, als Rüstpfähle, und vielfach hat man eiserne Pfähle in den Grund geschoben, welche eiserne Brücken tragen. Wenn im Gegensatze zu diesen Erfahrungen es hin und wieder nicht geglückt ist, selbst kleinere Schrauben auch nur einige Fuhs tief in reinen Sand eindringen zu lassen, so dürfte der Grund davon wohl nur in den mangelhaften Vorkehrungen zu suchen sein, welche die Ausübung der nöthigen Kraft zum Drehn der Schrauben nicht gestatteten.

Am passendsten ist es, wie auch gewöhnlich geschieht, an den obern Theil des Schaftes etwa 8 Hebel von 10 bis 12 Fuhs Länge wie Radspeichen zu befestigen und über die gabelförmigen Enden derselben ein starkes Tau oder eine Kette zu legen, welche durch kräftige Winden angezogen wird. Besonders empfiehlt es sich aber, wenn die Gelegenheit dazu es irgend gestattet, zwei Winden auf den gegenüber stehenden Seiten desselben Rades aufzustellen, und beide gleichzeitig wirken zu lassen, weil alsdann der Pfahl keinen Seitendruck erfährt und nur um seine Achse gedreht wird. Im entgegengesetzten Falle ist eine sehr feste Absteifung erforderlich, wobei die starke Reibung gegen die Pfannen nicht vermieden werden kann.

*) Im dritten Theile dieses Werkes ist in Fig. 249 eine Zeichnung dieses Thurmes mitgetheilt.

Um an einem Beispiele die Vorrichtung zum Einschrauben der Pfähle zu erläutern, wähle ich diejenige, welche beim Bau der Brücke über den Festungsgraben bei Königsberg in der Bahn nach Pillau benutzt wurde. *) Der Boden besteht bis zu sehr großer Tiefe aus weicher Moorerde, woher es darauf ankam, die Pfähle mit möglichst großen tragenden Flächen zu versehen. Die Schraubengewinde erhielten daher einen Durchmesser von 5 Fuß, und wurden 22 Fuß tief eingeschoben. Jede derselben mußte 800 Centner tragen, und sie haben diese Widerstands-Fähigkeit auch in der That gezeigt.

Jeder Pfahl besteht aus gußeisernen Röhren von 30 Zoll äußerem Durchmesser und 6 bis 8 Fuß Länge, die mittelst Flanschen und Schraubenbolzen mit einander verbunden sind. Die Wandstärke der Röhren mißt in den Zwischenstücken $1\frac{1}{2}$ Zoll, in den untern aber, woran das Gewinde angegossen ist, und eben so auch in dem obern Aufsatz-Stücke, dem die Drehung mitgetheilt wird, 2 Zoll. Die Röhre ist unten offen und zwar ist der Rand des untern Stückes nach außen zugeschärft, damit der verdrängte Boden in die Röhre selbst aufsteigt.

Figur 217 auf Tafel XVI zeigt neben der Vorrichtung zum Einschrauben auch die verschiedenen Theile der Röhre. Figur 217 c stellt das mit der Schraube versehene Stück dar, und die punktirten Linien bezeichnen die erwähnte Zuschärfung. Das Schraubengewinde, welches 15 Zoll vor die Röhre vortritt ist neben derselben 4 Zoll, am äußern Rande aber 2 Zoll stark, seine Steigung beträgt 10 Zoll. Es beginnt fast unmittelbar über dem untern Ende der Röhre. Fig. 217 b zeigt das obere Ansatzstück, welches den Apparat zum Drehn trägt, und zwar sowohl im Durchschnitt, wie auch in der Seiten-Ansicht. Letztere läßt eine der beiden eingehobelten Schlitze bemerken, die nebst den darin befindlichen Schlußkeilen in der Ansicht von oben, Fig. 217 a, sichtbar sind.

Die letzte Figur stellt das Rad dar, welches zum Drehn des Pfahles dient. Je zwei gewalzte Eisenplatten von $\frac{1}{2}$ Zoll Stärke sind durch aufgeniethete Winkeleisen zu kreisförmigen Scheiben von 6 Fuß Durchmesser verbunden. Die Oeffnung für die Röhre, welche sie umschließen ist in ihrer Mitte ausgespart. Zwei solche Scheiben

*) Eine kurze Notiz hierüber befindet sich in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen 1866. S. 473.

liegen im Abstände von 6 Zoll über einander und der Zwischenraum ist theils durch hartes Holz und theils durch vier schmiedeeiserne Blöcke ausgefüllt. Etwa 150 Schraubenbolzen greifen sowol durch beide Platten, wie auch durch die verschiedenen Theile der Füllung hindurch und verbinden das Ganze.

Von den vier Eisenblöcken stehen 2, nämlich *A* und *B* sich diametral gegenüber. Diese sind an der innern Seite eben so wie die obere Ansatzröhre mit Rinnen versehen, und hierin werden die Schlufskeile eingestellt, welche die Drehung der Scheibe der Röhre mittheilen. Durch diese gegenüber stehenden Keile liefs sich aber eine innige Verbindung noch nicht darstellen, hierzu mußten noch seitwärts Keile eingetrieben werden, und dazu dienen die beiden Blöcke *C*, die gegen einander und gegen *A* um 120 Grade abstehn. Die Keile bei *C* haben allein den Zweck, die Scheibe mit ihren Armen in jeder beliebigen Höhe zu halten, sie treffen daher nur gegen die äußere Fläche der Röhre. In Fig. 217 *b* ist ein solcher Keil sichtbar.

In diese Scheibe sind 8 Arme von Eichenholz eingelassen, deren jeder am äußern Ende eine gußeiserne Kapsel trägt, die mit einem Einschnitte zur Aufnahme des Taus oder der Kette versehen ist. An diesen Kapseln sind an jeder Seite noch je zwei Lappen angegossen, worin die Augen von einzölligen Eisenstangen eingreifen und durch Schraubenbolzen daran befestigt sind. An die andern Enden dieser Stangen sind Schraubengewinde, und zwar abwechselnd links und rechts gedrehte, eingeschnitten. Je zwei derselben, die von den nächsten Armen ausgehn, greifen in die mit einander verbundenen Schraubenmuttern in den Schnallen und man kann sonach durch Umdrehn der letztern die beiden betreffenden Stangen beliebig spannen. In dieser Weise werden alle acht Arme unter sich verbunden.

In die Rillen an den Enden der Arme wurde eine starke Kette gelegt, deren Ende durch eine kräftige Winde von acht Mann angezogen wurde. Später hat man aber, wie es scheint, zwei Ketten in gleicher Richtung um das Rad geschlungen, und beide Enden derselben durch Erdwinden, die sich gegenüber standen, angezogen. Diese Anordnung ist unbedingt vorzuziehn, weil der Pfahl alsdann eben so stark nach der einen, wie nach der andern Seite gedrückt, also nur um seine Achse gedreht wird.

§. 38.

Tragfähigkeit der Pfähle.

Indem die Rostpfähle die darauf gestellten Bauwerke sicher tragen sollen, so müssen sie theils in sich so stark sein, daß sie unter ihrer Belastung weder zerdrückt, noch auch gebogen und gebrochen werden, theils aber müssen sie so fest im Boden stehn, daß sie bei der spätern Belastung nicht tiefer einsinken und dadurch ein Sacken oder Brechen des Gebäudes veranlassen. In beiden Beziehungen ist es nothwendig, das Gewicht des Baues mit Einschluß der möglichen fremden Belastung, und wenn die Gewichte nicht gleichmäfsig vertheilt sind, dieselben für die einzelnen Fundamente zu berechnen und den Rost so anzuordnen, daß auf keinen Pfahl eine Belastung trifft, die ihn beschädigen oder in Bewegung setzen könnte.

Die Gefahr, daß ein Pfahl der seiner ganzen Länge nach, wenn auch nur in ziemlich losem Boden steht, zerdrückt oder gebrochen werden sollte, ist selten vorhanden und würde nur eintreten, wenn seine Spitze auf einen festen Körper, wie etwa auf gewachsenen Felsen oder auf ausgedehntes Geschiebe träfe, und der darüber befindliche Grund ihm keine Haltung gäbe. Welche Dimensionen er aber in diesem Falle haben muß, damit er dem senkrechten Drucke widersteht, ergeben die bekannten Gesetze der Statik, woher hier davon abgesehen werden kann.

Wichtiger ist dagegen die zweite Frage, nämlich wie tief ein Pfahl in aufgeschwemmtem Boden eingerammt werden muß, damit er unter dem gegebenen Drucke nicht weiter einsinkt. Der lose Grund, der die Pfähle alsdann trägt und umgiebt, läßt sie schon während des Rammens zu keinem absolut festen Stande gelangen, denn bei der einzelnen Hitze oder bei mehreren aufeinanderfolgenden Hitzen giebt sich immer noch ein tieferes Eindringen zu erkennen, und wenn dieses vielleicht bei Anwendung der gewöhnlichen Zugamme auch unmerklich werden sollte, so stellt es sich doch wieder ein, sobald man mittelst der Kunstramme einen schweren Rammklotz aus großer Höhe herabfallen läßt. Nichts desto weni-

ger wird man auf solche Pfähle schon eine gewisse Last mit voller Sicherheit aufbringen können, während sie unter sehr starker Belastung noch tiefer einsinken. Die Abwesenheit eines absolut festen Standes giebt sich also auf zweifache Art zu erkennen, nämlich einmal bei den Schlägen des Rammklotzes, oder durch die mitgetheilte lebendige Kraft desselben, und sodann auch durch den Einfluß des todten Druckes, welcher von der spätern Belastung herrührt. Es liegt der Gedanke sehr nahe, die Leichtigkeit, womit der Pfahl während der letzten Hitzen noch eindringt, als Maafsstab für die Festigkeit seines Standes zu benutzen, und man kann nicht zweifelhaft sein, dafs eine gewisse Beziehung zwischen diesen beiden Gröfsen stattfindet. Es rechtfertigt sich auch vollkommen die Annahme, dafs von zweien in denselben Boden und unter übrigen gleichen Umständen eingerammten Pfählen derjenige eine gröfsere Last tragen wird, der in der letzten Hitze weniger tief eindrang, wenn bei beiden derselbe Rammklotz zu gleicher Höhe gehoben wurde und die Hitze aus derselben Anzahl von Schlägen bestand. Wäre man also im Stande, die Beschaffenheit des Baugrundes für die ganze Tiefe, zu welcher der Pfahl eindringt, genau zu bezeichnen, und zwar nicht nur in Bezug auf seine Zusammensetzung, sondern auch auf den Wassergehalt oder auf den mehr oder minder lockern Zustand, und hätte man endlich für alle Modificationen, die hierbei eintreten können, die nöthigen Erfahrungen bereits gesammelt, so wäre es möglich, aus dem Eindringen des Pfahles unter gewissen Schlägen auf seine Tragfähigkeit mit Sicherheit zu schliessen. Dieser empirische Weg ist indessen so schwierig, dafs seine Benutzung kaum denkbar ist, und jedenfalls ist er zur Zeit noch nicht geöffnet. Nur da, wo eine grofse Gleichmäfsigkeit des Bodens stattfindet und vielfache Rammarbeiten bereits vorgekommen sind, wird man zu beurtheilen im Stande sein, wie weit man die Pfähle jedesmal eintreiben mufs.

Man hat indessen bisher kaum versucht, diesen Weg zu verfolgen, und sich vielmehr bemüht, unter Zugrundelegung mancher Hypothesen zwischen der lebendigen Kraft und dem todten Drucke einen directen Vergleich anzustellen und denselben so allgemein durchzuführen, als ob er unter allen Verhältnissen gültig und von der Beschaffenheit des Bodens unabhängig wäre. Es ist klar, dafs dieser Versuch mißglücken mufste, denn die beiden Kraftäufserungen:

Stofs und Druck, sind so heterogen, dafs sie unter Umständen wohl gleiche Effecte hervorbringen können, sich aber im Allgemeinen nicht in Parallele stellen lassen. Man überzeugt sich leicht, dafs sie in gewissen Fällen unmöglich gleiche Wirkungen haben können. So ist bereits erwähnt worden, wie der Widerstand gegen die Wirkung des Schlages sich wesentlich vergrößert, sobald eine weiche Zwischenlage über dem Pfahle sich befindet, während diese auf die Aeufserung des Druckes ohne Einfluß ist. Andererseits würde ein Pfahl, wenn der Boden aus einer flüssigen Masse bestände, nur so tief eindringen, als der hydrostatische Druck es erlaubt, und wenn er während der schnell aufeinanderfolgenden Schläge einer Hitze auch einen tieferen Stand annähme, so würde er in der darauf folgenden Pause doch wieder aufschwimmen, und sonach beim fortgesetzten Rammen sich ungefähr eben so verhalten, als ob er absolut fest stände, während er bei jeder neuen Belastung auf eine derselben entsprechende Tiefe herabsinken müßte.

Mariotte stellte directe Versuche über den Effect des Schlages an, und fand, dafs ein Gewicht von $2\frac{1}{2}$ Pfund, welches 7 Zoll hoch herabfällt, eine gleiche Wirkung äußert, wie der todte Druck von 400 Pfund. Giebt man einer solchen Beobachtung, die sich nur auf eine bestimmte Zusammensetzung des Apparates beziehen kann, eine allgemeine Gültigkeit, so ist es leicht, die gewünschte Relation darzustellen. Perronet versuchte dieses und gelangte dadurch zu dem Resultate, dafs man für Zugrammen das Gewicht desjenigen Rammklotzes findet, der zuletzt kein merkliches Eindringen des Pfahles bewirken darf, wenn man das Gewicht, welches der Pfahl tragen soll, durch 1290 oder zu größerer Sicherheit durch 645 dividirt. Doch bemerkt Perronet dabei, er habe hierdurch nur zeigen wollen, wie man aus jenen Beobachtungen auf die Tragfähigkeit der Pfähle schliessen könne, und fügt hinzu, es sei unmöglich, die lebendigen und todten Kräfte mit einander zu vergleichen.

Dürfte man den Widerstand gegen Stofs eben so groß wie denjenigen gegen Druck, und zwar beide als ein gewisses Gewicht ansehen, welches gehoben werden sollte, so vereinfacht sich die Aufgabe so sehr, dafs sie leicht zu lösen ist. Man denke eine in allen Theilen steife und gewichtlose Wage. In die eine Schale lege man ein Gewicht, welches den Widerstand gegen Druck bezeichnet, und auf die andere lasse man ein kleines Gewicht aus einer gewissen Höhe

fallen, so wird das erste in Folge des Stosfes bis zu einer geringen Höhe, die sich leicht berechnen läßt, gehoben werden. Diese letzte Höhe entspricht nach dieser Vorstellungsart der Tiefe, zu welcher der Pfahl bei jedem Schlage eindringt, während das kleinere Gewicht der Rammklotz ist, der aus jener Höhe herabfällt. Vernachlässigt man dabei das Gewicht des Pfahles und macht man zugleich die Voraussetzung, daß das Gewicht des Klotzes vergleichungsweise gegen den Widerstand verschwindend klein ist, so gelangt man zu dem sehr einfachen Resultate, daß dasjenige Gewicht, welches der Pfahl so eben noch tragen kann, sich zu dem Gewichte des Rammklotzes verhält, wie die Quadratwurzel aus der Fallhöhe des Klotzes zur Wurzel aus der Einsenkung des Pfahles beim letzten Schlage.

Ich führe diese Auffassung nur an, weil sie manchen Theorien über Tragfähigkeit der Pfähle zum Grunde liegt, in England hat man sogar in dieser Weise Beobachtungen angestellt, die jedoch ganz zwecklos waren, und sich nur gerechtfertigt hätten, wenn es etwa Absicht gewesen wäre, über die Elasticität der Schnüre und andrer Theile des Apparates Versuche zu machen.

De Cessart wählte ein andres Verfahren, um die Wirkungen des Stosfes mit denen des Druckes zu vergleichen. Er liefs während er die Brücke zu Saumur baute, eine Ramme zurichten, an der ein Klotz von 600 Pfund Gewicht bis 12 Fufs hoch gehoben werden konnte: hierdurh stellte er die lebendige Kraft des Stosfes in den Versuchen dar. Der todte Druck wurde dagegen durch stark belastete Hebel erzeugt. Um die Wirkungen beider Kräfte sicher wahrnehmen und vergleichen zu können, liefs de Cessart eine Anzahl Bleikegel in derselben Form giefsen, deren Basis 3 Zoll im Durchmesser hielt und deren Höhe 32 Linien betrug, die also im Querschnitt gleichseitige Dreiecke von 3 Zoll Seite bildeten. Der Schlag der Ramme sowohl, als der Druck des Hebels hatten den Erfolg, die Spitzen der Kegel platt zu drücken und kreisförmige Flächen darauf darzustellen, deren Durchmesser man messen konnte. Es wurden nun solche Kegel belastet und zwar mitunter mit sehr bedeutenden Gewichten, so daß der Druck in einzelnen Beobachtungen nahe an 17000 Pfund betrug. Nachdem auf diese Art die Spitze eines Kegels soweit eingedrückt war, daß keine weitere Senkung erfolgte, so wurde der Durchmesser der eingedrückten Fläche bestimmt. Alsdann stellte man einen andern Kegel unter die Ramme

und liefs aus einer gewissen Höhe den Klotz darauf fallen, wodurch sich wieder die Spitze in eine kreisförmige Fläche verwandelte. Man maafs diese und war sie etwa kleiner als die erste, so stellte man wieder einen neuen Kegel unter die Ramme und hob den Klotz etwas höher, als früher, und so fort, bis zuletzt gleiche Durchmesser und sonach gleiche Wirkungen sich herausstellten. Es ist nicht zu leugnen, dafs hierdurch ein Vergleich möglich wurde, aber er bezog sich gerade nur auf diese Bleikegel, hätte de Cessart statt des Bleies, Kupfer, Messing oder Eisen gewählt, so würde er andere Verhältnisse zwischen Stofs und Druck erhalten haben. Eine allgemeine Gültigkeit kann man sonach den aus solchen Versuchen hergeleiteten Resultaten nicht beilegen.

Durch einen directen Versuch hatte ich mich schon früher davon überzeugt, dafs die Beziehung zwischen der Tragfähigkeit gleicher Pfähle und ihrem Eindringen in feuchten Sand- und Thonboden unter gleichen Schlägen wesentlich verschieden sei. Zwei Pfählchen von denselben Dimensionen trieb ich nämlich unter gleichen Fallhöhen desselben Rammklotzes so weit ein, bis sie unter den letzten Schlägen zu gleichen Tiefen weiter eindringen. Die Belastungen, denen sie alsdann Widerstand leisteten, waren keineswegs dieselben, vielmehr sank der im Thonboden stehende Pfahl schon unter einem bedeutend geringeren Gewichte herab, als dasjenige war, welches den andern in Bewegung setzte. Bei Wiederholung des Versuches zeigte sich aber, dafs das erste Gewicht, wenn es auch noch kleiner war und sich sogar auf das des Rammklotzes beschränkte, bei dauerndem Drucke den Pfahl zu tieferem Eindringen veranlafste, wenn dieses unmittelbar nach dem Aufstellen auch nicht geschehn war.

Dieses spätere Einsinken wurde wohl nur dadurch veranlafst, dafs die starke Compression des Bodens in der nächsten Umgebung des Pfahles, welche das Einrammen desselben verursacht hatte, und deren Folge die gröfsere Reibung war, nach und nach sich verminderte, indem einigermassen eine Ausgleichung eintrat und die zusammengedrängten Erdtheilchen sich von einander entfernten. Auf diesen Umstand, der auch das leichtere Eindringen des Pfahles erklärt, nachdem die Rammarbeit während einiger Zeit unterbrochen worden, ist schon früher aufmerksam gemacht, er ist aber bei Beurtheilung der Tragfähigkeit der Rostpfähle von grofser Bedeutung,

besonders in nassem Thonboden. Ob in reinem Sandboden und zwar in nassem Sande auch solche Aenderung eintritt, ist nach meinen Versuchen nicht anzunehmen, doch unbedingt zeigte sie sich bei den Rammarbeiten in Pillau, wo der Boden zwar überall aus Sand bestand, jedoch mit thonigen und vegetabilischen Theilchen jedesmal mehr oder weniger versetzt war.

Um diese später eintretenden Senkungen zu beseitigen, stellte ich noch eine Reihe von Beobachtungen mit trockenem Sande und zwar bei verschiedenartiger Ablagerung desselben an. Die Pfähchen und die ganze Vorrichtung zum Einschlagen waren dieselben die im vorigen Paragraph beschrieben sind. Nachdem ich sie 5 Zoll tief in die verschiedenen Schüttungen eingerammt hatte, untersuchte ich ihre Tragfähigkeit, indem ich einen Hebel auf jeden derselben legte, dessen Drehungs-Achse gehörig befestigt war, und auf dem ein Gewicht sich bequem so weit verschieben liefs, bis der Pfahl sich etwas senkte. Die hierbei gefundenen Resultate zeigten grosentheils bedeutende Abweichungen von den in §. 31. mitgetheilten Beobachtungen, doch rührte dieses wohl grosentheils davon her, dafs die Schüttungen in dem einen und dem andern Falle verschieden waren, auch die Erschütterungen beim Herabfallen des Rammklotzes mochten wohl den Sand fester abgelagert haben. Es ergab sich meist eine gröfsere Tragfähigkeit, als nach jenen Versuchen, dagegen zeigte sich bei dem möglichst fest gestofsenen Sande eine sehr befriedigende Uebereinstimmung, wiewohl dieses mal andre, nämlich quadratische Stäbe benutzt, und diese auch tiefer versenkt wurden. Ich fand nämlich, dafs diese Pfähchen bei der Einsenkung von 5 Zoll durchschnittlich unter dem Drucke von 10,4 Pfund aufs Neue einsanken, während sie nach der obigen Formel

$$\gamma = 1,1 + 6,1 \cdot \varepsilon^2$$

worin ε die Einsenkung in Zollen bedeutet, unter dem Gewichte von 153,6 Pfund auf den Quadratzoll, also bei ihrem Querschnitt von 0,073 Quadratzoll, erst bei einer Belastung von 11,2 Pfund hätten sinken sollen. Diese geringe Differenz darf bei der Unsicherheit solcher Messungen nicht befremden, ich mufs aber noch bemerken, dafs die Form der Spitze oder das gänzliche Fehlen derselben keinen Einfluss zu haben schien.

Vernachlässigt man in diesem Ausdrucke für die Grenze der Belastung des Pfahles, das erste Glied, welches bei tieferen Einsen-

kungen verschwindend klein ist, so ergibt sich aus der Verbindung mit dem §. 37 gefundenen Werthe von τ , dafs bei dieser Ablagerung des trockenen Sandes, die Gewichte, unter welchen derselbe Pfahl bei verschiedener Tiefe einsinkt, umgekehrt den Quadraten seiner Senkung bei den letzten Schlägen proportional ist.

Man darf jedoch aus den oben angeführten Gründen diesem Resultate keine allgemeine Gültigkeit beimessen, und überhaupt sind alle bis jetzt gemachten Versuche, die Tragfähigkeit eines Rostpfahles aus seinem Eindringen während der letzten Rammschläge herzuleiten, als verfehlt zu betrachten. Nichts desto weniger ist es nöthig, hierüber noch Einiges mitzutheilen.

Perronet spricht seine Meinung über diesen Gegenstand in folgender Art aus: „der Rostpfahl darf nur in dem Falle als hinreichend tief eingerammt angesehen werden, wenn er in jeder Hitze von 25 bis 30 Schlägen nur 1 bis 2 Linien eindringt und zwar während mehrerer aufeinander folgender Hitzen. Bei andern Pfählen dagegen, die weniger belastet werden, kann man sich auch damit begnügen, dafs sie in der Hitze noch 6 Linien, auch wohl einen ganzen Zoll eindringen. Das gewöhnliche Gewicht des Rammklotzes für Rostpfähle beträgt 600 bis 700 Pfund, bei stärkeren und längeren Pfählen 1200 Pfund und der Klotz mufs $4\frac{1}{2}$ Fufs hoch gehoben werden. Die Rostpfähle bei der Brücke zu Neuilly hatten 12 Zoll Durchmesser und trugen jeder 105700 Pfund, die bei der Brücke zu Orleans 104900 Pfund. Bei der Brücke zu Tours waren die Pfähle, als die Pfeiler einstürzten, mit 153900 Pfund belastet.“ „Hiernach,“ fährt Perronet fort, „bin ich der Ansicht, dafs man einen Pfahl von 8 bis 9 Zoll Stärke nur mit 50000 und einen solchen von 12 Zoll nur mit 100000 Pfund belasten darf.“

Hierbei mufs aber erwähnt werden, dafs bei der Brücke zu Neuilly der Boden kiesig war und die Pfähle den Felsboden erreichten. Sie wurden so lange gerammt, bis sie unter dem 1000 Pfund schweren Rammklotze während 16 auf einander folgenden Hitzen, jede zu 30 Schlägen, nur je 2 Linien zogen, oder wenn der 1384 Pfund schwere Bär angewendet wurde, mußten sie während 12 Hitzen denselben Widerstand zeigen. Beim Bau der Brücke bei Orleans wurde die Rammarbeit etwas früher abgebrochen, nämlich die äussern Pfähle jedes Pfeilers betrachtete man als feststehend, wenn sie bei einer Hitze von 25 Schlägen mit dem 900 Pfund schweren

Klotze noch $1\frac{1}{2}$ Linien zogen und die innern dagegen schon, wenn sie in der Hitze noch 3 Linien eindringen. Der siebente Pfeiler dieser Brücke senkte sich aber um 10 Zoll oder um eine Werksteinschicht. Endlich ist bei der Brücke bei Tours zu bemerken, daß der Grund des Einsturzes derselben, wie schon oben erwähnt worden, wohl nur darin lag, daß die Pfähle in der umgebenden Erde nicht hinreichende Haltung fanden, also nicht herabgedrückt wurden, sondern umfielen. Alle hier gemachten Angaben beziehn sich übrigens auf Pariser Fufs-Maafs.

Sganzin sagt *) in Bezug auf diesen Gegenstand: „die Erfahrung und die Praxis bei großen Bauten haben dahin geführt, einen Pfahl als gehörig feststehend zu betrachten, um eine dauernde Belastung von 50000 Pfund zu tragen, wenn er bei Anwendung einer Kunstramme in der Hitze von 10 Schlägen mit einem Rammklotze von 1200 Pfund der $11\frac{1}{2}$ Fufs hoch gehoben wird, nur 4,6 Linien weit eindringt, oder wenn die Zugramme angewendet wird, darf er bei der Hitze von 30 Schlägen mit demselben Rammklotze, der 3,7 Fufs hoch gehoben wird, sich gleichfalls nur um 4,6 Linien senken.“

Bei einem Bau in Berlin, wo die 40 Fufs langen Rostpfähle so weit eingetrieben waren, bis sie in der Hitze von 20 Schlägen mit einem 5 Fufs hoch gehobenen Rammklotze von 1650 Pfund nur 4 Linien tief eindringen, gab sich unter einer Belastung von 43370 Pfund ein Sinken zu erkennen. Der Baugrund bestand aus lockerem, doch sehr sandigem aufgeschwemmten Boden.

In Holland, wo der weiche Grund es fast nie erlaubt, den Pfählen einen so festen Stand zu geben, daß sie auf die letzte Hitze nur noch wenige Linien ziehn, belastet man sie allgemein mit viel geringeren Gewichten. Bei den Schleusenbauten am nordholländischen Canale ist der einzelne Rostpfahl mit 25000 Pfund belastet und dennoch waren die Mauern im Trocken-Dock am Helder theilweise stark gesunken. Bei andern Schleusen stehn die Pfähle noch näher neben einander, so daß jeder nur 20000 und mitunter nur 11000 Pfund trägt, wie dieses nach Wiebeking bei der Schleuse am Penningsveer der Fall ist. Bei der sehr wichtigen Entwässerungsschleuse bei Catwyk aan Zee trägt der einzelne Pfahl 16500

*) *Programme ou résumé des Leçons. 4. édition. I. p. 169.*

Pfund, und es ist interessant, dafs man bei Untersuchung des Baugrundes die Länge der Pfähle darnach bestimmte, dafs der Probepfahl auf 20 Schläge mit dem 1100 Pfund schweren Rammklotze noch 4 Zoll eindrang, man meinte, dafs bei gleicher Tiefe die $2\frac{1}{2}$ Fufs auseinanderstehenden Pfähle einen hinreichend festen Stand annehmen würden. *) Dieser letzte Bau hat keine Senkung gezeigt.

Um endlich auch ein Beispiel aus England anzuführen, so erwähne ich, dafs beim Bau des Junction-Dock zu Hull, wo einzelne Pfähle mit einem Gewichte belastet sind, das bis 60000 Pfund steigt, dieselben so lange eingerammt wurden, bis sie in 30 Schlägen von 6 Fufs Höhe, die mit dem 1300 Pfund schweren Rammklotze gegeben wurden, nicht stärker als $1\frac{1}{2}$ Zoll tief eindrangten. **)

Man ersieht hieraus, dafs die Annahmen über die Tragfähigkeit und ebenso die hin und wieder gemachten Erfahrungen sehr verschieden sind, und hierdurch bestätigt sich wieder, dafs man eine allgemeine Regel nicht aufstellen kann, sondern die Beschaffenheit des Grundes jedesmal berücksichtigen und besonders vorsichtig sein mufs, wenn derselbe viele Thontheile enthält. In diesem Falle verursacht dessen Zähigkeit einen grossen Widerstand gegen das schnelle Eindringen der Pfähle während des Rammens, dieser Widerstand giebt sich aber bei der nachfolgenden dauernden Belastung nicht zu erkennen und man mufs also bei gleichem Ziehn des Pfahles eine viel geringere Beschwerung annehmen, als bei sandigem und kiesigem Grunde zulässig ist.

Es stellt sich durch diese Umstände um so mehr das Erfordernis heraus, auf alle Erscheinungen, die sich beim Einrammen von Rostpfählen zu erkennen geben, aufmerksam zu bleiben, und es ist nöthig, diese auch gehörig zu notiren. Die Anfertigung sorgfältiger Rammregister gewährt den Nutzen, dafs der leitende Baubeamte sein Verfahren rechtfertigen kann, und überdies wird auch die Aufmerksamkeit geschärft und manchen unangenehmen Folgen dadurch vorgebeugt, dafs bedenkliche Umstände, die sich vielleicht während des Baues schon zu erkennen geben, aufgezeichnet und in ihrer wahren Gröfse ausgedrückt werden. Perronet theilt bei Gelegenheit

*) Beilage No. 3 im Rapport wegens Onderzoek omtrent eene Uitwatering te Catwyk aan Zee. 1802.

**) *Transactions of Civil Engineers.* I. p. 33.

der Beschreibung des Brückenbaues bei Neuilly ein Rammregister mit. Jeder Pfahl wurde auf dem Grundrisse mit einer Nummer versehen, dieses Register enthielt aber:

- 1) den Tag, an welchem der Pfahl zum Stehn kam,
- 2) die Nummer des Pfahles,
- 3) seine Länge vor dem Einrammen,
- 4) seinen mittleren Umfang,
- 5) das Gewicht des Rammklotzes, womit er eingetrieben wurde,
- 6) die Anzahl der Arbeiter an der Ramme und
- 7) die Tiefe, zu welcher der Pfahl eingetrieben wurde.

Es möchte wohl passend sein, in einer achten Spalte noch anzugeben, wie stark der Pfahl während der letzten Hitzten sich senkte. Wenn auf derselben Baustelle auch drei oder mehrere Rammen in Thätigkeit sind, so kann der Aufseher, wenn er jeden Pfahl vor dem Setzen und nach dem Einrammen misst und die letzten Hitzten beobachtet, diese Notizen leicht sammeln und eintragen.

§. 39.

Spundpfähle.

Die Spundpfähle werden nicht wie die Spitzpfähle in einem Abstände, sondern so nahe neben einander eingerammt, daß sie sich unmittelbar berühren, und sind überdies mit Federn und Nuthen oder mit einer Spundung versehen, wodurch die Fuge in den Berührungsflächen zwischen zwei Pfählen gebrochen wird. Sie bilden sonach eine dichte Wand, die man eine Spundwand oder Kernwand nennt. Eine vollkommene Wasserdichtigkeit besitzen solche Spundwände nicht leicht, aber wohl verhindern sie ein starkes Durchströmen des Wassers, sowie auch das Durchfallen der Erde und des Sandes, und wenn ein Thonschlag dagegen gebracht wird, so erhält dieser durch die Spundwand eine so feste Lage, daß er das Wasser vollständig zurückhalten kann. Der Zweck der Spundwände besteht hiernach vorzugsweise darin, alle Wasseradern, die sich in geringer Tiefe am Boden unter der Sohle der Baugrube befinden, zu unterbrechen, und dieses wird um so mehr erreicht, als die Spundwand ringsumher eine Compression des Grun-

des erzeugt, wodurch das Wasser verhindert wird, sich mit derselben Leichtigkeit, wie früher, hindurchzuziehn. Häufig werden Spundwände nur angebracht, um während des Baues das Wasser abzuhalten. Demnächst aber wird durch die Spundwand die feste Ablagerung der Erde in der Baugrube gesichert, und wenn diese später die starke Belastung erfährt, so nimmt sie früher diejenige Spannung an, welche den nöthigen Widerstand erzeugt, weil die Compression sich gegen das umgebende Erdreich nicht ausgleichen kann. Dieser Zweck ist besonders wichtig, wenn das Gebäude mit breitem Fundamente auf einen weichen Baugrund gestellt wird. Ferner hat die Umschließung der Baugrube bei Beton-Fundirungen noch den Zweck, die eingeschüttete Bétonmasse, so lange sie noch weich ist, zurückzuhalten und vor der unmittelbaren Berührung mit fließendem Wasser zu schützen. Endlich aber dienen die Spundwände zuweilen auch dazu, ein Unterspülen des Fundamentes zu verhindern, doch darf man in dieser Beziehung sich nicht zu viel von ihnen versprechen, indem sie eine gefährliche Stellung erhalten, wenn sie von aussen auf den größten Theil ihrer Höhe entblößt sind. Alsdann können sie nämlich wegen des fehlenden Gegendruckes nicht mehr den nöthigen Widerstand dem Druck der stark comprimirten Erde unter dem Fundamente entgegensetzen.

Beim Einrammen der Spundpfähle kommt es hiernach weniger darauf an, daß sie zu einer großen Tiefe herabreichen und so fest stehn, wie Rostpfähle, als vielmehr, daß sie gehörig in einander greifen und keine weit geöffneten Fugen zwischen sich lassen. Der Rostpfahl erfüllt noch seinen Zweck, wenn er sich auch nach der einen oder der andern Seite überneigt, die Spundpfähle dürfen dagegen nicht aus der Ebene der Wand ausweichen, weil dabei unfehlbar die Federn oder die Backen zur Seite der Spundung brechen und alsdann weite Fugen sich bilden. Hiernach ist ein reiner Baugrund dringend erforderlich, und man thut wohl, sich hiervon schon vorher zu überzeugen, indem man das Sondireisen fleißig gebraucht und in der Richtung der Wand den Boden aufgräbt. Wenn man aber beim Eintreiben der Spundpfähle bemerken sollte, daß etwa ein großer Stein, den der Pfahl nicht seitwärts schieben kann, oder ein Stück Holz im Grunde liegt, so bleibt nichts übrig, als die Pfähle wieder auszuziehn und durch Graben und Baggern, oder durch Anwendung von Zangen das Hinderniß zu entfernen. Eine

solche Unterbrechung und zweimalige Wiederholung derselben Arbeit ist aber störender und kostbarer, als wenn man vorher den Grund genau untersucht hätte. Auch im reinen Baugrunde muß man für die möglichste Erleichterung der Rammarbeit sorgen, denn jeder besonders große Kraftaufwand setzt die Spundpfähle schon in Gefahr, und deshalb macht man, wenn Rostpfähle oder andere Pfähle daneben eingerammt werden sollen, jedesmal mit dem Rammen der Spundwand den Anfang.

Wenn die Spundwand, wie häufig geschieht, die Baugrube vollständig umschließt, und letztere wegen der Fundirung noch bedeutend vertieft werden muß, so entsteht die Frage, ob man die Spundpfähle vor oder nach der Vertiefung einrammen soll. Die Erdarbeiten sind ohne Zweifel weniger ausgedehnt, wenn man sie nach Ausführung der Spundwand vornimmt, weil man sie alsdann auf den von diesen umschlossenen Raum beschränken darf, während im andern Falle der umgebende Boden noch abgeböschet werden muß. Dagegen wird die Ramm-Arbeit wesentlich erleichtert und das Gelingen derselben mehr gesichert, wenn die Vertiefung vorangegangen ist. Häufig ist es nur Aufgabe, die Spundpfähle einige Fuß tief unter die Sohle der ausgehobenen Baugrube herabzutreiben und alsdann läßt sich die Wand so regelmäsig und scharf schließend bei dieser Anordnung ausführen, wie es sonst nicht möglich gewesen wäre. Es empfiehlt sich daher wohl unbedingt, mit der Vertiefung den Anfang zu machen. Auch wenn die Spundwand nur auf einer Seite ausgeführt wird, wie etwa vor dem Pfahlroste einer Kaimauer, an welche Schiffe anlegen sollen, und nicht etwa ein nachtheiliges Einstürzen des benachbarten Bodens zu besorgen ist, möchte es passend sein, mit dem Ausbaggern einer Rinne für die Spundwand den Anfang zu machen.

Wenn von den Rostpfählen schon bemerkt wurde, daß man in den seltenen Fällen, wo sich zufällig die Gelegenheit zur spätern Untersuchung derselben bietet, zuweilen Beschädigungen daran wahrnimmt, die man beim Einrammen nicht bemerkte, so ist dieses bei Spundpfählen noch in viel höherem Grade zu besorgen. Sobald der Spundpfahl gegen einen harten Körper trifft, und von demselben vor- oder zurückgedrängt wird, so springt die Feder oder eine der Backen leicht ab, und es entsteht alsdann eine weit geöffnete Fuge in der Wand, während die Köpfe der Pfähle, die man allein be-

obachten kann, regelmäfsig in einander greifen. Wenn aber auch die Federn und Nuthen unversehrt bleiben, so kann man doch nicht verhindern, dafs vielleicht zwischen zwei Pfählen ein etwas gröfserer Zwischenraum sich bildet, durch den nicht nur Wasser, sondern auch Erde und Sand hindurchdringen. Wollte man diesem letzten Uebelstande durch Eintreiben von keilförmig zugeschnittenen Pfählen begegnen, wie zuweilen geschieht, so würde man dadurch das Uebel nur verstecken, es aber keineswegs beseitigen, und sogar jene nachtheiligen Fugen in der Tiefe noch erweitern.

Von den Vorsichts-Maafsregeln, die man anwenden kann, um eine möglichst dichte Spundwand darzustellen, wird im Folgenden die Rede sein, doch lassen auch diese nur bei reinem Grunde ein günstiges Resultat erwarten. Volle Wasserdichtigkeit hat man wohl nur in wenigen Fällen wirklich erreicht, dabei kommt aber der gute Schluß der Federn in den Nuthen, der ohne wesentliche Erschwerung der Rammarbeit nicht darzustellen ist, wenig in Betracht, vielmehr gehört dazu, dafs die Backen der Pfähle sich scharf an einander legen. Eine Wand liefse sich daher ohne Spundung sogar noch leichter wasserdicht machen, als mit derselben. Beim Bau einer Eisenbahnbrücke neben Potsdam gelang dieses durch eine Kernwand aus beschlagenem Balkenholze, woselbst die Baugrube 20 Fufs tief unter dem Wasserspiegel der Havel, der sie unmittelbar berührte, nicht nur trocken gelegt, sondern auch stundenlang trocken erhalten werden konnte, während die Pumpen aufser Thätigkeit gesetzt waren.

Andrerseits gelingt es zuweilen, eine Spundwand dadurch zu dichten, dafs man den umgebenden Grund aushebt, und während die Pumpen in kräftigem Betriebe sind, Sägespähne, Pferdemit und andere sich leicht zertheilende Stoffe, die ungefähr das specifische Gewicht des Wassers haben, von aufsen dagegen wirft, die also in die Fugen der Wand getrieben werden, und diese schliessen. Das Durchquellen durch den Boden im untern Theile der Wand oder unter derselben läfst sich freilich hierdurch nicht verhindern, doch bietet sich auch dazu die Gelegenheit, wenn in der Baugrube ein Bétonbette dargestellt wird.

Indem beim Setzen eines Spundpfahles jedesmal die Feder in die Nuthe des bereits eingestellten Pfahles oder umgekehrt eingeschoben wird, so erhält derselbe hierdurch schon eine ziemlich sichere

Führung. Man rammt die Pfähle aber niemals einzeln bis zur ganzen Tiefe ein, sondern zwanzig bis dreißig Stück werden auf einmal gesetzt und mit häufiger Verstellung der Ramme möglichst gleichmäÙig eingetrieben, ja es geschieht nicht selten, dass man Rammklötze von verschiedenem Gewichte anwendet und Anfangs nur sanfte Schläge giebt, während später die schwerere Ramme darüber kommt und die Pfähle zur vollen Tiefe herabtreibt. Bei einer großen Ausdehnung der Spundwände verursacht diese Anordnung keine merkliche Vermehrung der Kosten, und trägt sogar wesentlich zur Beschleunigung der Arbeit bei. Man stellt nämlich mehrere Rammen auf, von denen eine der andern folgt und versieht sie mit Rammklötzen von verschiedenen Gewichten. Beim Bau der Brücke zu Moulins benutzte Régemortes vier dergleichen Rammen, von denen eine nach der andern jeden Pfahl der Spundwand eintrieb. Die erste hatte einen Klotz von 300 Pfund Gewicht, die zweite von 500, die dritte von 700 und die vierte endlich von 1500 Pfund. Durch ein solches gleichmäÙiges Bearbeiten einer ganzen Reihe von Spundpfählen verhindert man es am sichersten, dass sich zwischen je zweien eine zu starke Spannung bildet. Indem nämlich die benachbarten Pfähle abwechselnd in Bewegung gesetzt werden, so gleicht sich eine entstehende Pressung zwischen Feder und Nuthe leichter aus, und die ganze Spannung verbreitet sich mehr gleichmäÙig über alle Pfähle. Es muss noch bemerkt werden, dass der Gebrauch der gewöhnlichen Scherramme bei den Spundwänden die Schwierigkeit macht, dass die Scheren gerade in die Richtung der Wand treffen, also beim tieferen Eindringen der Pfähle den Klotz nicht mehr halten können. Dieses wird jedoch möglich, indem man die Arme des Rammklotzes etwas rückwärts versetzt, oder vier derselben an die innere Fläche des Klotzes bringt, wodurch kein wesentlicher Uebelstand erzeugt wird.

Die Spundpfähle können wie die Spitzpfähle aus den meisten Holzarten bestehen, doch ist es bei ihnen noch nöthiger, dass die Fasern recht gerade sind, weil sonst die Federn und die Backen der Nuthen leicht ausspringen. Aus diesem Grunde pflegt man gemeinhin Kiefernholz zu wählen. Die Länge der einzelnen Spundpfähle muss natürlich der Höhe der Spundwand gleichkommen, und es ist hierbei zu erinnern, dass man die Spundwände nur über das kleinste Wasser vortreten lässt, wenn nicht ihre gröÙere Höhe

während des Baues zur Darstellung eines Fangedammes, oder zur Unterstützung der dahinter liegenden Erde dient. Die Tiefe, zu der man die Spundwand herabreichen läßt, richtet sich wieder nach der Beschaffenheit des Grundes, jedenfalls ist sie aber geringer, als die der Rostpfähle. Es ist gemeinhin auch nicht möglich, ihr eine große Tiefe zu geben, denn die Spundpfähle, die sich gegenseitig klemmen, erfahren einen so starken Widerstand, daß sie nicht ohne Gefahr weit herab getrieben werden können. Insofern aber in größerer Tiefe das Vorkommen von Wasseradern immer unwahrscheinlicher wird, so ist es schon aus diesem Grunde nicht nöthig, die Pfähle besonders lang zu machen. Man giebt ihnen nur eine große Länge, wenn die Gefahr eintritt, daß eine starke Auskolkung davor sich erzeugen möchte, denn jedenfalls darf ihr Fuß durch diese nie erreicht werden und sie müssen sogar, wenn sie ihren Zweck erfüllen sollen, die nöthige Haltung im festen Boden finden. Wo aber ein starkes Auskolken zu besorgen steht, ist es bedenklich, die Spundwand dem Angriffe des Wassers und dem einseitigen Drucke des Bodens blozustellen, und soweit dieses sonst zulässig ist, pflegt man sie noch auf der äußern Seite durch Steinschüttungen zu sichern.

Die Stärke der Spundpfähle ist theils von ihrer Länge und theils von der Festigkeit des Bodens abhängig, doch bleibt sie meist in den Grenzen zwischen 4 und 10 Zoll. Wollte man Bohlen anwenden, die schwächer als 4 Zoll sind, so könnte man die Spundung darin nicht mehr anbringen, und wenn die Pfähle eine größere Stärke als 10 Zoll erhalten, so wird der Verlust an Holz durch das Anschneiden der Federn zu kostbar, als das man die Spundung noch beibehalten könnte. Man pflegt alsdann nur eine schließende Wand zu bilden, in welcher die beschlagenen Pfähle stumpf an einander stoßen. In der Regel erhalten die sämmtlichen Spundpfähle einer Wand gleiche Stärke, eine Ausnahme hiervon machen vorzugsweise die Eckpfähle, welche in den Ecken stehn, wo die Wand aus einer Richtung in eine andre übergeht, und demnächst auch die sogenannten Bundpfähle, die den Anschluß an eine seitwärts abzweigende Wand darstellen. Indem in beiden Fällen die Nuthen entweder sich nicht gegenüber stehn, oder eine dritte solche noch seitwärts angebracht werden muß, so ist es nothwendig, stärkeres Holz dazu anzuwenden, um dasselbe aber nicht zu verschneiden, so werden darin nur Nuthen, aber keine Federn angeschnitten, mit

letztern versieht man daher die anschließenden schwächern Spundpfähle. Schließt die Wand eine Baugrube ein, worin ein Béton-Bette versenkt werden soll, so muß man alle scharf einspringenden Ecken vermeiden, da diese sich nicht sicher füllen lassen, und besonders leicht zu starken Quellungen Veranlassung geben. Es empfiehlt sich daher, die vortretenden Ecken der Pfähle so weit zu brechen, daß die innern Wandflächen sich unter stumpfen Winkeln treffen, wie Fig. 218 auf Taf. XVI zeigt.

Außerdem glaubt man zuweilen eine in gerader Linie und ohne Abzweigung fortlaufende Spundwand dadurch zu verstärken, daß man sie in gewissen Abständen durch stärkere Pfähle unterbricht, wie Fig. 149 auf Taf. XII zeigt. Wenn solche Pfähle zugleich Rostpfähle sind, die also tiefer eingerammt werden sollen, so müssen sie früher, als die zwischen stehenden, und zwar sehr sorgfältig gesetzt und eingetrieben werden, dabei tritt aber der Uebelstand ein, daß die Zwingen, welche bei Ausführung der Spundung nothwendig sind, sich nicht so regelmäßig und einfach anbringen lassen, weil diese Pfähle die Fluchtlinien unterbrechen. Indem aber die Verbindung der Spundwand mit den Rostpfählen, wie bereits erwähnt, sich nicht empfiehlt, auch der Zweck der Verstärkung der ersteren durch solche Pfähle aus dem angegebenen Grunde kaum noch erreicht werden kann, so ist es nöthig, sie nur mit besonderer Vorsicht anzuwenden.

Was die Art der Spundung oder den Querschnitt der Federn und Nuthen betrifft, so muß man von allen complicirten Formen abstrahiren, die ein recht inniges Eingreifen veranlassen sollen, denn bei den starken Schlägen der Ramme ist zu besorgen, daß die Federn gerade in diesem Falle am leichtesten abbrechen und dadurch die Fuge sich am weitesten öffnet. Ganz ohne Beispiel sind solche Verbindungen aber nicht. Fig. 201 auf Taf. XV zeigt die Spundung, welche Thunberg bei den Fangedämmen bei Carlscrona anwendete *), und Fig. 202 diejenige Spundung, die ich einst bei einem Siel am rechtseitigen Ufer der Elbe ohnfern Glückstadt sah. Im letzten Falle wurde eine Feder, deren Querschnitt einen doppelten Schwalbenschwanz bildete, zwischen zwei Nuthpfähle eingerammt, wie in der

*) *Essais de bâtir sous l'eau mis en oeuvre par M. Thunberg, publiés par Fellers.* Stockholm 1774.

Figur angedeutet ist. Am häufigsten kommt die in Fig. 203 dargestellte quadratische Spundung vor, wobei die Feder im Querschnitt ein Quadrat bildet, dessen Seite gemeinhin dem dritten Theil von der Stärke des Pfahles gleich ist. Diese Feder läßt sich indessen bei schwächeren Spundpfählen oder bei den sogenannten Spundbohlen nicht mehr mit Sicherheit anwenden, weil sie bei einiger Klemmung zu leicht abbricht. Aus diesem Grunde schmiegt man die Seiten der Feder, wie Fig. 204 zeigt. Man nennt dieses die Keilspundung, die zuweilen auch so gebildet wird, daß der Querschnitt der Feder sich in ein gleichseitiges Dreieck verwandelt, dessen Seite der halben Stärke des Spundpfahles gleich ist. Es ist indessen nicht vortheilhaft, die vordere Seite der Feder in eine scharfe Kante auslaufen zu lassen. Jedenfalls muß zwischen der äußern Fläche der Feder und der Rückwand der Nuthe einiger Spielraum bleiben, damit der scharfe Schlufs nicht hier, sondern zwischen den Backen der Pfähle sich darstellt. Zuweilen werden die Federn und Nuthen nur mit der Queraxt ausgearbeitet, dieses Verfahren ist indessen nicht zweckmäsig und die Spundung muß wenigstens mit einem passend gestellten Hobel nachgezogen und die Profile regelmäsig dargestellt werden, weil sonst bei dem erforderlichen scharfen Schlufs die Reibung zu groß würde, vortheilhafter ist es aber die Federn und Nuthen mit der Kreissäge einzuschneiden.

Die Spundpfähle werden gemeinhin, wie Fig. 205 zeigt, nur an den breiten Seiten zugeschärft, wodurch sich unter der ganzen Spundwand eine fortlaufende Schneide bildet. Man darf dieselbe indessen nicht an den einzelnen Pfählen abschnüren und anhauen, sondern man legt die bereits mit Federn und Nuthen versehenen Pfähle zusammen und versieht sie gemeinschaftlich mit der Schneide. Man vermeidet dadurch, daß nicht vielleicht einzelne Pfähle, indem bei ihnen die Zuschärfung etwas mehr nach einer Seite geneigt ist, beim Einrammen die Tendenz zeigen, seitwärts in dieser Richtung auszuweichen. Häufig schneidet man auch auf den schmalen Seiten die Ecken ab, so daß zwar unter jedem einzelnen Pfahle noch eine Schneide bleibt, aber zwischen je zwei dieser Schneiden ein freier Zwischenraum sich bildet. Dieses Verfahren kommt in England häufig vor. Fig. 209 stellt es dar. Régemortes versah die Spundpfähle mit vollständigen Spitzen, die in beiden Richtungen wie die Spitzen anderer Pfähle zugeschärft waren. Zuweilen schneidet man

die Spundpfähle nur an einer Seite schräge ab, und zwar an der, wo die Nuthe sich befindet, weil die beiden Backen zur Seite derselben beim Eindringen in den Grund besonders leicht beschädigt werden. Fig. 206 zeigt diese Anordnung, wobei man den Vortheil erreicht, daß der Pfahl mit seinem untern Ende an den bereits gesetzten sich schärfer anschiebt. Ich habe in Holland mehrmals in dieser Art die Spundpfähle zurichten sehn, man ist indessen im Allgemeinen gegen diese Zuschärfung an der schmalen Seite misstrauisch, indem die zwischen zwei derselben gebildeten Zwischenräume leicht Veranlassung geben können, die Pfähle auseinanderzutreiben. Wenn z. B. ein Ast im Grunde liegt und nach der Quere der Spundwand gerichtet ist, so wird derselbe, wenn er von der horizontalen Schneide getroffen wird, entweder durchstoßen oder herabgedrückt werden, geräth er dagegen in einen solchen Zwischenraum und werden die Pfähle zu beiden Seiten abwechselnd tiefer gerammt, so wirkt er wie ein Keil auf die beiden gegen einander geneigten Flächen und trennt die Pfähle.

Um einer solchen Wirkung vorzubeugen und um gleichzeitig den Vortheil einer Zuschärfung in der erwähnten Richtung zu erreichen, hat man zwei verschiedene Mittel angewendet, nämlich einmal hat man aufser der ersten Schneide, die nach der Länge der Wand gerichtet ist, an jeden Pfahl noch eine zweite Schneide nach der Quere angebracht, die auf der äußern Seite von einer senkrechten und auf der innern Seite von dieser schrägen Fläche begrenzt ist. Fig. 207 zeigt das untere Ende eines auf diese Art zugeschärfen Pfahles. Demnächst aber hat man nach Fig. 208 die gewöhnliche Schneide nicht horizontal gehalten, sondern sie ein wenig geneigt. Die letzte Form, die unstreitig einfacher als die erste ist, hat Telford wiederholentlich angewendet, auch habe ich sie in den Spundwänden mancher älteren Ruhrschleusen wiedergefunden.

In manchen Fällen ist es ganz entbehrlich, und es würde sogar nachtheilig sein, durch eine der erwähnten seitlichen Zuschärfungen die Spundpfähle nach einer Seite zu drängen. Wenn etwa zwei Eckpfähle nicht weit von einander entfernt sind, so wird man dazwischen die sämtlichen Spundpfähle gleichzeitig einrammen, und diese bilden die regelmässigste Wand, wenn sie nach Maafsgabe der Reibung, die sie finden, sich in dem Zwischenraume gleichmäfsig vertheilen können. Zuweilen werden auch längere Wände in dieser Art

behandelt, indem man mit dem Einstellen und vollständigen Einrammen einzelner Spundpfähle in Abständen von etwa 10 Fufs den Anfang macht, zugleich aber dafür sorgt, dafs diese möglichst lothrecht und in der Richtung der Wand stehn. Um diese Bedingung zu erfüllen, müssen sie, nachdem sie eingerammt sind, noch mehrere Fufs hoch frei stehn, weil man sich sonst von ihrem lothrechten Stande in beiden Richtungen nicht überzeugen könnte. Solche Pfähle dienen gleichzeitig zur Anbringung der Zwingen, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Sobald sie ihren festen Stand erhalten haben, wird der Zwischenraum zwischen ihnen scharf gemessen und darnach die Anzahl und Breite der dazwischen zu stellenden Spundpfähle bestimmt, so dafs diese ohne sich zu klemmen, schliessend eingebracht und unter Verstellung der Ramme gleichzeitig eingetrieben werden können. Dieses Verfahren wurde beim Bau der Schleusen am Ihle-Canale gewählt, und es gelang dadurch, die Spundwände überaus regelmäfsig darzustellen.

Man versieht zuweilen die Spundpfähle mit Pfahlschuhen, und wenn man im Allgemeinen da, wo eine Spundwand eingerammt werden soll, einen ziemlich reinen Grund voraussetzen mufs, in welchem daher eine solche Vorsicht minder nöthig wäre, so ist andererseits die Schneide leichter einer Beschädigung ausgesetzt, als die Spitze des Rostpfahles. Der Pfahlschuh besteht häufig nur in einem um die Schneide umgebogenen Bleche, welches aufgenagelt wird, zuweilen aber wird ein solcher ganz entsprechend den oben beschriebenen Pfahlschuhen ausgeschmiedet. Fig. 209 zeigt diejenige Form, die für die dichte Pfahlwand (die jedoch keine Spundung hatte) am Fangedamme vor St. Katharine's Dock zu London angewendet wurde. *)

Zu den Spundpfählen wird nicht trocknes, sondern frisches Holz, oder doch solches angewendet, welches im Wasser gelegen hat, auch müssen die daraus geschnittenen Spundpfähle bald eingerammt oder wenigstens vor dem starken Austrocknen gesichert werden. Der Grund, weshalb sie nicht austrocknen dürfen, ist theils, dafs sie sich in diesem Falle werfen und theils, dafs sie beim Setzen zu quellen anfangen. Man könnte freilich glauben, dafs sich ihnen noch ein besonders dichter Schlufs geben liefse, wenn man

*) *Civil Engineer and Architect's Journal*. II. p. 234.

sie trocken in den Boden brächte, es wird alsdann aber die Arbeit zu schwierig und eben deshalb ist ein Brechen der Federn um so mehr zu besorgen. Die Federn können auch nur so lange die einzelnen Pfähle gehörig zusammenhalten, als dieselben willig folgen. Man bemerkt übrigens beim Einrammen von ziemlich trocknen Spundpfählen auch noch den andern Uebelstand, daß die ganze Wand sich wirft und selbst die Zwingen seitwärts drängt. Die Feder ist 2 bis 3 Zoll lang, daher kann jeder Pfahl schon sehr merklich sich vom nebenstehenden entfernen, ohne daß die Feder aus der Nuthe tritt. Aus diesem Grunde erscheint es zwecklos, die Pfähle durch eine schräge Zuschärfung ihres Fusses recht fest gegen einander zu treiben, oder dieses durch später einzurammende keilförmige Zwischenpfähle zu thun, oder auch wohl dadurch, daß man ein starkes Quellen des Holzes eintreten läßt. Da man jedoch auf ein geringes Quellen immer gefaßt sein muß, so ist es passend, jeden Pfahl so zu setzen, daß er mit seiner Feder in die Nuthe des bereits gesetzten Pfahles eingreift. Letzterer quillt nämlich früher, daher erweitert sich die Nuthe und die Feder findet etwas mehr Spielraum, als im umgekehrten Falle. Von dieser Regel wird jedoch häufig abgewichen, und besondere Bedeutung ist ihr auch nicht beizulegen.

Das Einrammen der Spundpfähle wird vielfach durch manche Umstände erschwert und ist immer mit der Gefahr verbunden, daß unter den Schlägen des Rammklotzes ein Bruch oder eine Trennung der Wand irgend wo erfolgt, die man gemeinlich gar nicht bemerken kann. Um einer solchen vorzubeugen, giebt es kein sicheres Mittel und man kann sich nur darauf beschränken, Alles zu vermeiden, was den Widerstand und die Klemmung vermehren möchte. Dazu gehört namentlich, daß die Nuthe in allen Richtungen etwas Spielraum hat und daß die einzelnen Pfähle nicht zu dicht gesetzt werden, wodurch ihre gegenseitige Reibung vergrößert wird. Wenn sie vorsichtig bearbeitet, eingestellt und abwechselnd eingerammt werden, so pflegen sie den ihnen gegebenen Abstand auch beim tieferen Eindringen beizubehalten, und wenn ein Pfahl dem andern sich zu sehr nähert, so verursacht der stärkere Druck von dieser Seite, daß bei dem fortgesetzten Rammen die Pfähle wieder einen etwas größeren Spielraum zwischen sich von selbst darstellen. Wenigstens wird dieses bei reinem Baugrunde geschehn. Damit ferner die einzelnen Pfähle nicht aus der Ebene der Wand ausweichen,

wobei die Federn oder Backen brechen, so ist es erforderlich, daß jede Feder gleich Anfangs beinahe in ihrer ganzen Länge in die Nuthe eingebracht wird und hierin auch immer bleibt, daraus folgt aber, daß die sämtlichen Pfähle möglichst gleichmäÙig eingerammt werden müssen.

Man darf nicht besorgen, daß eine geöffnete Fuge den Zweck der Spundwand vereiteln oder gar den Ruin des Gebäudes jedesmal veranlassen wird. Wäre dieses der Fall, so müÙten solche Unfälle viel häufiger sein, als sie wirklich sind. Nichts desto weniger wird man dergleichen Trennungen doch möglichst zu verhindern suchen, und dieses geschieht am sichersten, wenn man alle Spundpfähle so frei setzt, daß sie sich nicht klemmen und daß jede zwei benachbarten Pfähle möglichst gleichzeitig eingerammt werden, damit die Federn immer in der vollen Länge eingreifen. Um eine Spundwand lothrecht und möglichst regelmäÙig einzurammen, ist es nothwendig, den einzelnen Pfählen die gehörige Haltung zu verschaffen. Dieses geschieht am sichersten, indem man feste Zwingen oder Lehren anbringt. Dieses sind zwei Balken, die entweder unmittelbar auf Pfähle verzapft oder auf andere Art befestigt sind, die aber zwischen sich einen Raum frei lassen, dessen Weite die Stärke der Spundpfähle nach Maafsgabe der sorgfältigen Darstellung derselben um 3 bis 6 Linien übertrifft. Hierdurch wird die Wand zwar sicher gehalten, aber die Befestigung einer solchen Zwinge ist auch umständlich und kostbar, indem dazu gemeinhin besondere Pfähle eingerammt werden müssen. Régemortes benutzte hierzu dieselbe Rüstung, die auch zu den andern Fundirungsarbeiten für den Brückenbau gebraucht wurde. Diese Rüstung bestand nämlich in verholnten Pfahlreihen, welche die Richtung der Spundwände kreuzten. Diese Holme wurden an der passenden Stelle durchschnitten und auf die beiderseitigen Enden derselben Rahmstücke mit starken Bolzen befestigt, wodurch die Zwinge sich bildete. Zuweilen rammt man die Rostpfähle der vordern Pfahlreihe schon früher als die Spundwand ein, und die über selbige treffende Rostschwelle kann alsdann als die eine Hälfte der Zwinge benutzt werden, so daß man nur noch auf der andern Seite für eine ähnliche zu sorgen braucht. Dieses Verfahren ist in Frankreich üblich, und wenn man die Spundwand auf die innere Seite der äußern Pfahlreihe bringt, so kann

man auch gegen die folgende Pfahlreihe die zweite Hälfte der Zwinge befestigen und sonach das Einrammen von besonderen Pfählen vermeiden. Es ist indessen passender, die Rüstpfähle, welche die Zwinge tragen, nicht zu nahe an die Spundwand zu stellen, noch auch sie besonders tief und nahe neben einander einzurammen, weil hierdurch der Boden neben der Spundwand zu sehr comprimirt wird. Wendet man starkes Balkenholz zu den Zwingen an, so wird eine Unterstützung desselben in 8 bis 12 Fuß Abstand genügen, und man hat gewöhnlich noch Gelegenheit, durch Anbringen von Absteifung, wo eine solche gerade nöthig sein sollte, ein Herausdrängen der Zwingen nach der Seite zu verhindern. Außerdem aber kann man auch eine sehr sichere Stellung für die Zwingen hervorbringen, wenn man in gewissen Abständen durch sie und durch die Spundwand Schraubenbolzen hindurchzieht. Diese dürfen indessen natürlich nicht durch diejenigen Pfähle reichen, die man gerade einrammt, und sonach muß man sie bald hier und bald dort anbringen, wodurch leicht eine große Menge von Bohrlöchern in die Wand kommt. Als besonders nachtheilig darf man diese Oeffnungen nicht ansehen, bei einiger Aufmerksamkeit ist es auch leicht, sie jedesmal, sobald sie unter der Zwinge vortreten, durch passende Pflöcke zu schließsen. Eine feste Zwinge ist in Fig. 210 *a* und *b* in der Ansicht von der Seite und im Querschnitt dargestellt. Dieselbe Figur zeigt auch, in welcher Art die Spundpfähle gesetzt werden. Man stellt sie nämlich sehr schräge in die Zwinge ein und richtet sie alsdann auf, wodurch sie sich nahe genug an die bereits stehenden herandrängen. In dieser Stellung erhält man sie vorläufig durch eingeschlagene Klammern, sobald aber die ganze Anzahl von Pfählen, die man auf einmal setzen will, eingebracht ist, so zieht man in der Entfernung von einigen Zollen hinter dem letzten einen starken Schraubenbolzen durch die Zwinge und schlägt hier, jedoch keineswegs besonders fest, einen passend geformten Holzkeil vor, der mit einer recht breiten Fläche sich gegen den letzten Spundpfahl lehnt, worauf jene eisernen Klammern herausgenommen werden. Indem die feste Zwinge, von der bisher allein die Rede war, ziemlich tief angebracht zu werden pflegt, so muß man befürchten, daß die sämmtlichen zugleich gesetzten Pfähle sich unten stark zusammendrängen und oben von einander entfernen. Dieses verhütet man am sichersten durch

lose Zwingen, die häufig gleichzeitig mit den festen benutzt werden, wie dieses z. B. durch Régemortes geschah, oft vertreten sie aber auch vollständig die Stelle von jenen.

Beim Einrammen der Spundpfähle muß man auf jene Keile sehr aufmerksam bleiben, zuweilen springen sie heraus und noch häufiger stellen sie sich so fest, daß die Backen der Nuthe des nächsten Pfahles, die sie nur auf eine kurze Länge treffen, zerdrückt werden. Man muß daher in kurzen Zwischenzeiten ihre Stellung untersuchen und sie entweder fester eintreiben oder lösen, es ist indessen vortheilhaft, denjenigen Pfahl, gegen welchen sie sich lehnen, nicht tief einzurammen, und wie die Figur zeigt, die Pfähle in sanftem Uebergange gegen das jedesmalige Ende der Wand ansteigen zu lassen.

Fig. 211 stellt die von Wiebeking vorgeschlagene feste Zwinde dar, die auf schräge eingerammten Pfählen ruht, wobei also die starke Compression des Bodens unmittelbar neben der Spundwand vermieden, und außerdem der Vortheil erreicht wird, daß die Spitzpfähle unter der Zwinde, wenn sie auch nur lose eingerammt sind, doch diese wegen ihrer schrägen Stellung sicherer stützen.

Wenn man vor der Ausführung der Spundwand die Baugrube bis zur nöthigen Tiefe ausgebaggert hat, wie oben empfohlen wurde, so trifft die Wand auf den Fuß der Dossirung, oder auch wohl noch in dieselbe, und indem sie in beiden Fällen auf der einen Seite einem stärkeren Erddrucke, als auf der andern Seite ausgesetzt ist, so hat jeder Pfahl die Tendenz, die lothrechte Stellung zu verlassen, und mit seinem untern Ende weiter nach der Baugrube hin vorzudringen. Einem solchen Ueberneigen können die beiderseitigen Zwingen, wenn sie in gleicher Höhe angebracht sind, nicht vorbeugen und es wäre passender diejenige, welche auf der Landseite sich befindet, möglichst hoch, und die gegenüber befindliche möglichst tief zu verlegen. Bei den Spundwänden, welche die Schleuse des Ihle-Canals umgeben, wurde diese Vorsicht angewendet, wie Fig. 219 auf Taf. XVI zeigt. Hinter die Spundwand wurden Pfähle im Abstände von etwa 10 Fuß eingerammt, die Köpfe derselben horizontal abgeschnitten und der hintere Rand der obern Zwinde darauf abgeschnürt. Diese Linie bezeichnete die Blattzapfen, mit denen die Pfähle versehen, und woran mittelst versenkter Schraubenbolzen die Zwinde befestigt wurde. Nunmehr rammte man vorsichtig unter fortwäh-

render Beobachtung des Lothes, und zwar in beiden Richtungen, jene Spundpfähle ein, die wie bereits erwähnt als Leitpfähle dienen sollten. Sobald sie fest standen bolzte man unmittelbar über dem Wasserspiegel die untere Zwinge dagegen, die in Verbindung mit der obern Zwinge die dazwischen gestellten Spundpfähle verhinderte, aus dem Lothe zu weichen.

Was die losen Zwingen betrifft, so zeigt Fig. 212 ihre Anwendung. Sie unterscheiden sich von den festen theils durch die geringere Holzstärke (häufig sind es nur starke Bohlen) und theils dadurch, daß sie allein gegen die Spundwand, nicht aber gegen andere Pfähle befestigt werden. Ein Verstellen der Zwingen wiederholt sich hierbei sehr häufig, und eine gröfsere Zahl von Bolzenlöchern muß dabei durch die Wand gebohrt werden. Man kann diese Löcher nach dem jedesmaligen Abnehmen der Zwinge sogleich mit hölzernen Nägeln schliessen und letztere von beiden Seiten abhauen, wodurch sie in keiner Beziehung schädlich bleiben. Es ist noch zu bemerken, daß das Durchziehn von Schraubenbolzen bei der losen Zwinge nicht zu vermeiden ist, wenn man nicht etwa die auf einmal gesetzten Pfähle ganz für sich behandeln will. Sind die Spundpfähle schon zu einer grofsen Tiefe eingedrungen, so daß sie fest im Boden stecken, so kann man alle Zwingen entbehren, aber es ist dennoch immer nothwendig, sie nicht zu lange einzeln einzurammen, sondern noch die Ramme zu verstellen.

Um die Spundwand mit einem Fachbaume zu versehn, wird an alle Pfähle ein durchlaufender Zapfen angeschnitten, der in das Zapfenloch des Fachbaumes paßt, welches sich in diesem Falle in eine Nuthe verwandelt, man pflegt aber von einzelnen Pfählen die Zapfen durch die ganze Höhe des Fachbaumes hindurchgreifen zu lassen, so daß sie von oben aus verkeilt werden können, wodurch die Verbindung besonders fest wird. Indem eine schwache Spundwand nicht die nöthige Breite hat, um einen starken Fachbaum sicher zu unterstützen, so werden daneben noch besondere Pfähle eingerammt, die den letztern tragen und sein Kanten verhindern. Spundwände von sehr geringer Stärke pflegt man aber nicht mit Fachbäumen zu versehn, sondern die Pfähle einzeln an Rostschwellen zu nageln, oder auch wohl an beiden Seiten gegen Zangen zu lehnen, die unter sich mit Schraubenbolzen verbunden sind.

Es ist bereits des bedeutenden Aufwandes an Holz bei Dar-

stellung der gewöhnlichen Spundwände gedacht worden. Wenn etwa der einzelne Pfahl in der Richtung der Wand 10 Zoll misst und mit einer Feder von 2 Zoll Höhe versehen wird, so nimmt er in der Wand nur die Länge von 8 Zoll ein, weil die Feder in die Nuthe des nächsten Pfahles eingreift. Die Gesammtlänge aller Pfähle in der Richtung der Wand gemessen muß also um den vierten Theil größer sein, als die der Wand ist, und das Verhältniß wird noch ungünstiger, wenn die Pfähle schmaler, oder die Federn höher sind.

Um diesem Uebelstande zu begegnen versieht man zuweilen die Pfähle nur mit Nuthen, und schiebt in je zwei neben einander befindliche Nuthen eine Feder ein, die beide füllt, und zwar geschieht dieses gemeinhin erst später, nachdem die Pfähle bereits eingerammt sind. Die Feder läßt sich auch in der That nicht früher einbringen, da sie nicht gehörig gehalten werden kann, und sie sogar die Pfähle aus einander treiben würde, sobald sie zufällig bei verschiedener Richtung der letzteren aus einer Nuthe austreten sollte. Wenn indessen die frei neben einander gestellten Pfähle nicht dieselbe Richtung behalten, also nicht in ihrer ganzen Länge eine Nuthe genau auf die andre trifft, so ist auch das spätere Einschieben dieser Federn unmöglich und am wenigsten darf man erwarten, daß die ausgewichenen Pfähle durch die Federn wieder parallel gestellt werden sollten. In solchem Falle wird die Feder, wenn man sie gewaltsam eintreibt, entweder selbst in der Mittellinie spalten oder eine der anschließenden Backen zerbrechen.

Zu gleichem Zwecke ist auch vorgeschlagen worden, abwechselnd die Spundpfähle mit zwei Nuthen und mit zwei glatten Flächen zu versehen, durch die letzten aber an zwei Stellen Riegel durch die ganze Breite des Pfahles durchzuziehen, welche mit ihren Köpfen in die beiderseitigen Nuthen eingreifen. Dabei bleiben aber die Fugen ganz offen, und indem bei eintretender Divergenz der Pfähle jene Zapfen auf einzelne Punkte in den Backen den Druck ausüben, so ist das Ausbrechen der letzteren um so mehr zu besorgen.

Will man die Federn beibehalten und zugleich den Verlust an Material vermeiden, so dürfte der passendste Ausweg noch immer sein, die Federn aufzunageln. Da man aber in allen Fällen auf die Haltbarkeit der Federn, wie der Backen neben den Nuthen kein großes Gewicht legen darf, so dürfte sich wohl vorzugsweise empfehlen, wie auch in England ziemlich allgemein geschieht, bei

starken Kernwänden die Spundung ganz fortzulassen, und die sorgfältig bearbeiteten Hölzer nur stumpf neben einander einzurammen.

Wenn der Baugrund ziemlich rein, auch die Wand nicht höher als etwa 5 Fufs ist, so pflegt man statt der Spundwand, eine Stülpwand zu wählen, die sowol in der Ausführung, als auch in Beziehung auf die Beschaffung des Materials viel wohlfeiler ist. Fig. 220 *a*, *b* und *c* auf Taf. XVI. zeigt eine solche in der Seitenansicht, im Grundrifs und im Querschnitt. Nachdem einige Pfähle in der Richtung der Wand leicht in den Grund gestossen sind, befestigt man daran hochkantig eine Bohle, die zunächst als Lehre und später zur Verbindung der Stülpwand dient. Neben derselben rammt man Bretter von etwa 2 Zoll Stärke, die unten zugeschärft sind mit der Handramme so ein, dafs sie sich nicht berühren, vielmehr Zwischenräume von 2 bis 4 Zoll frei lassen. Letztere schliesst man alsdann durch andere Bretter, welche an derjenigen Fläche, mit der sie die ersten berühren, mit Scheiden versehen sind, also beim Einrammen sich von der ersten Reihe nicht entfernen. Zu diesen zweiten Brettern werden gewöhnlich die äufsern Schaldielen verwendet. Die in solcher Weise dargestellte Wand wird schliesslich an jene hochkantige Bohle genagelt.

Zuweilen wird die Spundwand auch in der Art ausgeführt, dafs Nuthpfähle in Abständen von etwa 6 Fufs eingerammt und Bohlen mit ganzer oder halben Spundung nicht vertikal zwischen dieselben gestellt, sondern in horizontaler Lage herabgeschoben werden, wie Fig. 221 *a*, *b* und *c* in der Seiten-Ansicht, im Grundrifs und Querschnitt zeigt. Solche Wand läfst sich natürlich nur so weit abwärts fortsetzen, als der Boden aufgedrungen oder ausgebaggert ist, die eigentlichen Zwecke der Spundwand gehen sonach dabei verloren, nichts desto weniger kann auch diese Anordnung in manchen Fällen, wie z. B. bei Umschliessung einer Baugrube, behufs Versenkung des Bétonbettes und bei Fangedämmen noch rätlich sein. Sie gewährt den Vortheil, dass die Rammarbeit eine geringere Ausdehnung erhält und man kann dabei noch ziemlich sicher mehrere Fufs unter das Wasser herabgehn, indem die Bohlen von oben eingesetzt und nach und nach mit der Handramme gleichmäfsig herabgetrieben werden, doch ist es dabei nothwendig, dafs die Nuthpfähle sehr sorgfältig eingestellt sind. Beim Bau der Eingangs-

schleuse aus dem Rhein nach dem *III*-Canale bei Strafsburg hatte man auf solche Art die Umschließung der vorher ausgebaggerten Baugrube dargestellt, worin der Béton später versenkt werden sollte, und auch in andern Fällen, besonders in Frankreich, sind solche Wände zu ähnlichen Zwecken benutzt worden. Ich habe jedoch in einem Falle Gelegenheit gehabt, zu bemerken, daß diese Bohlen, welche zur Einschließung des Bétons dienten, nicht nur ganz unregelmäßig herabgesunken, sondern sogar aus den Nuthen herausgefallen waren, während bei ihrem Herabstossen diese Unregelmäßigkeit sich nicht zu erkennen gegeben hatte.

Die Anwendung gusseiserner Spundpfähle ist in neuerer Zeit in England nicht ungewöhnlich, besonders, wenn man nicht sowohl eine Unterspülung des Grundes verhindern, als vielmehr nur während des Baues einen starken Wasserzudrang abhalten will. In diesem Falle werden die Spundpfähle, sobald der Grundbau beendet ist, wieder herausgezogen, und insofern das Gufseisen nicht quillt und seine Oberfläche nicht in der Art angegriffen wird, wie die des Holzes, so ist das Einrammen und das Wiederausziehen leichter, auch sind solche Spundpfähle keiner Abnutzung unterworfen. Alle diese Umstände empfehlen sie besonders, wenn der Preis des Holzes sehr hoch steht und das Gufseisen dagegen verhältnißmäßig wohlfeil ist.

Schon beim Bau des George's Docks in Liverpool wurden im Jahre 1825 dergleichen gusseiserne Spundwände statt der Fangedämme angewendet.*) Nachdem nämlich auf etwa 30 Fufs Länge die Rostpfähle eingerammt waren, wurde ein viereckiger Rahmen hochkantig an die Pfähle gelehnt, so, daß er sie von außen umgab, um aber ein Einbiegen desselben zu verhindern, wurden zugleich die beiden langen Seiten des Rahmens durch zwei Riegel gegen einander abgesteift. Alsdann setzte man die Spundpfähle von außen gegen den Rahmen und rammte sie ein. Sie waren 10 Fufs lang und bestanden aus zwei verschiedenen Arten von gusseisernen Platten oder Bohlen die Fig. 222 in den Seitenansichten, in den Längen-Durchschnitten und in ihrer Zusammensetzung zeigt. Die eigentlichen Spundpfähle *a* und *b* waren 14 Zoll breit, 1 Zoll stark, an beiden Seiten mit umgebogenen Rändern,

*) Strickland, *Reports on Canals, Railways, Roads etc.*

wie in der Mitte mit je einer Verstärkungs-Rippe versehen. An die Köpfe waren Verstärkungen angegossen, welche die Schläge der Ramme aufnahmen. Sie wurden mit der flachen Seite an jenen Rahmen in der Art gestellt und eingetrieben, daß sie sich unmittelbar berührten. Zu ihrer Verbindung und zur Schließung der Fugen zwischen ihnen dienten andere, ähnlich geformte Pfähle *c* und *d*, gleichfalls von 1 Zoll Stärke jedoch nur 8 Zoll breit. Auch diese hatten umgebogene Ränder, aber ohne Verstärkungs-Rippen. Ihre Köpfe waren gleichfalls verbreitet und zwar auf der convexen Seite, woher bei der Zusammensetzung der Wand die sämtlichen Köpfe vor deren äußere Fläche vortraten, wie *e* zeigt. Aus der letzten Figur ergibt sich, wie die umgebogenen Ränder über einander greifen, und die ganze Wand verbinden. Die punktirten Linien bezeichnen aber die Querschnitte der Pfähle unter den Köpfen. Die Löcher, welche man in den Figuren *a* und *c* bemerkt dienen zum Ausziehen der Pfähle, sobald die Wand ihren Zweck erfüllt hat.

Seit diesem ersten Versuche hat man denselben vielfach und zwar mit verschiedenen Modificationen wiederholt. Indem man zunächst noch die breiteren Pfähle mit den umgebogenen Rändern beibehielt, stellte man die Verbindungs-Stücke aus gewalztem starkem Eisenbleche und zwar in derselben Form dar. Man erreichte dadurch den Vortheil, daß die Ränder noch gehörig in einander griffen, wenn die ersten Pfähle auch nicht genau parallel und in dem richtigen Abstände von einander eingerammt waren. Ueberdies ließen sich bei verschiedenen Breiten der Bleche und verschiedenen Krümmungen derselben auch leicht die Fugen in den Ecken der Spundwand überdecken.

Sodann wurden die Verbindungs-Stücke vielfach ganz fortgelassen, indem jeder Spundpfahl an einer Seite mit einer Nuthe versehen war, worin wie bei hölzernen Pfählen der folgende eingriff, oder man verwandelte die ganze Spundung in eine halbe, wie Fig. 223 im Grundrisse zeigt. Diese Anordnung wurde beim Bau des East-India Dock in London gewählt. Dabei wurde jedoch die Wand in Abständen von 7 Fuß durch stärkere und längere gußeiserne Pfähle unterbrochen, zwischen die jedesmal je 5 Spundpfähle gestellt wurden. Die letzteren hatten 2 Verstärkungs-Rippen. *)

*) *Transactions of the Institution of Civil of Engineers. I. pag. 195.*

Andre Modificationen bezogen sich darauf, dafs man die Verstärkungs-Rippen nicht nur auf der innern, sondern zugleich auch auf der äufsern Seite vortreten liefs, und man die Anzahl derselben bei zunehmender Breite der Pfähle vergrößerte. In neuester Zeit hat man indessen überhaupt nicht mehr einzelne Spundpfähle dargestellt, diese vielmehr zu Platten von etwa 6 Fufs Breite vereinigt, die den ganzen Zwischenraum zwischen den gusseisernen Pfählen umspannen. Es wäre auch noch zu erwähnen, dafs man bei Darstellung der Spundwand aus einzelnen Pfählen diese zuweilen am untern Ende noch mit einem Lappen versehen hat, der über den bereits eingestellten Pfahl übergreift und dadurch, gleich der innern Backe einer Nuthe, beide Pfähle in derselben Ebene erhält. Ein solcher Lappen, am untern Ende des Pfahles A (Fig. 223) angegossen, ist durch die punktirtten Linien angedeutet, und man sieht leicht, wie dieser in Verbindung mit der auswärts vortretenden Backe diesen Zweck erfüllt, wenn der Pfahl B schon früher eingestellt war.

Ueber das Einrammen der gusseisernen Pfähle ist nur zu bemerken, dafs man sehr starke Schläge dabei vermeiden mufs. Man wendet daher in diesem Falle nicht die Kunstramme an, oder läfst, wenn dieses geschieht, den Klotz nicht höher als 3 bis 4 Fufs heben. Dabei werden freilich auch gusseiserne Rammklötze angewendet, aber auf den Pfahl wird gewöhnlich, um den Schlag zu mäfsigen, ein hölzerner Aufsetzer gestellt, der oft nur aus einer Bohle harten Holzes besteht.

§. 40.

Die Grundsäge.

Wenn die Baustelle mit einem Fangedamm umgeben und trocken gelegt wird, so hat man Gelegenheit, die Pfähle mit gewöhnlichen Sägen abzuschneiden und mit Zapfen zu versehen, wenn man dagegen die Fangedämme ganz umgeht, oder wenn man von der später zu beschreibenden Fundirungsart in Caissons Gebrauch machen will, so müssen die Pfähle unter Wasser horizontal und genau in der bestimmten Höhe abgeschnitten werden, wozu die

Grundsäge dient. Es kommen indessen auch andere Fälle nicht selten vor, wo man Pfähle in größerer oder geringerer Tiefe unter Wasser abschneiden muß, und dieses geschieht auch, wenn es sich überhaupt nur um die Entfernung der Pfähle handelt und ein Ausziehen derselben zu viele Schwierigkeiten machen würde.

Der letzte Fall ist der einfachste, indem es dabei am wenigsten darauf ankommt, daß der Schnitt genau in einer vorher bestimmten Tiefe und horizontal geführt wird. Man braucht hierbei nur eine auf gewöhnliche Art eingespannte Säge mit einem langen Stiele zu versehen, so daß sie schräge von einer Rüstung aus oder auch wohl von einem gehörig festgelegten Nachen bewegt werden kann, doch muß sie zugleich durch eine Stange oder durch ein Seil gegen den abzuschneidenden Pfahl angedrückt werden. Ich habe mit solchen Sägen mehrfach einzelne Pfähle in der Tiefe bis 6 Fufs unter Wasser abschneiden lassen, und wenn die Arbeit auch langsam von statten ging und dabei wenigstens drei Mann angestellt werden mußten, so liefs sich doch die Absicht jedesmal sicher ausführen. Aehnliche Vorrichtungen sind zu demselben Zwecke vielfach benutzt worden.

Das Sägeblatt wird in einen Bügel eingespannt, der solche Pfeilhöhe haben muß, daß man ohne Verstellung der Säge, den Pfahl ganz durchschneiden kann. Außerdem muß die Richtung der Säge mit der des Stiels übereinstimmen, und an letzterem befindet sich ein Querarm, der von zwei Arbeitern hin- und herbewegt wird. Das Sägen wird aber noch erleichtert, wenn der Stiel nicht frei schwebt, vielmehr sicher unterstützt wird. Man legt ihn etwa in den Einschnitt einer Bohle, aus dem er sich nicht entfernen darf. Alsdann haben die Arbeiter nur darauf zu achten, daß die Handhabe beständig horizontal bleibt, wodurch jedes starke Klemmen vermieden wird. Mittelst einer Leine wird die Säge beim Beginn der Arbeit bis zu der erforderlichen Tiefe am abzuschneidenden Pfahle herabgelassen und alsdann durch eine zweite Leine, die am besten an einem der beiden eisernen Arme neben dem Sägeblatte ihre Befestigung findet, gegen den Pfahl angedrückt. Es darf kaum erwähnt werden, daß die Säge nicht andre Pfähle oder den Boden berühren darf, und überdies ist es gut, die Zähne der Säge stark zu schränken oder sie recht weit aus der Ebene des Blattes heraustreten zu lassen, damit der Schnitt möglichst

weit geöffnet wird, so daß die Säge sich frei darin bewegen kann. Die Leine, womit die Säge angezogen wird, muß nicht zu stark gespannt werden, denn es kommt hierbei weniger darauf an, eine solche Arbeit, die sich nur selten wiederholt, möglichst zu beschleunigen, als vielmehr alle Zufälligkeiten zu vermeiden, wodurch der Apparat zerbrochen oder unbrauchbar werden könnte.

Wenn dagegen Rostpfähle in einer vorher bestimmten Tiefe genau und zwar horizontal abgeschnitten werden sollen, so ist hierzu der erwähnte einfache Apparat nicht mehr ausreichend. Man muß die Säge alsdann in ein Gatter einspannen, das sich horizontal einstellen und in die verlangte Tiefe bringen läßt. Eine feste Rüstung kann man hierbei nicht füglich entbehren, obwohl de Cessart erzählt*), daß er beim Bau der Kaimauer zu Rouen der Kostenersparung wegen gezwungen worden sei, die Rüstung fortzulassen und die Grundsäge zwischen zwei Schiffen aufzustellen; er fügt aber hinzu, daß nicht nur die Sägeblätter dabei oft brachen und die Schnitte unregelmäßig ausfielen, sondern daß außerdem auch die Arbeit sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Die feste Rüstung war aber gewiß unter den dortigen Verhältnissen, wo in Folge des starken Fluthwechsels der Wasserstand sich fortwährend ändert, dringend geboten.

Wenn die Holme einer Rüstung horizontal verlegt sind, so braucht man auf dieselben nur den Schlitten, der die Säge trägt, hin und her zu schieben, um alle Pfähle ohne weiteres Verstellen der Säge horizontal abzuschneiden. Ist das Gewicht des Schlittens bedeutend, so läßt man ihn auf Rollen oder Rädern laufen, und zuweilen versieht man ihn noch mit einer Querbahn, worauf ein zweiter Schlitten ähnlicher Art steht. Alsdann kann man nach zwei Richtungen die Verschiebung vornehmen und auf diese Art alle Rostpfähle in den verschiedenen Pfahlreihen abschneiden. Es kommen indessen solche complicirte Vorrichtungen nur da vor, wo man in größerer Tiefe die Säge gebrauchen will. Am häufigsten geschieht es, daß man einen Rahmen, der in der angemessenen Tiefe das horizontal gestellte Sägeblatt trägt, mit erhöhten Handhaben versieht und ihn unmittelbar auf der Rüstung hin- und herschieben und zugleich gegen den Pfahl andrücken läßt. Diese

*) *Description des travaux hydrauliques. I. p. 234.*

vielfach benutzte Vorrichtung ist so einfach, daß sie keiner nähern Beschreibung bedarf, und es wäre kaum darauf aufmerksam zu machen, daß die beiden abwärts gerichteten Stiele, welche die Säge tragen, durch schräge Bänder gehörig verstrebt sein müssen.

Zu diesen einfacheren Säge-Apparaten gehört auch der Fig. 252 auf Taf. XIX. dargestellte, den der Ingenieur Pochet zusammensetzte und bei verschiedenen Brückenbauten benutzte.*) Der Rahmen, der die Säge trägt, ruht auf 4 eisernen Rädern, die auf Geleisen laufen, aber durch so kurze Achsen mit einander verbunden sind, daß der erforderliche Seitendruck nicht durch Anrücken der Bahn veranlaßt werden kann, hierzu dient vielmehr eine Leine, deren beide Enden die Säge fassen, und die durch ein mäßiges Gewicht von 8 bis 10 Pfund nach dem abzuschneidenden Pfahle gezogen wird. *a* und *b* sind die Ansichten von der Seite und von vorn, und *c* zeigt die Säge von oben. Der Bügel, den man hier bemerkt, ist aber nicht unmittelbar an der letzteren, vielmehr etwas weiter aufwärts zwischen den Stielen angebracht, und derselbe tritt so weit zurück, daß ohne Verstellung des Wagens und der Bahn der Pfahl ganz durchgeschnitten werden kann. Zwei Mann genügten beim Gebrauche dieser Säge, und wenn dieselben sich mit zwei andern von Zeit zu Zeit ablösten, so konnten sie in einem Tage 15 bis 20 Pfähle in der Tiefe von 8 Fufs unter Wasser abschneiden.

Diese Säge hat auch später bei andern Bauten Anwendung gefunden. So beim Brückenbau über die Loire zu Nantes**), sie wurde daselbst freilich nur für die mäßige Tiefe von 1 Fufs unter Niedrigwasser eingerichtet, aber es zeigte sich bald, daß sie ohne Schwierigkeit auch bei allen Wasserständen des Fluthwechsels benutzt werden konnte.

Bei diesen Apparaten wird nicht nur die Säge, sondern auch die Rüstung, worin sie eingespannt ist, und mit derselben der schwere Schlitten oder Wagen hin- und hergeschoben, wodurch eine größere Betriebskraft bedingt wird, als zu der Bewegung der Säge allein erforderlich wäre. Dabei kommt aber nicht nur die Reibung zwischen den auf einander schleifenden Maschinentheilen in Betracht, sondern auch der Widerstand, den das Wasser auf die

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1846. I. pag. 328.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1865. I. pag. 53.

herabreichenden Stiele ausübt, welche die Säge tragen. Ohne Zweifel läßt sich der Schnitt auch schärfer und ebener ausführen, wenn man die Säge mit ihrer Fassung auf einem festen und sorgfältig bearbeiteten starken Rahmen in der verlangten Tiefe hin- und hergleiten läßt.

Ein Apparat dieser Art wurde bereits im Jahre 1738 von Etheridge zusammengestellt und beim Bau der Westminster-Brücke in London benutzt. Eine Rüstung von Schmiede-Eisen, die im Allgemeinen eine pyramidale Form hatte, wurde zur Seite des abzuschneidenden Pfahles herabgelassen und an denselben befestigt, während sie gleichzeitig im Hebezeuge hängen blieb. Ihre Grundfläche brachte man in diejenige Ebene, wo der Schnitt geschehen sollte. Die Säge war in ein Gatter eingespannt, das sich mittelst vier Leitstangen in einem Rahmen hin- und herschieben liefs. Das Gatter erhielt die Bewegung durch Leinen, die über Rollen geführt waren und abwechselnd angezogen wurden. Um das Vorrücken der Säge gegen den Pfahl zu bewirken, war auch der ganze Rahmen, der die vier Leitstangen des Gatters umfaßte, beweglich, und zwar liefs er sich normal gegen die Richtung der Säge verschieben. Dieser Rahmen wurde durch zwei andere Leinen, die von einem angemessenen Gewichte in Spannung erhalten wurden, immer gegen den Pfahl geprefst und sonach rückte die Säge in demselben Maafse, wie sie tiefer einschnitt, auch weiter vor. Diese Beschreibung wird von der Anordnung der Maschine im Allgemeinen einen Begriff geben, die Mittheilung der Specialien scheint aber überflüssig, da man seitdem nicht wieder davon Gebrauch gemacht hat, auch die ganze Aufstellung nicht besonders fest sein mochte.*)

Wichtiger ist die Maschine, welche de Cessart bei den Fundirungen in Caissons und zwar zuerst bei der Brücke zu Saumur benutzte.**) Diese Vorrichtung unterscheidet sich von jener sehr vortheilhaft dadurch, dafs der Rahmen, worauf die Säge ruht, mittelst einer Zange, die von oben geschlossen werden kann, den Pfahl umfaßt, und zwar geschieht dieses unterhalb des Sägeschnittes, so dafs die Verbindung nicht gelockert wird, wenn der Pfahl auch

*) Beschreibung und Abbildung dieser Maschine findet man in Eytelweins prakt. Anweisung zur Wasserbauk. Heft I.

***) *De Cessart, travaux hydrauliques. I. p. 71.*

schon nahe durchschnitten ist. Die Bewegung wird der Säge mitgetheilt durch ein ziemlich complicirtes Hebel-System. Die obern Enden der beiden Hebel ruhen in Führungen auf einem Wagen, der jedoch nur bewegt wird, um den ganzen darauf ruhenden oder hängenden Apparat an einen neuen Pfahl zu bringen. Endlich kann die Säge zugleich mit dem Rahmen, worin sie sich bewegt, mittelst zweier gezahnten Stangen, in welche Zahnräder eingreifen, auch weiter vorgeschoben werden, um immer frisches Holz zu fassen.

Die specielle Beschreibung und Zeichnung der ganzen Einrichtung, die man seit Einführung der Kreissägen wohl nicht mehr benutzen dürfte, umgehe ich, wenn sie auch im Anfange dieses Jahrhundertts beim Bau des Pont des Arts in Paris nochmals gewählt wurde. *) Man führte jedoch in diesem Falle die Aenderung ein, daß das Hebel-System etwas vereinfacht wurde, auch die Arbeiter die Zugstangen nicht mehr vor und zurück, sondern wie bei Feuerspritzen auf und ab bewegten.

Mit jener Säge schnitt de Cessart Anfangs nur die Pfähle ungefähr 7 Fufs unter Wasser ab, beim siebenten Pfeiler der Brücke zu Saumur wurde aber die Tiefe, in welcher die Säge wirken sollte, auf mehr als 15 Fufs unter dem Wasserspiegel bestimmt. Die Maschine verrichtete ihren Dienst mit voller Sicherheit und Perronet, der auf die Baustelle zur Inspection gekommen war, untersuchte die Pfahlköpfe und fand sie sämmtlich in der gehörigen Höhe abgeschnitten. De Cessart machte hierbei den Versuch, einzelne Pfähle zuerst 4 bis 5 Linien zu hoch abzuschneiden, darauf aber die Säge richtig einzustellen. Sie schnitt alsdann dünne Scheiben von 2 Linien Stärke ab, welche, ohne zu zerbrechen, sich lösten und an die Oberfläche des Wassers traten. Sie gaben den deutlichsten Beweis von der Genauigkeit, womit die Säge eingestellt und in Wirksamkeit gesetzt werden konnte. Ein Pfahl von 9 bis 10 Zoll Durchmesser wurde etwa in 4 Minuten durchschnitten, man konnte aber auch 18 Zoll starke Pfähle noch damit abschneiden. Das Verstellen nahm jedoch so viel Zeit fort, daß man an einem Tage nicht mehr als zwanzig Pfähle abschnitt. War die Säge ein-

*) Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraulischen Architectur. Seite 32.

mal geschärft, so schnitt sie bis 40 Pfähle durch, ohne dafs sich eine Verzögerung der Arbeit in Folge des Stumpfwerdens bemerken liefs. Dieses ist mehr, als bei dem gewöhnlichen Gebrauche der Säge, und es erklärt sich vielleicht dadurch, dafs die Säge im Wasser nicht warm wird.

Beim Bau der Brücke über das Thal Benoit benutzte man eine Säge, die den beschriebenen ähnlich, jedoch etwas einfacher zusammengesetzt war. Ein starker hölzerner Rahmen, der auf 4 Rädern lief, konnte gegen den Pfahl, der durchschnitten werden sollte, geschoben werden. Auf diesem Rahmen lagen 4 mit Zähnen versehene Schraubenmuttern, die von derselben Vaucansonschen Kette umschlungen sich sämmtlich gleichmäfsig bewegten. An jeder von diesen Muttern hing eine starke eiserne Schraubenspindel, und diese waren an ein eisernes Gehäuse befestigt, durch welches die Führungen der Säge hindurchgriffen. Letztere wurde durch einen einfachen Hebel hin und her bewegt, und mit einer horizontalen Schraube wurde der Wagen in dem Maafse, wie der Sägenschnitt sich vertiefte, vorgeschoben.*)

Die Kreissäge, welche in neuerer Zeit vielfach mit grossem Vortheile angewendet wird, hat man auch verschiedentlich als Grundsäge zu benutzen versucht, und die Resultate sind jedesmal befriedigend ausgefallen, was sich wegen der einfacheren Aufstellung auch erwarten läfst. Der Rahmen, den man sonst braucht, um die Säge hin- und herzuführen, fällt dabei fort, wogegen nur die Befestigung der Achse nöthig wird, um welche die Drehung geschieht. Die Drehung erfolgt gewöhnlich durch eine Kurbel, wie dieses z. B. beim Bau der Brücke zu Bordeaux geschehn ist. Da es hierbei auf grofse Geschwindigkeit der Arbeit nicht anzukommen pflegt, so möchte dieses auch immer genügen. Zuweilen hat man aber, um die Arbeit etwas zu beschleunigen und um die Kurbel bequemer bewegen zu können, letztere an eine horizontale Achse befestigt, die mit einem conischen Rade in ein Getriebe eingreift. Andererseits hat man auch statt des Rades und Getriebes eine Schnur ohne Ende gewählt, wodurch sich die Anschaffungskosten etwas ermäßigen. Dieses ist z. B. bei der Säge geschehn, welche

*) *Annales des travaux publics.* 1844. pag. 336.

beim Bau der Bauacademie in Berlin zum Abschneiden der Rostpfähle in der Tiefe von 2 Fufs unter Wasser benutzt wurde.

Dafs die Kreissäge jedesmal mit einer Vorrichtung versehen sein mufs, wodurch sie an den abzuschneidenden Pfahl näher herangeschoben werden kann, darf kaum erwähnt werden, und nur wenn es auf keine sorgfältige Arbeit ankommt, kann man sich damit begnügen, wie zuweilen auch wirklich geschehn ist, nur das untere Ende der Achse, woran die Säge befestigt ist, gegen den Pfahl zu drücken. Um das regelmässige Vorschieben der Kreissäge zu bewirken, mufs dieselbe an einem Rahmen befestigt sein, der bei unveränderter Lage sich vorwärts bewegt. Bei festen Rüstungen ist dieses nicht schwer zu erreichen, da man hier eine Absteifung des Rahmens in jeder Richtung vornehmen und seine Bewegung durch angebrachte Rollen oder Räder erleichtern kann. Die Achse der Säge mufs ferner diejenige Länge haben, welche der grössten Tiefe entspricht, in der man noch den Schnitt ausführen will, und die Säge mufs sich am äufsersten Ende befinden, damit sie möglichst nahe über dem Grunde wirken kann. Damit die Achse weder bricht, noch auch sich biegt, so mufs die eine der beiden Pfannen, in welchen sie sich dreht, möglichst nahe über der Säge befindlich sein. Die andere Pfanne dagegen erhält ihre passendste Stelle nahe unter dem Rade oder der Kurbel. Auf diese Art bestimmt sich die Höhe des Rahmens, der beide Pfannen trägt, und indem es darauf ankommt, dafs er seine verticale Stellung beibehält, so mufs er hinreichend stark sein, um nicht durchzubiegen. Das Fortschieben des Rahmens auf der festen Rüstung erfolgt entweder durch eine Leine, welche angezogen wird, wie bei der erwähnten in Berlin benutzten Säge geschah, oder besser durch eine Schraube, wie beim Bau der Brücke zu Bordeaux, wodurch man regelmässiger und sanftere Bewegungen ertheilen kann. Die letzte Säge konnte 16 bis 18 Fufs unter Wasser arbeiten. Der Rahmen bestand aus einer festen Verstrebung von Schmiedeeisen, und bei dem grossen Gewichte desselben durfte man nicht befürchten, dafs er durch die oben angebrachte Schraube schräge gestellt werden möchte.

Als Beispiel der Aufstellung einer Kreissäge wähle ich diejenige Einrichtung, welche man zum Abschneiden der Pfähle an den Uferbauten der Donau benutzt hat. Fig 253 a zeigt diese Säge von der Seite. Zur Vermeidung einer besondern Rüstung, und da es

hier wahrscheinlich auf eine große Genauigkeit nicht ankam, wurde der aus drei schmalen Bohlenstücken zusammengesetzte und mit eisernen Bändern verbundene Rahmen *AB*, der die Säge trug, unmittelbar an den abzuschneidenden Pfahl befestigt. Oben geschah dieses durch umgeschlungene Ketten, die vielleicht durch zwischengetriebene Keile noch scharf angespannt wurden. Unten diente dagegen hierzu eine Zange, die der von de Cessart angewendeten ähnlich ist, sich aber durch eine veränderte Vorrichtung zum Schließen unterscheidet. Die Zange ist, wie Fig. *b* und *c* zeigt, so gebildet, daß die gekrümmten Arme, welche den Pfahl umfassen, des bessern Schlusses wegen mit Zähnen versehen, und rückwärts fortgesetzt sind, doch durchkreuzen sie sich nicht, sondern derselbe Arm, der vor dem Charniere der linkseitige ist, liegt auch hinter dem Charniere auf der linken Seite. Durch Auseinanderdrängen der hintern Fortsätze werden also die gezahnten Bügel geschlossen und man bewirkt dieses, indem man von oben eine eiserne Stange, die unten in einen passend geformten Keil ausgeht, zwischen die beiden hintern Arme treibt. Will man später die Zange öffnen, was in der Regel erst geschieht, nachdem der Pfahl bereits abgeschnitten ist und man den ganzen Sägeapparat zugleich mit dem abgeschnittenen Theile heraufziehen will, so befördern zwei Federn, welche die vordern Arme der Zange auseinanderdrängen, das Auslösen derselben, sobald der Keil herausgeschlagen wird.

Man hat bei dieser Säge die zweckmäßige Anordnung getroffen, daß die untere Pfanne der Achse übereinstimmend mit der obern, dem Pfahle genähert werden kann, um die Säge tiefer einschneiden zu lassen. In jedem der beiden Arme des Rahmens befindet sich nämlich, wie Fig. 253 *b* zeigt, ein Schlitz, durch welchen die Achse hindurchgreift, und in den Schlitz liegen auf eisernen Bahnen die beiden Pfannen. Letztere sind rückwärts mit entsprechenden gezahnten Stangen versehen und diese werden durch zwei Getriebe gemeinschaftlich bewegt. Sobald die daran befestigte Kurbel in einer oder der andern Richtung gedreht wird, so schieben sich beide Pfannen gleichmäßig vor oder zurück, und theilen diese Bewegung auch der Säge *GH* mit. *)

Ein Umstand, welcher der Anwendung der Kreissäge häufig

*) Förster's allgemeine Bauzeitung 1836. Seite 129.

sehr hindernd entgegentritt, ist die Schwierigkeit, ein Sägeblatt von der erforderlichen Gröfse zu erhalten, welches hinreichend genau gearbeitet und zugleich steif und fest ist. Will man Pfähle von etwa 1 Fuß Durchmesser durchschneiden, so muß die Kreissäge schon gegen 4 Fuß groß sein, da die Scheibe oder die Fassung, worin sie befestigt wird, den Pfahl nicht berühren darf; sie hat oft diesen Durchmesser, was namentlich bei der Säge, die man bei Bordeaux anwendete, der Fall war. Die Säge, die man in Berlin aufstellte, hielt dagegen nur 3 Fuß, war also zu klein, um einen Pfahl mit einem Male durchzuschneiden. Man mußte von einer Seite anfangen und sobald der Rand der Platte das Holz berührte, den ganzen Rahmen um den Pfahl herumschieben und umdrehn und alsdann von der andern Seite die Arbeit fortsetzen, um den Schnitt vollständig auszuführen. Wenn der Gebrauch der Säge in dieser Art erschwert wird, so kann man kaum einen Vortheil von ihrer Anwendung noch erwarten. Geht man indessen von der Ansicht aus, daß es bei der Grundsäge auf Kraftersparung nicht ankommt, da bei ihrem seltenen Gebrauche es sehr gleichgültig ist, ob vier oder acht Mann die Säge in Bewegung setzen, vielmehr die Hauptbedingung darin besteht, daß sie genau und unabhängig von allen Zufälligkeiten arbeitet, so darf man sich nicht mehr bemühen, einen recht feinen Schnitt, wie solcher in andern Fällen erforderlich ist, auch hier darzustellen. Man kann die Säge ohne Nachtheil mit großen und stark geschränkten Zähnen versehen und dadurch dem Schnitte eine solche Breite geben, daß selbst eiserne Schienen oder Platten, welche zur Absteifung des Sägeblattes erforderlich sind, sich noch ohne das Holz zu berühren in den Schnitt hineinschieben. In diesem Falle würde eine Kreissäge einen Pfahl noch durchschneiden können, der den dritten Theil und vielleicht nahe die Hälfte ihres eignen Durchmessers zum Durchmesser hätte. Wahrscheinlich könnte man aber auch, wenn man der Säge eine gröfsere Geschwindigkeit gäbe und sie recht behutsam vordringen liesse, das unmittelbare Aufeinanderfolgen der Zähne vermeiden und vielmehr schon durch wenige einzelne Zähne den Schnitt darstellen, in ähnlicher Art, wie man beim Maschinenbau zuweilen einzelne Zähne statt der Fraisen anwendet. Giebt man der Säge in dieser Art nur eine geringe Anzahl von Zähnen, so lassen sich dieselben sehr genau und fest einstellen, so daß die Arbeit, des breiten Schnittes unerachtet, dennoch mit großer

Schärfe auszuführen ist. Hierbei wird freilich eine gröfsere Betriebskraft erfordert, besonders wenn eine starke Geschwindigkeit sich in diesem Falle als nothwendig herausstellen sollte, nichts desto weniger wird man es immer als einen Gewinn betrachten müssen, eine Arbeit, die zu den allerschwierigsten und bedenklichsten gezählt werden mufs, mit voller Sicherheit ausführen zu können.

Endlich mufs bemerkt werden, dafs das Princip der Kreissäge auch auf eine andere noch einfachere Art für die Grundsäge sich benutzen läfst. Der Vorzug der Kreissäge vor der gewöhnlichen Säge besteht darin, dafs man die Drehung um eine feste Achse statt des Hin- und Herschiebens auf einer Bahn einführt. Man vermeidet dadurch die schwierige Einrichtung der letztern, so wie auch das Klemmen, Reiben und Schlottern, welches die Bahnen und sonstigen Führungen, namentlich wenn man sie nicht immer untersuchen, noch auch vor Stöfsen und andern Beschädigungen gehörig sichern kann, leicht zu zeigen pflegen. Zur Erreichung dieses Vortheiles ist es aber keineswegs nothwendig, dafs die Drehung ununterbrochen in derselben Richtung erfolgt, vielmehr darf die Säge sich hin- und herbewegen, während sie um die feste Achse schwingt. Man braucht also von der Achse nur zwei Arme ausgehn zu lassen, die etwa einen Winkel von 60 Graden gegen einander bilden und zwischen diese, wie an den Rahmen einer gewöhnlichen Säge, das Blatt zu spannen. Dieses Blatt darf aber an seiner vordern Seite, wo die Zähne sich befinden, nicht durch eine gerade Linie begrenzt werden, vielmehr mufs es hier einen Kreisbogen bilden, der die Drehungsachse zum Mittelpunkte hat. Auf solche Art würde die Schwierigkeit der Beschaffung einer grofsen Kreissäge und zugleich die begrenzte Tiefe des Schnittes leicht vermieden werden, und die Bewegung dieser Säge würde sich noch dadurch vereinfachen, dafs die Arbeiter nur die Kurbel hin- und herschieben.

Vorstehende Andeutung einer möglichst einfachen Kreissäge, die zum Abschneiden der Pfähle unter Wasser benutzt werden könnte, hatte ich schon in der ersten Ausgabe dieses Handbuchs (1841) mitgetheilt, dieselbe ist später in den Niederlanden bei Gelegenheit der Fundirung des Dampfmaschinen-Gebäudes im Bommelwaard zur Ausführung gebracht, und zwar wurden damit die Pfähle bis 21 Fufs unter Wasser abgeschnitten. Fig. 254 *b* zeigt die dabei gewählte Anordnung. Die Säge umfafst nur einen Halbkreis und

wird durch zwei Arme am obern Ende ihrer Achse hin und her gedreht, während sie von der Rüstung aus durch eine schräge Leine gegen den Pfahl angezogen wird. Die ganze Zusammensetzung des Apparates ergibt sich aus Fig. 254 a, wobei jedoch der Maafsstab nur halb so groß gewählt, auch wegen mangelnden Raumes die Wassertiefe auf die Hälfte reducirt ist.

Die Grundpfähle waren mittelst Aufsetzern tief unter Wasser herabgetrieben, woher es noch besonderer Vorkehrungen bedurfte, um sie sicher aufzufinden, und die Säge daneben aufzustellen. Zu diesem Zwecke diente ein langer Blechtrichter, mit welchem man von der Rüstung aus den Pfahl aufsuchte, und den man wie die Figur zeigt, über den Kopf desselben streifte. War dieses geschehn, so schob man eine unten zugespitzte Eisenstange durch den Hals des Trichters, und trieb dieselbe mit starken Hammerschlägen so weit in den Pfahl, dafs sie auch ohne den Trichter aufrecht stehn konnte, worauf letzterer entfernt wurde.

Die halbe Kreissäge schwebte einige Zolle unter einem starken Klotz von Eichenholz, der die untere Pfanne ihrer Achse trug, dieser Klotz hing aber an einem darin verzapften Stiele, der bis über die Rüstung trat und auf dieser in der angemessenen Höhe durch einen hindurchgesteckten Bolzen gehalten wurde. Der Klotz war mit einem starken Bügel versehen, den man beim Herablassen des Apparates über jene Eisenstange und den Pfahl streifte, um die Säge sicher nahe an den Pfahl zu bringen. Bei dieser Aufstellung hatte die Säge aber noch nicht die nöthige Haltung, und sie würde, sobald man sie in Thätigkeit setzte, nicht nur um ihre Achse sich gedreht haben, sondern auch hin und her geschwankt sein. Um dieses zu verhindern, mußte jener Klotz noch gegen den Boden befestigt werden, man versah ihn daher an beiden Seiten mit eisernen Ringen, und durch diese wurden starke, am untern Ende mit langen eisernen Spitzen versehene Stangen gesteckt, die man fest in den Grund einstellte. Diese Stangen mußten aber, sobald die Säge tiefer einschnitt, weiter vorgerückt, also ausgehoben und wieder eingestellt werden, und da es überaus mühsam und zeitraubend gewesen wäre, jene eisernen Ringe in der großen Tiefe aufzufinden, so spannte man an die Spitze jeder Stange eine Kette, die aufserhalb des betreffenden Ringes sich soweit hinzog, dafs die Stange zwar aus dem Boden gezogen und hinreichend hoch gehoben und wieder gesenkt

werden konnte, ihre Spitze aber jedesmal im Ringe bleiben mußte. Die Stangen wurden etwas schräge eingesetzt, so daß sie beim tieferen Eindringen der Säge steiler gerichtet werden konnten, und sie sonach in Verbindung mit jenem Seile die Säge vorschoben.

Mit diesem, vom Bau-Unternehmer Kool angegebenen Apparate wurden durchschnittlich an jedem Tage 20 und einmal sogar 28 Pfähle abgeschnitten. Dabei waren 9 Mann beschäftigt, von denen 4 die Achse der Säge in Bewegung setzten. *)

Schließlich wäre noch eine in ihrer Einrichtung sehr einfache und im Gebrauche sehr bequeme Säge zu erwähnen, die jedoch weniger genau arbeitet, als die bisher beschriebenen. Dieses ist die sogenannte Schwungsäge. Ein gewöhnliches Sägeblatt wird dabei nicht horizontal hin und herbewegt, sondern ist in einen möglichst hohen Rahmen gespannt, der sich oben um eine horizontale Achse dreht. Jeder einzelne Zahn beschreibt also einen Kreisbogen, und da die Abstände von der Drehungs-Achse verschieden sind, so treffen die mittleren Zähne den Pfahl in einer größeren Höhe, als die äußeren, und der Schnitt wird viel stärker als er bei horizontaler Führung desselben Blattes gewesen wäre. Dazu kommt aber noch, daß das Blatt auch merklich durchbiegt, und daher keineswegs ganz eben, sondern ziemlich unregelmäßig den Kopf des Pfahles abschneidet. Wenn ein solcher Uebelstand, wie zuweilen der Fall ist, keine Bedeutung hat, so möchte gerade diese Anordnung sich vorzugsweise empfehlen.

Schon bei den Strom-Correctionen am Rhein benutzte Defontaine solche Sägen, später wurden sie von Beaudemoulin beim Brückenbau in Tours angewendet, und hier vereinfachte man ihre Aufstellung noch dadurch, daß man einen hölzernen Stiel mit einem eisernen Schuh versah, der in einer starken Holzschraube endigte, die man in den Kopf des abzusägenden Pfahles einschrob. Ein Bolzen, den man in passender Höhe an den Stiel befestigte, bildete alsdann die Achse, um welche der Rahmen mit der Säge hin und her schwang. Mittelst der beiden Zugstangen wurde aber nicht nur diese Bewegung der Säge mitgetheilt, sondern dieselbe auch beständig gegen den Pfahl angedrückt. **)

*) *Verhandelingen van het koninglijk Institut van Ingenieurs.* 1855—1856. pag. 17.

**) *Annales des ponts et chaussées* 1841. I. pag. 224.

Indem bei dieser Anordnung der Schnitt in beiden Richtungen gekrümmt ist, so dürfte es sich mehr empfehlen, die Säge an einen Bock zu hängen, der auf der Rüstung steht und der bei weiterem Eingreifen der Säge vorgerückt wird. Solche Aufstellung war bei verschiedenen Fundirungs-Arbeiten an der Yonne und an der obern Seine gewählt worden. *) Dieselbe ist Fig. 255 *a* und *b* in der Seiten-Ansicht und im Grundriß dargestellt. Der eiserne Rahmen, in den die Säge eingespannt ist, lehnt sich an die Mittelschwelle des Bockes, die in dem Maasse wie der Schnitt sich vertieft vorgeschoben wird. Die Bewegung kann alsdann auch durch Leinen, statt der Zugstangen, der Säge mitgetheilt werden. Dieselbe schnitt durchschnittlich die Pfähle in der Tiefe von $4\frac{1}{2}$ Fufs unter Wasser ab.

§. 41.

Ausziehn der Pfähle.

Häufig trifft es sich, dafs an der Stelle, wo eine Fundirung ausgeführt werden soll, alte Pfähle bereits im Grunde stecken, die man zuerst entfernen mufs, andererseits sind auch zuweilen Spund- oder Spitzpfähle, die beim Einrammen nicht gehörig eindringen, wieder fortzuschaffen, und endlich werden manche Pfähle und namentlich die Rüstpfähle und die der Fangedämme nur bis zur Beendigung des Baues gebraucht, und müssen später beseitigt werden. Aus diesen verschiedenen Gründen wiederholt sich häufig das Bedürfnifs, die eingerammten Pfähle wieder auszuziehn, und gemeinhin ist dieses nicht nur an sich sehr schwierig und erfordert einen starken aufwärts gerichteten Zug, sondern es tritt noch der Uebelstand dabei ein, dafs die festen Stützpunkte oft schwer zu beschaffen sind. Das gewöhnlichste und einfachste Mittel besteht in der Anwendung eines starken und schweren Hebels, wozu man entweder einen Pfahl oder einen Balken benutzt. Zuweilen hat man indessen auch von andern mechanischen Vorrichtungen zu demselben Zwecke Gebrauch gemacht. Von diesen soll zuerst die Rede sein.

Beim Hafengebäude zu Hull stellte man über die Pfähle der Rüstun-

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1861. II. p. 66.

gen und Fangedämme, die man ausziehn wollte, einen Bock, woran mehrere Flaschenzüge hingen, deren untere Blöcke an den Pfahl befestigt waren. Die darin eingeschornen Tawe wurden durch Erdwinden angezogen, und es war bei manchen Pfählen erforderlich, vier solcher Winden anzubringen, deren jede mit vier Mann besetzt war: der Widerstand eines solchen Pfahles wurde daher auf 15 bis 20 Tons oder 30000 bis 40000 Pfund geschätzt. *) Dabei ist freilich die Reibung unbeachtet geblieben, die namentlich beim Flaschenzuge sehr stark ist; nichts desto weniger kann man aber annehmen, daß der erforderliche Zug, um einen Pfahl zu heben, sich dem Werthe seiner Tragfähigkeit nähert. Bei weichem und zähem Boden mögen beide nicht sehr verschieden sein.

Statt des dreibeinigen Bockes läßt sich sehr bequem auch die gewöhnliche Ramme benutzen, die sich hierzu um so mehr eignet, wenn sie schon mit einer Winde versehen ist, mittelst deren man das in den Flaschenzug eingeschorne Tau kräftig anziehn kann.

Demnächst hat man die Schraube zu demselben Zwecke benutzt, schon Bélidor schlägt sie vor, und räth die Einrichtung so zu treffen, daß die um den Pfahl geschlungene Kette an einen Wirbel am untern Ende der Schraubenspinde befestigt wird, während auf einer festen Rüstung die Schraubenmutter lose aufliegt, und durch vier Hebel wie eine Erdwinde gedreht wird. **) Bélidor bemerkt auch, daß man diese Vorrichtung auf Fahrzeuge stellen und auf solche Art die im Wasser stehenden Rüst- und andere Pfähle entfernen kann. Die starke Reibung der Schraube möchte indessen bei festeingerammten Pfählen kaum diesen Apparat als hinreichend wirksam erscheinen lassen. Nichts desto weniger ist bei den eben erwähnten Hafenbauten in Hull hiervon gleichfalls Gebrauch gemacht worden und zwar bei Gelegenheit einer Spundwand. Die eiserne Schraube hatte dabei eine Stärke von 4 Zoll und übte zuweilen einen Zug aus, den man auf 18 Tons oder 36000 Pfund schätzte. Einige Pfähle ließen sich jedoch durch dieses Mittel allein nicht heben und es gelang erst, sie in Bewegung zu setzen, nachdem man den Boden, der aus reinem Sande bestand, daneben noch tief ausgebaggert hatte.

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p. 45.*

**) *Architecture hydraulique. Vol. III. p. 120.*

Ferner hat man auch versucht, die Kette oder das Tau, woran der Pfahl befestigt ist, unmittelbar über eine horizontale Winde zu schlingen, welche durch irgend eine mechanische Vorrichtung gedreht wird. Eine solche Maschine beschreibt schon Perronet bei Gelegenheit der Brücke zu Orleans. Eine hölzerne Welle war auf einer einfachen Rüstung über dem Pfahle angebracht und ein Durchsteckarm darin wurde mittelst eines Taus an seinem äufsern Ende mit einer zweiten ähnlichen Welle auf derselben Rüstung verbunden. Letztere wurde durch Hebel, die man in sie einsetzte bewegt. Man könnte glauben, daß die Kraft sich noch wesentlich verstärken ließe, wenn man in gleicher Weise eine dritte, oder noch mehrere Winden damit verbände, aber ein solcher Apparat, der aus vielen und zwar nicht steifen Theilen besteht, eignet sich nicht zur Darstellung eines kräftigen Zuges. Perronet machte hiervon auch nur Gebrauch, um die Pfähle der Fangedämme zu entfernen, die nicht besonders fest eingerammt waren. Sehr ähnlich dem beschriebenen Apparate ist derjenige, dessen man sich bei den Hafenbauten vor Amsterdam bediente, um die alten im Grunde steckenden Rostpfähle herauszureissen. Auf das vordere Ende eines Fahrzeuges war eine Winde von 3 Fufs Durchmesser aufgestellt, um welche das Tau, das an den Pfahl befestigt wurde, umgeschlungen war. Diese Winde hatte 6 Löcher zum Einsetzen von Hebeln. Ein solcher wurde in das passende Loch gesteckt und von seinem äufsern Ende ging eine Leine über einen Fufsblock nach einer Erdwinde, die auf dem Verdeck des Fahrzeuges stand, und durch vier Mann in Bewegung gesetzt wurde. *) Es ist wohl nicht anzunehmen, daß die Pfähle, die man hiermit entfernte, großen Widerstand leisteten, wie überhaupt in Holland die Pfähle nie besonders fest eingerammt werden.

Endlich hat man zuweilen die hydraulische Presse zum Ausziehn der Pfähle benutzt. Dieses geschah z. B. beim Bau der Waterloo-Brücke. Man stellte die Presse oder den Cylinder, worin der grössere Kolben befindlich ist, auf den noch feststehenden Theil der Spundwand, und dieser Kolben hob das Ende eines starken Balkens, dessen anderes Ende auf einer Rüstung ruhte. Da letzteres nur im umgekehrten Verhältniß der Längen der betreffenden Hebel-

*) Henz, der Hafen von Amsterdam, in den Verhandlungen des Gewerbevereins in Preussen. 1832. S. 179.

arme abwärts drückte, so wurde jene Rüstung nur mäfsig belastet und durfte daher auch weniger fest sein.

Die einfachste Vorrichtung zum Ausziehn der Pfähle besteht, wie bereits erwähnt worden, in der Anwendung des Hebels oder des Wuchtbaumes. Mittelst desselben läfst sich ein sehr kräftiger Zug ausüben und er ist daher bei gehöriger Einrichtung und Benutzung für Pfähle, die besonders fest eingerammt sind, vorzugsweise geeignet. Bei den Bohlwerksbauten in Pillau und namentlich bei dem des sogenannten hohen Bohlwerkes, das die Stadt gegen die See schützt, war das Ausziehn der alten Pfähle, wenn man neue einrammen wollte, nothwendig, indem der Grund stellenweise so besetzt war, dafs man neben einen alten Pfahl den neuen nicht hineinbringen konnte. Diese Pfähle mußten aber jederzeit sehr tief eingerammt werden, indem zuweilen bedeutende Auskolkungen eintraten, welche den Einsturz des ganzen Bohlwerkes zur Folge haben konnten, wenn die Pfähle nicht ihren festen Stand noch behalten hätten. Diese Pfähle hatten eine Länge von 50 bis 60 Fufs und steckten gemeinhin über 30 Fufs tief im Grunde. Das Ausziehn derselben war mit sehr grofsen Schwierigkeiten verbunden, und da das früher hier übliche Verfahren auch sonst vielfach im Gebrauche ist, so will ich mit der Beschreibung desselben den Anfang machen.

Ein starker Pfahl wird an seinem Stammende etwa auf 6 Fufs Länge an einer Seite behauen und eine eichene Bohle darauf genagelt. Durch letztere wird das Rollen des Pfahles verhindert und derselbe zugleich vor Beschädigungen gesichert, denen er beim Drehn um Brechstangen oder um die scharfen Kanten der Balken ausgesetzt sein würde. Den Drehepunkt sucht man möglichst nahe an den auszuziehenden Pfahl zu verlegen und bildet ihn durch einen Balken, der auf andern eingerammten Pfählen ruht. Häufig muß man sich aber damit begnügen, den Balken nur durch Absteifung und Unterfütterung möglichst zu sichern. Die Arbeit ist um so schwieriger, je loser die Unterlage ist, und bei grofser Elasticität derselben wird es beinahe unmöglich, den Pfahl noch auszuziehn. Um den hintern oder längern Hebelsarm, also das Wipfelende des Pfahles, zu heben, wird ein dreibeiniger Bock darübergestellt, woran ein Flaschenzug befestigt ist. Wenn hierdurch der kürzere Hebelsarm möglichst tief gesenkt ist, so verbindet man denselben mit dem

Kopfe des ausziehenden Pfahles. Man muß sich, wenn die Pfähle nicht ganz lose im Grunde stecken, hierzu einer starken Kette bedienen, denn ein Tau leidet dabei theils zu viel, theils aber ist seine Elasticität auch der ganzen Operation hinderlich und jedenfalls müßte es sehr stark sein, wenn man es mit einiger Sicherheit anwenden wollte. Beim Anstecken der Kette kommt es darauf an, dieselbe sogleich möglichst stark anzuspannen, denn wenn man dieses versäumt, so fängt der Hebel an sich zu senken und erreicht vielleicht den Erdboden, ohne auf das Heben des Pfahles gewirkt zu haben, indem er nur die Kette stärker anspannte. Die Kette wird meist nur durch mehrmaliges Umschlingen an den Wuchtbaum befestigt. An ihrem andern Ende befindet sich dagegen ein Ring, durch den man sie hindurchzieht, und auf diese Art eine Schlinge bildet. Letztere streift man auf den Kopf des Pfahles, stößt sie recht fest mit Brechstangen nieder, und um ein Wiederaufziehen zu verhindern, werden noch Bolzen davor geschlagen. Ist Alles auf solche Art vorbereitet, so läßt man den Wuchtbaum herabsinken. Hierbei zeigen sich fast jedesmal mancherlei Uebelstände: zunächst setzt sich gewöhnlich der Wuchtbaum, der Anfangs sehr schräge hängt, in eine gleitende Bewegung und rückt dem Pfahle näher. Dadurch verlängert sich der kürzere Hebelsarm und der Zug vermindert sich häufig um die Hälfte. Diese Bewegung hat zugleich die üble Folge, daß der Balken, um welchen der Wuchtbaum sich drehn soll, verschoben und nicht selten herabgeworfen wird. Beides ist für die in der Nähe stehenden Arbeiter gefährlich. Der Wuchtbaum pflegt ferner und besonders bei der ersten Hebung sich nicht lange schwebend zu erhalten, denn die Kette, die sich überall an das Holz scharf anlegt, auch wohl sich darin eindrückt, giebt so viel nach, daß der kürzere Arm sich heben und der längere bis zum Boden herabfallen kann. Der erste Versuch wirkt also gewöhnlich auf den eigentlichen Zweck gar nicht hin und hat nur den Erfolg, daß die Kette sich in den Wuchtbaum und in den Pfahl tiefer eindrückt. Man wiederholt alsdann dieselbe Operation: der Wuchtbaum wird zuerst zurückgeschoben, sodann gehoben und sobald dieses geschehn, sucht man die Kette wieder zu spannen. Das letzte erscheint am leichtesten, wenn man die Vorsteckbolzen aus dem Pfahle herausschlägt und mit Brechstangen die Kette von Neuem recht tief herabstößt und sie wieder durch die Bolzen mög-

lichst sichert. Das Resultat dieses zweiten Versuches ist gewöhnlich noch ganz dasselbe, wie das erste Mal. Die Kette faßt nämlich in dem Pfahle frisches Holz, welches sie wieder stark comprimirt, und so wiederholt sich nicht selten derselbe Erfolg zehnmal und wohl noch öfter, bis es endlich gelingt, einen solchen Widerstand zu erreichen, daß die Kette nicht mehr nachgeben kann und der ganze Zug, den der Wuchtbaum auszuüben im Stande ist, wirklich auf das Heben des Pfahles verwendet wird.

Wenn der Wuchtbaum auf solche Art endlich in Wirksamkeit tritt, so zeigt sich oft, daß der Zug nicht genügt, um den Pfahl herauszureißen. Alsdann steigen einige Arbeiter auf den Wuchtbaum, andere werfen Taue herum und ziehn ihn herab, meist bleibt es auch nicht bei diesem gleichförmigen Zuge, sondern unter lautem Gesange bemühen sich beide Theile der Mannschaft, den Wuchtbaum in heftiges Schwanken zu versetzen und seinen Effect dadurch zu verstärken. Sind die Arbeiter Seeleute, wie dieses in Pillau gemeinhin der Fall war, so ist die Gefahr hierbei, selbst wenn zufällig etwas brechen sollte, nicht bedeutend. Ich habe mehrmals hierbei die Kette reißen oder die ganze Rüstung zusammenstürzen sehn, ohne daß auch nur ein einziger Arbeiter beschädigt wäre. Man muß aber jede Veranlassung vermeiden, daß die Leute, wenn auch aus eigenem Antriebe, sich auf der Baustelle einer Gefahr aussetzen, und eine solche ist hierbei nicht in Abrede zu stellen.

Schon aus diesem Grunde mußte der Apparat abgeändert werden, dazu kam aber noch, daß der größte Theil der dabei verwendeten Kraft unbenutzt verloren ging, und endlich genügte die Vorrichtung auch nicht, um diejenigen Pfähle herauszubringen, welche besonders fest im Grunde steckten. Man mußte jedesmal mehrere derselben stehen lassen, weil alle Versuche, sie zu heben, mißglückten. Es waren hierbei gemeinhin achtzehn Mann angestellt, vierzehn derselben zogen den Wuchtbaum auf, indem die Leine vom Flaschenzuge durch einen Block am Fusse des Bockes gezogen war, zwei Arbeiter standen auf dem vor dem Pfahle schwimmenden Flosse und schlugen die Ketten herab und befestigten die Vorsteckbolzen, und endlich sorgten zwei Mann, worunter ein Zimmergeselle war, für die gehörige Lage des Wuchtbaumes. Diese starke Mannschaft konnte durchschnittlich von den Pfählen am

hohen Bohlwerke täglich nur $2\frac{1}{2}$ Stück herausziehn, woher diese Arbeit sehr kostbar war. Das Arbeitslohn mit Einschluß der Kosten für Tauwerk u. dergl. betrug etwa zwei Drittel von dem für das Einrammen der Pfähle.

Die Aenderungen, die ich hierbei einführte, sind in Fig. 225 auf Taf. XVII. dargestellt. Zunächst ist der Wuchtstuhl oder die Unterlage zu erwähnen, auf welche die Drehungsachse für den Wuchtbaum befestigt wurde. Dieser Stuhl ist in der erwähnten Figur durch die Schraffirung markirt und Fig. 226 zeigt ihn in der Ansicht von oben. Er besteht aus einem durch Schraubenbolzen verbundenen Rahmen aus Eichenholz, der sich theils leichter und sicherer unterstützen läßt, als ein einzelner Balken, der aber theils auch mit Sicherheit die eiserne Achse trägt, um welche die Drehung des Wuchtbaumes erfolgt.

Der Wuchtbaum selbst bestand aus einem dreizehnzölligen Balken von Kiefernholz, dessen Länge 35 Fufs betrug, und der mit doppelten Pfannen versehen war, damit die Drehungsachse verändert werden konnte. Diese Pfannen wurden gebildet durch eiserne Schienen, die unten gabelförmig gespalten waren, und die Achse umfaßten. Sie waren durch je zwei Schraubenbolzen mit dem Wuchtbaume verbunden. Ihre Entfernung vom Ende des Wuchtbaumes betrug 1 und 2 Fufs. Die Drehungsachse wurde in die vorderen Pfannen gelegt, wenn der Pfahl noch fest im Grunde steckte, in diesem Falle übte der Wuchtbaum an sich schon einen Zug von 28500 Pfund aus, hing man aber an sein hinteres Ende einen Rammklotz von $7\frac{1}{2}$ Centner, so verdoppelte sich der Zug und konnte durch noch gröfsere Gewichte sogar verdreifacht werden. Sobald aber der Pfahl sich etwa um einen Fufs gehoben hatte, so verminderte sich schon merklich der Widerstand, wie man am schnellen Sinken des Wuchtbaumes wahrnehmen konnte. Alsdann wurde der letztere so weit vorgeschoben, daß die Achse nunmehr in die zweite Pfanne traf und daher bei jedem Zuge der Pfahl noch einmal so hoch stieg, wie früher.

Das Heben des Wuchtbaumes erfolgte mittelst einer Erdwinde. Das darum geschlungene Tau lief über einen Fufsblock und über eine eiserne Scheibe, die am dreibeinigen Bocke hing, nach dem hintern Ende des Wuchtbaumes. Drei Mann konnten bei dieser Anordnung den letzteren heben, und wenn sie mittelst

eines Hemmtaues die Erdwinde festgestellt hatten, so zogen sie auch die an einen Flaschenzug befestigte große Kette weiter auf den Wuchtbaum. Bei Aufstellung des Bockes, womit der Wuchtbaum gehoben wird, muß man darauf aufmerksam sein, daß die verlängerte Richtung des Taues, woran der Wuchtbaum hängt, bei allen Stellungen des letztern innerhalb der Verbindungslinien zwischen den drei Füßen des Bockes bleibt. Im entgegengesetzten Falle würde der Bock in Bewegung kommen, oder wohl gar umstürzen, ferner muß derjenige Fuß des Bockes, woran der Fußblock befestigt ist, in die Erde etwas versenkt werden, weil er sonst beim starken Zuge der Erdwinde fortgerissen würde. Bei jedem einzelnen Pfahle, den man mit diesem Apparate auszieht, muß der Wuchtstuhl, sowie auch der Bock verstellt werden, dagegen kann man die Erdwinde häufig längere Zeit hindurch unverändert stehn lassen und sich mit dem Bocke so weit davon entfernen, als die Länge des Taues dieses zuläßt.

Der wichtigste Punkt in der Zusammenstellung des ganzen Apparates ist die Befestigung der Kette, und zwar ebensowohl am Pfahle als am Wuchtbaume. Jedenfalls muß dafür gesorgt werden, daß die Kette nicht immer nachgiebt und dadurch den Effect des einzelnen Zuges schwächt und oft ganz vernichtet. Hiernach durfte die Befestigung am Pfahlkopfe nicht jedesmal auf eine andere Stelle übertragen werden, vielmehr blieb die Kette hier, so lange wie möglich ganz unverändert, so daß sie nur an einer einzigen Stelle das Holz comprimirte. Wie stark diese Compression war, gab sich daran zu erkennen, daß beim ersten Herabsinken des Wuchtbaumes, wobei nur die Kette angespannt wurde, gewöhnlich aus dem anscheinend ganz trockenen Pfahlkopfe eine große Menge Wasser ausgedrückt wurde. Die Kette war am untern Ende mit einem Ringe versehen, durch welchen wieder eine Schlinge gebildet wurde. Diese liefs man über den Kopf des Pfahles gleiten, stiefs sie, nachdem der Wuchtbaum gehoben war, fest herab und schlug zwei Spitzbolzen zu ihrer Haltung in den Pfahl hinein. Der eine Bolzen mußte verhindern, daß die Kette nicht etwa längs dem Pfahle herauf gezogen werden konnte, und der andere hielt die Schlinge gespannt, sobald der Wuchtbaum wieder gehoben wurde, da sie ohne weitere Befestigung, vermöge ihres großen Gewichtes sich von selbst gelöst hätte. Um eine einfachere Befestigung der

Kette gegen den Pfahl darzustellen, versuchte ich einen Ring, wie solcher auch sonst angewendet ist, ich gab ihm die Form, die Fig. 227 zeigt. Der Ring ist nämlich oben und unten mit einem starken Dorne versehen, der in den Pfahl hineindringt. Er ist alsdann leicht zu befestigen und auch leicht wieder loszuschlagen, doch muß seine Gröfse der Stärke des Pfahles entsprechen. In schwächere Pfähle und besonders wenn sie durch den Einfluß des Wassers und der Luft schon sehr mürbe geworden waren, drückte er sich aber so tief ein, daß er eine Stellung einnahm, die sich der senkrechten näherte und in diesem Falle war er nicht mehr zu halten, er glitt sogleich herauf und brach häufig den Kopf des Pfahles ab. Es war daher zweckmäßiger, die Kette unmittelbar umzulegen. In andern Fällen, wo die Pfähle von gleicher Stärke sind, man also dem Ringe die passende Gröfse geben kann, dürfte seine Anwendung vortheilhaft sein.

Das gehörige Nachzieh'n und Anspannen der Kette, welches nach jedem einzelnen Zuge erfolgen muß, konnte nur auf dem Wuchtbaum geschehn, und ich wählte dazu eine Einrichtung, welche derjenigen Kette entsprach, die ich dort vorfand. Die Schaken derselben waren aber für diesen Zweck etwas zu enge, woher die Durchsteckbolzen nicht die nöthige Stärke erhalten konnten, die der Zug forderte. Im Uebrigen war die Kette sehr regelmäfsig gearbeitet, 24 Fufs lang und hatte elliptische Glieder ohne Steg. Jedes derselben war im äussern Umfange 6 Zoll lang und $4\frac{1}{2}$ Zoll breit, die Stärke des cylindrischen Eisenstabes, aus dem sie geformt war, betrug $1\frac{1}{8}$ Zoll. Die Länge der elliptischen Oeffnung im einzelnen Gliede maafs $3\frac{3}{4}$ Zoll und indem die beiden nächsten Glieder hindurchgriffen, so bildete sich in jedem einzelnen, sobald die Kette angespannt wurde, ein freier Raum von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge, doch konnte man diesen nicht ganz für den Durchsteckbolzen benutzen, da wenigstens $\frac{1}{8}$ Zoll Spielraum gelassen werden mußte. Hiernach bestimmte sich die Stärke des Durchsteckbolzens, der die Kette halten sollte, auf $1\frac{3}{8}$ Zoll, was nur nothdürftig genügte, indem der Bolzen sich häufig verbog und alsdann durch einen andern ersetzt werden mußte. Die freien Oeffnungen in der Kette waren $4\frac{7}{8}$ Zoll von einander entfernt; wenn man also für den Durchsteckbolzen nur eine einzige Oeffnung dargestellt hätte, so würde man zuweilen gezwungen gewesen sein, die Kette, nachdem sie eingespannt worden,

noch nahe $4\frac{7}{8}$ Zoll zurückzuziehen, ehe sie auf den Pfahl wirken konnte. Dieser Spielraum war jedenfalls zu groß, er konnte aber vermindert werden, sobald mehrere Befestigungsstellen für den Durchsteckbolzen vorgerichtet wurden, von denen eine oder die andere paßte. Ich wählte deren drei, welche, wie Figur 228 zeigt, $2\frac{3}{5}$ Zoll von einander entfernt waren. Es ist also ein ähnliches Princip, wie bei den Nonien, in Anwendung gebracht, die doppelte Entfernung der Oeffnungen in der Kette ist in drei Theile getheilt, und da von den vier Theilungspunkten die beiden äußern eine gleiche Stellung gegen die Theilung der Kette haben, so durfte einer derselben fortfallen. Auf diese Art war es möglich, die Kette von $2\frac{3}{5}$ zu $2\frac{1}{5}$ Zoll zu verkürzen, und dieser Spielraum war die größte Länge, um welche die Kette sich beim Senken des Hebels verlängert haben würde. Fig. 228 *a* und *b* zeigt die ganze Anordnung: zwei hochkantige Schienen von $\frac{7}{8}$ Zoll Stärke sind mittelst drei Bolzen an den Wuchtbaum befestigt, und stehn so weit von einander ab, daß die Kette noch eben frei durchgezogen werden kann. In ihnen sind die erwähnten drei Oeffnungen für den Durchsteckbolzen angebracht.

Damit die Kette nicht etwa vom Wuchtbaume herabgleitet, sich auch in den kürzeren Hebelsarm nicht stark eindrückt, ist, wie dieselben Figuren zeigen, am Kopfe des Wuchtbaumes ein Einschnitt gemacht, der eine cylindrisch geformte vertiefte Rille bildet, die mit einem starken Eisenblech ausgefüllt ist. Man erlangt dadurch auch den Vortheil, daß die Kette leichter aufgezo- gen werden kann. Ihr Gewicht ist indessen so groß, daß sie aus freier Hand durch einen oder wenige Arbeiter nicht zu bewegen ist. Aus diesem Grunde ist, wie Fig. 225 zeigt, noch ein Flaschenzug angebracht, womit man sie, sobald der Wuchtbaum gehoben ist, heraufzieht. Dieses geschieht durch dieselben Arbeiter, welche die Erdwinde in Bewegung setzen. Nachdem die Kette steif gezogen ist, sucht der Zimmermann, der auf dem Wuchtstuhle steht und die ganze Arbeit leitet, die passende Oeffnung für den Durchsteckbolzen aus. Ist letzterer eingebracht, so kann die Leine am Flaschenzuge wieder aus der Hand gelegt werden, doch muß man ihr Ende festschlingen, damit der obere Theil der Kette nicht vom Wuchtbaume herabstürzt.

Obleich die Kette auf solche Art sicher befestigt ist, so hat

sie noch nicht die erforderliche Spannung und es kann leicht geschehn, daß der Pfahl gegen 3 Zoll weniger hoch gehoben wird, als wenn die Kette sogleich scharf angezogen wäre. Um diesen Kraftverlust zu vermeiden, liefs ich am Kopfe des Wuchtbaumes unter die Kette noch eichene Keile von beiden Seiten einschlagen, die Fig. 225 sichtbar sind. Dieselben hoben den Spielraum vollständig auf und zum Beweise, daß sie fest eingetrieben waren, diente ein Schlag mit dem Hammer gegen die senkrecht herabhängende Kette, die nicht klirren durfte, sondern einen so hellen Klang geben mußte, als wenn sie ein fester Stab wäre. Sobald der Kette diese Spannung ertheilt war, so übte der Wuchtbaum sogleich den vollen Zug auf den Pfahl aus.

Der Widerstand, welchen die Pfähle leisteten, war gewöhnlich so groß, daß sie beim ersten Anziehn des Wuchtbaumes nur sehr langsam sich hoben, und häufig schien es, als ob sie trotz des kräftigen Zuges, der noch durch die Beschwerung des Wuchtbaumes vermehrt wurde, gar nicht zu bewegen wären. In solchen Fällen versuchte ich es, sie in starke Erschütterung zu versetzen, doch konnte ich von diesem Mittel niemals einigen Erfolg bemerken. Auch andere Erschütterungen zeigten keine Wirkung. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß das Schlagen mit einer Axt gegen den Pfahl, wie zuweilen empfohlen wird, ganz zwecklos ist, aber selbst der Stofs eines dreißigfüßigen Balken, den ich an zwei Tauen horizontal aufhing, und wie einen Mauerbrecher schwingen und gegen den Pfahl stossen liefs, zeigte sich ganz erfolglos. Ebenso zwecklos waren jederzeit die Schläge, die ich mit der Ramme auf den Kopf des Pfahles führen liefs, während der Wuchtbaum ihn dauernd aufwärts zog. Dieses letzte Mittel ist mehrfach und angeblich mit großem Vortheil angewendet, ich habe aber dadurch niemals auch nur die geringste Wirkung erreicht. Vielleicht ist es bei andern Bodenarten vortheilhafter. Perronet zog bei der Brücke zu Neuilly die Pfähle der Rüstungen und Fangedämme aus, indem er an beiden Seiten des Pfahles einscheibige Blöcke befestigte, worüber Tawe geschoren waren, die nachdem sie über feste Scheiben an der Ramme gelaufen, durch Winden angezogen wurden. Während die letzteren wirkten, liefs man den Rammklotz auf den Pfahl fallen, wodurch derselbe sich aus dem Boden gelöst haben soll. Die ganze Anordnung zeigt aber wohl, daß hierbei kein

sonderlicher Widerstand zu überwinden war. Bei den Hafendarbeiten zu Sables d'Olonne benutzte Lamandé nach demselben Prinzip eine Maschine, welche aus zwei einander entgegengesetzten Wuchtbäumen bestand, die beide auf das Herausziehen des Pfahles wirkten, während zwischen ihnen die Ramme befindlich war, deren Schläge den Kopf des Pfahles trafen. *)

Gauthey erklärt die Wirksamkeit des Schläges auf das Ausziehen der Pfähle dadurch, daß die eisernen Pfahlschuhe oxydiren, was besonders bei der Berührung mit Seewasser bald erfolgt, und sie alsdann die Sand- und Kiestheilchen in der Umgebung mit sich verbinden, woher die Pfähle in diesem Falle auch zuweilen große Sandklumpen heraufbringen sollen. Diese Erscheinung findet allerdings statt, doch waren die Stücke Conglomerat, die ich mit den Pfahlschuhen heraufkommen sah, immer nur einige Cubikzolle groß und konnten keinen merklichen Widerstand verursachen. Wenn das Rammen nur dazu dienen soll, solche erhärtete Massen zu zerbrechen oder zu lösen, so wird es bei feststehenden Pfählen auch wenig Erfolg haben. Ich habe immer gefunden, daß der dauernde Zug viel wirksamer ist, als alle Erschütterungen, die man anbringen mochte. Wenn der Pfahl vom Wuchtbaume nicht gleich gehoben wurde und selbst die am langen Hebelsarme aufgehängten Gewichte nichts fruchteten, so brach ich, wenn es möglich war, die Arbeit sogleich ab und beschäftigte die Leute anderweitig, während der Wuchtbaum dauernd den kräftigen Zug ausübte. Wenn dagegen eine solche Unterbrechung nicht füglich eintreten konnte, so ließ ich den Wuchtbaum an andere Pfähle schieben, und bevor die Arbeit am Abende aufhörte, wurde noch der Zug gegen den ersten Pfahl dargestellt. Der Erfolg war jedesmal der, daß der Wuchtbaum am nächsten Morgen sich bis zum Boden gesenkt und den Pfahl etwas gehoben hatte, und diese Bewegung war niemals plötzlich eingetreten, sondern ganz unmerklich. Schon bei Gelegenheit des Rammens ist erwähnt worden, daß in jedem Boden, der einigermaßen die Eigenschaften eines dickflüssigen Körpers hat, der dauernde todte Druck weit wirksamer ist, als der Stofs. Am wenigsten sollte man dieses noch beim Sande erwarten, da ich es aber auch hier bestätigt gefunden habe, so möchte ich den Nutzen der

*) Gauthey, *Traité de la construction des Ponts*. II. p. 270.

Erschütterungen überhaupt bezweifeln. Man wählt dieses Mittel, um nicht müßig dem langsamen Erfolge entgegenstehn zu dürfen, und wenn vielleicht ganz unabhängig von dieser Beihülfe die Bewegung endlich eintritt, so ist man geneigt zu glauben, daß sie hierdurch veranlaßt wurde.

Wenn der Pfahl sich etwas gehoben hat und der Wuchtbaum bei jedem Zuge schneller herabsinkt, so verstellt man den Wuchtbaum, so daß die Drehungsachse in die hintern Pfannen kommt, oder daß der kürzere Hebelsarm sich auf 2 Fuß verlängert. Als dann steigt der Pfahl jedesmal höher auf, und wenn endlich auch nunmehr wieder der Wuchtbaum mit großer Geschwindigkeit niedersinkt, so wird die schwere Kette ganz fortgenommen und eine leichtere Kette am Pfahle und am untern Blocke des Flasenzuges, der auf dem Wuchtbaume liegt, befestigt und die Arbeiter ziehn den Pfahl vollends aus dem Grunde.

Es waren bei diesem Wuchtbaume im Ganzen sechs Mann mit Einschluß eines Zimmergesellen angestellt, nämlich drei Mann an der Erdwinde, ein Arbeiter stand auf dem Flosse und hatte dafür zu sorgen, daß die Kette sich nicht vom Pfahle löste, und der fünfte nebst dem Zimmermanne standen auf dem Wuchtstuhle um die Keile einzutreiben, zu lösen, die Vorsteckbolzen zu versetzen und dergleichen. Der Arbeiter auf dem Flosse konnte, sobald die Schlinge der Kette sich recht fest gezogen hatte, noch zur Hülfe der drei Arbeiter an die Winde gehn. Auf diese Art wurden von den schwersten Pfählen täglich durchschnittlich 4 Stück gehoben. Die Aenderung des Apparates hatte also die Folge, daß nicht nur die Anzahl der dabei beschäftigten Arbeiter auf den dritten Theil vermindert, sondern auch die Arbeit beschleunigt wurde. An den Bohlwerken der beiden Hafen-Bassins hatte man bei früheren Reparaturen und Neubauten die alten Pfähle immer im Grunde stecken lassen, weil das Ausziehn derselben zu mühsam war. Mit diesem veränderten Wuchtbaume boten jedoch die Pfähle, die hier nur 36 Fuß lang waren, so wenig Widerstand, daß sie beim ersten Einstellen sogleich willig folgten, wenn daher wegen ungünstiger Witterung eine andere Arbeit unterbrochen wurde, oder sonst auf einige Zeit ein Theil der Tagelöhner nicht gehörig beschäftigt werden konnte, so stellte ich sie an den Wuchtbaum, und liefs sie diese alten Pfähle ausziehn. Sie hoben an einem Tage 8 bis 12 Stück

derselben und es wurde dadurch nicht nur der Hafen gereinigt, sondern noch eine Menge Holz gewonnen, welches zwar weicher als das frische Holz war, aber dennoch zu Rüstungen und vielen andern Zwecken mit Vortheil verbraucht werden konnte.

Vorstehend ist der Erdwinde gedacht worden, und da dieselbe eine sehr kräftige, leicht darzustellende und leicht zu transportirende Maschine ist, welche auf den Baustellen vielfach angewendet werden kann, so darf ihre Beschreibung hier nicht fehlen. Fig. 229 *a* und *b* zeigt sie in der Ansicht von der Seite und im Grundrifs. In dem Grundrifs ist die Spindel oder die senkrechte Welle herausgenommen gedacht, die in Fig. 229 *a* gezeichnet ist. Die Zusammensetzung des Rahmens zeigen die Figuren, man läßt zuweilen die beiden Schwellen auf der dem Zuge entgegengesetzten Seite sich in eine Spitze vereinigen und überblattet sie hier, wodurch der Rahmen noch etwas mehr Festigkeit erhält. Der Zug, der durch die Richtung des Taus bestimmt wird, entfernt sich zuweilen bis 2 Fuß oder auch wohl noch mehr von dem Boden, und es entsteht alsdann die Gefahr, daß die beiden Stiele herausgerissen und um das untere Ende der Streben gedreht werden möchten, es ist deshalb vortheilhaft, gekröpfte eiserne Schienen gegen die Stiele zu nageln und um die Schwellen zu legen, oder diese Schienen unten in Bolzen ausgehn zu lassen, welche durch die Schwelle hindurchgreifen und hier mit Schraubenmuttern gehalten oder verniethet werden. Die Befestigung geschieht sonst in allen Theilen nur mit starken Nägeln, und wo eine Bohle gegen die andere genagelt ist, wird die Spitze des Nagels abgekniffen, eine Niethscheibe aufgesetzt und darin der Nagel breit geschlagen. Verbindungen dieser Art sind beim Schiffsbau ganz gewöhnlich, und wie die Erfahrung lehrt, sehr fest und dauerhaft. Die Spindel steht mit dem untern Zapfen in einem runden Loche auf dem mittlern untern Riegel, und mit dem Halse liegt sie in einem passenden Einschnitte des obern Riegels. Eisenbeschläge kommen hier nicht vor, es befindet sich nur ein eiserner Ring über dem viereckigen Kopfe der Spindel, um das Aufspalten desselben zu verhindern. Der Zug des Taus drückt immer die Spindel mit ihrem obern Halse in den Einschnitt des Riegels, es ist daher ein Herausfallen derselben beim Gebrauche der Winde undenkbar, aber auch wenn die Winde nicht gebraucht wird, steht die Spindel mit ihrem Fusse auf dem untern Riegel sicher auf. Aus diesem Grunde

ist ein Bügel oder Ueberwurf am Halse entbehrlich. Die eigenthümlich ausgeschmiegte Form im untern Theile der Spindel wird durch die Benutzungsart der Winde bedingt.

Will man die Winde anwenden, um etwa einen sehr schweren Körper zu ziehn, oder ihn auf einer flach geneigten Ebene zu heben, so kommt es zunächst darauf an, die Winde so fest zu stellen, daß sie nicht etwa selbst fortgezogen wird. Das gewöhnliche Mittel hierzu ist, daß man kleine Pfählchen vor die Riegel der Winde in den Boden einschlägt, wie die Figur vier derselben zeigt. Zuweilen genügt dieses aber nicht, und man muß alsdann durch eine Kette, die um den hintersten Riegel geschlungen ist, die Winde an einen andern Gegenstand befestigen, z. B. an einen Baum oder einen starken Pfahl, auch wohl an einen eingegrabenen schweren Schiffsanker u. dergl. Ist in dieser Art das Gestell in der gehörigen Richtung sicher befestigt, so setzt man die Spindel ein, versieht sie mit den Durchsteckarmen und schlingt das Tau, welches angezogen werden soll, um den dünnsten Theil der Spindel herum. Man macht gewöhnlich drei Windungen, doch zuweilen auch nur zwei: wenn aber der Zug sehr stark ist, deren vier. Diese Windungen müssen so gerichtet sein, wie Fig. 229 *a* angiebt, nämlich so, daß beim Anziehn des Taus dasselbe sich immer höher auf die Spindel herauflegt. Das lose umgeschlungene Tau würde beim Drehn der Winde gar nicht fortgezogen werden, wenn nicht an dem hintern freien Ende desselben einige Spannung stattfände. Um diese darzustellen, sitzt ein Arbeiter auf dem hintern Riegel der Winde, das Gesicht nach der Spindel gekehrt, die Durchsteckarme gehen über seinem Kopfe fort, so daß er deren Bewegung nicht hindert. Indem die Reibung eines Taus, welches um eine Welle geschlungen ist, sich mit der Vermehrung der Windungen außerordentlich vergrößert, so ist ein Gegendruck von einem Pfunde schon hinreichend, die Reibung so zu verstärken, daß sie bei drei Windungen einen Widerstand von mehr als 5 Centnern ausübt und bei vier Windungen schon von mehr als 40 Centnern. Auf solche Art kann ein Arbeiter ohne große Anstrengung das Tau gehörig fest anziehen, und wie das Ende, welches er in der Hand hält und spannt, sich verlängert, so schießt er dasselbe zugleich regelmäfsig auf, so daß es nach gemachtem Gebrauche sogleich fortgetragen und anderweitig benutzt werden kann. Hierbei rücken die Windungen des Taus immer höher an der Spindel her-

auf und es würde endlich die Arbeit ganz unterbrochen werden, wenn nicht von Zeit zu Zeit das sogenannte Schrecken erfolgte. Jener Arbeiter ruft nämlich der übrigen Mannschaft zu, daß sie anhalten solle, und gleich darauf schiebt er das Ende, das er in der linken Hand hält, etwas vor, die sämtlichen Windungen lösen sich dadurch augenblicklich, und da der Durchmesser der Spindel sich nach unten stark verjüngt, so kann derselbe Arbeiter leicht mit der rechten Hand das Tau wieder auf die dünnste Stelle der Spindel herabdrücken. Es erfolgt diese ganze Operation, wenn der Arbeiter geübt ist, in der Zeit von etwa einer Secunde, und es wäre dabei das Anhalten der Winde gar nicht nöthig, wenn man nicht vermeiden wollte, daß bei dem plötzlichen Aufhören des Widerstandes die sämtlichen Arbeiter, sobald dieses ganz unerwartet geschähe, hinfallen könnten.

Um den Effect dieser Winde zu beurtheilen, muß bemerkt werden, daß die Reibung, die hier nur Achsenreibung ist, ziemlich unbedeutend bleibt. Die Arbeiter entwickeln aber an den Hebelsarmen, die sie vor sich schieben, ohne große Anstrengung die Kraft von etwa 60 Pfund, und wenn es nöthig ist und sie sich weit vorbeugen, so steigert sich dieselbe leicht auf das Doppelte. Man kann sonach durch vier Mann einen Zug von 30 bis 60 Centnern ausüben, da aber theils durch längere Arme und theils durch Vermehrung der Mannschaft diese Kraft sich aufs Neue steigert, ohne die Maschine wesentlich zu verändern, so ergibt sich hieraus die große Wirksamkeit dieses so leicht darzustellenden Apparates.

Das Material, woraus die Erdwinde gebaut wird, ist Eichenholz, die Durchsteckarme müssen aber nicht aus starken Stämmen ausgeschnitten sein, vielmehr aus schwachen Bäumen bestehn, die nur etwas beschnitten sind. Am besten ist es, hierzu junge Birkenstämme zu benutzen, die wegen ihrer Zähigkeit einem Bruche am wenigsten ausgesetzt sind. Man kann diese leicht auf 24 Fufs verlängern, so daß jeder einzelne Arm 12 Fufs lang wird, und alsdann finden 16 Mann an der Winde Platz und können ihre volle Kraft der Spindel mittheilen, ohne daß ein Bruch erfolgt.

Bei der in Rede stehenden Anwendung der Erdwinde zum Heben des Wuchtbaumes braucht man jedesmal nur etwa 5 Umdrehungen zu machen, alsdann wird die Winde, wenn der Wuchtbaum sinkt, auch wieder zurückgedreht und dieses wiederholt sich immer

in gleicher Art. Man kann deshalb in diesem Falle denjenigen Arbeiter, der das hintere Ende des Taues hält, entbehren, indem man dieses Ende an die Spindel annagelt, alsdann ist es aber zweckmässig, eine cylindrische Spindel zu benutzen, wodurch man den Vortheil erreicht, das der nöthige Druck gegen die Durchsteckarme unverändert derselbe bleibt. Hierbei kommt noch der Umstand in Betracht, das, wenn die Winde für mehrere Pfähle stehn bleibt, das Tau nicht immer die passende Länge hat. Man muß alsdann den Wuchtbaum jedesmal an eine andre Stelle des Taues befestigen, und das übrigbleibende Ende des letzteren auf den Wuchtbaum legen, oder es mit einer dünnen Leine an den Haken binden.

In neuerer Zeit benutzt man vielfach gusseiserne Erdwinden, die sich von den vorstehend beschriebenen dadurch unterscheiden, das sie zwei Trommeln haben, welche mit einer Anzahl ringförmiger Rillen versehen sind, wie Fig. 256 auf Taf. XIX zeigt. Bei gleichen Durchmesserhaftet auf diesen beiden Trommeln das Tau eben so fest, wie auf einer einzelnen, es tritt dabei aber der große Vortheil ein, das die Arbeit nicht durch das Schrecken unterbrochen werden darf. Die Achse der eigentlichen Erdwinde, woran die Zugbäume angebracht sind, befindet sich an dem mittleren Getriebe, welches beide Trommeln gleichmäßig und in derselben Richtung dreht. Der Arbeiter, der das abgewundene Tau in Spannung versetzt, kann auch hier nicht entbehrt werden. Dabei wäre noch zu bemerken, das man die Rillen beider Trommeln etwas genauer einander gegenüberstellen kann, wenn man die Achsen der letzteren in entgegengesetztem Sinne ein wenig neigt.

Die Anwendung des Wuchtbaumes zum Ausziehn der Pfähle wird besonders in dem Falle sehr schwierig, wenn einzelne Pfähle in tiefes Wasser gerammt sind und sonach kein fester Stützpunkt für den Hebel vorhanden ist. Wenn man nicht starke Rüstungen bauen will, so ist man auf die Benutzung von Schiffen oder kleineren Fahrzeugen hingewiesen. Die Art, wie diese zum vorliegenden Zwecke gebraucht werden, verdient eine nähere Auseinandersetzung, da namentlich leicht eingerammte Rüstpfähle hierdurch sehr bequem gehoben werden können.

Das man auch auf Schiffen den Wuchtbaum benutzt, ist keineswegs ohne Beispiel, doch muß man dabei vermeiden, einen einzelnen Theil des Fahrzeuges einer zu starken Belastung auszusetzen,

auch erschwert das verschiedenartige Eintauchen, welches hierbei eintritt, die Arbeit außerordentlich. Das Heben der Pfähle mittelst Winden kann ohne Umstände auch von Fahrzeugen aus geschehn und zwar um so leichter, als diese gewöhnlich schon mit kräftigen Windevorrichtungen zum Heben der Anker versehen sind. In dieser Art wurden, wie bereits erwähnt, die alten Rostpfähle beim Hafenaufbau in Amsterdam fortgeschafft. Wenn man aber dieses Mittel anwendet, so ist man immer nur auf diejenige Kraft beschränkt, welche die Windevorrichtung selbst auszuüben im Stande ist, und diese genügt gemeinhin nicht, um fest eingerammte Pfähle zu heben. Man kann indessen einen sehr starken Zug hervorbringen, wenn man den hydrostatischen Druck, den ein großes Fahrzeug erfährt, zum Ausziehen des Pfahles benutzt. Belastet man nämlich ein Schiff, so daß es recht tief eintaucht, und befestigt alsdann an einer angemessenen Stelle desselben die um den Pfahl geschlungene Kette, so wird das Schiff, sobald die Ladung herausgenommen ist, mit großer Kraft den Pfahl aufwärts ziehn und denselben heben. Am einfachsten macht sich dieses, wenn man das Schiff voll Wasser laufen läßt und letzteres darauf auspumpt, in ähnlicher Art, wie bei Amsterdam mittelst der sogenannten Kameele die sehr tief gehenden Schiffe gehoben wurden. Man kann hierbei auch die Abwechselung des Wasserstandes benutzen, die in Folge der Ebbe und Fluth in bestimmten Perioden sich wiederholt. Auf solche Art sah ich bei Hamburg Pfähle ausziehen. Es wurden nämlich zwei Kähne zu beiden Seiten des Pfahles gestellt, durch eine starke Balkenrüstung mit einander verbunden, um die Last möglichst gleichmäfsig zu verbreiten und hieran zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes der Pfahl befestigt. Sobald das Wasser zu steigen begann, so äuferte sich der hydrostatische Druck desselben gegen die Kähne, die sich erst hoben, wenn bei dem zunehmenden Drucke der Pfahl nachgab. Dieses Verfahren dürfte sehr vortheilhaft scheinen, da man eine Naturkraft benutzt, welche keine Kosten verursacht. Der Gewinn ist aber in der That nicht groß, denn zunächst ist der Zeitverlust sehr unangenehm, da man in einem Tage mit dem kostbaren Inventarium, nämlich mit zwei Schiffen, höchstens zwei und gewöhnlich sogar nur einen Pfahl heben kann. Sodann aber sind die Kosten eben wegen der Schiffsmiethe auch bedeutend, und es tritt noch die Gefahr hinzu,

dafs der Pfahl nicht sobald nachgiebt und die Fahrzeuge wegen der ungleichmäfsigen Belastung leiden.

Wenn nur leicht eingerammte Rüstpfähle ausgezogen werden sollen, so genügen hierzu schon grofse Seeböte, indem man die Zugkette an das vordere Ende befestigt, wo das Boot wegen des vollen Busens am meisten trägt. Davy beschreibt eine Vorrichtung dieser Art. Es wird nämlich auf dem Boden eines solchen Bootes der Länge nach eine Eisenbahn angebracht, worauf ein Wagen steht, der eine bedeutende Last trägt, und zwei Winden sind aufgestellt, mittelst deren man den Wagen von einem Ende nach dem andern ziehn kann. Man schiebt ihn zunächst nach vorn und bringt die um den Pfahl geschlungene Kette über das Spill oder die horizontale Winde und zieht die Kette steif an. Alsdann bringt man den Wagen ans hintere Ende des Fahrzeuges, wodurch das vordere Ende vom Wasser aufwärts gedrückt wird. Sobald der Pfahl nachgegeben hat, schiebt man den Wagen wieder nach vorn, zieht die Kette von Neuem an und so fort.

Ein ähnliches Verfahren habe ich zum Ausziehn der Rüstpfähle in tiefem Wasser vielfach angewendet. Zum Bauinventarium gehörte ein fest gebautes Fahrzeug, das ursprünglich zu einem englischen Ballastbagger bestimmt war. Ich liefs in dieses eine Last Ballast hineinbringen und bemannte es mit etwa sechs Arbeitern. Der Ballast lag Anfangs ganz vorn und sonach neigte sich das Fahrzeug auch in dieser Richtung stark über. In dieser Stellung wurde die Kette am Spill steif angezogen, alsdann mußten die Leute den Ballast an das hintere Ende werfen, wobei gewöhnlich schon der Pfahl sich hob, noch ehe die ganze Last versetzt war, und wenn dieses nicht geschah, so liefs ich den Zug dauernd ausüben, während die Leute anderweitig beschäftigt wurden. Nachdem der Ballast einige Male umgeworfen und dabei die Kette immer von Neuem angezogen war, so hatte der Widerstand des Pfahles sich so sehr vermindert, dafs das Umlegen des Ballastes umgangen werden konnte. Wenn in solcher Weise die sämmtlichen Pfähle gelöst waren, so wurde der Ballast fortgeschafft, wodurch das Fahrzeug eine gröfsere Beweglichkeit erhielt, und statt des Ballastes benutzte ich nunmehr nur das Gewicht von etwa zwölf Arbeitern. Diese mußten sich zuerst möglichst weit nach vorn stellen und nachdem die Kette des Pfahles angezo-

gen war, gingen sie nach hinten, worauf der Pfahl sich wieder hob, die Kette wurde aufs Neue steif gezogen und so fort. Der Pfahl wurde hierdurch sehr schnell so lose, dafs er bald mit der Ankerwinde ausgezogen werden konnte.

§. 42.

Darstellung der Baugrube.

Wenn man bei der Aufstellung eines Bauprojectes sich für eine gewisse Fundirungsart entschieden und die Lage und Ausdehnung des Fundamentes bestimmt hat, so ergiebt sich hieraus die erforderliche Gröfse der Baugrube, sowie auch die Tiefe, in welcher dieselbe ausgehoben werden muß. Gemeinhin darf man das Aufgraben nicht weiter als bis zur untern Grundfläche des Fundamentes ausdehnen, und nur bei Pfahlrosten wird man, um die Pfähle mit Zapfen versehen und die Rostschwellen aufbringen zu können, die Vertiefung etwas unter den eigentlichen Rost herabtreiben, da jedoch auch dieser untere Raum nicht mit der ausgegrabenen Erde wieder verschüttet, sondern entweder mit einem festen Thonschlage oder mit Mauerwerk ausgefüllt wird, so kann man letzteres schon als einen Theil des Fundamentes betrachten, und sonach wird selbst in diesem Falle die Baustelle bis zu der Tiefe aufgegraben, wo das Fundament beginnt. Die Länge, sowie die Breite der Baugrube, muß jedesmal gröfser als die des eigentlichen Fundamentes sein, und namentlich ist dieses nothwendig, wenn bei der Fundirung bedeutende Rammarbeiten vorkommen, weil diese durch eine starke Beschränkung des Raumes erschwert werden. Man muß aus dem Grundrisse entnehmen, wie weit die Baugrube zu erweitern ist, um jeden einzelnen Pfahl bequem einrammen und zugleich die übrigen erforderlichen Apparate, wie etwa die Wasserhebungsmaschinen, Wuchtbäume, Böcke, Rüstungen und dergleichen aufstellen zu können. Bei ausgedehnten Fundirungen wird man mindestens einen freien Raum von 5 Fufs gebrauchen, der sich in der Sohle der Baugrube rings um den Rost herumzieht, doch fehlt es nicht an Beispielen, dafs man ihn auch viel gröfser gewählt hat und namentlich hat dieses Perronet jedesmal gethan. Eine zu grofse Erweiterung der Baugrube hat aber

den Nachtheil, daß der Zudrang des Wassers auch in demselben Maasse sich zu vermehren pflegt, wodurch nicht nur die Kosten für das Schöpfen vergrößert, sondern auch der Baugrund verdorben wird. Um einen sehr starken Wasserzudrang zu verhindern, ist es nicht ungewöhnlich, daß man die Baugrube in mehrere Theile zerlegt. Jede einzelne Abtheilung läßt sich alsdann durch Anwendung der sämtlichen vorhandenen Schöpfmaschinen leichter trocken legen. Es zeigt sich hierbei indessen der Uebelstand, daß zwischen den verschiedenen Theilen des Fundamentes kein gehöriger Verband dargestellt werden kann und dieses ist besonders bei solchen Bauwerken bedenklich, von denen man eine vollständige Wasserdichtigkeit verlangt. Dieses wäre z. B. bei den Schiffsschleusen der Fall, wo man eine Trennung des Grundbaues gern vermeidet. Bei andern Bauwerken, die aus vollen Mauermassen bestehen, und wo man von dem Fundamente mehr die sichere Unterstützung des darüber gestellten Baues als Wasserdichtigkeit erwartet, kann eine solche Trennung von keinem wesentlichen Nachtheile sein, und häufig bringt die Anordnung des ganzen Baues es schon mit sich, daß die tragenden Theile nicht unmittelbar neben einander liegen und sonach besondere Fundamente erhalten müssen, wie dieses z. B. bei größern Brücken fast immer geschieht.

Zu der Theilung der Baugrube giebt zuweilen auch der Umstand Veranlassung, daß man nicht auf einmal den Bau in seiner ganzen Ausdehnung ohne Störung der Communication oder Hemmung eines Wasserlaufes in Betrieb setzen kann. Um hiervon ein Beispiel anzuführen, so ist zu erwähnen, daß bei der Brücke zn Moulins über den Allier, wo die sämtlichen Pfeiler eine zusammenhängende Fundirung erhielten, eine Trennung in der Art vorgenommen wurde, daß man das Bette des Flusses erst auf die eine und alsdann auf die andere Seite verlegte.

Die Wände der Baugrube dürfen nur in dem Falle, wenn der Boden aus Felsen besteht, sich senkrecht erheben, sonst müssen sie diejenige Neigung erhalten, in welcher die Erde sich noch sicher trägt. Die Vorausbestimmung dieser Neigung ist insofern oft schwierig, als manche Erdarten viel fester zu sein scheinen, als sie wirklich sind. Namentlich findet dieses bei gewissen Gattungen von Thon statt, die beim ersten Abstechen sich beinahe senkrecht und oft sogar überhängend erhalten, die aber, wenn sie längere Zeit hindurch

dem Einflusse der Luft und der Witterung blofs gestellt sind, so stark abfallen, dafs sie zuletzt ebenso flach geböschet sind, wie der trockne Sand. In dieser Beziehung kann es bei einem recht fetten Thone, der beim Trocknen vielfache Risse bekommt und abbröckelt, sogar zur Verminderung der Kosten beitragen, wenn man ihn mit einer dünnen und etwas geneigten Einfassungsmauer umgiebt. Man braucht dabei, wie Perronet bemerkt, für einen guten Mörtel keineswegs zu sorgen, denn eben dieser Thon vertritt schon die Stelle desselben und die rückwärts geneigte Lage der Steinschichten verhindert das Ausfallen einzelner Theile. In andern Mischungsverhältnissen und namentlich bei einem starken Zusatze von Kalk saugt der Thon leicht Wasser ein und nimmt dabei vollständig die Eigenschaften einer Flüssigkeit an, so dafs er nach und nach eine horizontale Oberfläche bildet. Dieses ist derjenige Baugrund, worin eine Grube am schwierigsten zu eröffnen ist. Durch Absteifungen kann man den Boden wohl einige Zeit hindurch zurückhalten, doch erfordert dieses eine feste Verstrebung und zugleich eine ziemlich dichte Umschliessung. Am sichersten ist es, die Veranlassung zu der gefährlichen starken Durchnässung zu vermeiden, indem man die Quellen, die hineintreten könnten, abfängt und anderweitig ableitet, und demnächst, dafs man den Bau möglichst beschleunigt, um die Baugrube bald wieder verfüllen zu können.

Perronet*) giebt in Betreff der Dossirungen, welche verschiedene Erdarten annehmen, manche interessante Mittheilungen: der Töpferthon steht kürzere Zeit hindurch bis auf 30 Fufs Höhe ganz senkrecht und sogar überhängend. Frische Gartenerde, die noch nie umgegraben worden und manche Sandarten, welche eine starke Beimischung von Thon enthalten, stehn auch noch beinahe senkrecht, doch nimmt der feine und trockne Sand sogleich eine Neigung an, die nur unter 30 Graden gegen den Horizont ansteigt. Wenn man dagegen in aufgeschütteter Erde gräbt, oder wenn man die ausgehobene Erde abgelagert hat, so gelingt es bei den festeren Bodenarten nicht mehr, so steile Neigungen darzustellen, wie beim ersten Abgraben. Der reine Sand behält in beiden Fällen dieselbe Neigung, während Thon und andre Erdarten sich höchstens unter einem Winkel von 30 bis 36 Graden gegen den Horizont aufbringen lassen.

*) *Sur les éboulements* in der *Description des Ponts* p. 631 ff.

Eine Ausnahme macht der grobe Kies oder Steinschutt, der noch unter einem Winkel von 45 Graden aufgeschüttet werden kann.

Indem die frische Erde durch längere Berührung mit der Luft die Eigenschaften verliert, wodurch sie Anfangs sich so steil erhalten konnte, so wird man, wenn die Baugrube lange geöffnet bleiben soll, den Wänden nur die Neigung von 36 bis 30 Graden, oder die $1\frac{1}{3}$ - bis $1\frac{3}{4}$ fache Anlage geben dürfen. Gemeinhin begnügt man sich indessen, den Neigungswinkel zu 45 Graden anzunehmen und oft macht man ihn noch größer.

Mitunter ist es in ähnlicher Art, wie bereits bei Gelegenheit der Ausführung der Brunnen und Entwässerungsgräben bemerkt worden, nicht möglich, die Baugrube in einer gewissen Tiefe darzustellen und sie zugleich vom Wasser frei zu halten, indem letzteres beim starken Zudrange immer die Erde mit sich reißt und die Grube von Neuem anfüllt. In diesem Falle muß man eine andre Fundirungsart wählen, wobei die Trockenlegung der Baugrube ganz vermieden wird, oder doch nicht früher eintreten darf, als bis der Boden sicher überdeckt ist. Die nöthige Vertiefung läßt sich alsdann aber nicht durch Graben darstellen, sondern muß durch Baggern bewirkt werden. Von diesen Fundirungsarten wird später die Rede sein.

Gewöhnlich läßt man die Seitenwände der Baugrube nicht ohne Unterbrechung bis zur Sohle herabreichen, sondern bringt dazwischen in verticalen Abständen von etwa 6 Fufs noch Bankete von 4 bis 6 Fufs Breite an. Durch diese wird die Neigung der Wände noch mehr ermäßigt, und man erreicht sonach eine um so größere Sicherheit gegen das Einstürzen der Dossirungen. Dabei treten zugleich andere Vortheile ein, wenn nämlich hin und wieder einzelne Theile in den Wänden nachgeben und herabfallen, so stürzen sie nicht mehr bis auf die Sohle der Grube, sondern bleiben auf dem nächsten Banket liegen. Auch kann man diese Bankete sehr zweckmäfsig zum Aufstellen von Utensilien und Materialien benutzen, und dadurch der Baugrube etwas mehr Räumlichkeit geben, doch muß man sich hüten, zu große Lasten darauf zu bringen, weil die Bankete sonst unter denselben nachgeben. Eben so darf auch diejenige Erde, welche zur späteren Ausgleichung des Bodens in der Nähe der Baugrube abgelagert wird, nicht unmittelbar am Rande der letzteren hoch aufgeschüttet werden, weil

dadurch gleichfalls die Dossirung gefährdet, oder wenn das Material aus Sand besteht, dieser herabgeweht werden könnte. Diejenige Erde aber, die später nicht gebraucht wird, muß man sogleich an die dafür bestimmten Stellen schaffen, um das mehrfache Auf- und Abladen zu vermeiden.

Ueber die vortheilhafteste Anordnung der Erdarbeiten wird bei Gelegenheit des Canalbaues die Rede sein, hier wäre nur in Bezug auf die Erdtransporte Einiges zu erwähnen. Beim Ausheben einer Baugrube sind nämlich häufig bedeutende Erdmassen zwischen denselben Punkten zu bewegen, während bei Canälen und andern ausgedehnten Anlagen die zu transportirende Erde von verschiedenen Stellen entnommen und immer an andere Stellen gebracht wird, die meist weit von einander entfernt liegen. Im vorliegenden Falle ist daher eine Erleichterung des Erdtransportes insofern zulässig, als die betreffenden Vorrichtungen für die ganze Dauer dieser Arbeit gebraucht werden, ohne daß man sie verstellen darf. Dabei ist noch der Umstand von Wichtigkeit, daß gewöhnlich das Material stark gehoben werden muß. Wollte man dieses dadurch bewirken, daß man die Pferde unmittelbar vor die Wagen spannt, so würde deren Leistung viel geringer ausfallen, weil das Pferd nicht nur die eigentliche Ladung nebst dem Wagen zieht, sondern auch jedesmal sein eigenes Gewicht heben muß. Es ist daher passender, durch einen Pferdegöpel oder eine Dampfmaschine die Wagen bis zu der Stelle der Bahn heraufziehen zu lassen, wo die starke Steigung aufhört. Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß die hin- und hergehenden Wagen einander nicht hindern, auch das Aufladen keine Unterbrechung leidet, und überhaupt der ganze Betrieb recht regelmäfsig erfolgt.

Wird die Erde in Handkarren heraufgeschoben, so läßt sich dabei insofern eine Erleichterung einführen, als man die gleichzeitig heraufgehende beladene Karre mit der herabgehenden durch ein über eine Rolle gezogenes Tau verbindet. Der herabgehende Arbeiter, der sonst die Karre nur zurückhalten würde, schiebt sie alsdann gleichfalls mit einer gewissen Kraft vor sich, und trägt dadurch mit dazu bei, die volle Karre hinauf zu schaffen. Auf englischen Baustellen habe ich diese Anordnung wiederholentlich gesehen, und zwar hatten alsdann die Bahnen sehr steile Steigungen.

Daß die Anlage leichter Eisenbahnen große Vortheile

bietet, darf kaum erwähnt werden, die Beschreibung derselben in ihrer gewöhnlichen Anordnung gehört zwar nicht hierher, doch will ich die Construction einer solchen Bahn und der dazu gehörigen Wagen mittheilen, die ich im Jahre 1828 in Pillau aus dem dort vorrätigen Material zusammenstellte und mehrere Jahre hindurch vortheilhaft benutzte. Fig. 230 *a* und *b* zeigt diese Bahn in der Ansicht von der Seite und von vorn. Ein vierzig Fufs langer kieferner Balken war der Länge nach durchgeschnitten und beide Stücke waren durch vier Riegel und drei Schraubenbolzen zu einem festen Rahmen verbunden, der die Bahn bildete. Die oberen Kanten waren gebrochen, um die schmale Fläche darzustellen, welche die eiserne Schiene trug. Das Gewicht eines solchen Bahntheles war nicht viel gröfser, als das eines 40 Fufs langen Balkens, es liefs sich bequem auf einem zweirädrigen Wagen transportiren und eine grofse Erleichterung für weitere Transporte lag noch darin, dafs der Rahmen im Wasser schwamm und die Benetzung ihm auch nicht schadete. Von diesen Bahnen wurden nach Umständen zwei bis vier zusammengesetzt und die grofse Stärke des Holzes erlaubte es, die Unterstüzungen in weiten Entfernungen anzubringen. Am deutlichsten zeigte sich dies beim Löschen der Steine: ich legte ein Ende einer solchen Bahn auf das Fahrzeug, worin die Steine angeliefert wurden und das andre auf die Rüstung am Ufer, woher der Rahmen fast in seiner ganzen Länge frei lag, und doch gingen Steine darüber, die bis 30 Cubikfufs hielten. Dabei gab sich noch der grofse Vortheil zu erkennen, dafs ein geringes Schwanken des Schiffes bei mäfsigem Wellenschlage nicht das sanfte Aufstellen des Steines auf den Wagen verhinderte, denn der Wagen nebst demjenigen Ende der Bahn, worauf er stand, machte alle Schwankungen des Schiffes mit, und so wurde das Löschen der Steine nicht leicht durch ungünstige Witterung unterbrochen. Sodann konnten mittelst dieser Bahn, wenn ihr Ende über ein Bohlwerk etwa 6 Fufs weit vortrat, auch Fahrzeuge beladen werden, ohne dafs man für eine besondere Unterstüzung des überstehenden Endes sorgen durfte.

Die Zusammensetzung des Wagens richtete sich nach der Form und Gröfse der gufseisernen Scheiben, die zufälliger Weise zum Hafenbau-Inventarium gehörten. Von denjenigen Einrichtungen, die man heut zu Tage bei Eisenbahnwagen anwendet, konnte damals

und unter den dortigen Verhältnissen nicht die Rede sein. Alles mußte so angeordnet werden, daß es sich ohne große Kosten durch einen gewöhnlichen Schmid ausführen ließe. Die Achsen bestanden aus Eisenstangen von quadratischem Querschnitt, die $1\frac{1}{2}$ Zoll breit und hoch waren, die cylindrischen Ansätze, um welche sich die Räder drehten, hatten $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser. Diese Achsen waren in zwei Stücke Eichenholz von 4 Zoll Breite und Höhe eingelassen und zwei Langbäume von denselben Dimensionen verbanden sie miteinander. Vier Schraubenbolzen gaben dem so gebildeten Rahmen die nöthige Festigkeit und griffen zugleich durch die Achsen hindurch. Die Spurweite des Wagens maas $2\frac{1}{2}$ Fufs. Ich versuchte zuerst den Wagen nur auf einer Holzbahn, also ohne eiserne Schienen gehen zu lassen, wo sich schon eine merkliche Erleichterung gegen die gewöhnlichen Erdwagen zeigte, denn ein mit 20 Cubikfufs Sand oder Kies beladener Wagen konnte bequem durch zwei Arbeiter fortgeschoben werden. Sobald indessen feuchte Witterung eintrat, so nahm der Widerstand sehr merklich zu und alsdann trat auch eine starke Abnutzung der Bahn ein. Hiernach war die Anwendung von Schienen nicht zu umgehn. Ich versuchte zuerst zu denselben ganz schwaches Bandeisen anzuwenden, welches 1 Zoll breit und noch nicht voll 1 Linie stark war. Den erwähnten Uebelständen wurde hierdurch auch vorgebeugt, aber es zeigte sich die eigenthümliche Erscheinung, daß durch größere Lasten, die darüber gingen, die Schienen förmlich ausgewalzt wurden. Dieselben lagen nämlich, wenn die Bahn nicht gebraucht wurde, ziemlich gespannt auf dem Rahmen, sobald aber der Wagen schwer beladen darüber gezogen wurde, so erhoben sich die Schienen vor den Rädern und bildeten wellenförmige Krümmungen, die vor dem Wagen herliefen und gewöhnlich die sämmtlichen Nägel, womit sie befestigt waren, gewaltsam herausrissen, so daß diese oft hoch in die Luft flogen. Als ich später den Schienen die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Linien oder $\frac{1}{8}$ Zoll gegeben hatte, verschwand auch dieser Uebelstand, und nur beim Lossen sehr großer Steine, wo der Einfluß der starken Einbiegung der Bahn auch schon merklich werden mochte, gab sich zuweilen dieselbe Erscheinung wieder zu erkennen. Die Schienen hatten die Breite von 1 Zoll und der laufende Fufs wog $\frac{1}{2}$ Pfund.

Wenn der Wagen zum Steintransport benutzt werden sollte, so durften nur einige Lagerhölzer darauf gelegt, oder leicht befestigt

werden, wenn dagegen Erde oder Sand und Kies damit verfahren wurde, so war es nöthig, für ein leichtes Entleeren des Kastens zu sorgen. Der Kasten hatte die Gestalt eines Trichters und war aus einzölligen Brettern, die in den Kanten gegen Leisten genagelt waren, zusammengesetzt. Am Boden hatte er eine Oeffnung, die mittelst einer beweglichen Klappe geschlossen wurde. Letztere war an der einen Seite durch zwei Charniere oder Bänder befestigt, und die untern Arme derselben verlängerten sich bis auf die andere Seite, wo sie in Oesen ausgingen. Hier waren die Leinen angesteckt, womit man die Klappe heben und herablassen konnte. Die Figuren zeigen die ganze Einrichtung. Die Bodenklappe ist in ähnlichen Fällen schon häufig benutzt worden, doch giebt man ihr immer eine andere Einrichtung, und hebt und schließt sie gewöhnlich durch Griffe und Haken, die durch Federn angedrückt werden. Es treten jedoch dabei manche Uebelstände ein: der Arbeiter muß sich nämlich bücken und mit der Hand die Klappe aufheben, ferner ist ein recht scharfes Anziehn der Klappe dabei nicht möglich, und endlich wird dieselbe durch den Haken nur an einem Punkte unterstützt, woher sie leicht durchbiegt. Bei der hier gewählten Einrichtung ist das Verfahren sowohl beim Oeffnen, als beim Schließen sehr einfach und bequem und die Klappe kann jedesmal scharf angezogen werden. Zwei Leinen, die an die Arme der Charniere befestigt sind, gehn durch gehörig weite Einschnitte zwischen dem erwähnten Rahmen und dem Kasten hindurch und sind über zwei Klampen geführt, welche seitwärts auf den letzten genagelt sind. Die Gestalt dieser Klampen, welche man Hornklampen nennt, wenn sie wie hier nur einen aufwärts gerichteten Arm haben, ergibt sich aus den beiden Figuren. Sie dienen zum scharfen Anziehn und Befestigen der Taue auf Schiffen, wo sie allem laufenden Tauwerk die nöthige Haltung geben. Einige Reibung verursachen sie freilich, doch kommt es im vorliegenden Falle hierauf nicht an. An die eine Leine ist ein kleiner Block befestigt und um denselben ist die andere Leine gezogen. Sobald man das lose Ende der letzten anzieht, so wird die Klappe auf beiden Seiten gehoben. Hat man aber jenes Ende scharf angezogen und die Klappe genau geschlossen, so giebt die Klampe Gelegenheit, die Leine mit der vollen Spannung zu befestigen. Fig 230 *a* zeigt die sehr einfache Befestigungsart der Leine, man faßt nämlich von ihrem losen Ende eine Schleife, und zieht diese unter der Leine möglichst

weit auf die Klampe. Alsdann bedrückt die stark gespannte Leine selbst das untere Ende und die Verbindung kann sich nicht lösen, bis man an dem losen Ende zieht und die Schleife hervorreißt. Wenn der Arbeiter die Klappe wieder heben und befestigen will, nachdem der Inhalt des Kastens herausgefallen ist, was in der Zeit von einigen Secunden geschieht, so zieht er die Leine, die er in der Hand behalten hat, wieder an und versteckt das Ende derselben in der erwähnten Art, alsdann ist der Wagen sogleich zur Aufnahme der neuen Füllung vorbereitet.

§. 43.

Umschließung der Baugrube.

Indem das Verlegen der Roste, das Aufbringen der Fachbäume, so wie auch viele andre Arbeiten bei der Fundirung sich nur nach Trockenlegung der Baugrube ausführen lassen, diese aber nicht selten in dem Flußbette selbst, oder in einer größeren Wasserfläche sich befindet, so muß sie durch eine wasserdichte Wand getrennt werden. Dergleichen Wände, die oft nur in Dammschüttungen bestehen, jedesmal aber nach Beendigung des Baues wieder beseitigt werden, nennt man *Fangedämme*. Bevor ich zur Beschreibung derselben übergehe, mag einer Vorkehrung gedacht werden, wodurch man, ohne die ganze Baugrube zugänglich zu machen, den jedesmaligen Abschluß nur auf einen sehr kleinen Theil derselben beschränkt, um einzelne unter Wasser befindliche Verbandstücke zur Verbindung mit andern vorzubereiten. Auch in der Taucherglocke ist dieses vielfach geschehn, von der jedoch erst später die Rede sein kann.

Beim Bau verschiedner Eisenbahn-Brücken in den Niederlanden wurden wasserdichte hölzerne Kasten benutzt, die im Boden mit einer Oeffnung versehen waren, durch welche der Rostpfahl, wenn sie schwimmend darüber geschoben und gesenkt waren, hineindrang. Nach Verschließung der Fuge rings um den Pfahl konnten sie ausgepumpt werden, und so war es möglich bis zur Tiefe von $2\frac{1}{4}$ Fufs unter Wasser an den Rostpfahl einen regelmässigen Zapfen anzuschneiden, der in die später darauf zu bringende Schwelle eingriff.

Der Kasten war 6 Fufs lang, 4 Fufs breit und 3 Fufs hoch, und wie ein Prahm zusammengesetzt und abgedichtet. Fig 257 auf Taf. XIX zeigt ihn im Querschnitt. In der Mitte seines Bodens befand sich eine Oeffnung von solcher Gröfse, dafs jeder abzuschneidende Pfahl mit hinreichendem Spielraum darin eindringen konnte. Um den Rand dieser Oeffnung war ein leinener Sack genagelt, der im untern Theile mit Leder gefüttert war. Vor dem Versenken des Kastens schlang man eine Leine einmal lose um den Sack, dieselbe war aber, wie die Figur zeigt, über zwei Rollen geleitet, so dafs man sie von oben scharf anziehn konnte.

Der Kasten wurde über den Pfahl gebracht, durch eingelegte Gewichte bis gegen seinen obern Rand gesenkt, und nunmehr der Zwischenraum zwischen dem Sack und dem Pfahl nahe über dem Boden möglichst dicht mit Werg gefüllt, was bei beschlagenen Pfählen nicht leicht war. Indem hierauf die beiden Enden der Leine scharf angezogen und befestigt wurden, so hatte man den wasserdichten Abschlufs vollständig dargestellt und man konnte den Kasten auspumpen, wobei man jedoch sehr vorsichtig immer die nöthigen Gewichte einbringen mußte, um den Sack nicht einem zu starken Zuge auszusetzen, wobei er zerrissen wäre. Sobald der Kasten leer war, stiegen zwei Arbeiter hinein, zogen den obern Theil des Sackes herab und schnitten in der verlangten Höhe den Zapfen an. Der Ober-Inspector des Wasserstaates Herr F. W. Conrad spricht die Ansicht aus *), dafs man dieselbe Vorrichtung auch für gröfsere Tiefen benutzen und sie ohne Schwierigkeit so weit ausdehnen könne, dafs sich dadurch alle Zapfen, die auf eine Schwelle treffen, gleichzeitig anschneiden lassen.

Was die gewöhnlichen Fangedämme betrifft, so müssen sie das Wasser von der Baugrube möglichst abhalten, also wasserdicht, hinreichend hoch und so fest sein, dafs sie nicht nur dem Wasserdruck sondern auch dem Wellenschlage den nöthigen Widerstand leisten. In manchen Fällen dienen sie nur zur Sicherung der Baugrube gegen starke Durchströmung, ihre vollständige Wasserdichtigkeit ist alsdann entbehrlich, so wie sie auch keinem starken Wasserdrucke ausgesetzt sind.

Bei einem Fangedamme, der die Baugrube zur Seite umschliesst,

*) *Verhandelingen van het koninglijk Institut van Ingenieurs*, 1848. p. 33.

ist zunächst die Höhe desselben zu bestimmen, indem von dieser seine Stärke und Constructionsart abhängt. Wenn die Wasserstände regelmäfsig beobachtet sind, so kann man aus den Tabellen ersehn, bis zu welcher Höhe die stärksten Anschwellungen steigen und welche Wasserstände man während der muthmaafslichen Dauer des Grundbaues erwarten darf. Bis über die höchsten Wasserstände, welche jemals vorgekommen sind, wird man niemals die Fangedämme aufführen, denn man wählt zum Grundbau immer diejenige Jahreszeit, wo die Anschwellungen selten und nicht bedeutend hoch noch auch lange anhaltend sind. Es kann freilich geschehn, dafs der Theil des Baues, für den man den Fangedamm gebraucht, in einem Sommer nicht beendigt wird und es sonach auch vortheilhaft wäre, wenn die Umschließung selbst die höchsten Winter- oder Frühjahrsfluthen abhalten könnte, da jedoch die Kosten eines Fangedammes im Allgemeinen nicht der ersten Potenz der Höhe, sondern dem Quadrate derselben proportional sind, und in der Regel selbst dieses Verhältnifs noch nicht genügt, so mufs man, um gar zu grofse Ausgaben zu vermeiden, solche auferordentliche Fälle unbeachtet lassen, und sich darauf gefafst machen, sobald sie eintreten, die Arbeit einzustellen und den ausgeführten Theil des Werkes mit Wasser bedecken zu lassen.

Auf Baustellen neben Gewässern, die einem starken Fluthwechsel unterworfen sind, pflegt man die Fangedämme nur bis zum Mittelwasser aufzuführen. Die Arbeitszeit wird alsdann freilich auf wenige Stunden beschränkt, denn sobald das Wasser merklich steigt, füllt es die Baugrube wieder an. Der gröfste Theil der Hafenbauten in England kommt in dieser Art zur Ausführung, und wenn die vielfachen Unterbrechungen dabei auch sehr störend sind, so läfst sich doch nicht verkennen, dafs die regelmäfsige Wiederkehr des niedrigen Wasserstandes die Fundirung sehr erleichtert.

Gewöhnlich giebt man den Fangedämmen eine etwas gröfsere Höhe, als diejenigen Wasserstände erreichen, vor welchen man gesichert sein will. Die Stärke eines Fangedammes ist aber von seiner Höhe abhängig, und zwar ist es nicht nur nöthig, ihm bei grösserer Höhe auch eine gröfsere Breite zu geben, sondern die ganze Construction mufs alsdann auch solider sein. Bei einer Höhe von wenigen Fussen genügt es, den Erddamm ohne alle Holzwand aufzuschütten, doch lagert sich die Erde fester und läfst sich auch

besser stampfen, wenn man sie wenigstens gegen eine dichte Wand lehnt, die alsdann immer auf der innern Seite oder auf der Seite nach der Baugrube sich befindet. Hierher gehört der bereits erwähnte Fall, daß man den für das Fundament bestimmten Raum mit einer Spundwand umgiebt und dieselbe von außen mit einem Thonschlage versieht. Statt der Spundwand kann man sich indessen auch einer Stülpwand (Fig. 220) bedienen, und wenn es nicht darauf ankommt, den Boden selbst zu comprimiren, um die etwa darin befindlichen Wasseradern zu schliessen, so läßt sich die Rammarbeit merklich erleichtern, wenn man nicht die Bohlen so tief einrammt, daß sie dadurch einen sichern Stand erhalten, sondern eine verholzte Pfahlreihe anbringt und jene dagegen lehnt. Hierbei wird die Bohlenwand häufig nicht senkrecht gestellt, sondern schräge und zwar mit einer Neigung von 30 bis 45 Graden gegen den Horizont auf den erwähnten Holm gelehnt. In diesem Falle lassen sich die Fugen der Wand noch durch darübergeworfenen Mist oder belaubte Zweige etwas dichten, so daß die Erde nicht hindurchfällt. Man kann alsdann die Spundwand ganz entbehren, und selbst die Ueberdeckung der Fugen durch eine zweite Lage von Brettern oder die Anbringung der gestülpten Wand ist weniger nothwendig, ja es kommt sogar vor, daß man nicht einmal Bohlen oder Bretter benutzt, sondern jene Wand nur aus Latten oder Stangen darstellt.

In dieser Art erbaute man am Zusammenfluß des Cure mit der Yonne Fangedämme, welche, wie Figur 231 *a* und *b* Taf. XVII in der Ansicht von vorn und von der Seite zeigt, einen Wasserstand von 9 Fufs abhielten *), doch war während ihrer Ausführung der Wasserstand bedeutend niedriger, weil sie sonst nicht darzustellen gewesen wären. Im Abstände von 7 Fufs von einander wurden schräge Böcke aufgestellt und darüber zwei Reihen Balken gelegt, welche die Holzwand trugen. Diese bestand nur aus Stangen, und um deren Fugen zu decken, legte man eine starke Lage belaubtes Strauch oder Stroh darüber und hierauf ruhte der wasserdichte Damm. Die Stützen in der Mitte jedes Bockes nebst den Bohlen, worauf sie standen, konnten aber erst angebracht und eingetrieben werden, nachdem das Wasser aus der Baugrube schon entfernt war.

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1832. I. p. 403. und in dem *Recueil de dessins, relatifs à l'art de l'ingénieur*.

Es wird angeführt, daß ein Fangedamm dieser Art in einer Länge von 64 Fuß in zwei Tagen dargestellt werden konnte.

Auch der wichtige Fangedamm, den Thunberg bei Carlsrona ausführte, wurde durch eine solche schräge Wand gebildet, die jedoch aus einer Spundwand und zwar mit der Fig. 201 angegebenen Spundung bestand. Dieser Fangedamm ist auf eigenthümliche Weise erbaut, indem in der Wassertiefe von einigen zwanzig Fuß das Gerüste des Dammes aufgestellt und verbunden wurde. Die Balken, welche den Längenverband bildeten, nagelte man tief unter Wasser auf Böcke, die vorher herabgelassen waren, und rammte alsdann die schräge Spundwand davor. Letztere wurde nur etwa bis zur halben Höhe mit Erde hinterfüllt, da sie an sich schon den wasserdichten Schluß darstellen sollte. Nachdem dieser Fangedamm indessen durchbrochen war, führte man verschiedene Verstärkungen dabei ein. Dazu gehörte, daß eine Menge Pfähle normal gegen die Spundwand eingerammt wurden, um diese sicher zu halten, und ausserdem baute man dahinter noch einen zweiten Fangedamm, damit jeder einzelne nur dem halben Wasserdrucke ausgesetzt wäre. *) Eine nähere Beschreibung übergehe ich, indem ähnliche Constructions wohl keine Anwendung finden dürften, dieser Bau gehört aber wegen der künstlichen Anordnungen, die dabei gewählt waren, zu den interessantesten Werken, und es ist zu bedauern, daß die Mittheilungen darüber so wenig klar sind.

Bei Bétonfundirungen stellt man häufig auch Fangedämme aus Béton dar, die im Zusammenhange mit dem Grundbette sogleich rings um dasselbe aufgeschüttet werden. Doch geschieht dieses nur, wenn der größte Theil solcher Dämme das Mauerwerk ersetzen soll, denn ohne diesen doppelten Zweck würden sie zu theuer ausfallen und ausserdem wäre ihre Fortschaffung unter Wasser auch zu schwierig.

Am häufigsten werden die Fangedämme in der Art construiert, daß man zwei senkrechte Holzwände darstellt und den Zwischenraum mit Erde ausfüllt. Da die Erdschüttung vorzugsweise den wasserdichten Schluß bewirken soll, so ist es nöthig, daß sie auch die gehörige Breite erhält, ausserdem aber vermehrt sich durch eine größere Breite auch die Masse des Dammes und trägt dadurch zu seiner Stabilität bei. Hierzu kommt noch, daß die Fangedämme bei

*) *Essai de bâtir sous l'eau par J. Fellers.* Stockholm 1776.

einer beschränkten Ausdehnung der Baugrube zugleich zum Beschaffen von Materialien und Geräthschaften benutzt werden, weshalb sie nicht zu schmal sein dürfen. Bei niedrigen Fangedämmen ist die Breite gewöhnlich der Höhe gleich, wenn aber die Höhe 8 bis 9 Fufs übersteigt und sonach die Breite überflüssig groß sein würde, so pflegt man sie in geringerem Verhältnisse als die Höhe wachsen zu lassen. Hiernach hat sich bei uns die Regel gebildet, daß man bei einer Höhe von mehr als 8 Fufs die Breite des Fangedammes gleich der halben Höhe und 4 Fufs annimmt. In Frankreich ist man gewohnt, bei einer Höhe bis zu $9\frac{1}{2}$ Fufs die Breite der vollen Höhe gleich zu setzen, über diese Grenze hinaus läßt man aber die Breite nur um den dritten Theil der Mehrhöhe wachsen.*) In England betrachtet man die Fangedämme nicht als Theile des Baues, sie werden daher in die eigentlichen Bauprojecte auch nicht mit aufgenommen und es bleibt ihre Anordnung und Ausführung den Entrepreneurern überlassen.

Die gewöhnliche Construction der Fangedämme ist folgende: in zwei Reihen werden Pfähle in Abständen von 4 bis 5 Fufs eingerammt, die beiden Reihen sind aber so weit von einander entfernt, daß, mit Rücksicht auf die dagegen zu lehnenen Bohlenwände, die Erdschüttung die vorstehend angegebene Breite erhält. Diese Pfähle müssen so fest im Grunde stecken, daß sie nicht nur dem Drucke des Wassers Widerstand leisten, sondern, wenn es nöthig sein sollte, den losen aufgeschwemmten Grund innerhalb des Fangedammes auszubaggern, sie auch dadurch nicht ihren sichern Stand verlieren. Die beiden Pfahlreihen werden ferner in gleicher Höhe abgeschnitten, mit Zapfen versehen und mit Holmen überdeckt. Fig. 232 zeigt diese Anordnung im Querschnitte. Um jedoch den Fangedamm gegen ein Ausdrängen durch die einzubringende Erdschüttung zu sichern und zugleich seine beiden Wände mit einander zu verbinden, so werden in demselben Abstände, in welchem die Pfähle stehn, Querzangen angebracht, welche über beide Holme greifen. In Frankreich ist eine andere Construction üblich, man nagelt nämlich, wie Fig. 233 zeigt, an die äußern Seiten der Pfähle Rahmen von Kreuzholz, und verbindet diese unter sich durch verkämte Zangen. Häufig läßt man aber auch jene Rahmen fort,

*) Sganzin, *programme IV. édition. p. 305.*

indem schon die innere Verkleidung ihre Stelle vertritt, und man verbindet nur die gegenüberstehenden Pfähle in beiden Reihen durch doppelte und mit Schraubenbolzen zusammengezogene Zangen, wie Fig. 235 *a* und *b* in der Ansicht von oben und im Querschnitte zeigt. Eine solche Anordnung sah ich bei einem Fangedamm im Håvre. In beiden Fällen ist die französische Constructionsart wohl der bei uns üblichen vorzuziehen, denn zunächst sichert sie die Wände vollständiger gegen ein Ausweichen, als dieses bei der Verbindung durch Zapfen möglich ist, und sodann werden die Pfähle auch nicht verschnitten und können nach Beseitigung des Fangedammes zu gleichem Zwecke wieder benutzt werden.

Bevor die Zangen zur Verbindung der beiden Pfahlreihen aufgebracht werden, muß man schon die dichten Bohlenwände auf der innern Seite der Pfähle einsetzen, gegen welche die Erdschüttung sich lehnt. Das einfachste Verfahren ist, daß man Bohlen horizontal an den Pfählen herabschiebt, da es jedoch bei größerer Wassertiefe nicht mehr möglich sein würde, die untern Bohlen zu halten, bevor die Füllung eingebracht ist, so verbindet man die einzelnen Bohlen schon vorher zu Tafeln, welche die ganze Höhe des Fangedammes haben, und bemüht sich, sie beim Einsetzen bis in den Grund herabzustossen, damit nicht große Fugen über dem natürlichen Boden offen bleiben. Zu diesem Zwecke ist es vortheilhaft, unmittelbar an der innern Seite der Pfahlreihen eine etwas vertiefte Rinne auszubaggern, deren Sohle möglichst eben ist. Die Tafeln werden, wie Fig. 232 zeigt, auf der innern Seite durch aufgenagelte Leisten verbunden, man muß aber dafür sorgen, daß die Stöße zwischen je zwei Tafeln jederzeit auf Pfähle treffen und beide Enden sich noch sicher an diese lehnen. Um den Stofs zwischen beiden Tafeln besser zu dichten und um zugleich ein Aufheben oder Umschlagen derselben zu verhindern, rammt man auch wohl über den Stofs noch eine Bohle, wodurch die Tafeln an ihren Enden sicher gehalten werden.

Diese Anordnung läßt sich nur so lange anwenden, als der Wasserdruck nicht bedeutend ist; wenn derselbe größer wird, so kann man in vielen Fällen noch von den Stülpwänden vortheilhaft Gebrauch machen. Bei diesen schließt sich jede einzelne Bohle an die Unebenheiten des Grundes an und läßt sich in einen weichen Boden leicht eintreiben. Die erste Reihe der Bohlen er-

hält durch die zweite, welche die Fugen verdeckt, noch eine bedeutende Verstärkung und sonach darf man bei niedrigen Fangedämmen nicht besorgen, daß die Bohlen sich ausbauchen. Bei größerer Höhe des Fangedammes muß man durch Anbringung besonderer Riegel dafür sorgen, daß die Bretterwände nicht zu stark durchbiegen und zu weite Fugen sich öffnen. Wenn gerade recht niedriges Wasser zur Zeit der Ausführung des Fangedammes stattfindet und die Wassertiefe nicht groß ist, so genügt es, in der Höhe des Wasserspiegels noch eine Bohle oder ein Stück Halbholz gegen die Pfähle zu nageln, im entgegengesetzten Falle läßt sich ein solcher Riegel auch mittelst aufgenagelter Latten leicht bis zu jeder beliebigen Tiefe herabschieben und im Wasser erhalten. Indem es hierbei auf eine geringe Differenz in der Höhe nicht ankommt, so dürfen die Stöße zwischen diesen Riegeln nicht gerade auf die Pfähle treffen, sondern es ist besser, ihnen dadurch eine sichere Haltung zu geben, daß man sie noch über die Pfähle vortreten und gegenseitig an einander vorbeischiefsen läßt, so daß sie eine etwas geneigte Lage erhalten. Wenn jedoch die Holme mit der innern Seite der Pfahlreihe bündig verlegt sind und man gegen diese wieder die Stülpwand lehnen wollte, welche weiter unterhalb um die Breite des vorgeschobenen Riegels von der Pfahlwand entfernt gehalten wird, so würde der Fangedamm unten schmaler als oben sein. Um dieses zu vermeiden, muß man vor dem Holme oder wenig darunter noch einen zweiten Riegel von derselben Stärke, wie den untern, anbringen und beide als Lehren beim Einrammen der Stülpwand benutzen.

Wird endlich der Fangedamm etwa 12 Fufs hoch oder darüber, so muß man zu seiner Verkleidung und namentlich auf der innern Seite, wo er nicht nur den Druck der eingeschütteten und festgestampften Erde, sondern außerdem auch den des äußern Wassers auszuhalten hat, eine Spundwand wählen. Bei derselben vermeidet man viel sicherer alle weit geöffnete Fugen, die sonst leicht bei tiefem Wasser vorkommen, außerdem aber besitzt die Spundwand auch große Steifigkeit, und wenn vielleicht in ihr ein geringes Einbiegen eintreten sollte, so wird dieses nicht mehr in den einzelnen Bohlen stattfinden, sondern sich auf größere Theile der Wand erstrecken und sonach kein nachtheiliges Oeffnen der Fugen zur Folge haben. Endlich ist noch die Anbringung der Spundwände,

und zwar auf beiden Seiten eines Fangedammes, insofern von Wichtigkeit, als dieselben mehrere Fufs tief im Boden stecken und man zwischen ihnen den Grund ausbaggern und auf solche Art den Fangedamm bis unter das natürliche Bett herabführen kann. Dieses Verfahren trägt bei einem kiesigen Grunde wesentlich zur Verminderung des Wasserzudranges bei, indem die Spundwand den Grund neben sich comprimirt und die Wasseradern sperrt. Bei sehr hohen Fangedämmen kann es indessen auch für die Spundwand noch bedenklich sein, ihr keine Unterstützung unterhalb des Holmes zu geben, und außerdem wird das Einrammen derselben nicht ganz sicher, wenn die Zwinge weit über dem Boden sich befindet.

Perronet wandte zur Vermeidung dieser Uebelstände beim Bau der Brücke zu Neuilly ein Mittel an, welches eine nähere Beschreibung verdient. Fig. 233 zeigt den Querschnitt des daselbst benutzten Fangedammes und man bemerkt, daß jede Spundwand von zwei doppelten Zwingen umfaßt wird, von denen die untere mehr als 3 Fufs tief unter dem niedrigsten Wasserstande (der in der Figur angedeutet ist) sich befindet. Der Fangedamm besteht aus zwei Pfahlreihen, die von Mitte zu Mitte 10 Fufs von einander entfernt sind, und der Abstand der einzelnen Pfähle in jeder Reihe beträgt 4 Fufs. Die Pfähle hatte man unten bebrannt. In der Höhe von 5 Fufs 6 Zoll über dem niedrigsten Wasserstande sind auswärts an jede Pfahlreihe Rahmen genagelt, die 6 Zoll hoch und eben so stark sind. In den Stößen, die immer gegen die Pfähle treffen, greifen diese Rahmen mit 14 Zoll langen Blättern über einander. Auf diesen liegen die Zangen, die 8 Zoll hoch und 15 Fufs lang sind. An den Stellen, wo letztere die Rahmen kreuzen, sind sie 3 Zoll tief eingeschnitten, die Rahmen selbst haben aber auch hier ihre volle Stärke. Die Spundwände, welche gegen die Pfahlreihen gestellt werden sollten, bestanden aus einzelnen Theilen, von denen jeder 12 Fufs lang war und in folgender Art zusammengesetzt wurde. Indem man die beiden Paare der Zwingen und die beiden äußern Spundpfähle durch Schraubenbolzen verband, so bildete sich ein verschiebbares Parallelogramm. Diese Spundpfähle, sowie alle übrigen, waren 4 Zoll stark und 21 Fufs lang, die Zwingen bestanden aus 4zölligen Bohlen von 9 Zoll Breite, hatten aber nicht die volle Länge von 12 Fufs, um sich nicht

gegenseitig zu berühren. Beim Zusammensetzen der Zwingen wurden die sämmtlichen zugehörigen Spundbohlen eingepafst. Man machte alsdann mit dem Einrammen der beiden äußern Spundpfähle den Anfang, welche durch die angebolzten Zwingen mit einander verbunden waren, und daher sowohl oben als unten den bestimmten Abstand behielten. Man sorgte auch dafür, daß die Enden der Zwingen sich gegen die Pfähle lehnten. Sobald auf diese Art eine Zwinde festgestellt war, so wurden die eingepafsten Spundpfähle hineingeschoben und eingerammt, man nahm jedoch darauf Rücksicht, daß die mittleren am spätesten bis zur vollen Tiefe herabgeschlagen wurden, damit die äußern weniger stark angegriffen und nicht etwa durch die Bolzen gespaltet werden möchten. Endlich blieb noch der Raum zwischen je zwei solchen Rahmen auszufüllen und dieses geschah, indem man passende Spundpfähle auch hier einrammte. Die letzten wurden gleichfalls durch die Zwingen gefast, denn jede derselben trat noch einige Zoll weit vor und diente sonach zur sichern Führung des zuletzt eingebrachten Spundpfahles. Fig. 234 zeigt diese Anordnung. Zwischen den Spundwänden wurde der sandige und leichte Boden so tief ausgebaggert, bis man auf eine feste Erde kam, durch welche keine Filtration zu besorgen war.

Wenn der Fangedamm eine große Höhe hat und sonach auch sehr breit werden müßte, so gewährt die beschriebene Anordnung nicht mehr die nöthige Sicherheit, indem bei dem vermehrten Drucke des Wassers ein Durchquellen leichter eintreten kann. Man muß daher eine Einrichtung wählen, wodurch die beim Füllen des Damms vielleicht gebildeten undichten Stellen noch unterbrochen werden. Der sicherste Schluß erfolgt vor einer dichten Wand, wenn die eingeschüttete und angerammte Erde sich in der Richtung des Wasserdruckes dagegen lehnt. Bei der beschriebenen Constructionsart geschieht dieses nur einmal, und dieses ist bei höheren Fangedämmen um so weniger genügend, als man in der größeren Tiefe nicht mehr auf die compacte Ablagerung der Erde hinwirken kann. Aus diesem Grunde trennt man den Damm der Breite nach in zwei, auch wohl in drei Theile. Es tritt hierbei noch der Vortheil ein, daß für den obern Theil die halbe Stärke schon genügt und der eine Kasten nur etwa halb so hoch zu sein braucht. Will man ihm aber diese geringere Höhe geben, so muß man den Wasserspiegel schon gesenkt haben, und hieraus folgt wieder, daß

dieser niedrigere Theil auf der innern Seite des Dammes oder an der Baugrube sich befinden muß. Man kann ihn alsdann auf dieselbe Art, wie ein Banket, in der abgestochenen Erdwand zum Aufstellen mancher Utensilien und Materialien und zur Erleichterung der Communication benutzen. Fig. 236 zeigt eine solche Anordnung. Man macht damit den Anfang, daß man einen gewöhnlichen Fangedamm, jedoch nur von der halben Breite, die er seiner Höhe nach erhalten sollte, ausführt. Alsdann werden die Schöpfmaschinen in Thätigkeit gesetzt, und sobald der Wasserspiegel bis zur Höhe des nächstfolgenden Theiles des Dammes gesunken ist, so wird dieser genau in derselben Art, wie der erste, ausgeführt. Es tritt in der Construction nur die Aenderung ein, daß man, um die innere Pfahlreihe des ersten Theiles wieder zu benutzen, die Zangen über dem zweiten Theile mit schwalbenschwanzförmigen Zapfen in jene Pfähle eingreifen läßt und mit Bolzen daran befestigt. Eine Strebe, die man zwischen jede solche Zange und den zugehörigen Pfahl mit Versatzung eintreibt, giebt noch eine kräftige Stütze gegen den Wasserdruck.

Bei solchen getheilten Fangedämmen beträgt die Höhe jeder Stufe 8 bis 12 Fufs. Indem man die Breite des Dammes in seiner Grundfläche nur so groß macht, als oben angegeben ist, so tritt hierbei eine merkliche Verminderung des Quantums an Erde ein, welche man zur Füllung braucht. In manchen Fällen mag dieser Vortheil beachtenswerth sein, doch wird er die Mehrkosten für die dritte Wand nicht decken und sonach darf man nicht hoffen, auf diese Art den ganzen Fangedamm wohlfeiler darzustellen.

Die Fangedämme, die man in England ausführt, erhalten in dem Falle, wo sie sich bis über die höchsten Fluthen erheben, eine sehr große Höhe und ihre Construction wird dadurch zwar schwierig, aber nichts desto weniger tritt auch wieder die Erleichterung ein, daß man zur Zeit der Ebben auch an ihrem untern Theile manche Verstärkung anbringen kann, welche sonst unausführbar wäre. Ein andrer Vortheil, der aus dem abwechselnden Wasserstande entspringt, bezieht sich darauf, daß man die Füllungserde nicht in großer Höhe aufschütten darf, bevor man sie anstampfen kann, sondern das Abrammen schon beginnt, sobald die Schüttung die Höhe des niedrigen Wasserstandes erreicht. Schon früher wurde bemerkt, daß man bei diesen Fangedämmen nicht Spundwände, sondern

dichte Pfahlwände ohne Spundung anwendet, gewöhnlich fehlt aber auch die davorstehende verholzte Pfahlreihe, wenn dieselbe nicht etwa zum regelmässigen Einrammen der dichten Wand beibehalten wird. Auch die hölzernen Zangen kommen bei diesen gröfseren Fangedämmen nicht vor, ihre Stelle vertreten aber eine Menge eiserner Bolzen, die nicht nur oben, sondern in mehrfachen Reihen so weit abwärts sich erstrecken, als man zur Zeit der niedrigsten Ebben sie einziehn kann.

Um ein Beispiel von der Anordnung eines solchen Fangedammes zu geben, wähle ich dasjenige, welches Hughes in der Abhandlung über die Fundirung der Brücken *) anführt. Dasselbe eignet sich auch insofern zur Mittheilung, als die Details dabei genau angegeben sind und der Verfasser als Entrepreneur mancher grossen Bauten Gelegenheit hatte, sich mit den Erfordernissen eines Fangedammes genau bekannt zu machen. Fig. 237 zeigt im Querschnitte den Fangedamm, der von beiden Seiten die Baugrube umgiebt, in welcher ein Brückenpfeiler auf dem natürlichen festen Grunde erbaut werden soll. Es wird angenommen, dafs dieser Grund, welcher das Wasser nicht stark durchsickern läfst, auf 12 Fufs Höhe mit grobem Kiese bedeckt ist, der sowohl aus der Baugrube, als auch aus den Fangedämmen entfernt werden mufs, um das Eindringen starker Quellen zu verhindern. Die Wassertiefe über dem Kieslager misst bei Hochwasser 28, bei Niedrigwasser aber 10 Fufs, so dafs der feste Grund, in welchen die Pfähle eindringen müssen, 40 Fufs unter Hochwasser liegt. Hiernach bestimmt sich die Länge der Pfähle für die dichten Pfahlwände, welche den höchsten Theil des Fangedammes einschliessen sollen, auf 48 Fufs, indem sie noch 3 Fufs über die Fluthhöhe herausragen und 5 Fufs im festen Grunde stehn sollen. Der Fangedamm wird in drei Abtheilungen zerlegt, zu deren Darstellung vier dichte Pfahlreihen erforderlich sind. Die beiden mittleren sind die höchsten, die äufsere erhebt sich bis 1 Fufs über Niedrigwasser und die innere bis 11 Fufs über denselben Wasserstand. Die lichte Entfernung aller Wände unter sich beträgt 6 Fufs und die Stärke der beiden mittleren ist 12 Zoll, die der innern 8 Zoll und der äufsern 6 Zoll. Alles Holz soll gerade gewachsen sein und aus der besten Sorte Memeler Balken, also

*) *Theory, practice and architecture of bridges. Sect. V. p. 46.*

Kiefern, bestehn. Die beiden innern Wände werden oben zu beiden Seiten mit Zangen versehen von 6 Zoll Stärke und 12 Zoll Höhe und durch eiserne Bolzen von $1\frac{1}{4}$ Zoll Stärke mit einander verbunden. Die Bolzen haben Köpfe von 3 Zoll im Gevierten und 1 Zoll Dicke und auf der andern Seite muß jedesmal ein scharfes Schraubengewinde eingeschnitten sein, worauf eine Mutter paßt, welche dieselben Dimensionen, wie der Kopf hat. Unter jeder Mutter liegt eine Scheibe. Solche Verbindungsbolzen müssen alle 4 Fufs angebracht sein, sie liegen aber in drei Reihen unter einander und umfassen in der zweiten Reihe drei Wände und in der untersten alle vier Wände. Das Ausbaggern der obern Kiesschicht soll noch vor dem Beginne der Rammarbeit vorgenommen werden, indem diese dadurch wesentlich erleichtert wird.

Die Figur zeigt noch die Absteifungen der beiden Fangedämme gegen einander und gegen den bereits fertigen Theil des Brückenpfeilers. Bei der von Telford ausgeführten Eingangsschleuse in St. Katharine's Dock in London wurde ein Fangedamm benutzt, der dem beschriebenen sehr ähnlich war und gleichfalls aus drei Abtheilungen bestand. Die Absteifungen kamen auch hier vor, obgleich die Schleuse auf einem Pfahlrost erbaut ist. *)

Eine solche Absteifung ist indessen nicht leicht anzubringen, wenn Pfähle eingerammt werden sollen, weil das Versetzen der Ramme dadurch sehr erschwert wird. Am leichtesten ist es, in diesem Falle den Fangedamm so weit herauszurücken, daß die Steifen noch dahinter Platz finden. In solcher Art wurde beim Bau des neuen Parlamentshauses in London der eigentliche Fangedamm so weit vor das Fundament in das Flußbette herausgeschoben, daß zwischen beiden ein Raum von 25 Fufs Breite frei blieb. Dieser Fangedamm bestand nur aus einer einzigen Abtheilung, die jedoch auf ähnliche Art, wie eben erwähnt, ausgeführt wurde. Die Breite der Thonschüttung betrug nur 5 Fufs, aber ihre Höhe über dem natürlichen Bette 21 Fufs, und sie erstreckte sich noch 9 Fufs darunter, indem vor dem Beginne der Rammarbeit so tief gebaggert war. Der Fangedamm hatte indessen hier noch auf andere Art eine wesentliche Verstärkung erhalten, denn zunächst umgab ihn auf der innern, sowie auch auf der äußern Seite eine Pfahlreihe,

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal*. II. p. 430 ff.

worin die Pfähle 6 Fufs von Mittel zu Mittel entfernt waren und diese wurde gleichfalls durch drei Reihen Bolzen gehalten. Auf der innern Seite lehnte sich an diese Pfähle eine Verstrebung, welche von einer fünften Pfahlreihe, die 20 Fufs hinter dem Fangedamme stand, getragen wurde. *)

Beim Bau der neuen London-Brücke bestand der 35 Fufs hohe Fangedamm aus zwei Abtheilungen von gleicher Höhe, welche wieder durch drei dichte Pfahlwände umschlossen wurden. Die äußere Abtheilung hatte eine lichte Breite von 6 Fufs und die innere von 5 Fufs, die Wände waren unter sich mehrfach nicht nur durch eiserne Bolzen, sondern auch durch Spannriegel verbunden. Eine sehr feste Verstrebung aus vielen Verbandstücken zusammengesetzt, worunter sich auch zwei Reihen horizontaler doppelter Balken befanden, erstreckte sich etwa 120 Fufs rückwärts. **) Dieselben wurden nach und nach entfernt, sobald sie der Aufführung des Pfeilers hinderlich wurden, sie konnten alsdann durch kürzere Streben, welche sich gegen das fertige Mauerwerk lehnten, ersetzt werden. Ein wichtiges Beispiel einer ähnlichen Verstrebung ist auch in Venedig vorgekommen, als man daselbst im Jahre 1808, um den Hafen für Kriegsschiffe brauchbar zu machen, durch das Bassin *Novissima grande* einen Fangedamm schlug ***) und diesen gegen die 120 Fufs entfernten Mauern und Gebäude lehnte. Die Streben bestanden aus den größten Stämmen der Edeltanne, die dort unter dem Namen *Albec* zu Masten benutzt werden, sie haben mitunter eine Länge von 127 Fufs, und sind am Stammende 3 bis $4\frac{1}{2}$ Fufs stark.

Beim Bau des Docks zu Great-Grimsby wurde der über 1600 Fufs lange Fangedamm in einem flachen Bogen vor die Baustelle gelegt, wodurch er an sich schon eine bedeutende Verstärkung erhielt. Indem er sich jedoch 22 Fufs über den Grund erhob und einem Wasserdrucke von derselben Höhe widerstehn sollte, so waren bei seiner Anlage noch besondere Vorsichts-Maafsregeln nothwendig. Seine Breite beträgt zwischen den äußern Balkenwänden oben 14 Fufs, unten war sie aber noch etwas größer,

*) *The Civil Engineer and Architect's Journal.* I. p. 31.

**) *Practical treatise on bridge-building by Cresy.*

***) *Nouvelle Collection de dessins etc.*

indem die seeseitige Wand schräge stand. In der Mitte zwischen den aus starken Balken bestehenden Wänden befand sich noch eine dritte, die man jedoch zu beiden Seiten nicht durch hölzerne Zangen, sondern durch starke Schienen verbunden hatte, damit die Füllungs-erde frei herabsinken konnte. Eine wesentliche Verstärkung erhielt der Damm aber noch durch Querwände von gleicher Construction, die in Abständen von 25 Fufs 17 Fufs weit wie Strebepfeiler in die Baugrube traten, und durch kräftige Verstreubungen auch die zwischen liegenden Theile des Dammes stützten. Um sich zu überzeugen ob der Damm unbeweglich stand, waren zwischen diesen Querwänden auf isolirt stehenden Pfählen Maafsstäbe angebracht, woran ein sehr geringes Ueberweichen schon bemerkt werden konnte. *)

Wenn der Baugrund bis zu einer grossen Tiefe aus weichem Schlamm besteht, in welchem die Pfähle keinen sichern Stand annehmen, so wird die Anlage von Fangedämmen sehr schwierig, indem diese durch den Wasserdruck in die Baustelle hineingedrängt werden. Ein solcher Fall ereignete sich in Holland, als man die Eingangsschleusen zu den Hafenbassins vor Amsterdam erbaute**), und das Mittel, welches man dagegen anwandte, bezog sich nur darauf, den Grund durch starke Belastung zu comprimiren.

Zuweilen kann man die Fangedämme nicht mit dem Grunde, auf welchem sie stehn, in gehörige Verbindung setzen, weil das Einrammen von Pfählen entweder wegen der grossen Tiefe oder wegen des unreinen und felsigen Bodens nicht möglich wird. Ein interessantes Beispiel dieser Art war der Fangedamm, welcher bei der Aussprengung des Vorhafens für den Kriegshafen zu Cherbourg die Mündung desselben gegen die See schlofs. Diese Mündung traf auf eine Stelle, wo das natürliche Ufer zurücktrat und die erforderliche Wassertiefe schon vorhanden war. Die beiden Hafendämme, welche auf der Nord- und Südseite sie begrenzen, bestehn grossentheils nur aus den Steinen, welche bei den Sprengungsarbeiten gewonnen waren. Der Fangedamm, der schon zur Zeit des niedrigsten Wasserstandes einem Drucke von 30 Fufs Widerstand leisten

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1850. S. 2.

**) Henz, der Hafen von Amsterdam; in den Verhandlungen des Gewerbevereins 1832. S. 172.

sollte, bestand in einem großen gezimmerten Kasten, dessen Länge mit der Breite der Mündung übereinstimmte und 142 Fufs betrug. Derselbe war am Boden 84 Fufs, oben 44 Fufs breit, und seine Höhe maas 45 Fufs. Er bestand nur aus einer vordern und einer hintern Wand, Boden und Seitenwände fehlten ihm, damit die eingeschüttete Erde alle Unebenheiten, die sie berührte, ausfüllen und sich mit dem Grunde und mit den Dossirungen der Hafendämme verbinden konnte. Man hielt indessen diese Kasten allein nicht für ausreichend, um dem Drucke des Wassers und dem Wellenschlage gehörigen Widerstand zu leisten, daher schüttete man an die innere Seite noch eine Erddossirung von etwa 45 Fufs Breite, deren Fufs sich an eine verstreute dichte Holzwand lehnte. *)

Aehnliche große und fest verbundene Holzkasten, die wieder nur aus zwei Seitenwänden bestanden, wurden zur Bildung der Fangedämme für den Bau der Victoria-Brücke in Canada benutzt, indem man sie in den St. Lorenz Strom versenkte.

In andern Fällen, wo Fangedämme auf Felsboden erbaut sind, hat man sie dadurch gegen das Verschieben gesichert, daß Bohrlöcher in den Grund getrieben und eiserne Stangen darin gestellt wurden. Dieses Verfahren ist z. B. beim Bau der Schleuse zu Corpach, welche auf der westlichen Seite den Eingang in den Caledonischen Canal bildet, angewendet worden. Dasselbe ist bei Kösen geschehn, als man die Futtermauer auf eine große Länge in das Bett der Saale stellte, um den Damm der Thüringer Eisenbahn dagegen zu lehnen.

Bei den Schleusen- und Wehrbauten an der Saar in der Nähe von Saarbrücken war der Felsboden, der unter dem Wasserspiegel ausgebrochen und zu diesem Zweck mit Fangedämmen umgeben werden mußte, ein so weicher bunter Sandstein, daß man zugschärfte eiserne Stangen von 18 bis 21 Linien Durchmesser 1 bis 2 Fufs tief eintreiben konnte. Man versah dieselben, wenn das Gebirge härter war, mit Stahlspitzen. Diese Stangen, welche die Stelle der hölzernen Pfähle vertraten, wurden im gegenseitigen Abstände von $2\frac{1}{2}$ Fufs eingetrieben, die beiden Reihen derselben waren aber $3\frac{1}{2}$ Fufs entfernt. An die innern Seiten dieser Reihen lehnten

*) In der dritten Ausgabe von Sganzin's *programme* ist ein Querschnitt dieses Fangedammes mitgetheilt.

sich Bretterwände. Eine solche wurde zunächst gebildet durch zwei vertikale Bretter die oben durch Schraubenbolzen mit doppelten Leisten verbunden waren. Zwischen diese Leisten stellte man alsdann die einzelnen vertikalen Bretter, und trieb sie fest gegen den Boden, eben so auch diejenigen, welche den Raum zwischen je zwei solchen Rahmen schlossen, und welche durch die von beiden Seiten vortretenden Enden der Leisten noch gehalten wurden. Bevor man aber den Fangedamm mit Erde füllte, verband man die sämtlichen Eisenstangen mittelst ausgeglühter starker Drähte über den Bretterwänden mit den gegenüberstehenden. Diese Fangedämme waren einem Wasserdrucke von etwa 4 Fuß ausgesetzt. *) Es mag noch hinzugefügt werden, daß man nach Erbauung des obersten Nadelwehres innerhalb des preussischen Gebietes mehrfach Gelegenheit hatte, die Anlage der Fangedämme ganz zu umgehn. Indem man nämlich bei dem damals sehr niedrigen Wasserstande und der trocknen Witterung dieses Wehr vollständig schloß, so senkte sich das Unterwasser so sehr, daß man die hinderlichen Felsen ohne Weiteres beseitigen konnte.

Wenn ein Fangedamm sich an höheres Ufer anschließt, so muß er in dasselbe eingreifen, damit zwischen beiden das Wasser nicht hindurchdringt. Der Anschluß eines Fangedammes aber an Felsen oder Mauern, so wie überhaupt an fremdartige Körper, welche sich mit der Erde nicht innig verbinden, giebt leicht Veranlassung zum Durchquellen des Wassers. Um diese Besorgniß zu entfernen, muß man in solchem Falle die Breite des Dammes vergrößern, damit die Berührung, wenn sie auch nicht so innig ist, doch auf eine größere Fläche sich ausdehnt. Ferner ist es vortheilhaft, die Fläche möglichst uneben zu machen, auch wendet man in solchem Falle zuweilen anderes Material, als Erde an, namentlich Mist, der am Steine fester haftet. Auch stößt man zuweilen Latten, die mit Stroh umwunden sind, in die Ecken des Fangedammes neben Mauern oder an steilen Felsen ein. Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes über dem Bohlenboden, den er versenkt hatte, noch einen Fangedamm auf, um das Wasserschöpfen nicht über die ganze Baugrube ausdehnen zu dürfen. Dieser Fangedamm bestand aus hölzernen Kasten, deren Boden mit eingehauenen

*) In Erbkams Zeitschrift für Bauwesen. 1866. L. Hagen: die Canalisation der obern Saar. S. 49.

Furchen versehn waren und die man auf eine eingeschüttete Thonlage stellte.

In ähnlicher Art, wie in dem Anschlusse gegen fremdartige Körper, pflegt die Füllerde auch in den scharfen Ecken eines Fangedammes eine lockere Lage zu behalten, da wegen der vielfachen Berührung mit den Wänden ein gehöriges Setzen hier nicht erfolgen kann. Man muß daher plötzliche Unterbrechungen in der Richtung der Fangedämme möglichst vermeiden, und die etwa vorkommenden spitzen Winkel in mehrere stumpfe zerlegen, oder noch besser, wie in England gewöhnlich geschieht, den Uebergang aus einer Richtung in die andere durch eine Curve mit möglichst großem Radius vermitteln.

Es bleibt noch zu untersuchen, wie man einen Fangedamm wasserdicht macht. Eine einfache Holzwand, mag sie aus Spundpfählen, oder aus scharf neben einander eingerammten Balken bestehn, läßt gewöhnlich so zahlreiche und weite Fugen offen, daß die durch sie umschlossene Baugrube nicht trocken gelegt werden kann. Wenn dieses in sehr seltenen Fällen geglückt ist, so geschah es nur bei reinem Grunde und bei überaus vorsichtiger Arbeit. Zuweilen hat man versucht solche Wände dadurch zu dichten, daß man auf ihrer äußern Seite wasserdichte Leinwand herabrollte, die bei eintretendem Drucke sich fest anlegte. Beaudemoulin stellte hierüber Versuche an, und fand daß man auf diese Art ganz sicher einen Wasserdruck von $4\frac{1}{2}$ Fufs abhalten und zugleich das Durchsickern verhindern konnte. Er empfiehlt daher, hiervon Gebrauch zu machen, sobald man bemerkt, daß die auf gewöhnliche Art construirten Fangedämme sehr undicht werden und stellenweise das Wasser stark durchlassen.

Die gewöhnliche, bereits beschriebene Construction der Fangedämme bietet Gelegenheit, den dichten Schluß durch Erde darzustellen, die man zwischen die verschiedenen Holzwände schüttet. Man muß dazu aber eine feine, recht gleichmäßige Erdart wählen, welche gut bindet, ohne sich beim Einschütten in einen weichen Brei zu verwandeln und ohne Höhlungen zu lassen. Hauptbedingung ist es aber, daß keine Holzstücke oder andre fremdartige Körper mit eingeworfen werden, oder vielleicht schon beim Bau des Fangedammes hineingebracht sind, denn neben diesen findet das Wasser immer einen leichten Durchgang. Bei den englischen Fange-

dämmen könnten die durchgezogenen Bolzen in dieser Beziehung auch als nachtheilig angesehen werden, doch haftet daran die Erde stärker, als an Holz, und ein Bolzen bietet wegen seiner geringen Dicke auch keine große Berührungsfläche. Alle diese Bolzen sind aber über dem niedrigen Wasser befindlich, und wo sie vorkommen, kann die Erdschüttung schon nachgerammt werden.

Gewöhnlich wird zäher Thon für das beste Material zur Füllung der Fangedämme gehalten, und wenn auch nicht bezweifelt werden kann, daß diese Bodenart, wenn sie in dünnen Schichten von unten auf eingebracht und angestampft werden könnte, die Wasserdichtigkeit am sichersten darstellen würde, so treten ihrer Anwendung unter Wasser doch große Schwierigkeiten entgegen. Man darf den Thon nicht in sehr nassem Zustande benutzen, weil er sonst beim Einschütten vollends erweicht, und alsdann eine dicke Flüssigkeit bildet, die selbst durch die Fugen hindurchdringt. Man wirft ihn daher klumpenweise, wie er gestochen wird, in den Fangedamm. Hierdurch verhindert man seine dichte Ablagerung, für die man auch nicht früher sorgen kann, als bis man mit der Schüttung über Wasser gekommen ist. Man bemüht sich, dieses möglichst schnell zu erreichen, um das starke Aufweichen zu verhindern, liegt der Thon aber schon mehrere Fuß hoch, so wirkt die Handramme, oder die Stampfe, die man benutzt, nicht mehr bis zur ganzen Tiefe, und so können leicht bedeutende Höhlungen sich unten gebildet haben, die nicht zu beseitigen sind, und deren Vorhandensein man auch nicht früher bemerkt, als bis man beim Wassers schöpfen starke Quellen durch den Fangedamm hindurchdringen sieht. Es zeigt sich hierbei aber auch noch der zweite Uebelstand, daß die Wasseradern, die sich zufällig in solchem Boden bilden, die feinen Thontheilchen, die sie berühren, aufnehmen und mit Leichtigkeit durch die engsten Fugen hindurchführen. Auf diese Art erweitern sich also die Adern immer mehr und die Zähigkeit des Thones ist Veranlassung, daß die obere Decke eines solchen Canales nicht einstürzt. Man darf sonach, wenn die Ausfüllung in tiefem Wasser geschehn muß, von der Anwendung eines recht steifen Thones keinen günstigen Erfolg erwarten, vielmehr bilden sich in demselben sogar noch stärkere Wasseradern, als in einer Sandschüttung. Schon Perronet erwähnt bei Gelegenheit des Baues der Brücke zu Neuilly, daß der fette Thon zum Füllen der Fangedämme sich nicht eigne, weil er zu viele Höhlun-

gen bildet, die man selbst in dem Falle nicht beseitigen kann, wenn man ihn auch unter Wasser zu stampfen versucht, wogegen gewöhnliche Ackererde sehr brauchbar sei.

Beim Sande, den man oft als ganz untauglich zum Füllen der Fangedämme ansieht, können die erwähnten Uebelstände nicht eintreten, und wenn dabei einiges Durchsickern auch nie zu vermeiden ist, so ist man doch vor sehr starken Quellen gesichert. Wenn aber die innere Holzwand, wogegen der Sand sich lehnt, so dicht ist, daß einzelne Sandkörnchen nicht hindurchdringen können, so lagern sie sich bei dem eintretenden Wasserdrucke und vermöge der geringen sich dabei bildenden Strömung noch um so fester gegen die Wand, und vermehren hierdurch den guten Schluß. Es soll später bei Gelegenheit der Schiffahrtscanäle erwähnt werden, wie vorthellhaft man sowohl in Frankreich als auch in England feinen Sand benutzt hat, um das Durchsickern des Wassers zu verhindern. Es fehlt auch nicht an Beispielen, welche zeigen, daß Fangedämme aus Sand das Wasser abzuhalten im Stande sind. So wurde beim Bau des Humber-Dock's in Hull, ein Fangedamm, der jedoch nur zur Zeit des Hochwassers in Wirksamkeit trat, zwischen den beiden dichten Pfahlwänden mit Ziegelmauerwerk gefüllt, wobei die Steine aber nicht in Mörtel, sondern nur in Sand versetzt waren. *)

In neuerer Zeit hat man mehrfach versucht, durch besondere Beimischungen die natürliche Erde, wie sie gerade in der Nähe zu haben ist, für die Füllung der Fangedämme geeigneter zu machen. So setzte man schon bei den Bauten am Canale St. Martin zu diesem Zwecke der sandigen Erde $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ ihres Volumens an Kalk zu und beim Bau der Brücke du Sault über die Rhone wurde der sehr strenge Boden mit $\frac{1}{6}$ Kalkbrei vermengt und stark durchgearbeitet, bevor man damit den Fangedamm füllte. Hughes äußert sich auch dahin, daß der strenge Thon ohne Beimischung bei tiefem Wasser nicht angewendet werden darf, indem er sich nicht dicht ablagert, man ihm vielmehr noch andere Stoffe zusetzen muß. Als eine sehr brauchbare Mischung zum Füllen der Fangedämme empfiehlt er drei Theile reinen Thon (*clay*), zwei Theile Kreide (*chalk*) und einen Theil Kies (*gravel*). Die beiden letzten Bestandtheile sollen bis zur Größe eines Hühner-Eies zerschlagen und durch sorg-

*) *Transactions of the Institution of Civil Engineers. I. p. 15.*

fältiges Umrühren vor dem Versenken mit dem Thon vermengt werden. Dabei wird noch bemerkt, daß es in England üblich sei, den Fangedamm in der Krone einen Fuß hoch in Ziegeln zu übermauern, Hughes meint jedoch, daß man eine eben so feste und noch dichtere und zugleich wohlfeilere Decke darstellen kann, wenn man eine Bétonlage von recht grobem Kiese aufbringt.

Endlich sind noch die Mittel zu bezeichnen, die man in Anwendung bringen kann, sobald man bemerkt, daß der Fangedamm seinen Zweck nicht erfüllt und große Wassermassen durchläßt. Indem er auf der innern Seite bequem zugänglich ist, so versucht man häufig hier die Fugen zu stopfen, durch welche man das Wasser austreten sieht, doch gelingt dieses fast niemals, denn wenn die Adern schon durch den ganzen Damm bis gegen die innere Seitenfläche gedrungen sind, so bilden sie sich, sobald ein Ausweg hier verstopft wird, sogleich einen andern in der Nähe. Wenn der Leck gedichtet werden soll, so kann dieses nur auf der äußern Seite oder im Innern des Dammes geschehn. Von außen verhindert indessen der Wasserstand einen solchen Versuch, und es bleibt nur übrig, Gegenstände zu versenken, die vielleicht durch die hindurchdringende Wasserader gefaßt und vor die Oeffnung geführt werden. Zu diesem Zwecke eignet sich besonders wasserdichte Leinwand, wie bereits erwähnt wurde, auch gelingt es zuweilen, davorgeschütteten Mist, mit Stroh vermengt, in die Oeffnung hereinzuziehn und selbige dadurch zu sperren. Das Verfahren, das aber in ähnlichen Fällen bei Canälen mit überraschendem Erfolge angewendet ist, läßt auch für die Dichtung der Fangedämme in manchen Fällen dieselbe Wirkung erwarten. Man schüttet nämlich feinen Sand in das Wasser vor die Stelle, wo man die Wasseradern vermuthet, die einzelnen Sandkörnchen sinken langsam zu Boden und folgen daher jeder Seitenbewegung des Wassers. Auf solche Art werden sie zum Theil auch in den Fangedamm hineingezogen und finden hier leicht ein Hinderniß, welches sie zurückhält. So kann es geschehn, daß ein Körnchen sich an das andere lagert, bis zuletzt die Ader gesperrt ist. Die geringe Mühe, womit ein solcher Versuch sich anstellen läßt, dürfte ihn rechtfertigen, wenn das Gelingen desselben auch weniger wahrscheinlich ist, als bei einem Canale, wo die Wasserader durch einen längeren Weg sich hindurchziehn muß und daher solche zufällige Hindernisse für die einzelnen Sandkörnchen eher

eintreten. Gewöhnlich bemüht man sich, eine undichte Stelle im Fangedamme dadurch zu verbessern, daß man die entstandene Höhlung im Innern zu beseitigen sucht. Man rammt die schadhafte Stelle fest an, und wenn dieses nichts hilft, so gräbt man die Erdschüttung so tief auf, als der Wasserstand es erlaubt und wendet alsdann wieder die Ramme an, oder man baggert auch die Erde aus und füllt die Stelle ganz neu. Hierbei muß man natürlich die Baugrube voll Wasser laufen lassen, denn wenn die Strömung während dieser Arbeit immer hindurchginge, so würde die Sperrung der Ader um so weniger zu erwarten sein.

Indem auf kiesigem oder sandigem Untergrunde das Wasser nicht nur von der Seite, sondern auch durch den Boden in die Baugrube dringt, so hat man zuweilen die ganze Sohle der letzteren zu überdecken versucht. Man nannte dieses einen Grund-Fangedamm. Ein solcher ist am sichersten durch eine Bétonschüttung darzustellen, doch wird hiervon erst später die Rede sein.

Beim Bau der Brücke zu Moulins über den Allier führte Régemortes eine Ueberdeckung mit Thon aus, die ihren Zweck auch genügend erfüllte. Das Flußbette bestand aus feinem Sande und die Bohrungen zeigten, daß dieser wenigstens auf 47 Fufs Tiefe herabreichte. Die Brücke, welche Hardouin Mansard daselbst im Jahre 1705 erbaut hatte, war wenige Jahre später bei einer Fluth eingestürzt und die Veranlassung dazu lag in den tiefen Auskolkungen, die sich neben den Brückenpfeilern bildeten, deren Wirkung man aber nicht durch eine tiefere Fundirung vorgebeugt hatte, weil kein Pfahl weiter als höchstens bis auf 15 Fufs eingerammt werden konnte. Régemortes stellte sich daher die Aufgabe, das ganze Flußbette unter der Brücke zu befestigen, und dadurch jede Auskolkung zu verhindern. Um dieses zu bewirken, war eine wasserfreie Baugrube nothwendig. Ob solche sich darstellen liefs, sollte ein Versuch neben dem Ufer des Flusses entscheiden. Es wurde eine Grube von 42 Fufs Länge und Breite ausgehoben, mit Pfahlreihen und Spundwänden eingefast und alsdann bis 6 Fufs unter den Sommerwasserstand ausgebaggert, darauf stellte man zwei Kettenpumpen ein, doch konnte man mittelst derselben das Wasser nur um 15 Zoll senken. Nunmehr wurde ein Fangedamm aus Erde rings herum angebracht, so daß die Grube nur noch 30 Fufs in der Seite maafs, dieselben Schöpfmaschinen senkten darauf das Wasser Anfangs 4 Fufs,

doch bald fing es wieder an zu steigen und liefs sich nicht tiefer als bis auf 18 Zoll unter das Wasser des Flusses senken. Das anfänglich tiefere Herabsinken schien von den Erdtheilchen herzurühren, die sich beim Schütten der Fangedämme gelöst hatten und auf die Sohle niedergefallen waren. Darauf wurde die Sohle 4 Zoll hoch mit Erde bedeckt und nunmehr gelang es, das Wasser sehr schnell bis auf 5 Fufs zu senken, doch hob es sich nach und nach und stieg während des Pumpens zuletzt wieder auf 18 Zoll unter das Niveau des Flusses.

Dieser Versuch entschied für das Project, den Boden mit Thon zu bedecken, aber zugleich durch eine andere Beschwerung zu verhindern, dafs der Thon nicht aufgespühlt werden konnte. Zuerst wurden fünf Reihen Spundpfähle eingerammt, nämlich zwei derselben oberhalb der Brücke und drei unterhalb. Sie erstreckten sich von einem Ufer bis zum andern, und die zweite und dritte Spundwand trafen auf die Ecken der Pfeilerköpfe. Alle vier Räume zwischen den Spundwänden sollten überdeckt werden. Man baggerte sie zuerst bis zu der erforderlichen Tiefe aus und da sich auf diese Art noch nicht ein so ebner Grund darstellte, als zur Aufbringung der Thondecke nöthig war, so wurde noch eine besondere Ausgleichung desselben durch Abstreifen vorgenommen. Eine hölzerne Schiene wurde nämlich an ein Fahrzeug befestigt und konnte so gerichtet werden, dafs ihr unterer Rand horizontal und in jede beliebige Tiefe zu stellen war. Sobald man das Fahrzeug durch Winden vorwärts bewegte, so strich die Schiene längs dem Boden und ebnete ihn.

Hierauf erfolgte die Versenkung des Thones. Ein Rahmen von 13 Fufs Breite und 60 Fufs Länge schwebte zwischen zwei Fahrzeugen. In denselben war eine grofse Anzahl prismatischer Stäbe eingesetzt, die oben in scharfe Kanten ausliefen, wie die schraffirten Durchschnitte in Fig. 238 auf Taf. XVIII zeigen. Sie liefen zwischen sich Oeffnungen von 8 Zoll Breite, welche durch Klappen geschlossen werden konnten. In *a* sieht man diese Klappen geschlossen, in *b* dagegen geöffnet. *B* ist in beiden Figuren ein Theil des Rahmens und *A* einer von den zehn Hebeln, welche mittelst der daran befestigten Leisten *C* die Klappen schlossen und in dieser Lage (wie in *a*) erhielten, während nahe trockner und in kleine Stücke zerschlagener Thon 1 Fufs hoch darüber geschüttet wurde.

Um denselben gleichmäßig über den Rahmen zu verbreiten, waren die 5 Hebel an jeder Seite auch über ihren Drehpunkten durch Leisten *E* unter sich verbunden. Letztere legten sich, sobald die Klappen geschlossen wurden, auf den Rahmen, und dienten als Lehren für das Lineal, womit man den Thon ebnete und abstrich. Wenn man nach diesen Vorbereitungen die vortretenden Hebelarme aufhob, so öffneten sich alle Klappen und die darauf lagernde Thonmasse stürzte sehr gleichmäßig auf die Sohle der Baugrube herab. Der Rahmen wurde alsdann um seine Breite verschoben, und sonach schloß sich die folgende Beschüttung unmittelbar an die erste an.

War diese Arbeit vollendet, so erfolgte die Ueberdeckung der Thonschicht mittelst Tafeln von 12 Fufs Länge und 12 Fufs Breite, die aus $\frac{3}{4}$ zölligen Dielen durch übergengelagerte Leisten zusammengesetzt waren. Alle Tafeln, welche neben den Spundwänden zu liegen kamen, wurden an der Seite, wo sie diese berührten, nach deren Form genau zugeschnitten. Eine Latte, welche unten mit einem Vorsprunge versehen war, womit sie die Spundwand berührte, wurde in senkrechter Stellung neben der Wand hingezogen. Dieselbe bezeichnete durch ihre Ausweichungen alle Unebenheiten der Wand, die in der daneben zu versenkenden Tafel gleichfalls dargestellt wurden. Das regelmäßige Versenken der Tafeln geschah, indem auf die Ecken jeder derselben eine Leitschiene aufgeschroben war, die bei der Versenkung der Tafel schon benutzt wurde, um letztere herabzulassen. An diese Leitschienen ließen sich aber auch die der benachbarten Tafeln befestigen, wodurch alle regelmäßig und dicht schließend versenkt wurden. Um jedoch einen noch bessern Schluß hervorzubringen, waren Streifen von Zwillich auf ihre Räder genagelt. Die Leitschienen wurden nicht früher ausgeschroben und entfernt, als bis die benachbarten Tafeln bereits am Boden lagen. Um das Aufschwimmen zu verhindern, hatte man dieselben aber schon beim Herablassen mit kleinen Steinen beschwert.

Nachdem auf solche Art der Boden gedichtet war, führte man erst die Fangedämme auf und setzte die Schöpfmaschinen in Bewegung, wobei das Wasser sich regelmäßig senkte und die Baugrube trocken wurde. Alle erwähnten Arbeiten waren in der Tiefe von 8 bis 9 Fufs unter Wasser ausgeführt. Auf die Tafeln, die nunmehr eine gleichmäßige und starke Beschwerung erhielten, wurden die Brückenpfeiler gestellt, außerdem aber auch der ganze Raum ober-

halb und unterhalb der Brücke, 6 Fufs hoch ausgemauert. Die äussern Spundwände erhielten Fachbäume, die mit der Oberfläche des Pflasters bündig waren, über die innern Spundwände wurde dagegen das Mauerwerk herübergeführt. Bei diesem ganzen Bau ereignete sich kein namhafter Unfall und die Brücke hat sich, soviel bekannt, gut gehalten. Zur Zeit des niedrigen Sommerwasserstandes beträgt die Wassertiefe über den Fachbäumen oder der Grundmauer 2 Fufs. Die Brücke hat 13 Bogen von 60 Fufs Spannung, während die Profilweite der früheren Brücke kaum die Hälfte maafs. *)

Beim Bau der Spühlschleuse in Dieppe, die in einem Caisson, also ganz ohne Wasserschöpfen erbaut wurde, wendete de Cessart gleichfalls eine Thonschüttung an, um die Bildung starker Wasseradern unter dem Schleusenboden zu verhindern. Die Maschine, die er zum Versenken des Thones benutzte, war der beschriebenen sehr ähnlich und unterschied sich von dieser nur dadurch, dafs die einzelnen Klappen sich unmittelbar berührten, woher die starken Gitterstäbe entbehrt werden konnten. Der Thon war vor dem Gebrauche getrocknet und pulverisirt. Zur Bedeckung desselben dienten Moosmatratzen, auf denen der Boden des Caissons, also der liegende Rost ruhte. Nichts desto weniger wurde durch diese Vorsichtsmaafsregeln das Durchströmen des Wassers nicht verhindert und die Schleuse stürzte nach wenig Jahren ein. Es war jedenfalls viel gewagt, dafs man durch einen Bau, der nur auf Kiesboden gestellt war und nirgend in denselben eingriff, den hohen Wasserstand der Fluth abhalten wollte, der zur Zeit der Springfluthen sich hier 30 Fufs erhebt.

§. 44.

Trockenlegung der Baugrube.

Die Beseitigung des Wassers aus tiefen Baugruben wird besonders schwierig, wenn der Boden porös ist und ein Fluß oder See sich in der Nähe befindet. Eben so wie ein unter gleichen Verhält-

*) Die ausführliche Beschreibung dieses Baues, erläutert durch sehr klare Zeichnungen, enthält das bereits citirte Werk von Régemortes: „Description du nouveau pont de pierre construit sur la rivière d'Allier à Moulins. 1771.“

nissen ausgeführter Brunnen nie versiegt, so sammelt sich das Wasser auch in dieser Baugrube, und jemehr man es durch Pumpen oder Schöpfen senkt, um so stärker fließt es hinzu, indem der Wasserdruck, unter welchem die Quellen eintreten, sich durch diese Senkung verstärkt. Die Schwierigkeiten, welche der Trockenlegung der Baugrube sich entgegenstellen, werden zuweilen so groß, daß man mit den vorhandenen Schöpfmaschinen nicht ausreicht, denn wie kräftig diese auch sein mögen, so setzt die Vermehrung des Zuflusses bei der zunehmenden Senkung des Wasserspiegels ihrer Wirksamkeit doch endlich eine Grenze, und so giebt es jedesmal eine gewisse Tiefe, bei der eben so viel Wasser zufließt, als die Maschine hebt, und alsdann ist eine fernere Senkung nicht mehr möglich. Dieser tiefe Wasserstand findet aber nur statt, wenn die Maschine in voller Wirksamkeit erhalten wird, sobald eine Unterbrechung eintritt, steigt das Wasser und die Maschine muß wieder einige Zeit hindurch gearbeitet haben, bevor die Senkung bis zur früheren Tiefe erfolgt. Sehr vortheilhaft ist es, wenn die erwähnte Grenze oder die Tiefe, bis zu welcher die Maschine das Wasser senken kann, weit unter der Sohle der Baugrube liegt. In diesem Falle darf das Pumpen auch nicht ununterbrochen fortgesetzt werden. Wenn dagegen jene Grenze in diejenige Höhe fällt, bis zu welcher die Senkung stattfinden muß, wenn der Rost gelegt oder der sonstige Grundbau vorgenommen werden soll, so darf die Maschine gar nicht zum Stillstande kommen. Man muß in solchem Falle schon einige Stunden vor dem Anfange der eigentlichen Arbeitszeit an jedem Morgen das Wasserschöpfen beginnen lassen, um den Zufluß, der während der Nacht nicht entfernt war, zu beseitigen. Für besonders tiefe und ausgedehnte Gruben, wie etwa zu Schleusen-Anlagen genügt aber auch dieses nicht, und man muß sogar, um Unterbrechungen der Arbeit zu vermeiden, die Schöpfmaschinen dauernd, also eben so wol in der Nacht, wie am Tage und nicht minder an Sonntagen, im Betriebe erhalten. Vortheilhaft ist es aber, wenn in solchem Falle auch die eigentlichen Fundirungsarbeiten ununterbrochen fortgesetzt werden, um den Bau möglichst bald soweit heraufzuführen, daß es des Pumpens nicht mehr bedarf.

Zuweilen sind die aufgestellten Maschinen gar nicht im Stande, das Wasser hinreichend tief zu senken. Man muß alsdann mit grossem Zeitverluste, der wieder mit Kosten verbunden ist, die Anzahl

oder die Wirksamkeit der Maschinen vergrößern, oder zu einer andern Fundirungsart übergehn, die eine minder tiefe Senkung des Wassers erfordert. Zuweilen ist man sogar gezwungen, die Baustelle ganz zu verlassen, und dafür eine andere, weniger quellreiche aufzusuchen. Wie störend und kostspielig solche Unterbrechungen sind, besonders wenn sie unerwartet eintreten, bedarf keiner nähern Auseinandersetzung, es muß jedoch noch darauf hingewiesen werden, daß durch die Aufstellung einer recht kräftigen Maschine, wodurch die Baugrube wirklich trocken gelegt wird, sich keineswegs alle Schwierigkeiten beseitigen, indem eben die starke Strömung, welche sich durch den Baugrund hindurchzieht, denselben so auflockern kann, daß er die nöthige Festigkeit verliert.

Die Vorsichtsmaafsregeln zur Vermeidung solcher Unannehmlichkeiten beziehn sich zunächst darauf, daß man sich bemüht, den Wasserzudrang möglichst zu schwächen. Dieses geschieht, indem man für die Baustelle den passendsten Platz aussucht, oder sie dahin verlegt, wo der Boden mehr thonig als sandig und kiesig ist, und wo der Fluß sich etwas weiter entfernt. In vielen Fällen ist indessen keine Wahl gestattet, doch jedenfalls ist es bei allen wichtigeren Bauten nothwendig, daß man durch Bohrungen sich schon vorher von der Beschaffenheit des Grundes überzeugt, um die Stärke des Wasserzudranges einigermaßen beurtheilen zu können.

Zuweilen gelingt es auch, starke Quellen, welche sich in die Baugrube ergießen, durch Aufschüttungen oder durch Abrammen u. dergl. zu schliessen. Als im Jahre 1813 das Dock bei Antwerpen gebaut wurde, traten so große Wassermassen in die Baugrube, daß die kräftigen Maschinen, die man aufgestellt hatte, die erforderliche Senkung nicht bewirken konnten. Man bemerkte aber, daß das eindringende Wasser viel Erde mit sich führte, und bald gab sich die Richtung des Zuflusses durch das Einsinken des Bodens in einiger Entfernung zu erkennen. Man ersah hieraus, daß der Quell aus einem Festungsgraben gespeist wurde, und bei näherer Untersuchung desselben fand man, daß eine ansehnliche Vertiefung sich darin gebildet hatte. Indem man diese durch eingeschüttete Erde ausfüllte und überhöhte, hörte der starke Wasserzudrang auf. *)

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1856. II. p. 321.

Der Wasserzudrang hängt von der Höhe des Wasserstandes in den Flüssen oder anderer in der Nähe befindlichen Wasserbecken ab, und da dieser nach der Jahreszeit veränderlich ist, so liegt ein großer Vortheil darin, wenn diejenigen Arbeiten, wobei die tiefste Senkung erforderlich ist, in solche Zeit fallen, wo die Flüsse das wenigste Wasser führen und überhaupt die größte Dürre stattfindet. Dieses pflegt in den Monaten September und Anfang October der Fall zu sein. Sodann findet sich zuweilen auch Gelegenheit, die unterirdischen Quellen, welche eine Baugrube füllen, schon ehe sie diese erreichen, aufzufangen und anderweit abzuleiten. Zu diesem Zwecke hat man die Anlage von Artesischen Brunnen in einiger Entfernung oberhalb der Baugrube empfohlen, wovon indessen nur selten einiger Nutzen zu erwarten ist. Solche Brunnen müssen überfließen, wenn sie etwas helfen sollen, und man muß sich bemühen, ihre Ergiebigkeit durch Eröffnung recht tiefer Abflüsse möglichst zu vergrößern, denn jemehr Wasser man ihnen entzieht, um so weniger können dieselben Quellen die Baugrube füllen.

Die Trockenlegung der Baustelle läßt sich ferner, wenn auch die Zuflüsse nicht weiter zu vermindern sind, noch dadurch wesentlich erleichtern, daß man durch Eröffnung tiefer Abzugsgräben den natürlichen Abfluß möglichst fördert. Man wird zwar nur selten in dieser Art von der Sohle der Baugrube das Wasser ableiten können, aber sehr häufig treten starke Quellen in größerer Höhe ein, und durch Beseitigung derselben werden die Schöpfmaschinen schon ansehnlich entlastet. Man muß überhaupt sehr aufmerksam sein, daß die Hubhöhe nicht größer wird, als sie nach den localen Verhältnissen sein muß. Der Effect der Schöpfmaschine ist das Product aus der Wassermenge, die etwa in einer Minute gehoben wird, in die Hubhöhe. Gelingt es, die letztere auf die Hälfte zu reduciren, so kann im Allgemeinen dieselbe Maschine oder dieselbe Anzahl von Arbeitern doppelt soviel Wasser fördern. Dieser Umstand wird häufig ganz übersehn. Man hebt das Wasser so hoch, wie die vorräthigen Pumpen sind, und gießt es nicht selten wohl 6 Fufs über dem Fangedamm aus, während es doch nur so eben über das Niveau des äußern Wassers gehoben zu werden brauchte.

Die Krone des Fangedammes tritt unter gewöhnlichen Verhältnissen einige Fufs hoch über das äußere Wasser, man mag

indessen dieselbe nicht einschneiden, um den Damm keiner Gefahr auszusetzen. Diese Vorsicht ist jedoch meist nicht gerechtfertigt, denn indem der Einschnitt über Wasser geschieht, so kann man ihn immer schnell und sicher, sobald es nöthig sein sollte, wieder schliessen, und eine undichte Stelle im Fangedamme, wenn sie in der Nähe seiner Krone vorkommt, ist jedenfalls wenig bedenklich. Hiernach rechtfertigt sich das Verfahren, welches man hin und wieder anwendet, daß man nämlich die Füllungserde des Dammes vor den Pumpen bis gegen den Wasserspiegel ausgräbt, die beiden Holzwände in dieser Höhe etwa einen Fuß breit durchschneidet und eine Rinne einlegt. Sobald das Wasser wieder steigt, so schiebt man, nachdem die Rinne herausgezogen ist, Brettstücke auf der innern Seite vor die Einschnitte beider Wände und bringt in dünnen Lagen wieder bis zur passenden Höhe den Thon auf, den man fest stampft. Indem das Steigen des Wassers gemeinhin nicht unerwartet erfolgt und eine wichtige Baustelle doch nie ohne Aufsicht bleiben kann, so findet hierbei keine Gefahr statt.

Andrerseits hat man zuweilen gleich beim Bau des Fangedammes hölzerne Rinnen durch denselben hindurchgezogen. Dieses Mittel wandte schon Perronet beim Bau der Brücke zu Neuilly an, und es kommt gewöhnlich auch bei denjenigen Fangedämmen vor, welche nur den Wasserstand der Ebbe abhalten sollen, da es Gelegenheit giebt, das Fluthwasser aus der Baugrube abzuführen. Die Rinne selbst läßt sich leicht wasserdicht darstellen, aber es ist schwer, ihre Verbindung mit der Füllungserde genügend zu sichern. Besonders muß man aber befürchten, daß unter ihrem Boden sich Quellen hindurchziehn, indem eines Theils die Erde sich hier nicht fest dagegen stampfen läßt und andern Theils auch leicht später ein Setzen der Erde eintreten kann, an welchem die Rinne nicht Theil nimmt.

Eine andre Methode zur Vermeidung der überflüssigen Hubhöhe beruht darauf, daß man das gehobene Wasser in Hebern über den Fangedamm fließen läßt. Dieses Verfahren, welches vor geraumer Zeit in Metz angewendet wurde*), scheint sich vorzugsweise zu empfehlen, man muß dazu aber im Innern der Baugrube einen großen Kübel einrichten, der das Wasser zunächst aufnimmt und

*) Sganzin, *programme*. I. 4. édition. p. 308.

dessen Umfassungswände sich bis zum höchsten äufsern Wasserstande erheben. Wenn der Heber aus gusseisernen Röhren besteht, so wird er seinen Dienst sehr regelmäfsig und sicher erfüllen, doch muß er an seinem obern Ende mit einer Füllröhre und hier sowohl, als an beiden Mündungen mit Hähnen oder Klappen versehen sein, die sich leicht öffnen und schliessen lassen, weil man ihn sonst nicht in Wirksamkeit setzen kann. Sein Querschnitt darf auch nicht zu enge sein, muß vielmehr der durchzuführenden Wassermenge entsprechend gewählt werden, weil er sonst eine gröfsere Druckhöhe zum Abführen des Wassers gebraucht. Man hat zuweilen auch die Pumpen mit Hebern verbunden, oder ihnen eine solche Einrichtung gegeben, dafs sich die Hubhöhe nach dem jedesmaligen äufsern Wasserstande von selbst regulirt: hiervon wird bei Beschreibung der Schöpfmaschinen die Rede sein.

Demnächst läfst sich auch der Wasserspiegel in dem Abzugsgraben zuweilen durch eine angemessene Leitung desselben senken und dadurch wieder die Hubhöhe der Schöpfmaschinen vermindern. So gelang es Régemortes, den Wasserspiegel in der Baugrube um 19 Zoll zu senken, indem er einen Canal am Ufer des Allier-Flusses etwa 200 Ruthen stromabwärts zog, bei mehreren Schleusen am Bromberger Canale war es sogar möglich, die Baugrube ohne Schöpfmaschinen trocken zu legen, indem man jedesmal das Gefälle der nächstfolgenden Schleuse benutzte und bis zu ihrem Unterwasser oder bis zur zweiten Canalstrecke den Abzugsgraben herabführte.

Bei der Unsicherheit, die jedesmal ohnerachtet aller vorhergehenden Untersuchungen über die Stärke des Zuflusses statt zu finden pflegt, empfiehlt es sich, die Anordnungen so zu treffen, dafs man nöthigenfalls mit den beigeschafften Maschinen auch eine gröfsere Wassermenge zu heben im Stande ist, als man erwartet. Wenn hierdurch auch vielleicht und namentlich bei Anwendung von Dampfmaschinen nicht das Maximum des Nutzeffectes gewonnen wird, so erreicht man doch den grofsen Vortheil, dafs man bei einem unerwartet starken Zuflusse nicht den Bau unterbrechen darf. Eine solche Unterbrechung ist aber besonders nachtheilig, wenn der zur Fundirung günstige Wasserstand des Flusses nur kurze Zeit hindurch anhält, und sonach eine Störung der Arbeit in dieser Periode vielleicht die Beendigung des Baues um ein ganzes Jahr verzögert.

Das Schöpfen des Wassers geschieht nicht in der Sohle der Baugrube selbst, weil man diese alsdann nicht wasserfrei machen könnte, auch ist es bei allen Schöpfmaschinen und namentlich bei Pumpen vortheilhaft, das Wasser nicht unmittelbar über dem Boden zu entnehmen, woselbst es gar zu unrein ist; in einer größeren Höhe darüber ist es frei von den größten erdigen Theilchen. Aus diesem Grunde pflegt man in der Baugrube selbst noch eine besondere Vertiefung oder den sogenannten Sumpf zu bilden. Bei Einrichtung desselben muß man aber sehr vorsichtig sein, daß hierdurch nicht etwa dem Wasser ein leichter Zutritt eröffnet wird. Dieses wäre zu befürchten, sobald in geringer Tiefe unter der Sohle der Baugrube sich besonders poröse Schichten vorfinden. In solchen Fällen kann es nöthig werden, den Sumpf in seiner Sohle zu bedecken und ihn in den Seitenwänden wie einen Brunnen einzufassen, damit er möglichst wasserdicht wird und sich nur von oben durch die Zuflüsse aus der Baugrube füllt.

Zuweilen kann man in einer Baugrube, wenn die Schöpfmaschinen im Gange sind, deutlich bemerken, daß an einzelnen Stellen starke Quellen hervortreten, und man versucht alsdann, diese zu stopfen, doch ist im Allgemeinen der Erfolg davon wenig befriedigend. Es kommt hierbei vorzugsweise auf die Beschaffenheit des Grundes an; wenn derselbe sandig oder kiesig ist, so wird durch die Schließung derjenigen Oeffnung, durch welche das Wasser hervorquoll, der vermehrte Druck im Innern sogleich zur Entstehung eines neuen Ausflusses Veranlassung geben. Bei einem mehr thonhaltigen Boden, worin sich vielleicht eine geschlossene Wasserader gebildet hat, kann dagegen eine dichte Sperrung, die man in der Mündung anbringt, den Quell vollständig verschließen. Um diese Sperrung zu bewirken, ist das einfachste und gewöhnlichste Mittel dieses, daß man einen Pfahl hineinrammt; man hat auch hin und wieder recht trockne Thonmassen hineinzustopfen versucht, die im Wasser quellen und sonach die Ader schliessen, auch ist Béton zu diesem Zwecke benutzt worden, doch lassen die beiden letzten Mittel nur in dem Falle einigen Erfolg erwarten, wenn man vor ihrer Anwendung die Schöpfmaschinen außer Thätigkeit gesetzt hat, damit die Strömung für einige Zeit unterbrochen bleibt. Wenn dieses nicht geschehn ist, so dürfte der Thon oder der Béton sich gar nicht hineinbringen lassen, oder doch wenigstens nicht die

gehörige Füllung der Oeffnung bewirken, indem das durchfließende Wasser ihn zu stark angreift und die gelösten Theilchen her austreibt.

Zuweilen hat man solche Quellen in besondere Fangedämme, oder auch wohl in Fässer oder Röhren eingeschlossen. Dieses Mittel ist gewiß passend, wenn der Zusammenhang der Quellen mit der übrigen Baugrube sich ganz aufheben läßt und das Wasser in der Röhre wirklich zur vollen Druckhöhe ansteigt, wodurch der fernere Zufluß des Quells unterbrochen wird. In dieser Art wurden beim Bau der Brücke zu Orleans mehrere Quellen eingefasst. Jedenfalls muß alsdann der Baugrund hinreichend fest sein, damit das Wasser unter dem stärkeren Drucke sich nicht daneben einen neuen Ausweg eröffnen kann. Ist dieses nicht der Fall, so läßt man das Wasser in der Röhre bis über den äußern Wasserspiegel ansteigen und leitet es in diesen ab, erhebt es sich aber nicht so hoch, so hat man nur für die gehörige Dichtung der Röhre zu sorgen, damit keine Ausströmung in die Baugrube erfolgt. In beiden Fällen behindert diese Röhre nicht die Ausführung des Fundamentes, wenn sie neben demselben sich befindet, tritt sie aber in dieses hinein, so muß sie durch Mauerwerk umschlossen und nach Erhärtung des letzteren durch Béton gesperrt werden, wie später mitgetheilt werden wird.

Das sicherste Mittel zum Stopfen der aus dem Grunde hervorbrechenden Quellen bietet der Béton dar, besonders wenn er über die ganze Sohle als Grundfangedamm ausgebreitet wird. Hauptbedingung ist hierbei aber, daß man der Bétonlage hinreichende Zeit zum Erhärten läßt, bevor sie dem Wasserdrucke ausgesetzt wird, denn so lange sie noch weich ist, findet das Wasser leicht Gelegenheit hindurchzudringen und spült alsdann die Kalktheilchen heraus, so daß der Béton an einzelnen Stellen alle Festigkeit verliert und über denselben die Quellen sich wieder zeigen.

§. 45.

Schöpfmaschinen.

Wenn bei ausgedehnten Fundirungs-Arbeiten oder sonstigen Bauanlagen große Wassermassen längere Zeit hindurch gewältigt wer-

den sollen, so wird man unbedingt wohlthun, aus bewährten Maschinenbau-Anstalten die Pumpen oder andere Apparate nebst den zugehörigen Dampfmaschinen zu beziehen, auf kleineren und abgelegenen Baustellen ist der Baumeister dagegen oft gezwungen, die Schöpfmaschinen selbst zusammenzustellen, oder doch ihre Ausführung speciell zu leiten, woher es nöthig scheint, einige Andeutungen über die Einrichtung und den Betrieb solcher einfacheren Maschinen mitzutheilen. Zunächst mag von den zu benutzenden Betriebskräften die Rede sein.

Die Schöpfmaschinen, deren man sich zur Trockenlegung der Baugruben bedient, werden häufig durch Menschen in Bewegung gesetzt, und namentlich findet dieses statt, wenn sie nicht lange Zeit hindurch in Thätigkeit erhalten werden dürfen, oder wenn die Wassermenge, die sie fördern sollen, ziemlich unbedeutend ist. Die Menschenkraft hat vor allen übrigen Betriebskräften den Vorzug, dafs sie sich viel unmittelbarer zur Darstellung der beabsichtigten Wirkungen benutzen läfst. Wenn z. B. eine Pumpe in Bewegung zu setzen ist, so darf man dieselbe nur mit einem Schwengel versehen, um sie durch Menschen treiben zu lassen, und selbst der Schwengel fehlt bei den Schiffspumpen, die mittelst einer Handhabe an der Kolbenstange bewegt werden. Will man dagegen die Pferdekraft zum Betriebe der Pumpe benutzen, so mufs man einen Göpel in der Nähe einrichten und die horizontale und rotirende Bewegung desselben durch eine mechanische Vorrichtung in die verticale auf- und abwärts gerichtete verändern. Noch complicirter und kostbarer wird die Einrichtung, wenn man die Wasserkraft oder eine Dampfmaschine benutzt. Die Betriebskosten pflegen in beiden Fällen sich zwar niedriger zu stellen, als bei Anwendung der Menschenkraft, aber die Aufstellung der Maschine ist so theuer, dafs dieselbe lange Zeit hindurch im Gange erhalten werden mufs, um die Anlagekosten zu decken. Hieraus ergibt sich, dafs die Wahl der Maschine durch die wahrscheinliche Dauer ihres Gebrauches bedingt wird, indem es darauf ankommt, dafs die Summe der Kostenbeträge für Einrichtung und Betrieb möglichst geringe ausfällt.

Demnächst kommt es bei der Wahl der Schöpfmaschinen für den in Rede stehenden Zweck auch sehr darauf an, dafs sie nicht viel Raum einnehmen, denn gemeinlich ist die Ausdehnung des Platzes,

wo sie aufgestellt werden sollen, sehr beschränkt. Die gewöhnliche Pumpe ist in dieser Beziehung besonders vortheilhaft, doch auch andere Maschinen und namentlich diejenigen, durch welche das Wasser senkrecht gehoben wird, bieten ähnliche Vortheile. Man darf hierbei aber nicht allein die eigentlichen Schöpfapparate berücksichtigen, denn auch die Nebentheile und namentlich diejenigen mechanischen Vorrichtungen, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen in der Nähe der Baugrube aufgestellt werden. Wollte man sie davon weit entfernen, so würde das Gestänge, oder die sonstigen Zwischenglieder, welche zur Uebertragung der Kraft dienen, einen Theil derselben consumiren und sie dadurch schwächen. Aus diesen Gründen muß man häufig auf die Benutzung der Pferdekraft Verzicht leisten, welche sich im Uebrigen hierzu sehr wohl eignet, weil sie an sich wohlfeiler als Menschenkraft, auch leicht zu beschaffen ist, und im Vergleiche zur Dampfkraft nur einfache Einrichtungen fordert.

Ferner muß die Schöpfmaschine, welche man wählt, das Wasser nach Umständen in verschiedene Höhe heben, wie bereits angedeutet ist. Bei den Pumpen läßt sich dieses leicht erreichen, indem man den Ausgufs beliebig hoch anbringen kann, ohne eine sonstige Aenderung vorzunehmen, und es kommt nur darauf an, daß der Kolben beständig unter der Seitenöffnung bleibt. Sobald man aber beim Steigen des äußern Wassers gezwungen ist, den Ausgufs zu erhöhen und die frühere Oeffnung zu schliessen, so ist es ohne Nachtheil, wenn dieser Schluß auch einige Unebenheiten im Innern der Pumpe darstellt.

Das Wasser, welches man heben muß, ist gemeinhin nicht ganz rein und führt oft erdige Theilchen und selbst Sand, auch wohl andre Körper, wie Holzspähne u. dergl. mit sich. Hierdurch wird der dichte Schluß der Kolben leicht beeinträchtigt und selbst die Ventile bleiben geöffnet, sobald fremde Körper hineinkommen. Man vermeidet solche Uebelstände zum Theil dadurch, daß man das Wasser nahe an der Oberfläche eines tiefen Sumpfes schöpft und es durch Körbe oder durch Kasten, die siebartig mit feinen Löchern versehen sind, hindurchtreten läßt. Die Pumpen sind in dieser Beziehung am meisten der Beschädigung unterworfen und es zeigen sich daher andre Schöpfmaschinen, bei denen Ventile

oder Kolben nicht vorkommen, beim Heben des trüben Wassers dauerhafter, auch sind Reinigungen oder Reparaturen bei ihnen seltener erforderlich.

Allen Schöpfmaschinen, sowie überhaupt allen Maschinen, muß man diejenige Geschwindigkeit geben, welche ihre Leistung vergleichungsweise zu der darauf verwendeten Kraft zu einem Maximum macht. Wollte man z. B. das geneigte Schaufelwerk sehr langsam bewegen, so würde durch den freien Spielraum, der dabei nothwendig ist, der größte Theil des Wassers, nachdem es etwas gehoben worden, wieder zurückfließen und der Effect der Maschine sich sehr vermindern. In noch höherem Grade findet dieses bei dem Wurfrade statt, welches freilich nicht zum Ausschöpfen von Baugruben benutzt wird. Letzteres leistet, wie die Erfahrung lehrt, gar nichts, sobald die Windmühle, die es gewöhnlich treibt, von einem schwachen Winde nur langsam bewegt wird. Andere Maschinen dagegen bedürfen einer gewissen Zeit, um das Wasser aufzunehmen, welches nur vermöge der Schwere in sie hineinfließt. Diese zeigen einen unverhältnißmäßig geringen Effect, wenn man sie sehr schnell bewegt, wie z. B. die Kastenkünste, die Schöpfräder u. dergl. Man muß also jedesmal für die passende Geschwindigkeit der Schöpfmaschine sorgen, doch läßt sich diese Geschwindigkeit nicht willkürlich dadurch reguliren, daß man etwa die Kurbel sehr schnell oder sehr langsam drehn oder den Kolben einer Dampfmaschine beliebig schnell spielen läßt, denn diese Theile der Maschine, welche die Betriebskraft unmittelbar aufnehmen, müssen gleichfalls mit der für sie angemessenen Geschwindigkeit sich bewegen, wenn der Effect ein Maximum werden soll. Sonach bleibt nur übrig, durch die Zwischenglieder in der Maschine, welche die Bewegung übertragen, das bestimmte Verhältniß der Geschwindigkeiten darzustellen, man thut aber wohl, wenn man die Kräfte gleich so wählt, daß keine zu große Veränderung der Geschwindigkeit erforderlich wird.

Die Thatsache, daß die Betriebskraft nur bei einer gewissen Geschwindigkeit ein Maximum ist, wird häufig nicht genug beachtet, und dieses vielleicht aus dem Grunde, weil man die Größe oder das Moment der Betriebskräfte, d. h. die Producte aus dem Drucke oder Zuge in die Geschwindigkeit durch constante Zahlen auszudrücken gewohnt ist. Wenn man z. B. das Moment

der Pferdekraft gleich 500 setzt, oder annimmt, daß der Zug oder das senkrecht gehobene Gewicht multiplicirt in die Höhe, zu der es in der Secunde ansteigt (wobei die erste GröÙe in alten Pfunden und die letzte in Fussen ausgedrückt ist), die Zahl 500 giebt, so wird man leicht verleitet zu glauben, daß dieses Product für alle Geschwindigkeiten sich immer gleich bleibt und daß sonach der Zug immer umgekehrt der Geschwindigkeit proportional ist. Dieses ist indessen keineswegs der Fall, jene Zahl bezeichnet vielmehr das Maximum des Productes, das nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit eintritt. Wahrscheinlich bleibt aber die Leistung des Pferdes, wenn man die dauernde und regelmäÙige Thätigkeit betrachtet, noch unter der angegebenen GröÙe, sowie überhaupt bei der Schätzung der organischen Kräfte dieselben gewöhnlich zu hoch angenommen werden, wie schon bei Gelegenheit der Rammarbeiten bemerkt wurde.

Bei Anwendung der organischen Kräfte zur Bewegung von Maschinen kommt es demnächst auch sehr darauf an, die Menschen oder Thiere auf solche Art anzustellen, wie es ihrer Natur und ihrem Körperbau am meisten zusagt. Die Aufgabe besteht immer darin, aus der ganzen Tagesthätigkeit den gröÙsten Effect zu ziehn. Jede übermäÙige Anstrengung, die bald Ermüdung und Abspannung verursacht, muß vermieden werden, und man muß besonders diejenigen Theile des Körpers zur Aeufserung der Kraft benutzen, welche die stärksten sind und die kräftigsten Muskeln enthalten. Der Natur des Pferdes entspricht mehr der horizontale Zug, als das Steigen, das Pferd giebt also einen gröÙeren Effect, wenn es in den Göpel gespannt wird, als wenn es im Laufrade oder auf der Tretscheibe geht, aber auch im Göpel muß es an einen langen Zugbaum gespannt werden, weil es sonst zu leicht ermüdet, indem sehr kurze Wendungen einen Theil seiner Kraft consumiren.

Noch vorsichtiger muß man bei Anwendung der Menschenkraft sein. Die große Verschiedenheit der Momente derselben, jenachdem die Arbeiter zur Bewegung einer Kurbel, eines Laufrades oder auf andre Art benutzt werden, ist so augenscheinlich, daß sie schon lange bemerkt worden ist, und man hat in der Maschinenlehre für jede dieser Anwendungen die GröÙe des Momentes zu bestimmen gesucht. Dabei wird indessen gemeinhin die Ursache

dieser Verschiedenheit nicht richtig aufgefaßt, indem man sagt, daß ein Mensch entweder durch seine Kraft, oder sein Gewicht wirkt und im letzten Falle seine Leistung größer ist, als im ersten. Daß der Mensch als todte Last oder als bloßes Gewicht eine Maschine in Bewegung setzt, kommt selten vor, und wo es geschieht, da muß der Mensch selbst wieder die Kraft entwickeln, um sein Gewicht zu heben. Bei unbelastetem Steigen, oder indem man nur sein eigenes Gewicht hebt, ist der mechanische Effect größer, als bei jeder andern Kraftäußerung.

Die Anstrengung der Muskeln in den Schenkeln und im Unterleibe tritt aber auch in vielen andern Fällen ein, wo kein eigentliches Steigen stattfindet, so z. B. beim Drehn der Erdwinde, wobei man gleichfalls einen sehr großen Effect erreicht, auch beim Rudern erklärt sich hierdurch allein die sehr große Kraftäußerung, welche besonders durch ihre lange Dauer überrascht. Beim gewöhnlichen Pumpen, sowie beim Rammen ist gleichfalls die Kraft der Schenkel von großem Einfluß, indem der Körper zur Hervorbringung eines starken abwärts gerichteten Zuges gesenkt und durch die Füße immer von Neuem gehoben wird. Bei der Kurbel endlich treten nach dem jedesmaligen Stande derselben sehr verschiedenartige Kraftäußerungen ein, bald hebt man sie, bald wird sie gesenkt, bald horizontal angezogen und bald abgestoßen, der ganze Körper ist bei ihrer Drehung in fortwährender Bewegung, aber der Effect ist in den verschiedenen Perioden so verschieden, daß eine Ausgleichung der Kraft hierbei besonders nöthig wird. Man stellt eine solche dar, indem man ein Schwungrad anbringt, oder die Achse mit zwei Kurbeln versieht, die am vortheilhaftesten unter dem Winkel von 135 Graden gegen einander verstellt sind.

Das Angeführte wird genügen, um die verschiedenen Betriebskräfte und die Art ihrer Anwendung zur Bewegung der Schöpfmaschinen zu beurtheilen. Was die Zwischentheile der Maschine betrifft, welche die Kraft übertragen, so wäre hier nur darauf aufmerksam zu machen, daß man nicht nur eine starke Reibung, sondern auch alles Biegen und Schlottern darin vermeiden muß, denn jeder heftige Stoß veranlaßt Kraftverlust und schwächt die Wirkung der Maschine. Ebenso hat das Schwanken und das Verziehn einzelner Theile nicht nur eine Abnutzung derselben zur Folge, sondern auch

hierauf wird ein Theil der Betriebskraft verwendet, also der beabsichtigte Nutzeffect dadurch geschwächt.

In der nachstehenden Beschreibung derjenigen Apparate, wodurch das Wasser gehoben wird, also der eigentlichen Schöpfmaschinen, soll zunächst von denjenigen die Rede sein, welche einen heftigen Stofs dem Wasser ertheilen und es dadurch zu der erforderlichen Höhe heraufwerfen, sodann von denen, welche es in Eimern oder Kasten schöpfen und heben, ferner von solchen, wobei das Wasser in gewisse bewegliche Canäle eingeführt wird, deren Neigung man verändert und dadurch das Wasser zwingt, eine andere Stelle einzunehmen und nach dem höher gelegenen Ausgusse hinzuffliessen. Endlich aber können diese Canäle oder Rinnen auch fest sein und ihre Lage unverändert beibehalten, während Kolben sich in ihnen bewegen, die das Wasser mit sich führen. Dabei treten noch die beiden Modificationen ein, daß entweder die Kolben sich ununterbrochen in derselben Richtung hinziehn, oder nur auf eine gewisse Höhe sich heben und alsdann sich wieder senken. Im letzten Falle wird dem Wasser nur durch einzelne Stöße die Bewegung ertheilt.

A. Unter den Maschinen, welche durch einen heftigen Stofs das Wasser in Bewegung setzen und es aufwerfen, sind die einfachsten die Schaufeln. Man unterscheidet aber die Wurf-schaukel von der Schwungschaukel, indem man unter der ersten Benennung solche versteht, die ohne weitere Befestigung nur aus freier Hand geführt werden, und unter der letzten diejenigen, welche an einem Bocke hängen. Die ersten kommen auf Baustellen wohl nie vor, weil ihre Benutzung nicht nur sehr anstrengend ist, sondern auch große Uebung erfordert. Die Schwungschaukeln finden häufige Anwendung bei Wasserbauten, doch seltener beim Trockenlegen der Baustellen, als beim künstlichen Ausschöpfen kleiner eingedeichter Niederungen. Fig. 239 zeigt ihre gewöhnliche Zusammensetzung, sie besteht aus fünf Brettstücken, ihre Länge beträgt 18 Zoll bis 2 Fuß und ihre Höhe und Breite 9 bis 12 Zoll. Sie ist mit einem langen Stiele versehen und hängt überdies an einem aus Stangen leicht zusammengesetzten dreibeinigen Bocke, letzterer ist etwa 8 Fuß hoch. Ein Arbeiter stößt die Stange mit Heftigkeit in solcher Neigung fort, daß der zugeschärfte Boden der Schaufel etwa einen Zoll tief eintaucht. Beim weitem Fortgehn hebt sich der Kasten

und giebt dadurch dem Wasser diejenige Richtung, daß es nach der etwa 6 Fufs entfernten, breiten Rinne fließt, welche es über den Damm nach dem äußern höhern Wasser führt. Daß die Leistung dieser einfachen Maschine nicht ganz unbedeutend sein kann, muß man daraus abnehmen, daß sie häufig angewendet wird. Die Höhe, zu der das Wasser dabei gehoben wird, beträgt selten mehr als 3 Fufs, und nicht leicht wird ein Arbeiter während eines Schwunges, der etwa 4 Secunden dauert, einen halben Cubikfuß Wasser schöpfen. Zuweilen stellt man an eine Schaufel auch zwei und noch häufiger drei Arbeiter an, von denen der eine den Stiel führt und die andern beiden mittelst Leinen der Schaufel den starken Schwung ertheilen.

Häufig hat man der Schaufel eine feste Aufstellung gegeben, wodurch ihr Gebrauch sicherer wird. Eine Einrichtung dieser Art, welche bei den Schleusenbauten an der Ems angewendet und sehr gerühmt wurde, zeigt Fig. 240. Die eigentliche Schaufel, welche in Fig. 241 *a* und *b* in der Ansicht von vorn und im Durchschnitte dargestellt ist, besteht aus einem eisernen Rahmen von etwa 2 Fufs Höhe und $1\frac{1}{2}$ Fufs Breite, der mit drei hölzernen Klappen geschlossen wird. Letztere drehn sich um horizontale Achsen und überdecken sich, wenn sie geschlossen sind. Sobald der Rahmen in derjenigen Richtung bewegt wird, wohin das Wasser fortgestoßen werden soll, so schliessen sich die Klappen und sperren die Rinne, worin die Schaufel schwingt, sobald aber die entgegengesetzte Richtung eintritt, so öffnen sie sich und durchschneiden auf diese Art ziemlich leicht das Wasser, welches die Rinne wieder anfüllt. Die Hubhöhe beträgt 3 bis 4 Fufs, und wenn das Wasser recht hoch in der Baugrube oder in der Rinne steht, so werden bei jedem Stofse bis 7 Cubikfuß ausgeworfen. In der Minute erfolgen 10 bis 12 Stöße und die Maschine wird durch 4 bis 6 Arbeiter bewegt, die an den Zugleinen bei *A* in ähnlicher Art wie an einer Ramme wirken, während ein Arbeiter noch die Leine *B* führt, um die Schaufel schneller zurückzutreiben. Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß der Rahmen sich frei in der Rinne bewegt und ein Spielraum von etwa 1 Zoll ringsum offen ist.

Zu den Maschinen dieser Art gehört endlich noch das Wurfrad, welches jedoch fast nie zur Trockenlegung der Baugruben benutzt wird, wogegen man es bei Entwässerung eingedeichter Nie-

derungen häufig anwendet. Seine Beschreibung findet daher ihre passendste Stelle im zweiten Theile dieses Handbuchs. Régemortes hatte es indessen auch zum ersten Zwecke gebraucht und zwar aus dem eigenthümlichen Grunde, weil er auf dem bereits versenkten Dielenboden, der den Grundfangedamm überdeckte, keine vertiefte Grube oder keinen Sumpf darstellen konnte, und alle sonstigen Schöpfmaschinen einen so hohen Wasserstand zurückliessen, dass die Maurerarbeit nicht bequem und sicher auszuführen war.

B. Schöpfen und Heben des Wassers in Eimern oder Kasten:

Der unmittelbare Gebrauch der Handeimer zum Ausschöpfen der Baugrube kommt häufig vor und empfiehlt sich vorzugsweise dadurch, dass keine besondere Einrichtung dazu erforderlich wird, auch die Arbeiter ohne alle Uebung diese Verrichtung ausführen können. Wenn jedoch der Effect nicht zu ungünstig ausfallen soll, so müssen manche Vorsichtsmaafsregeln beachtet werden, die in den obigen Bemerkungen über die zweckmäßige Benutzung der Menschenkraft ihre Begründung finden. Hierher gehört, dass die Arbeiter nicht über, sondern in dem Wasser stehn, welches sie ausschöpfen, weil sie im entgegengesetzten Falle sich jedesmal tief bücken und ihren eignen Körper von Neuem heben müssten. Steht dagegen der Arbeiter bis an das Knie im Wasser, so kann er schon in aufrechter Stellung den Eimer füllen und ihn bequem 3, auch wohl 4 Fufs hoch heben. Eine noch gröfsere Hubhöhe wird sehr ermüdend, wenn eine solche nöthig ist, muss man zwei Reihen Arbeiter über einander stellen, die alsdann zusammen das Wasser bis 8 Fufs heben können. In diesem Falle ist es aber nicht passend, dass die untenstehenden Arbeiter die Eimer in ein Becken giefsen und die obenstehenden hier von Neuem schöpfen, vielmehr müssen die Eimer gefüllt auf die Rüstung gestellt und von hier weiter gehoben werden, wobei die bereits gewonnene Hubhöhe vollständig benutzt wird. Endlich ist auch dahin zu sehn, dass die Eimer möglichst leicht und hinreichend fest sind damit sie bei dem unvermeidlichen Zusammenstossen nicht zerbrechen. Lederne Feuereimer sind daher für diesen Zweck besonders geeignet. Solche lassen sich auch gewöhnlich leihweise beschaffen, ihre Anzahl muss aber wenigstens eben so groß, wie die der Arbeiter sein. In Venedig benutzt

man hierzu breite, aus Weiden geflochtene Körbe, die zwar viel Wasser durchlassen, aber bei ihrer geringen Tiefe besonders bequem gefüllt und ausgegossen werden können. Jeder Korb wird von zwei Arbeitern geführt. Nach der gewöhnlichen Annahme besteht die Leistung eines Arbeiters darin, daß er in der Minute 15mal den Eimer hebt, der durchschnittlich $\frac{1}{3}$ Cubikfuß Wasser faßt. Man muß indessen hierbei, sowie bei allen diesen Angaben, auf vielfache Pausen rechnen und darf nicht annehmen, daß ein Arbeiter wirklich 8 Stunden am Tage diese Leistung fortzusetzen im Stande ist.

Wird die Hubhöhe bedeutender, so ist es vortheilhafter, das Wasser in größeren Quantitäten zu heben, und man thut alsdann wohl, den Eimer an einen Hebel zu hängen und letzteren durch ein Gegengewicht zu belasten, welches den Eimer mit halber Füllung trägt. Man hat auch ähnliche Vorrichtungen oftmals angewendet, um einzelne größere Eimer abwechselnd zu heben und herabzulassen und dabei auch zugleich für ein bequemes Füllen und Leeren derselben gesorgt, doch kommen solche beim Trockenlegen der Baugruben nicht leicht vor.

Sehr wichtig ist die Anordnung, wobei an einer Kette ohne Ende eine ganze Reihe von Eimern befestigt ist, welche bei der Bewegung der Kette abwechselnd unter das Wasser treten, sich daselbst füllen, sodann ansteigen und über eine obere Trommel gehn, auf der sie sich bei der veränderten Stellung entleeren, oder auch schon früher durch eine andere Vorrichtung umgekippt werden und ihren Inhalt fallen lassen. Dieses sind die sogenannten Kastenwerke oder Norien, welche man schon seit langer Zeit besonders in Italien angewendet hat und die bei einer passenden Einrichtung für größere Hubhöhen sehr günstige Resultate zu geben pflegen. Die Reibung beschränkt sich bei ihnen allein auf diejenige, welche an den wenigen Achsen und an der Kette stattfindet. Sie heben das Wasser in gut schließenden Kasten und auf dem kürzesten Wege auf die erforderliche Höhe, woher kein großer Kraftverlust dabei eintritt. Dabei kommen jedoch manche erhebliche Uebelstände vor, die sich besonders darauf beziehen, daß beim Entleeren das Wasser nicht vollständig aufgefangen wird, so daß häufig ein großer Theil desselben wieder zurückstürzt, ferner daß das Wasser gewöhnlich auf eine bedeutend größere Höhe gehoben werden muß, als es aufgefangen wird, und endlich daß das Füllen der Kasten wegen der

darin enthaltenen Luft oft Schwierigkeiten verursacht. Um diese Mängel zu beseitigen, hat man verschiedene Modificationen eingeführt, die kurz bezeichnet werden sollen. Im Allgemeinen ist aber zu bemerken, daß diese Maschinen eine langsame Bewegung erfordern, weil sie sonst weder gehörig das Wasser schöpfen, noch auch es an der passenden Stelle ausgießen.

Fig. 242 stellt eine Norie dar, welche durch eine Art von Kammrad in Bewegung gesetzt wird, oder wo die Stöcke, welche die Kette fassen, an der einen Seite aus der Radfläche hervortreten. Wenn man das ausgegossene Wasser hier vollständig auffangen will, so ist es nöthig, daß der Trog, der es aufnimmt, nur wenig höher, als die Achse des Rades liegt, woher die Welle an dieser Seite des Rades nicht vorstehn darf, vielmehr auf der andern Seite ihre beiden Lager haben muß. Ferner fängt man das Wasser zuweilen, wie Fig. 243 im Durchschnitte zeigt, in der Trommel selbst auf. Die beiden Ketten, zwischen welchen die Eimer befestigt sind, werden nämlich über zwei gußeiserne Scheiben geführt, deren jede sechs Arme hat, womit die Ketten gefaßt werden. Die Zwischenräume zwischen je zwei Armen sind mit Blech gefüttert, so daß sich hier abgeschlossene Tröge bilden, die jedoch eine starke Neigung nach der einen Seite erhalten, oder hier sich der Drehungsachse merklich nähern. Am häufigsten gießen die Kasten, nachdem sie auf die obere Trommel getreten sind, das Wasser in der Richtung nach vorn aus. Besonders zweckmäsig ist in diesem Falle die in Fig. 244 dargestellte Einrichtung, welche von Gateau herrührt und die man in Frankreich verschiedentlich mit Vortheil benutzt hat. *) Die Kasten, welche etwa 1 Fuß hoch, 6 Zoll breit und 9 Zoll lang sind, haben zwei Oeffnungen, nämlich wenn man die Stellung betrachtet, in welcher sie aufsteigen und mit Wasser gefüllt sind, so haben sie oben und zwar zur Seite neben dem schrägen Boden einen offenen Schlitz, der nicht geschlossen werden kann und durch welchen sie sich füllen und entleeren, unten dagegen ist eine kleinere Oeffnung befindlich, welche mit einem Klappenventil geschlossen ist. Sobald ein Kasten über die obere Trommel getreten ist, so öffnet sich dieses Ventil von selbst ver-

*) Vergl. Navier's Ausgabe von Bélidor's *Architecture hydraulique* p. 581 und *Recueil de dessins etc.*

möge seines Gewichtes und bleibt so lange offen, bis der Kasten wieder die erste Stellung einnimmt. Diese Anordnung erleichtert außerordentlich die Füllung des Kastens, denn wie das Wasser durch die erste Oeffnung eintritt, so entweicht die Luft durch das Bodenventil. Um aber das Wasser, das über dem geneigten Boden des Kastens ausströmt und dadurch schon seitwärts geführt wird, vollständig aufzufangen, so befindet sich unmittelbar neben und zwar etwas unter der ersten Trommel noch eine zweite, welche die Kette nebst den Kasten bis unter die Achse der ersten Trommel zurückführt. Auf solche Art wird es möglich, die Rinne hinreichend weit unter die Kette zu schieben, ohne daß sie die Bewegung der Kasten hindert. Unten ist endlich noch eine dritte gleiche Trommel angebracht, deren Achse aber nicht mit dem festen Rahmen verbunden ist, sondern die nur frei auf der Kette liegt, um die auf- und abwärtsgehenden Kasten gehörig von einander entfernt zu halten. Beim Bau des Canales St. Maur an der Marne oberhalb Paris wurde diese Maschine von Emmery benutzt und über ihre Leistung, sowie über die dazu erforderliche Betriebskraft eine Reihe von Beobachtungen angestellt. Es ergab sich, daß ihr Nutzeffect ungefähr so groß war, wie das Verhältniß der ganzen Höhe, auf die das Wasser wirklich gehoben werden mußte, sich zu der nutzbaren Hubhöhe verhält, und da die Differenz beider eine constante Größe ist, welche durch die Art der Aufstellung bedingt wird, so erreicht man einen um so größern Effect, je höher man mittelst dieser Maschine das Wasser hebt. Die Einrichtung der hierbei benutzten Kette ergibt sich aus der Figur, es greifen nämlich durch jeden Kasten zwei eiserne Achsen hindurch und diese sind mit denen der nächsten Kasten durch Kettenglieder verbunden. Die vortretenden Enden der Achsen legen sich außerhalb der Kettenglieder in die Einschnitte, die sich in den gußeisernen Scheiben der Trommel befinden.

Endlich hat man noch die Einrichtung getroffen, daß jeder Eimer oder Kasten nicht an zwei Achsen der Kette, sondern nur an einer hängt, um welche er sich dreht. Sobald er bis zu einer gewissen Höhe gestiegen ist, wird er durch einen festen Haken oder Pflock gefaßt, der bei der fortgesetzten Hebung ihm eine so schräge Stellung giebt, daß er seinen Inhalt ausgießt. Eine Anordnung dieser Art zeigt Fig. 245. Es tritt dabei noch der Vortheil ein, daß der

Eimer, sobald er leer wird, eine geneigte Stellung einnimmt und dadurch seine Anfüllung mit Wasser sich erleichtert.

Demnächst werden ähnliche Kasten oder Eimer auch an Räder angebracht. Man nennt aldann letztere Schöpfräder. Dabei hängen die Eimer zuweilen an horizontalen Achsen, um welche sie sich drehn, wie Fig. 246 zeigt. Diese Anordnung ist so einfach, daß sie keiner weitern Beschreibung bedarf. Gewöhnlich sind die Kasten mit dem Radkranze fest verbunden. Diese Zusammenstellung nennt man gewöhnlich ein chinesisches Rad.

In der einfachsten Form trägt ein solches an seinem Umfange eine Reihe von kurzen Büchsen oder kleinen Tonnen (in China sind es Bambusröhren), die an einer Seite geöffnet, an der andern geschlossen sind. Sie werden so befestigt, daß sie gegen die Ebene des Rades schräge stehn, und ihre offenen Enden sich der Achse mehr nähern, als die geschlossenen. Man benutzt diese Räder vielfach, namentlich zu Bewässerungen. Das große und in früherer Zeit berühmte Rad, welches zur Versorgung der Stadt Bremen das Wasser aus der Weser schöpfte, war gleichfalls ein solches. Gewöhnlich hängt man diese Räder in fließendes Wasser, und indem man sie unmittelbar mit Schaufeln versieht, so theilt ihnen der Strom die drehende Bewegung mit. Fig. 247 *a* und *b* zeigt dieses Rad in seiner gewöhnlichen Zusammensetzung.

Das in Fig. 248 *a* und *b* in der Seitenansicht und im Durchschnitte dargestellte Rad ist wesentlich dasselbe, nur werden die cylindrischen Büchsen oder Eimer durch Kasten ersetzt, die viel größere Wassermassen fördern. Perronet wandte zur Trockenlegung der Baugrube der Brücke bei Neuilly ein solches Rad von 14 Fuß Durchmesser und $3\frac{1}{4}$ Fuß Breite an. Das Wasser wurde damit 9 Fuß hoch gehoben und die Bewegung ging von einem Wasserrade aus, das in der Seine hing. Auch beim Bau des Hafens am Salzmagazine zu Berlin wurde ein Rad dieser Art benutzt, welches durch Menschen gedreht wurde.

C. Unter denjenigen Schöpfmaschinen, welche in gewissen beweglichen Canälen das Wasser heben, durch deren veränderte Neigung dieses nach der Ausflusmündung gelangt, verdient zunächst der Wipptrog erwähnt zu werden, der entweder einfach oder doppelt ist. Fig. 249 stellt einen doppelten Wipptrog vor, wie er beim Bau der Brücke zu Orleans angewandt wurde.

a ist die Ansicht von der Seite und b von oben. Eine Rinne von 32 Fufs Länge, 1 Fufs Breite und 1 Fufs Höhe, deren beide Enden aufwärts gebogen sind, schwingt um eine horizontale Achse in der Mitte. Dieser Trog wird abwechselnd auf einer und der andern Seite ins Wasser herabgedrückt und es öffnen sich alsdann die beiden im Boden befindlichen Ventile, wodurch der Trog sich mit Wasser füllt. Wird er darauf in die entgegengesetzte Stellung gebracht, wobei das Wasser auf der andern Seite einfließt, so wird die erste Wassermasse nach der Mitte der Rinne geschleudert, und hier hemmt eine feste Zwischenwand ihre fernere Bewegung und zwingt sie, seitwärts nach einer gemeinschaftlichen Rinne abzufließen. Ueber den Effect dieses Troges führt Perronet an, daß an jeder Seite zehn Mann angestellt waren, die mittelst Leinen wie an einer Ramme zogen, sie machten in der Viertelstunde 150 Stöße und hoben durchschnittlich jedesmal 4 Cubikfufs Wasser 3 Fufs hoch. Eine so langsame Bewegung war nothwendig, weil man nach jedem Stofse das vollständige Abfließen des Wassers abwarten mußte. Indem diese Maschine viel Raum einnahm, das Wasser in starke Bewegung versetzte und nur einen geringen Nutzeffect ergab, so wurde sie bald beseitigt, und dafür das Ausschöpfen mittelst Handeimern gewählt. Beim einfachen Wipptroge fließt das Wasser über die Drehungsachse ab. Derselbe ist mehrfach bei Bauten versucht, doch dürfte er noch weniger, als der doppelte Trog zu empfehlen sein, da bei ihm das Gegengewicht ganz fehlt und durch unmittelbares Anheben ersetzt werden muß.

Das Schneckenrad, welches schon von Vitruv beschrieben wird (tympanum), besteht wie Fig. 250 a im Durchschnitt zeigt, aus einer großen Anzahl langer, gekrümmter Zellen, die bei der Drehung des Rades durch Oeffnungen im Umfange desselben (Fig. 250 b) Wasser aufnehmen, und indem sie sich erheben, dieses bis in die Nähe der Achse fließen lassen, wo es durch eine weite Röhre seitwärts abfließt. Es muß bemerkt werden, daß dieses Rad im Gegensatze zu den übrigen auf Taf. XVIII dargestellten Schöpfrädern in solcher Richtung gezeichnet ist, daß sein Umfang an der rechten Seite ansteigt und an der linken niedersinkt. Mit dem Schneckenrade kann das Wasser nur zu einer Höhe gehoben werden, die bedeutend geringer als der Radius ist, dabei erfolgt, indessen kein überflüssig hohes Heben und die Bewegung ist sanft

weil kein Kraftverlust durch plötzliche Verminderung der Geschwindigkeit entsteht, und endlich findet dabei keine andre Reibung statt, als nur die sehr mäßige Achsen-Reibung. Beim Bau der Brücke zu Orleans wurde dieses Rad benutzt, es war 25 Fuß hoch, im Lichten $1\frac{1}{2}$ Fuß breit und wurde dadurch in Bewegung gesetzt, daß an jeder Seite des Schöpfrades ein Laufrad angebracht war, worin Arbeiter gingen. Am vortheilhaftesten stellte sich die Wirkung des Rades heraus, wenn es nur 6 bis 9 Zoll tief eintauchte, und seine Leistung übertraf alsdann die von allen sonstigen Maschinen, welche durch eine gleiche Anzahl Arbeiter bewegt wurden. Sehr nachtheilig war es, daß man mit diesem Rade, das so vielen Raum einnahm und so schwer zu versetzen war (es wog 7000 bis 8000 Pfund), doch keine gröfsere Hubhöhe, als etwa von 8 Fuß erreichen konnte.

Demnächst gehört in diese Klasse der Schöpfmaschinen die Wasserschnecke oder die Archimedische Schnecke. Dieselbe gewährt beinahe alle Vortheile des Schneckenrades und hat den grofsen Vorzug, daß sie leicht aufzustellen ist und in einem beschränkten Raume Platz findet, auch daß ihre Wirksamkeit durch ein tiefes Eintauchen nicht beeinträchtigt wird und man sie also in die gefüllte Baugrube stellen und, ohne ihre Lage zu verändern, so lange gebrauchen kann, als sie überhaupt noch Wasser schöpft. In Frankreich ist die Schnecke die gewöhnlichste Schöpfmaschine und die erwähnten Vortheile machen sie gewifs höchst empfehlenswerth, wozu noch kommt, daß sie bei der Abwesenheit aller Ventile und jedes künstlichen Verschlusses auch durch trübes Wasser und Sand eben so wenig leidet, wie das Schöpfrad. Fig. 251 zeigt die Anordnung und Aufstellung der Schnecke. Sie hat im Durchmesser 18 bis 24 Zoll. Ihre Länge beträgt etwa 20 Fuß und sie wird gewöhnlich so gestellt, daß sie 8 Fuß hoch das Wasser hebt. Die einzelnen Gänge müssen ziemlich schmal sein, weil sie sich sonst nicht gehörig mit Wasser füllen, woher man gewöhnlich ein doppeltes oder auch wohl ein dreifaches Gewinde darstellt. Man erreicht hierdurch noch den Vortheil, daß das Wasser gleichmäßiger ausströmt, als wenn nur ein einzelner Gang angebracht wäre. Die Figur zeigt an beiden Seiten die äufsere Ansicht der Schnecke oder ihren Mantel. In der Mitte ist der Mantel entfernt gedacht, so daß man die aus Brettchen gebildeten Gänge sieht, und zum Theil

fehlen auch diese, so daß die mittlere Welle hervortritt. Die Anzahl der Brettchen beträgt für jede Windung 20 bis 24, man pflegt sie häufig nur an der obern Seite abzuschmiegen und an der untern, wo sie weniger mit dem Wasser in Berührung sind, stufenartig vor einander vortreten zu lassen. Sie greifen mit Zapfen in die Nuthe der Welle ein, unter sich sind sie mit hölzernen Nägeln verbunden, die gleich beim Zusammensetzen eingelassen werden, und ihr äußeres Ende greift wieder in eine Nuthe, welche in die schmalen Bretter des Mantels eingeschnitten ist. Die Anfertigung der Schnecke erleichtert sich insofern, als alle Brettstückchen einander gleich sind und daher nach derselben Chablone geschnitten werden können. Die Zusammenfügung des Schraubenganges, so wie sein Anschluß an die Welle und den Mantel erfordert große Sorgfalt, weil ein wasserdichter Schluß wegen der langsamen Bewegung dringendes Erforderniß ist. Hierzu dienen besonders die Zugbänder, die etwa in 4 Fuß Abstand um den Mantel gelegt sind. Im Hâvre sah ich eine Schnecke anfertigen, welche von der beschriebenen Construction insofern abwich, als die Gänge nicht in eine Nuthe des Mantels eingriffen, sondern nur stumpf dagegen stießen. Nachdem die Brettchen, welche die Schraubengänge darstellten, über getheerte Leinwand in die Fuge der Welle eingesetzt und scharf zusammengetrieben, auch in den Stosfugen gedichtet waren, legte man die Schnecke in den Rahmen, worin sie später aufgestellt werden sollte, und indem man sie drehte, so arbeitete man nach einem Lineale den äußern Rand der Gänge sehr genau cylindrisch ab. Alsdann wurden Latten von 3 Zoll Breite, welche den Mantel bilden sollten und die im Innern nach der passenden Form etwas hohl gehobelt waren, mit sehr weiten Fugen aufgelegt, durch Zugbänder fest zusammengetrieben, und gegen die Schraubengänge gedrückt. Es blieben sonach nur die Zwischenräume in dem Mantel zu dichten, und dieses geschah durch das beim Schiffsbau übliche Breven, indem aufgelockertes Tauwerk mit passenden Eisen fest hineingetrieben und sodann heißes Pech darauf gegossen wurde. Diese Methode ist jedoch in Frankreich nicht allgemein üblich, vielmehr ist die zuerst erwähnte Verzapfung wohl am häufigsten im Gebrauche, auch läßt man zuweilen die Bretter, welche den Mantel bilden, durch Spundung in einander greifen.

Aus den Versuchen, die d'Aubuisson und Hachette anführen, ergiebt sich, daß eine Schnecke am vortheilhaftesten wirkt, wenn sie unter 30 Graden gegen den Horizont geneigt ist, doch stellt man sie auch unter 45 Graden auf. Eben so hat man die passendste Steigung der Schraubengänge durch Versuche festzustellen sich bemüht, doch fielen diese nicht entscheidend aus. Jedenfalls muß man aber dafür sorgen, daß das Wasser nicht zurückfließt. Nach den von Mallet angestellten Beobachtungen konnte mittelst einer Schnecke von dreifachen Gängen, die 19 Fufs lang war und 19 Zoll im Durchmesser hatte, durch 9 Arbeiter, die in der Minute 35 Umdrehungen machten, eine Wassermenge von 1358 Cubikfufs in der Stunde auf $10\frac{1}{2}$ Fufs Höhe gehoben werden. Gewöhnlich rechnet man in Frankreich, daß ein Arbeiter, der während des Tages 6 Stunden hindurch wirklich die Schnecke dreht, in der Stunde 485 Cubikfufs, 3 Fufs 2 Zoll, hoch hebt. Die Arbeit an der schrägen Kurbel ist aber sehr unvortheilhaft, und man muß daher für eine zweckmäßigere Anstellung der Leute sorgen.

In neuerer Zeit werden häufig Schnecken in viel größeren Dimensionen in Eisenblech ausgeführt und durch Dampfmaschinen bewegt, damit sie aber bei großen Längen nicht durchbiegen, so versieht man sie in der Mitte mit einem abgedrehten starken eisernen Ringe, der von zwei Rollen getragen wird.

Häufig tritt der Anwendung der Wasserschnecke das Vorurtheil entgegen, daß man glaubt, sie höre auf zu wirken und könne kein Wasser heben, sobald ihre untere Mündung nicht zum Theil über der Oberfläche des Wassers liegt, so daß jeder einzelne Gang abwechselnd Wasser und Luft schöpft. Wenn dieses richtig wäre, so würde man gezwungen sein, die Schnecke nach dem jedesmaligen Stande des Wassers in der Baugrube zu verstellen. Bei den Bauten an dem Ems-Canale bei Lingen hatte man, um dieser Bedingung zu genügen, ohne die Maschine verstellen zu dürfen, den Mantel der Schnecke vielfach durchbohrt, damit die Luft Zutritt erhalten sollte. Ein starker Wasserverlust war die natürliche Folge dieser Anordnung. Daß die Vorsicht in Betreff der Zuleitung der Luft ganz überflüssig ist, ergiebt sich daraus, daß man in Frankreich und ebenso in Holland und im südlichen Deutschlande, wo die Schnecke oft benutzt wird, hierauf gar keine Rücksicht nimmt und man sie beim jedesmaligen Beginne der Arbeit tief unter Wasser stellt. Jenes

Vorurtheil ist wahrscheinlich durch die Erscheinungen veranlaßt, die kleine Modelle zeigen, wobei der Schneckengang nur durch eine gewundene Glasröhre dargestellt ist. Wenn eine solche Röhre so enge ist, daß Luft und Wasser sich nicht zugleich in demselben Querschnitte befinden können, so ist freilich das Schöpfen der Luft nothwendig. Sobald nämlich keine Luft in den obern Theilen der Windungen sich befindet, diese vielmehr ganz mit Wasser gefüllt sind, so wird bei jeder Erhöhung des Wasserspiegels in der Röhre der Inhalt derselben augenblicklich zurückfließen und sich mit dem äußern Wasser ins Niveau setzen, weil die obern Theile aller Windungen als gefüllte Heber wirken. Ganz anders verhält sich aber die Wasserschnecke, die man wirklich anwendet. Denkt man eine solche Schnecke bis oben mit Wasser gefüllt, so wird freilich zunächst dieselbe Erscheinung, wie im gläsernen Modelle eintreten, daß heißt, das Wasser wird zurückfließen, indem die einzelnen Gänge wieder vollständig gefüllte Heber sind. Sobald sich aber in dem obersten Gange der Wasserspiegel bis unter die Welle gesenkt hat, so tritt sogleich die Luft auch von oben ein und setzt den nächsten Heber, oder den obern Schenkel der folgenden Windung ausser Thätigkeit, indem sie ihn anfüllt. Dasselbe geschieht bei allen folgenden Windungen und sonach wird die Wirksamkeit aller Heber aufgehoben, und die Luft kann frei von oben herab bis zu derjenigen Windung des Schneckenganges treten, die zunächst über dem äußern Wasserspiegel sich befindet. Es stellt sich also jedesmal ganz von selbst eben der Erfolg dar, den man durch jene besondere Aufstellung der Wasserschnecke herbeiführen will.

D. Endlich können die Schöpfmaschinen auch eine solche Einrichtung haben, daß das Wasser in gewissen festen Rinnen oder Röhren aufsteigt, indem darin Kolben angebracht sind, welche es aufwärts treiben. Die Kolben sind dabei entweder an Ketten ohne Ende befestigt und bewegen sich alsdann immer in derselben Richtung durch die ganze Röhre, oder sie werden abwechselnd auf und abgestoßen. In beiden Fällen veranlaßt der Druck der atmosphärischen Luft das Steigen des Wassers, weil sich sonst unter den Kolben luftleere Räume bilden würden. Bewegt sich der Kolben abwechselnd auf und ab, wie in einer Pumpe, so muß er einen dichten Schluß im Rohre bilden, wenn dagegen eine Kette ohne Ende hindurchgezogen ist, an der sich eine ganze Reihe von Kol-

ben befindet, von der immer mehrere gleichzeitig in der Röhre sind und diese durchlaufen, so ist ein genauer Schluß der Kolben gegen die Röhrenwand nicht mehr nothwendig, und die Reibung, die ein solcher veranlassen würde, kann vermieden werden, so lange man für sehr schnelle Bewegung der Kolben sorgt.

Unter diesen Maschinen, bei welchen die Kolben an Ketten ohne Ende befestigt sind, wird das geneigte Schaufelwerk am häufigsten benutzt. Eine Rinne, die im Lichten 1 bis 2 Fufs breit und 6 Zoll bis 1 Fufs hoch ist, wird aus Bohlen zusammengesetzt und in den Fugen gehörig gedichtet, so daß sie die wasserdichte Röhre oder den Förderkasten bildet. Man legt sie so, daß ihr oberes Ende in die Ausgufsrinne reicht und das untere Ende sich ganz unter Wasser befindet. Eine Kette ohne Ende, woran sich die Kolben oder Schaufeln befinden, ist durch sie hindurchgezogen und wird über ihr in einer zweiten Rinne, oder in dem Laufkasten, wieder zurückgeführt. Um diese Kette in Bewegung zu setzen, und um sie zugleich regelmäfsig in die Rinne einzuführen und hindurchzuziehen, sind an beiden Enden Trommeln angebracht. Auf beide Trommeln legen sich die Kettengelenke gehörig schiefsend auf, und werden von der obern Trommel so sicher gefafst, daß die Bewegung derselben sich vollständig auf die Kette überträgt und ein Abgleiten nicht zu besorgen ist.

Die Bewegung kann durch Menschen oder durch Wasserkraft erfolgen, auch ist die Anwendung eines Pferdegöpels hierbei nicht ungewöhnlich, und namentlich wird das geneigte Schaufelwerk in den Niederlanden, wo man es auf Baustellen vielfach sieht, gemeinlich durch Pferde getrieben. Auf den Fangedamm wird ein Göpel gestellt, der vorzugsweise durch einen starken und gehörig verstreuten Bock gehalten wird. An dem Tummelbaume befindet sich unter dem Boden, worauf die Pferde gehn, ein Kammerad von 10 bis 16 Fufs Durchmesser, und dieses greift in einen Trilling, der an seinem andern Ende die Trommel der Kette trägt. Diese Trommel hat wieder die Gestalt eines Trillings, wobei die Stöcke jedoch aus Eisen bestehn. Gewöhnlich hat die Trommel acht Stöcke, und ihr Durchmesser oder der Abstand der Stöcke von der Achse muß so gewählt sein, daß beim Umlegen der Kette um dieselben sich wieder ein regelmäfsiges Achteck darstellt. Wenn die Trommel nur vier Stöcke hat, so bildet sich zwischen den beiden Kettengliedern, die mit ihren

Enden auf denselben Triebstock treffen, jedesmal ein rechter Winkel, und sonach zieht der Triebstock, indem er immer senkrecht gegen das vorhergehende Kettenglied drückt, sehr sicher die Kette herauf. Wird die Anzahl der Triebstöcke etwa fünf oder sechs, so findet dieses nicht mehr mit derselben Sicherheit statt, und man muß alsdann für die gehörige Spannung der Kette sorgen, weil sie sonst abgleitet. Vergrößert sich die Anzahl der Triebstöcke aber noch mehr und steigt sie auf acht, so läßt sich die Kette durch das bloße Anlegen der Stöcke nicht mehr sicher fassen, man muß also in diesem Falle noch einen besondern Eingriff bilden, und dieses geschieht am einfachsten, indem jedes Kettenglied dicht hinter seiner Achse mit einem Ansatz versehen wird, wogegen der Triebstock stößt. Fig. 258 auf Taf. XIX zeigt bei *A* diese Ansätze. Die Bewegung der Kette ist in der Richtung von der linken Seite nach der rechten gedacht. Daß man die Anzahl der Triebstöcke über vier vermehrt, geschieht aus verschiedenen Gründen. Fürs Erste ist bei vier Stöcken der Unterschied im Zuge sehr bedeutend, je nachdem die Kette auf eine Ecke trifft, oder eine Seite des Vierecks berührt. Durch Vergrößerung der Seitenanzahl der Trommel wird dieser Uebelstand, wenn auch nicht ganz beseitigt, doch sehr vermindert. Sodann lassen sich auch die Kettenglieder auf eine Trommel, die nur vier Stöcke hat, nicht gehörig auflegen, indem die daran befestigten Schaufeln schon gegen die Welle stoßen. Endlich aber ist es für die Zusammensetzung der Tröge und zur Darstellung der nöthigen Steifigkeit auch vortheilhaft, wenn der Förderkasten vom Laufkasten etwas entfernt wird, wozu wieder die Vermehrung der Triebstöcke dient. Am untern Ende der Kasten befindet sich eine zweite Trommel, die der obern gleich ist, und von der die Schaufeln in den Kasten eingeführt werden, ohne an die Seitenwände oder den Boden anzustoßen. Man erreicht dieses am leichtesten, wenn man den Boden sowohl des obern, als des untern Kasten möglichst weit unter diejenige Trommel hinführt, von welcher er die Kette aufnimmt. Die beiden Kasten sind unter sich durch übergelegte Rahmen oder Zwingen verbunden, die in Abständen von 4 bis 6 Fufs angebracht sind, an diese Zwingen sind auch die Wangenstücke befestigt, in welchen die Achsen der beiden Trommeln sich drehen, und gemeinhin ist noch die Vorrichtung angebracht, daß die

Pfannen der untern Trommel sich weit herabschieben und festkeilen lassen, um die Ketten gehörig zu spannen.

Die Anordnung der Ketten ergibt sich aus den Figuren. Zwei Ketten sind neben einander befindlich, deren Glieder durch gemeinschaftliche Achsen verbunden sind. Jedes Glied ist an dem einen Ende gabelförmig gespalten, und umfaßt das Ende des nächsten Gliedes. Die Glieder greifen durch die hölzernen Schaufeln, und halten dieselben an der einen Seite durch Ansätze und an der andern durch vorgesteckte Splinte. Gewöhnlich laufen die Schaufeln unmittelbar über die Boden der Kasten, indem sie sich dabei aber stark abnutzen, so legt man zuweilen, wie auch in den Figuren angegeben ist, an beide Seiten jedes Kastens Eisenschienen, und versieht die Schaufeln mit entsprechenden flachen Einschnitten, die mit Eisenblech verkleidet werden. Der freie Spielraum ringsum her beträgt etwa 6 Linien. In Frankreich wird häufig statt zwei Ketten nur eine benutzt, die aber so breit sein muß, daß sie sich noch regelmäsig auf die Trommeln auflegt: dieselbe besteht alsdann aus Holz.

Mehrfach sah ich in den Niederlanden diese Schaufelwerke so angeordnet, daß die Kette nur etwa die Hälfte der Geschwindigkeit der Pferde hatte. Wenn letztere nur im Schritt gingen, so bewegten sich die Schaufeln nicht schnell genug, um das Zurückfließen des Wassers zu verhindern. Man trieb sie daher zu schnellem Trabe an, doch ermüdete sie dieses so sehr, daß nach wenigen Minuten schon Pausen eintreten mußten, die ungefähr doppelt so lang, als die Arbeitszeiten waren.

Ueber die Neigung, welche man dem Schaufelwerke geben muß, um den möglichst größten Effect zu erreichen, sind die Ansichten ziemlich verschieden. In den Niederlanden werden sie gemeinhin unter einem Winkel von etwa 30 Graden gegen den Horizont aufgestellt.

Die Kettenpumpe oder das Paternosterwerk ist dem geneigten Schaufelwerke ähnlich, und unterscheidet sich dadurch von demselben, daß es senkrecht steht. Seine gewöhnliche Anordnung ist diese: ein hölzernes Pumpenrohr, daß etwa 4 Zoll weit gebohrt ist, bildet die Röhre, worin das Wasser gehoben wird, eine Kette ist hindurchgezogen, die an der äußern Seite desselben herabgeht,

und an ihr befinden sich die einzelnen Kolben oder Scheiben, die das Wasser heben. Die Kette erhält ihre Bewegung durch eine hölzerne Walze, in welcher sechs gabelförmige Arme angebracht sind. Obgleich die Maschine dieser Art sich oft recht günstig gezeigt hat, so findet sie dennoch nur selten Anwendung, weil die gewöhnliche Kette nicht sicher von den Gabeln gefasst wird. Bald greifen die Gabeln gar nicht ein, so daß die Kette darüber gleitet und für eine kurze Zeit stehn bleibt, bald dagegen kommt eine Scheibe gerade auf eine Gabel zu liegen und verursacht eine solche Spannung der Kette, daß man die Walze zurückdrehn und die Kette etwas verschieben muß, der gewöhnlichste und zugleich auch der unangenehmste Fall ist aber, daß die Kette sich fest klemmt und nicht von selbst aus der Gabel fällt. Alsdann muß die Maschine angehalten und die Kette gewaltsam herausgerissen werden.

Das regelmäßige Eingreifen der Kette in die Trommel läßt sich indessen ebenso leicht darstellen, wie bei dem geneigten Schaufelwerke und der Norie, man hat dieses auch mehrfach bereits versucht und namentlich ist es auf der englischen Marine geschehn, woselbst die Kettenpumpe die gewöhnliche Wasserhebungsmaschine geworden ist, sobald es darauf ankommt, große Wassermassen herauszuschaffen. Die Kette hat hier dieselben Ansätze, welche Fig. 258 *a* für das Schaufelwerk zeigt, doch kann man auch die Gabelwalze zu diesem Zwecke beibehalten. Ich will eine Anordnung dieser Art beschreiben, die ich bei zwei Pumpen gewählt habe, welche einen regelmäßigen Betrieb zuliefen und sehr günstige Resultate gaben. Diese Pumpen waren zum Heben gesunkener Seeschiffe bestimmt und sollten im Allgemeinen nach dem Muster derjenigen gebaut werden, welche mehrfach zu gleichem Zwecke in Neufahrwasser benutzt waren und sich daselbst sehr vortheilhaft gezeigt hatten. Die letzteren glichen dem Paternosterwerke, dessen sich Perronet bediente, und das Eytelwein in seiner praktischen Anweisung zur Wasserbaukunst beschrieben hat: ein Unterschied fand nur insofern statt, als das Rohr auf $7\frac{1}{2}$ Zoll Weite gebohrt war. Beim Gebrauche dieser Pumpe zeigten sich indessen die erwähnten vielfachen Unterbrechungen und eben deshalb gab ich der Kette eine andere Einrichtung. Fig. 259 *a* und *b* ist die Ansicht der ganzen Pumpe von der Seite und von vorn, und Fig. 260 *a*, *b* und *c* zeigt die gewählte Construction der Kette und der Gabeln.

In Betreff der Kette ist zu erwähnen, daß die Schraubenbolzen, welche zwischen je zwei Gliedern die Verbindung darstellen, sich nicht drehn dürfen, denn sobald dieses geschieht, so lösen sich leicht die Muttern und alsdann stürzt die Kette herab. Man vermeidet dieses dadurch, daß man in dem gabelförmigen Ende jedes Gliedes neben dem Kopfe des Bolzens das Loch nicht rund, sondern viereckig macht und dem Bolzen selbst an dieser Stelle einen quadratischen Querschnitt giebt. Den Gabeln darf die Abrundung am Ende nicht fehlen, weil sonst das breite Ende des vorhergehenden Gliedes, womit die Kette sich auf die Gabel stützt, sich nicht lösen würde. Die vordere Seite jeder Gabel *D* muß so gekrümmt sein, daß sie einen Kreisbogen bildet, dessen Mittelpunkt in die Drehungs-Achse des nächst folgenden Kettengliedes *B* fällt. Daß alle einzelnen Kettenglieder und Gabeln nach gehörigen Chablonen angefertigt werden müssen, versteht sich von selbst, aber eine besondere Schwierigkeit verursacht dabei die Befestigung der Gabeln. Der Versuch, dieselben in recht sorgfältig vorgebohrte Löcher einzutreiben, mißrieth, und ich wählte daher das in derselben Figur darstellte Verfahren. Die eichene Walze, die 1 Fuß stark und eben so breit war und welche schon vorher starke eiserne Ringe auf beiden Seiten erhalten hatte, wurde in ihrer Mitte in drei Richtungen durchbohrt, und diese Bohrlöcher durch Ausstemmen in viereckige, $1\frac{1}{2}$ Zoll breite und 2 Zoll lange regelmäßig durchgreifende Oeffnungen verwandelt. Jede Gabel hatte unten ein Auge, in welches die eiserne Achse paßte, die Enden der Gabeln, worin sich diese Augen befanden, waren aber angemessen gekröpft, wie Fig. 260 *c* zeigt, wodurch es möglich wurde, die Mittellinien der sämtlichen Gabeln in dieselbe Ebene zu bringen. Das Einsetzen der Gabeln erfolgte in der Art, daß sie der Reihe nach in die Walze gestellt, und demnächst die Achse durch die Augen hindurchgesteckt wurde. Die Achse war an einer Seite vierkantig ausgeschmiedet, und sobald sie recht fest in die Walze eingetrieben wurde, so steckten die sämtlichen Gabeln zwar nur lose darauf und man konnte sie beliebig nach vorn und nach der Seite bewegen, aber ihre Entfernung von der Achse war bereits vollständig gesichert. Hierauf liefs ich letztere auf Pfannenlager legen, so daß sie gedreht werden konnte, und unter fortwährendem Nachmessen der Entfernungen zwischen den einzelnen Gabeln und unter beständiger Prüfung, ob die Einschnitte in allen Gabeln auch in dieselbe Ebene fielen, wur-

den Keile von Buchenholz in die Oeffnungen der Walze eingetrieben, worüber endlich noch starke Bleche genagelt wurden. Auf solche Art gelang es, die Gabeln genau einzustellen. Sie sind in der Mitte 1 Zoll breit und ebenso stark. Die Kettenglieder sind von Mitte zu Mitte des Bolzenloches 1 Fuß lang, wurden aber in dieser Beziehung noch besonders sorgfältig geprüft und zwar mittelst eines eisernen Lineales, worin zwei Bolzen fest eingeniethet waren. Diejenigen Glieder, welche keine Scheiben tragen, sind in der Mitte $\frac{1}{2}$ Zoll breit und stark, sie haben an einem Ende einen und am andern zwei kreisförmige Lappen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, der einzelne Lappen ist $\frac{3}{8}$ Zoll stark, jeder von den doppelten $\frac{5}{16}$ Zoll. Die Bolzen halten aber $\frac{3}{8}$ Zoll im Durchmesser. An jedes vierte Glied ist eine Scheibe angebracht. Ein solches Glied ist breiter und mit einem Ansatz versehen, an letzteren lehnt sich zunächst eine eiserne Scheibe, auf diese folgt eine mit eisernen Ringen beschlagene hölzerne Scheibe und dann das $\frac{1}{4}$ zöllige Leder, worüber wieder eine hölzerne und eine eiserne Scheibe liegen. Ein hindurchgetriebenes Splint verbindet Alles fest mit einander. Am untern Ende der Pumpe läuft die Kette über keine zweite Walze, daselbst ist nur ein starker, gehörig abgerundeter Klotz angebracht, um sie sicher und ohne das sie gegen die Ecken stößt, in die Röhre zu leiten.

Die Lederscheiben hatten Anfangs denselben Durchmesser, wie die Röhre, doch zeigte es sich, das die Reibung alsdann zu stark wurde. Ich liefs daher die Scheiben ringsum einen halben Zoll abschneiden, so das sie nunmehr einen Spielraum von einem vollen Zolle hatten. Der Erfolg entsprach ganz der bereits erwähnten Erscheinung, das sich nämlich kein Wasserverlust zeigte, sobald die Geschwindigkeit nur hinreichend groß war. Ein mehrmals wiederholter Versuch ergab, das bei einer Geschwindigkeit der Kette von $4\frac{1}{2}$ Fuß in der Secunde die geförderte Wassermenge sehr genau einem Wassercylinder entsprach, der $4\frac{1}{2}$ Fuß hoch war und die Weite des Bohrloches zum Durchmesser hatte, diese Weite war bei der einen Pumpe 8 und bei der andern 9 Zoll. Das Wasser ergofs sich dabei so stark, das es über die 1 Fuß hohe Wand der aufgesetzten Rinne herüberflos. Die Bewegung erhielt die Maschine durch zwei Kurbeln, woran 4 Mann arbeiteten, auferdem waren an jede Kurbel zwei Zugstangen angebracht, woran 16 Mann zogen.

Alle 10 Minuten mußte jedoch eine Ablösung erfolgen und man brauchte, um die Maschine einige Stunden hindurch im Gange zu erhalten, 60 Mann: in der Secunde wurden nahe 2 Cubikfuß 10 Fuß hoch gehoben. Bei Anwendung dieser Pumpe zum Heben eines mit Ballast beladenen Schiffes wurde eine Menge Sand und sogar feiner Kies mit herausgeworfen, ohne daß der Gang der Maschine dadurch beeinträchtigt wäre.

Diese sehr große Anstrengung, welche in der kürzesten Zeit die Kräfte der Arbeiter erschöpfte, entsprach gewiß nicht den Bedingungen eines geregelten Maschinen-Betriebes, die Aufgabe, um deren Lösung es sich hier handelte, war indessen eine ganz ungewöhnliche. Die Wasserwältigung durfte nur eine oder zwei Stunden hindurch fortgesetzt werden, nämlich nur so lange, bis das Schiff aufschwamm und in den Hafen vor die Baustelle gebracht werden konnte, während dieser Zeit mußte die Maschine aber soviel Wasser abführen, als durch den Leck zufließt. Es kam daher darauf an, eine möglichst große Anzahl von Menschenkräften gleichzeitig auf die Maschine wirken zu lassen, um den Effect so zu steigern, daß das Schiff unerachtet der dauernden Zuströmung durch den Leck sich schwimmend erhielt. Gelang dieses nicht, so war das Pumpen ganz zwecklos. Bald nach Ausführung dieser Maschinen wurden zwei Schiffe damit gehoben und in den Hafen gebracht.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, derjenigen Wasserhebungs-Maschine zu erwähnen, welche in neuester Zeit vielfach und immer mit dem besten Erfolge zur Trockenlegung von Baugruben angewendet ist. Dieses ist die Kreiselpumpe. Für größere, wie für kleinere Steighöhen eignet sie sich, sie nimmt wenig Raum ein, die Reibung ist in ihr sehr unbedeutend, da nur eine Achse gedreht wird, vorzugsweise aber empfiehlt sie sich für diesen Zweck, indem kein Ventil und kein Kolben darin vorkommt, also beim Heben von unreinem Wasser sie nicht leidet, noch ihren Dienst versagt. Sie wirft mit dem Wasser nicht nur den eintretenden Sand, sondern selbst Kies bis zu 1 Zoll Größe auf, ohne daß ihre Wirksamkeit dadurch beeinträchtigt wird. Eine nähere Beschreibung und Zeichnung derselben gehört aber nicht hierher, da ihre Anfertigung nur in einer Maschinenbau-Anstalt erfolgen kann. *)

*) Eine detaillirte Beschreibung der Einrichtung und Wirksamkeit einer Kreiselpumpe befindet sich in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1855. S. 107.

Endlich sind noch diejenigen Schöpfmaschinen zu erwähnen, wobei der Kolben in einer Röhre abwechselnd sich auf- und abbewegt, also die Pumpen. Ich übergehe ihre Beschreibung, da sie genugsam bekannt sind, und bemerke nur, dafs sie sich für die Trockenlegung einer Baugrube wegen ihrer mäfsigen Anschaffungskosten, sowie wegen des geringen Raumes, dessen sie zur Aufstellung bedürfen, sehr wohl eignen. Auch erlauben sie, die Ausgufsöffnung beliebig hoch anzubringen, und man kann sie, wenn es nöthig sein sollte, in jeder beliebigen Neigung aufstellen. Dagegen ist die Abwechselung der Bewegung, die bei jedem Zuge erfolgt, mit einigem Kraftverluste verbunden und veranlafst gemeinhin einen starken Wasserverlust, besonders wenn die Kolben und die Ventile nicht dicht sind. Endlich aber werden die Pumpen bei unreinem Wasser, und besonders wenn dasselbe Sand enthält, bald undicht, bedürfen daher häufiger Reparaturen. Will man hölzernen Pumpen gröfsere Dimensionen geben, so setzt man sie aus vier Bohlen zusammen, dieses sind die Bohlen-Pumpen. Statt der hölzernen Pumpen finden jedoch die gusseisernen auf den Baustellen immer mehr Anwendung, da sie für sehr mäfsige Preise leicht zu beziehen sind. Gewöhnlich bestehn sie aus zwei Stiefeln, deren Kolben durch einen gemeinschaftlichen Schwengel bewegt werden.

Man hat sich mehrfach bemüht, die Ausgufsröhre der Pumpe mit einem Heber zu verbinden, damit das Wasser nur bis zum Niveau des äufsern Bassins und nicht bis zur Krone des Fangedammes gehoben zu werden braucht. Bei den gewöhnlichen Saugepumpen ist dieses aber nicht zu erreichen, wenn man nicht etwa das Wasser in besondere Gefäfse pumpen und es aus diesen mit Hebern über den Fangedamm leiten will, dagegen läfst sich die Aufgabe bei Druckpumpen leicht lösen, indem die Ausgufsröhre über den Damm fort, bis unter den Spiegel des äufsern Wassers herabgeführt wird.

§. 46.

Hydraulischer Mörtel. *)

Hydraulisch nennt man solchen Mörtel, der die Eigenschaft besitzt, unter Wasser zu erhärten. Verschiedene mineralische Stoffe geben bei richtiger Behandlung schon an sich einen Mörtel dieser Art, gewöhnlich stellt man ihn aber durch Vermengung verschiedener Substanzen dar. Das letzte Verfahren ist in neuester Zeit besonders durch sorgfältige chemische Analysen so sehr verbessert und erleichtert worden, daß man fast überall das zur Bereitung desselben erforderliche Material findet.

Im Allgemeinen hängt die Festigkeit jedes Mörtels zum Theil davon ab, daß der Kalkbrei in recht vielfache Berührung mit dem zugesetzten Sande kommt. Der reine Kalk bildet, wenn er gebrannt und gelöscht ist, an sich keine feste Masse, denn wie er nach und nach das Wasser an die Luft absetzt, so zerbröckelt er, indem Risse und Spalten sich darin bilden, und die kleinen ausgetrockneten Stückchen, in welche der Kalkbrei endlich zerfällt, sind so weich, daß sie sich zwischen den Fingern zerreiben lassen. Auf Steinen mit recht glatter Oberfläche haftet der Kalk und der Kalkmörtel nur wenig, deshalb geben polirte Steine und solche, welche einen muscheligen Bruch und eine glänzende Oberfläche zeigen, kein festes Mauerwerk, wohl aber läßt sich ein solches durch rauhe und vorzugsweise durch poröse Steine darstellen, bei denen die Berührungsfläche eine viel größere Ausdehnung gewinnt. So fand Rondelet, daß derselbe Mörtel mit einer doppelt so großen Kraft auf dem porösen Mühlsteine, der an der Marne bricht, haftet, als an glatt geschliffenem Kalkstein.

In derselben Art, wie der Mörtel an den Mauersteinen haftet, so haftet auch wieder in dem Mörtel der Kalk an den einzelnen

*) Bei Umarbeitung dieses und der beiden folgenden Paragraphen bin ich wesentlich unterstützt worden durch meinen Sohn, den Bauinspector Ludwig Hagen, der bei Ausführung des Saar- und des Ihle-Canales sowohl Trafs, wie Cemente vielfach verwendet, auch bedeutende Béton-Fundierungen ausgeführt hat.

Sandkörnchen. Auch hier ist die Verbindung am innigsten, wenn die Kalkmasse möglichst dünne Lagen bildet und die Sandkörnchen recht vielfach berührt. Hierdurch erklärt es sich, daß der scharfe Sand einen bessern Mörtel giebt, als der matte, bei dem die Ecken abgeschliffen sind, und wenn man den Sand aus einem Material darstellt, das auch bei einer feinen Zertheilung noch die scharfen Kanten und die rauhe Oberfläche behält, so erhärtet der Mörtel um so schneller und bindet um so fester, je weiter die Zerkleinerung getrieben war. Weiche Steine, wie etwa Thonschiefer, geben dagegen, wenn sie zerschlagen werden, keinen scharfen Sand, und sind zur Mörtelbereitung nicht geeignet.

Auf dieser Berührung in möglichst ausgedehnten Oberflächen beruht vorzugsweise die Festigkeit des gewöhnlichen, aus fettem Kalke und reinem Quarzsande bereiteten Mörtels. Der Kalkbrei erhärtet, indem er Kohlensäure aus der Luft anzieht, und sich wieder in kohlensauren Kalk verwandelt, während er fein zertheilt zwischen allen Sandkörnchen eine genau schließende, feste Zwischenlage bildet. Dieser Mörtel verwandelt sich auf diese Art in eine zusammenhängende und feste Masse, ohne daß eine chemische Verbindung zwischen dem Kalk und dem Sande vorausgesetzt werden darf. Der Zusammenhang zwischen beiden scheint vielmehr nur mechanisch zu sein und allein von der vollständigen Umschließung der Sandkörnchen herzurühren. Die Bildung des kohlensauren Kalkes erfolgt indessen sehr langsam und nur wenn die Luft Zutritt hat. Ein hydraulischer Mörtel, der schnell und selbst unter Wasser erhärtet, kann daher auf diesem Wege nicht dargestellt werden.

Das Erhärten des hydraulischen Mörtels wird dagegen durch eine chemische Verbindung veranlaßt, die selbst unter Wasser zwischen dem im Mörtel befindlichen kaustischen Kalk und der beim Brennen aufgeschlossenen Kieselsäure und Thonerde sich bildet, wodurch die im Wasser unlösliche Verbindung von kieselsaurer Kalkerde und Kalkthonerde entsteht. Ein Ziegel, der mit dünnflüssigem Kalkbrei begossen wird, färbt sich nicht nur weiß, sondern diese Färbung läßt sich auch durch bloßes Waschen mit Wasser nicht beseitigen. Anders verhält es sich mit andern Bausteinen, z. B. mit einem Stücke Granit, das in gleicher Weise mit Kalk bedeckt, sehr leicht vollständig gereinigt werden kann. Hiermit hängt eine andre Erscheinung zusammen, die wesentlich zur Aufklärung dieser

Verhältnisse beigetragen hat. Wenn man nämlich feinen Thon, der in der Hitze von 300 bis 400 Graden getrocknet war, mit Kalkmilch übergießt, so zieht derselbe aus der Milch den Kalk so rein aus, daß die zurückbleibende Flüssigkeit selbst auf geröthetes Lackmuspapier keine Wirkung äufsert. Hieraus giebt sich augenscheinlich die chemische Verwandtschaft des Thones und Kalkes zu erkennen, wie solche zwischen reinem Quarzsande und Kalk nicht besteht. *)

Man findet in der Natur verschiedene Gemenge von kohlen-saurem Kalk und Thon, die sehr brauchbare hydraulische Mörtel geben. Schon der gewöhnliche Mergelkalk gehört hierher, doch tritt bei ihm, wenn sein Thongehalt nur 10 bis 12 Procent beträgt, erst nach mehreren Wochen die Erhärtung ein. In den Juraformationen kommen dagegen vielfach Ablagerungen vor, worin der Thongehalt 25 bis 30 Procent beträgt. Diese geben einen sehr brauchbaren Mörtel, der schon in wenig Stunden erhärtet.

Auch der gewöhnliche fette Kalk läßt sich zur Darstellung eines hydraulischen Mörtels benutzen, wenn man ihm künstlich solche Bestandtheile beimengt, mit denen er die erwähnten wasserbeständigen chemischen Verbindungen eingeht. Schon durch den Zusatz von Ziegelmehl nimmt der Mörtel unverkennbar hydraulische Eigenschaften an, wenn dieses Mehl aus hart gebrannten Steinen dargestellt und möglichst fein gemahlen ist. Durch den Zusatz gewisser vulkanischer Producte statt des Ziegelmehls wird der Mörtel aber in viel höherem Grade hydraulisch.

Von den Puzzolanen war diese Eigenschaft schon im Alterthum bekannt. Vitruv sagt **), daß man zu Wasserbauten einen Mörtel verwenden müsse, der aus einem Theile Kalk und zwei Theilen Puzzolan - Pulver besteht, welches letztere in der Gegend von Cumae bis zum Vorgebirge der Minerva, also am Fusse des Vesuvs längs der Küste des Golfs von Neapel gewonnen wird.

Die Santorin-Erde gehört auch hierher, doch haben die bei uns damit angestellten Versuche nicht günstige Resultate ergeben,

*) Sehr eingehend ist dieser Gegenstand behandelt in dem vor Kurzem erschienenen Werke von W. Michaelis, betitelt: die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portland-Cement. Leipzig 1869.

**) *De architectura Liber V. Cap. XII.* — Auch *liber II. Cap. VI.* ist von dem *Pulvis puteolanus* die Rede, das in der Nähe des Vesuvs gefunden wird.

während die in Triest damit ausgeführten Mauern hinreichende Härte annahmen. *) Jedenfalls ist diese Erde sehr unrein, und steht dem im westlichen Deutschland und in den Niederlanden bei Wasserbauten vorzugsweise benutzten Trafs bedeutend nach.

Letzterer wird aus dem Tuffstein dargestellt, der im östlichen Abhange der Eifel vielfach vorkommt. Namentlich gewinnt man ihn seit langer Zeit im Brohl-Thale ohnfern Andernach, auch bei Plaidt wird er gebrochen und in neuerer Zeit werden mächtige Lager desselben bei Winnigen ausgebeutet. Unter der Benennung Trafs versteht man das Pulver, in welches durch Mahlen oder Stampfen der Tuff verwandelt ist.

Das Brohl-Thal ist im Thonschiefer eingeschnitten und grosentheils mit Tuff gefüllt, so das derselbe bis unter die Sohle des jetzigen Bachbettes herabreicht. Interessant ist es, das man die Ablagerungen vorzugsweise in den zurückspringenden Erweiterungen des Thales, also gerade da antrifft, wo ein starker Strom am meisten zu Versandungen geneigt sein würde. Hiernach ist es nicht unwahrscheinlich, das der Trafs durch das Wasser als Schlamm herbeigeführt und abgesetzt wurde, und das er demnächst erhärtete. Der Grad seiner Festigkeit und Härte ist sehr verschieden. Die untern Lagen, die man in früherer Zeit häufig als Bausteine verwendete, haben die Härte eines weichen Sandsteines. Sie werden mit Pulver gesprengt, und wenn sie lange der Luft ausgesetzt gewesen sind und die Bergfeuchtigkeit vollständig verloren haben, so lassen sie sich zwar immer noch leicht bearbeiten, zeigen aber schon eine große Festigkeit und Tragfähigkeit. Viel weicher sind die obern Lagen, die man auch gegenwärtig noch als Bausteine zum Ausmauern von Fachwänden benutzt. Endlich kommt der Trafs noch in ganz losen Massen in der Form von grobem Sande vor. Zur Darstellung des Mörtels ist der untere feste Stein im Allgemeinen am meisten geeignet, den man daher ächten Trafs nennt. Er wird gegenwärtig nur zur Mörtelbereitung benutzt, denn sein Werth hat sich in der letzten Zeit so hoch gestellt, das er als Baustein zu theuer sein würde, es geschieht sogar, das man alte Gebäude, die aus Tuff er-

*) Zeitschrift für Bauwesen 1851. S. 293. — Einige Notizen über das Vorkommen der Santorin-Erde sind noch im dritten Theile dieses Werkes §. 61. mitgetheilt.

baut sind, nur in der Absicht abbricht, um die Steine zur Mörtel-fabrikation zu benutzen. Die weicheren Sorten und den darauf liegenden Sand nennt man wilden Trafs oder Berg-Trafs. Man benutzt denselben gleichfalls zur Mörtel-Bereitung, doch giebt er einen weniger hydraulischen Mörtel, der nur langsam erhärtet.

Der Trafs enthält viele fremdartige Körper und vorzugsweise findet man Thonschieferstücke und Bimsstein darin eingesprengt, auch vegetabilische Stoffe und namentlich Holzkohlen kommen vielfach in ihm vor. Die Farbe des Trasses variirt vom Grauen ins Braune und geht oft in ein helles Blau über. Letzteres jedoch nur, wenn die Stücke ausgetrocknet sind.

Will man die Güte des Trasses nach seinen äußern Kennzeichen beurtheilen, so kann dieses mit einiger Sicherheit nur geschehn, wenn er noch nicht pulverisirt ist. Er muß möglichst fest und hart sein, so daß die scharfen Ecken sich nicht leicht abbrechen und noch weniger kleine Stücke sich zwischen den Fingern zerreiben lassen. Besonders muß der Trafs sich scharf anfühlen, und indem die Beimengungen von Thonschiefer und Bimsstein dem Mörtel keine Bindekraft ertheilen, sondern ihn nur verunreinigen, so ist auch derjenige Trafs vorzuziehn, der am reinsten ist. Gewöhnlich schätzt man den grauen Trafs höher als den braunen und giebt dem lichtblauen vor allen den Vorzug, doch ist dieses Kennzeichen allein nicht entscheidend. Wenn der Trafs pulverisirt ist, so pflegt man seine Güte nach dem Niederschlage zu beurtheilen, der sich bildet, sobald man ihn in Wasser geschüttet und dieses umgerührt hat. Am besten ist der Trafs, wenn der Niederschlag bald und zwar vollständig erfolgt, und keine verschiedene Schichten sich darin zu erkennen geben. Die lange anhaltende Trübung des Wassers zeigt gewöhnlich einen starken Thongehalt an, der oft von dem Thonschiefer herrührt. Doch ist diese Probe weniger sicher, indem der wilde Trafs, wenn er sonst rein ist, sich hierdurch von dem ächten kaum unterscheiden läßt.

Die vorstehend erwähnten Kennzeichen sind zum Theil bei dem Winninger Tuffstein nicht entscheidend. Derselbe hat eine braungraue Farbe, ist weniger fest, sogar leicht zerreiblich, auch fehlen ihm die Poren, dagegen hat er ein bedeutend höheres spezifisches Gewicht, als der Brohler Stein. Er zieht die Feuchtigkeit aus der

Luft stark an, so daß er bei feuchter Witterung kaum gemahlen werden kann.

Am sichersten ist es, durch directe Versuche sich von der Bindekraft des Trasses zu überzeugen. In den Niederlanden ist es üblich, aus hart gebrannten Klinkern einen Kasten von 1 Fuß Weite und Höhe mit dem zu prüfenden Trassmörtel aufzumauern. Der Boden, wie die Wände dieses Kastens haben nur die Dicke des Steines zur Stärke. Nach 24 Stunden füllt man den Kasten mit Wasser und der Trass wird nur als gut angesehen, wenn kein Durchsickern bemerkbar ist.

Zweckmäßiger ist das von Vicat angegebene Verfahren, welches auf unsern größeren Baustellen auch allgemein üblich ist und verschiedene Trasse oder Cemente in Bezug auf ihre hydraulischen Eigenschaften sehr sicher vergleichen läßt. Man bildet nämlich unter Zufügung der sonstigen Beimengungen einen steifen Mörtel, füllt damit ein gewöhnliches Trinkglas etwa bis zur halben Höhe an, und gießt sogleich Wasser darüber. An jedes dieser Probegläser wird ein Zettel geklebt, auf den sowohl der Name des Lieferanten, wie auch die sonst nöthige Bezeichnung des Materials und das Mischungs-Verhältniß aufgeschrieben und Tag und Stunde der Mörtelbereitung hinzugefügt wird. Zur Untersuchung der Härte, die nach verschiedenen Zwischenzeiten jede Probe annimmt, dient ein kleines dreibeiniges Gestell, unter welchem das Glas Platz findet. Dieses Gestell ist im Abstände von etwa 6 Zoll über einander mit zwei durchlochten Blechscheiben versehen, welche einen etwa 1 Linie starken und unten zugeschärften Drathstift führen, so daß derselbe lothrecht herabsinken kann. An ihm ist ein durchbohrtes Gewicht von 1 Pfund angelöthet. Indem man den Stift sanft auf den Mörtel-Klumpen stellt, beobachtet man, wie schnell und bis zu welcher Tiefe er eindringt. Diese Probe wird bis zur völligen Erhärtung täglich wiederholt, und das jedesmalige Resultat in ein Register eingetragen.

Durch diese Prüfungen gewinnt man nicht nur ein sicheres Urtheil über jede einzelne Lieferung, sondern man kann dadurch auch leicht das passendste Mischungs-Verhältniß zum Kalke, den man benutzen will, oder zu den andern beizumengenden Materialien ermitteln.

Der feste Tuffstein wird in größeren Stücken von etwa ein Viertel Cubikfuß Inhalt gebrochen, und nachdem er etwas getrocknet

ist, pulverisirt. Zu diesem Zwecke zerschlägt man ihn zunächst in kleinere Stücke von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, und beseitigt die größeren Thonschieferstücke, die sich ziemlich leicht trennen lassen. Zum Pulverisiren dienen im Brohl-Thale am häufigsten Stampfwerke. Die Stampfen sind etwa 2 Centner schwer und mit gußeisernen Schuhen versehen, welche die Gestalt einer Halbkugel haben, sie werden durch Daumen gehoben und ihre Hubhöhe beträgt etwa 18 Zoll. Unter ihnen befinden sich gußeiserne Tröge, die in starke Balken eingelassen, und an der vordern Seite, einige Zolle über dem Boden mit einer schmalen Oeffnung versehen sind. Durch diese Oeffnungen treten während der Bewegung der Stampfen kleine Traftstücke und feiner Trafts heraus und Beides fällt auf geneigte Drathsiebe, die durch das Mühlwerk geschwungen werden. Der feine Trafts fällt durch die Siebe in die darunter gestellten Kasten, während die gröberen Körner und größern Stücke in einem andern Kasten vor dem Siebe sich ansammeln, und von hier in die Tröge zurückgeworfen werden, wobei man jedoch die gröbern Thonschieferstücke wieder beseitigt.

Vielfach erfolgt das Pulverisiren des Tuffsteines auch durch Mahlen und zwar entweder in Mühlen, die wie gewöhnliche Mahlmühlen mit Läufern und Bodensteinen versehen sind, oder in sogenannten Kuller-Gängen. Im ersten Falle müssen die Mühlsteine aber besonders hart sein, weil sie sonst von dem scharfen Trafts in kurzer Zeit abgenutzt werden. Man wendet allein die Mühlsteine von Niedermendig zu diesem Zwecke an, und es ist nöthig, selbst unter diesen die härtesten auszusuchen. Der Läufer wird in seiner untern Fläche concav bearbeitet, so daß er in der Nähe des Auges etwa 2 Zoll vom Bodensteine absteht. Diese Anordnung ist nothwendig, weil sonst die Traftstücke nicht zwischen die Steine treten können. Auf die Form der Hausschläge scheint es wenig anzukommen, dagegen darf kein festes Gestein von einiger Größe mit heringeführt werden, denn sobald dieses sich von dem Auge entfernt und dem Rande der Mühlsteine sich nähert, woselbst diese sich berühren, so drängt es sie mit Heftigkeit auseinander und wirft sogar zuweilen den Läufer herab. Es ist daher bei diesem Verfahren besonders nöthig, den Trafts, während man ihn in kleinere Stücke von höchstens 2 Zoll Durchmesser zerschlägt, zugleich von allen fremden Geschieben, die darin eingesprengt sind, sorgfältig zu reinigen.

Der Kullergang besteht aus einem horizontalen Flur von etwa 6 Fufs Durchmesser, auf dem zwei verticale Steine von 4 Fufs Durchmesser umlaufen. Bei der einfachsten Einrichtung ist der Flur aus harten Werksteinen gemauert, und in seiner Mitte befindet sich die Spurpfanne einer stehenden Welle. Letztere wird gewöhnlich mittelst conischer Räder durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt, und an ihr befindet sich ein hölzernes Geschlinge, von welchem an jeder Seite zwei Arme bis unter die Achsen der Kullersteine herabreichen. In diesen befinden sich die Führungs-Schlitze von $2\frac{1}{2}$ Zoll Weite, worin die 2 Zoll starken eisernen Achsen liegen. Bei solcher Befestigungs-Art können die Kullersteine, sobald sie auf grofse und harte Stücke treffen, die sie nicht sogleich zerdrücken, sich heben und darüber fortgehn.

An das Geschlinge sind ausserdem mittelst Ketten zwei horizontale Rechen gehängt, die unten gekrümmte Messer tragen, welche über den Boden gleiten. Unter dem einen sind die Messer so gestellt, dafs sie die frisch aufgegebenen Tuffsteine von beiden Seiten unter die Kullersteine schieben, unter dem andern greifen sie dagegen tiefer herab und schieben alles Material von der Achse unter die Steine und nach dem Rande des Flurs.

Die Tuffsteine werden, nachdem sie in kleine Stücke zerschlagen sind, hinter den zuletzt erwähnten Rechen aufgeworfen. Der nächste Kullerstein trifft sie schon zum Theil, dem zweiten werden sie aber durch den folgenden Rechen noch vollständiger zugeführt. Der Flur ist mit einem 6 bis 8 Zoll hohen Rande von starkem Eisenblech umgeben, und in diesem befindet sich eine Oeffnung durch welche das dagegen gestrichene Material herausfällt. Ein Arbeiter wirft dieses gegen schräge gestellte Siebe, und schaufelt das gröbere Material, welches sich davor anhäuft, wieder unter die Steine zurück. Die Achse macht in der Minute 10 bis 15 Umdrehungen.

Eine Maschine dieser Art läfst sich ohne grofse Kosten einrichten und eignet sich daher vorzugsweise für Baustellen, auf denen nur eine beschränkte Quantität Tuffsteine verbraucht und gemahlen werden soll. Bei andauerndem und starkem Betriebe wendet man zum Zerkleinern des Tuffsteins zunächst eine Quetschmaschine an. Dieselbe besteht in einem $2\frac{1}{2}$ bis 3 Fufs langen gufseisernen Quetschkasten, der etwa 18 Zoll hoch, oben 16 Zoll und unten 9 Zoll im Lichten weit ist. In demselben liegt die gufseiserne Walze von 8 Zoll

Durchmesser, die mit gekreuzten Reifungen von etwa 2 Zoll Höhe versehen ist. Dieselbe macht in der Minute 35 Umdrehungen.

Die hierin gebrochenen Tuff-Stücke werden nach der Mühle gefördert, diese unterscheidet sich aber bei ausgedehntem Betriebe von der so eben beschriebenen dadurch, daß nicht das Geschlinge mit den Kullersteinen, sondern der 2 Zoll starke gusseiserne Teller, der den Flur oder Boden bildet, durch die Maschine gedreht wird. Die Lager für die Achsen der Kullersteine befinden sich alsdann an horizontalen eisernen Armen, welche auswärts durch Charniere befestigt sind, so daß die Kullersteine sich einige Zolle hoch heben und senken können. Statt der letzteren benutzt man dabei auch häufig 14 bis 16 Zoll breite gusseiserne Räder, deren innerer Raum zur Vergrößerung des Gewichtes mit Ziegelsteinen in Cement-Mörtel ausgemauert ist.

Der gemahlne Trafts wird bei ausgedehntem Betriebe, wie in Amerikanischen Mahlmühlen das Mehl, in prismatische Siebe geführt. Dieselben sind 6 Fufs lang, halten etwa 4 Fufs im Durchmesser, doch pflegt ihr Querschnitt nicht einen Kreis, sondern ein regelmässiges Sechseck zu bilden. Sie machen in der Minute etwa 30 Umgänge, und die Drathgewebe, mit denen sie überspannt sind, haben auf die Länge eines Zolles 20 bis 25 Maschen.

Man rechnet auf eine Quetschmaschine vier Kullergänge und zwei cylindrische Siebe. Eine Dampfmaschine von 18 Pferdekräften genügt, um diese sieben Maschinen in dauerndem Betriebe zu erhalten.

Obwohl in gehörig eingerichteten Fabriken die Kosten für das Mahlen den Preis gegen den rohen Tuffstein nur unbedeutend erhöhen, so pflegt man doch bei größerem Bedarf den Stein in Stücken anzukaufen und das Mahlen auf der Baustelle selbst zu besorgen, weil man alsdann die Güte des Materials besser beurtheilen, und vor Fälschung durch schlechte Steine und durch wilden Trafts sich mehr sichern kann.

Zum reinen Traftsmörtel, der keinen Zusatz an Sand erhält, nimmt man auf 1 Cubikfufs Kalkbrei ungefähr 2 Cubikfufs pulverisirten Trafts, doch darf dieses Verhältniß nicht als allgemein gültig angesehen werden, da der Kalk keineswegs immer von derselben Beschaffenheit ist. Man muß daher durch die oben beschriebene Probe das passendste Mischungs-Verhältniß jedesmal feststellen.

Wenn ein sehr schnelles Erhärten des Mörtels unter Wasser nicht nothwendig ist, so setzt man dem Mörtel auch Sand zu. Bei Mauerwerk, das nicht immer von Wasser bedeckt bleibt, ist ein solcher Zusatz sogar nothwendig, weil hierdurch die hygroskopischen Eigenschaften gemäfsigt werden, und der nachtheiligen Einwirkung des Frostes auf den Mörtel vorgebeugt wird. Zu derartigem Mauerwerk verwendet man in der Rheinprovinz gewöhnlich ein Gemenge von gleichen Raumtheilen Kalkbrei, Trafs und Sand, und man nennt dasselbe verlängerten Trafsmörtel. Es sind jedoch, jenachdem ein schnelleres oder langsames Erhärten gefordert wird, auch andere Mischungs-Verhältnisse üblich, und diese werden wieder durch jene Proben ermittelt.

Bei dieser Gelegenheit mufs noch auf eine auffallende Eigenschaft des reinen, wie auch des nur wenig verlängerten Trafsmörtels aufmerksam gemacht werden, die man bei Cementmörteln nicht bemerkt. Derselbe erhärtet nämlich nicht, wenn die Temperatur des umgebenden Wassers nur um wenige Grade den Gefrierpunkt übersteigt. Man hat dieses vielfach bemerkt und man darf sonach keine Beton-Bettung aus Trafs unmittelbar vor dem Eintritt des Winters ausführen.

Die Zubereitung des Trafsmörtels geschieht gewöhnlich in der Art, dafs man den Kalk und Trafs abmifst, alsdann auf einem dichten Dielenboden den Kalkbrei ausbreitet und unter fortwährendem Durcharbeiten mit der Kalkhacke den Trafs nach und nach zusetzt. Der Mörtel wird aber um so besser, je weniger Wasser er enthält. Vortheilhaft ist es auch, den nothwendigen Zusatz an Wasser gleich Anfangs mit dem Kalk zu vermengen, weil alsdann der Trafs sich leichter darin gleichmäfsig einbringen läfst. Der Zusatz an Wasser mufs aber immer auf das kleinste zulässige Maafs beschränkt werden, weil sonst die Erhärtung später eintritt, auch ein merkliches Schwinden dabei erfolgt. Die Darstellung des Mörtels wird aber um so schwieriger, je steifer derselbe ist. Mit Hacken und Krücken läfst er sich oft nicht mehr bearbeiten, man mufs vielmehr Stampfen und Schlägel benutzen, wodurch er bei gleichem Wassergehalt nicht nur ein gleichmäfsigeres Gemenge darstellt, sondern auch weicher und schmiegsamer wird. Früher suchte man denselben Zweck dadurch zu erreichen, dafs die Arbeiter den Mörtel mit Holzschuhen treten mufsten. Dabei liefs sich indessen das Ein-

dringen des Mörtels in die Schuhe nicht verhindern, und alsdann wurde die Haut der Füße so angegriffen, daß wenigstens heftige Schmerzen die Folge waren. Diese Methode ist daher keineswegs zu empfehlen.

Wenn größere Quantitäten Mörtel dargestellt werden sollen, wie namentlich behufs Béton-Fundirungen, so wendet man Mörtel-Maschinen an. Dieselben sind sehr verschieden eingerichtet, im Allgemeinen wird aber durch sie nicht nur die Fabrikation beschleunigt, sondern das Fabrikat pflegt auch gleichmäßiger und sonach besser auszufallen, als durch Handarbeit.

Beim Bau der Rühr-Schleusen benutzte man Maschinen, in welchen der Mörtel in hohlen Cylindern aus Eisenblech gemengt wurde, die horizontal lagen und oben offen waren. An der hindurchgehenden eisernen Achse, die gewöhnlich durch eine Dampfmaschine gedreht wurde, befanden sich Messer, welche theils normal gegen die Achse und theils parallel zur cylindrischen Wand gerichtet waren. Außerdem waren noch besondere Blätter an andern Armen befestigt, welche den Mörtel von der Wand des Cylinders abstrichen. Die Cylinder hatten die Länge von 5 bis 6 Fufs, und hielten $2\frac{1}{2}$ Fufs im Durchmesser. Die Messer welche den Mörtel in einer oder der andern Richtung durchschnitten, waren etwa 3 Zoll von einander entfernt.

Die Maschine wurde in der Art benutzt, daß man zunächst 3 Cubikfufs Kalkbrei einschüttete, die 6 Cubikfufs Trafs aber nur in kleinen Quantitäten nach und nach zusetzte, während die Achse mit den Messern schon in voller Bewegung war. Dieses Verfahren begründete sich in sofern, als beim Hinzukommen einer größeren Masse Trafs der Mörtel so steif wurde, daß die Messer ihn nicht mehr durchdringen konnten. Die Achse machte durchschnittlich 50 Umdrehungen in der Minute, und in 9 Minuten war der Mörtel hinreichend durchgearbeitet. Alsdann öffnete man die Boden-Klappe, worauf der Mörtel aus dem Cylinder herabfiel. Derselbe maafs wieder nur 6 Cubikfufs, woraus sich ergibt, daß der Kalkbrei nur so eben die Zwischenräume zwischen den Trafskörnchen ausfüllte.

Eine andere Art von Mörtel-Maschinen, die besonders in Frankreich üblich ist, besteht in einem gemauerten oder eisernen kreisförmigen Boden, in dessen Mitte eine Achse steht, an welcher vier eiserne Arme befestigt sind. An dreien derselben befinden sich ver-

tikale Räder, die auf dem Boden umlaufen und die hier eingeschütteten Materialien vermengen, der vierte Arm bildet aber den Göpelbaum, woran ein Pferd gespannt ist. *) Endlich werden auch Kuller-Gänge, bei denen sich der Boden dreht, zur Darstellung des Mörtels benutzt, bei den sämtlichen vorstehend erwähnten Maschinen findet indessen kein continuirlicher Betrieb statt. Dieser Uebelstand wird vermieden, wenn man die Mörtel-Maschine nach Art der bekannten Thonschneide-Maschinen einrichtet.

Dieselbe besteht aus einem senkrecht stehenden hölzernen oder eisernen Cylinder von 4 bis 5 Fuß Höhe und 3 bis 4 Fuß Weite. Hölzerne Cylinder pflegt man nach oben etwas zu verjüngen, um die eisernen Bänder beim Eintrocknen der Stäbe nachtreiben zu können. In der Achse befindet sich eine eiserne Spindel von quadratischem Querschnitt, die unten in einer Spurpfanne steht, und oben durch einen eisernen Bügel gehalten wird. An den darüber vortretenden Kopf ist ein Göpelbaum angeschroben, bei Anwendung der Dampfkraft ist dagegen ein conisches Rad aufgesteckt, in welches das von der Maschine bewegte conische Getriebe eingreift.

Die erwähnte Spindel ist mit vier oder fünf horizontalen eisernen Armen verbunden, die bis nahe an die innere Wand des Cylinders reichen, und oben wie unten in Abständen von 3 bis 4 Zoll mit mehreren, etwa 4 Zoll langen, und lothrecht gerichteten eisernen Dornen versehen sind. Aus der Cylinder-Fläche treten ähnliche Arme radial bis gegen die Achse vor, die eben solche Dorne tragen. Diese Arme, so wie die Dorne sind aber so gestellt, daß jene an die Achse befestigten bei der Drehung der letzteren durch sie frei hindurchgehn.

Einige Zolle über dem Boden sind an die Spindel zwei schräge gerichtete Messer angeschroben, durch welche die Masse nach einer Oeffnung geschoben wird, die sich unmittelbar über dem Boden in dem Cylinder-Mantel befindet, und die durch einen Schieber geschlossen werden kann.

Der Cylinder wird zunächst etwa bis zur Hälfte lagenweise und in dem richtigen Verhältniß mit den Materialien gefüllt, woraus der Mörtel bereitet werden soll. Nachdem der Schieber geöffnet ist, wird die Spindel in Bewegung gesetzt, und nunmehr der Cylinder

*) Eine ähnliche Maschine ist im dritten Theile dieses Werkes §. 68. beschrieben und durch Zeichnung erläutert.

in gleicher Weise vollständig gefüllt. Der erste Mörtel ist noch nicht gehörig durchgearbeitet, und muß daher aufs Neue in den Cylinder geworfen werden, nach kurzer Zeit ist dagegen die Vermengung vollständig erfolgt und der alsdann austretende Mörtel ist zur Benutzung geeignet. Man muß darauf achten, daß der Cylinder stets gefüllt bleibt, weil die verschiedenen Bestandtheile um so inniger mit einander in Berührung treten, je häufiger jene Arme und Dorne die Masse durchschnitten haben. Bei jedesmaliger längern Unterbrechung der Arbeit, wobei der im Cylinder befindliche Mörtel erhärten könnte, muß die Maschine vollständig entleert und gereinigt werden, weil der an den Wänden und Armen haftende Mörtel den spätern Betrieb erschweren, auch das Fabrikat verschlechtern würde.

Wenn die Lage des Bauplatzes es irgend zuläßt, so empfiehlt es sich, diese Maschine in solcher Höhe aufzustellen, daß der austretende Mörtel durch eine schräge Rinne von selbst in die darunter geschobenen Handkarren fällt. Bei dem Betriebe durch Pferde muß die Göpelbahn in der Höhe der Maschine liegen, und über jene Rinne auf einer Brücke übergeführt werden.

Eine der beschriebenen ähnliche Maschine, die bei Lorient aufgestellt war, und von vier Pferden getrieben wurde, lieferte in der Stunde nahe 100 Cubikfuß Mörtel.

Da der Trafmörtel schon in wenigen Stunden zu erhärten anfängt, so darf man ihn nur unmittelbar vor der Verwendung zubereiten. In den Niederlanden wird freilich hiervon zuweilen in so fern abgewichen, als man auch den Trafmörtel, eben so wie andere Mörtel, die besonders bindend sein sollen, mehrere Tage nach einander umarbeitet. Man bedient sich hierzu eiserner hochkantiger Schlägel, die in der Art gebogen sind, daß ihre schmale Fläche auf etwa 1 Fuß Länge den Boden trifft, und man gebraucht sie so, daß die Schläge unmittelbar neben einander fallen, also die Mörtelmasse in allen Theilen getroffen und in andere Berührung versetzt wird. Bei der spätern Bearbeitung wird dabei kein Wasser zugesetzt. *) In den Entreprise-Bedingungen (Bestek) für den Schleusenbau in Nieuwe-Diep, der 1816 ausgeführt wurde, wird ausdrücklich verlangt, daß kein Mörtel verwendet werden dürfe, der nicht

*) F. Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraulischen Architektur. Königsberg 1808. Seite 126.

während 3 bis 4 Tagen täglich einmal mit diesen eisernen Schlägeln umgearbeitet worden, er dürfe jedoch auch nicht länger, als 5 Tage gelegen haben. Dabei wird noch gefordert, das beinahe gar kein Wasser zugesetzt werde. F. Baud *) theilt gleichfalls mit, das dieses Verfahren in den Niederlanden allgemein üblich sei, doch fügt er hinzu, das einige Ingenieure dasselbe bei Trafs- und Cement-Mörtel nicht billigen.

Indem nun bei den grofsartigen und mit vollster Sachkenntniß ausgeführten Wasserbauten in den Niederlanden der Trafs vorzugsweise angewendet ist, so mufs man voraussetzen, das die mehrmalige Umarbeitung des daraus bereiteten Mörtels, wenn auch gegenwärtig davon vielfach abgegangen wird, doch eine gewisse Begründung hat. Diese liegt, wie es scheint darin, das der Kalkbrei sich zunächst nur mit den mehr aufgeschlossenen Bestandtheilen des Trasses verbindet, während seine chemische Verbindung mit den schwerer zugänglichen Theilen erst später erfolgt. Bei der sofortigen Verwendung des Mörtels ist Letzterer noch nicht eingetreten, und eben so wenig die Volum-Veränderung, die sie veranlafst. Durch diese wird also der Mörtel später gelockert. Wird derselbe dagegen erst gebraucht, nachdem diese Verbindungen vollständig erfolgt sind, so findet keine weitere Volum-Veränderung statt. Es wäre möglich, das namentlich der verlängerte Trafs-Mörtel, der weniger schnell bindet, durch dieses wiederholte Umarbeiten an Güte gewinnt, doch fehlen darüber entscheidende Beobachtungen.

Die so wichtigen hydraulischen Eigenschaften können dem Mörtel auch in ganz andrer Weise, als durch den Zusatz von Trafs und ähnlichen Substanzen ertheilt werden. Es ist bereits erwähnt worden, das manche Kalke hierzu überhaupt keines Zusatzes bedürfen, vielmehr schon in der Verbindung mit reinem Quarzsande einen hydraulischen Mörtel darstellen. Man nennt solchen Kalk, magern oder hydraulischen Kalk. Er unterscheidet sich von dem gewöhnlichen fetten Kalke dadurch, das er beim Einlöschen weniger gedeiht, oder eine geringere Quantität Kalkbrei liefert, auch ist die Farbe wegen der fremden Bestandtheile mehr bräunlich. Wenn man diesen Kalk zu Mörtel bearbeitet, so mufs der Zusatz an Sand ge-

*) *Proeve van eenen Cursus over de Waterbouwkunde. II. Deel. 1838. pag. 149.*

ringer sein, als im fetten Kalke. Enthält er nur gegen 10 Procent Thonerde, so giebt er sich schon in geringerem Grade als hydraulischer Kalk zu erkennen, beträgt die Thonerde dagegen 20 bis 25 Procent, so erhärtet der daraus gebildete Mörtel sehr fest unter Wasser, und man pflegt ihn alsdann vorzugsweise hydraulischen Kalk zu nennen. Nach dem Brennen läßt er sich einlöschten, ohne dafs man ihn künstlich zu pulverisiren braucht, doch bedarf er noch eines Zusatzes von Sand, um Mörtel zu bilden. Beide letzterwähnten Eigenschaften verschwinden aber, sobald der Kalkstein etwa 30 Procent Thonerde und Kieselsäure enthält. Man nennt ihn alsdann Cement. Ein solcher zerfällt nach dem Brennen weder an der Luft, noch im Wasser und mufs daher gemahlen werden, dagegen läßt er sich ohne allen Zusatz von Sand in Mörtel verwandeln, der sowohl an der Luft, wie auch unter Wasser erhärtet. Wenn endlich der Gehalt an kohlensaurem Kalk nur gegen 20 Procent beträgt, so mufs man nicht nur nach dem Brennen die Steine pulverisiren, sondern noch fetten Kalk zusetzen.

Unter den natürlichen Cementen ist vor Allen der Roman-Cement zu nennen. Am Ende des vorigen Jahrhunderts liefs James Parker sich ein Patent auf einen hydraulischen Mörtel geben, den er aus Lesesteinen brannte, welche auf dem Strande bei Dover sich vorfanden. Er nannte denselben Roman-Cement, weil er nach seiner Erhärtung an Festigkeit dem römischen Mauerwerk gleichkam. Bald darauf wurde auch in Frankreich die Entdeckung gemacht, dafs in den Geröllen am Strande bei Boulogne (galets de Boulogne) ebenfalls das Material zu vortrefflichem hydraulischen Mörtel vorhanden sei. Die chemische Analyse ergab, dafs beide Steinarten derselben Formation angehörten, und nach dem Brennen im Allgemeinen folgende Zusammensetzung hatten:

Kalk	55 Procent
Thonerde	7 „
Kieselsäure	23 „
Mangan- und Eisenoxyd	12 „
Kali, Natron etc.	3 „

Die natürlichen hydraulischen Kalke und Cemente sind indessen selten ganz gleichmäfsig, in den verschiedenen Lagen und Bänken pflegen sogar sehr bedeutende Abweichungen in den Verhältnissen der chemischen Bestandtheile sich zu zeigen. Indem überdies die

Kalk-Arten, welche an sich hydraulischen Mörtel bilden, nicht so allgemein verbreitet sind, wie die Kalk- und Thon-Arten, welche jene Bestandtheile getrennt enthalten, so lag es nahe, durch Verbindung beider künstliche Cemente von derselben chemischen Zusammensetzung darzustellen, welche jene natürlichen Cemente haben. Die großen Verdienste, die Vicat durch unermüdliche Arbeiten in dieser Beziehung sich erwarb,*) sind bekannt, ein künstlicher Cement, der allen Anforderungen entsprach, wurde jedoch zuerst in England dargestellt. Der Erfinder desselben war Joseph Aspdin und er nannte sein Fabrikat Portland-Cement, weil dieses die Härte des Portland-Steines annahm, der zu den geschätztesten Bausteinen Englands gehört, auch ungefähr die Farbe desselben hatte.

In Frankreich und Deutschland sind seitdem zahlreiche Fabriken entstanden, welche Cement liefern, der dem englischen Portland-Cement in keiner Beziehung nachsteht. Diese Benennung ist auch in Deutschland allgemein beibehalten. In England wurde hauptsächlich der Thon, der im Thale des Medway-Flusses gegraben wird, verwendet, dessen Zusammensetzung der Art ist, daß er in Verbindung mit Kalk vorzüglichem Cement bildet. Der Septarinton**), der im nördlichen Deutschland größtentheils benutzt wird, hat nahe dieselbe chemische Zusammensetzung wie der Thon des Medway-Thales.

Bei Fabrikation des Portland-Cementes werden die geeigneten Materialien, kohlsaurer Kalk und kieselsaurer Thon, deren chemische Zusammensetzung vorher genau ermittelt ist, um das Mischungs-Verhältniß richtig zu wählen, nachdem sie pulverisirt sind, unter reichlichem Zusatz von Wasser in großen Bottichen mittelst geeigneter Rühr-Apparate auf das innigste vermengt. Die dünnflüssige Lösung leitet man alsdann in große Schlamm-Bassins, worin sie so lange steht, bis das überschüssige Wasser theils verdunstet, theils in den Boden eingesogen und die Masse streichrecht

*) Das wichtigste Werk von Vicat, welches bei seinem Erscheinen die allgemeinste Aufmerksamkeit erregte, ist betitelt: *Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires. Paris. 1818.*

**) Diese Thonknollen sind bei ihrer früheren Erhärtung stark geschwunden, und da zuerst die äußere Schale fest wurde, so bildeten sich im Innern hohle Räume oder Zellen, woher der Name.

geworden ist, worauf man sie wie Ziegel formt, und diese, nachdem sie an der Luft oder durch künstliche Erwärmung getrocknet sind, in Stücke zerschlägt und bei Coaksfeuerung brennt.

Das Brennen muß mit möglichster Vorsicht erfolgen. Die Hitze darf sich nicht so steigern, daß der Kalk schon im Ofen mit der Kieselsäure der Thonerde unlösliche Verbindungen eingeht, die vom Wasser nicht mehr angegriffen werden und deshalb die Molecular-Veränderung, die für das Erhärten des Mörtels nothwendig ist, später nicht mehr eintreten kann. Andererseits muß die Hitze aber so groß sein, daß die kieselsaure Thonerde, so wie die Eisenverbindungen aufgeschlossen werden und die Kohlensäure aus dem Kalk vollständig entweicht. Soll der Cement besonders schnell binden, so giebt man ihm einen stärkeren Zusatz von Thon, brennt ihn aber minder scharf.

Nachdem der Cement gebrannt ist, wird er gemahlen oder auf andre Art pulverisirt und gesiebt. Eine sehr sorgfältige Verpackung in Tonnen ist nothwendig, um ihn vor Feuchtigkeit zu schützen. Die Tonne pflegt $3\frac{1}{3}$ Cubikfuß zu halten, da der Cement aber fest eingestampft ist, so giebt sie $4\frac{1}{2}$ bis 5 Cubikfuß loser Schüttung. Das Brutto-Gewicht der Tonne beträgt etwa 400 Pfund, wovon 375 Pfund auf den Cement zu rechnen sind.

Die chemische Zusammensetzung eines guten Portland-Cementes ist durchschnittlich folgende:

Kalk	60	Procent
Magnesia	1	„
Thonerde	8	„
Eisenoxyd	4	„
Kali und Natron	2	„
Gyps	1	„
Kieselsäure	24	„

Der fertige Cement stellt sich, als ein scharfes krystallinisches Pulver dar, seine Farbe spielt aus dem Grauen ins Blaue oder Grüne über. Sein specifisches Gewicht ist 3,1 bis 3,2 und im Allgemeinen ist das größere Gewicht ein Zeichen der bessern Qualität. Die möglichst feine Zertheilung ist dringendes Bedürfnis, damit das Wasser gleichmäfsig und gleichzeitig auf alle Körnchen einwirken kann. Schüttet man Cement unter starkem Umrühren in ein mit Wasser gefülltes Glas, so muß er bald und gleichmäfsig

niederschlagen, ohne verschiedene Schichtungen zu bilden, auch darf das Wasser keine starke Trübung behalten.

Wenn nicht gerade ein möglichst schnelles Erhärten des Mörtels nothwendig wird, wie etwa beim Stopfen eines Quells, so ist die Verwendung eines etwas langsamer bindenden Cementes in mehrfacher Beziehung vorzuziehen. Nach vielfachen Erfahrungen kann man dem letzteren ohne merkliche Benachtheiligung mehr Sand zusetzen, außerdem ist die Verarbeitung desselben leichter, was besonders von Wichtigkeit ist, wenn große Quantitäten Mörtel, wie etwa zu Béton-Fundirungen gebraucht werden, und endlich nimmt derselbe schliesslich eine bedeutend grössere Härte und Festigkeit an, als der schnell bindende Cement. Für gewöhnliche Fälle und namentlich für Béton-Fundirungen genügt es, wenn der reine Cement, welchem dem Gewichte nach im Verhältnisse von 10 zu 3 Theilen Wasser zugesetzt ist, erst nach 25 bis 30 Minuten abbindet.

Bei Abnahme des Cementes ist besonders darauf zu achten, daß er keine Feuchtigkeit angezogen hat, wodurch er schon im Fasse theilweise erhärtet. Ein geringes Zusammenbacken der Masse pflegt dagegen ohne Nachtheil zu sein, so lange die Klümpchen sich noch ohne Schwierigkeit zwischen den Fingern zerreiben lassen. Außerdem ist jedenfalls zu prüfen, ob die Tonnen den ausbedungenen Inhalt und das richtige Gewicht haben.

Das sicherste Urtheil über die Güte des Cementes und über den passenden Sand-Zusatz gewinnt man durch directe Versuche. Man formt aus den zu prüfenden Mischungen Kugeln, und legt dieselben, nachdem sie eine gewisse Consistenz gewonnen haben, also etwa nach 30 Minuten in die vorhin erwähnten Probegläser, die man mit Wasser füllt, und prüft alsdann von Zeit zu Zeit die nunmehr eintretende Erhärtung.

In den Fabriken pflegt man den Cement in Bezug auf seine absolute Festigkeit in der Art zu prüfen, daß man aus reinem Cement-Mörtel in metallnen Formen prismatische Stäbe bildet, deren quadratische Querschnitte $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll in den Seiten messen. An beiden Enden sind diese Stäbe mit Verstärkungen versehen. Nachdem der Mörtel abgebunden hat, entfernt man die Formen und legt die Proben unter Wasser. Nach mehreren Tagen wird die Festigkeit derselben gemessen, indem man die erwähnten Verstärkungen in passende Backenpaare schiebt, von denen das obere fest aufgehängt

ist, während das untere entweder unmittelbar die Gewicht-Schale trägt, oder mittelst eines Hebels nach und nach stärker belastet wird. Nach acht Tagen muß ein guter Cement 160 bis 180 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt tragen. Seine rückwirkende Festigkeit ist aber viel größer und beträgt etwa das Zehnfache der absoluten.

Bei ausgedehnten Bauten werden Versuche dieser Art auch auf den Baustellen ausgeführt, wie z. B. bei dem Bau des südlichen Haupt-Cloaken Canals in London. Dasselbst wurde nur solcher Cement als brauchbar und den Lieferungs-Bedingungen entsprechend angenommen, von dem ein Mörtel-Prisma von $1\frac{1}{2}$ Zoll Engl. Seite am siebenten Tage erst bei einer Belastung von 400 Pfund zerrifs, dieses Maafs wurde aber bald darauf auf 500 Pfund erhöht. *) Auf Rheinländisches Maafs und auf Zoll-Gewicht reducirt stellt sich die Tragfähigkeit des Prisma's von 1 Quadrat-Zoll Querschnitt beziehungsweise auf 154 und 192 Pfund.

Der aus gutem Portland Cement dargestellte Mörtel ist gleichmäfsig grau-blau gefärbt, zeigen sich darin gelb-braune oder rostfarbige Flecken, so ist dieses ein Zeichen von ungenügender Mischung der Roh-Materialien oder von nicht normaler Zusammensetzung derselben.

Der nicht zu schnell bindende Cement erhöht beim Zuthun des Wassers seine Temperatur nur etwa um 2 Grad, bei seinem Erhärten tritt auch keine merkliche Vergrößerung des Volums ein. Wird demselben Sand zugesetzt, so erfolgt die Erhärtung auffallend langsamer, dieser Umstand pflegt aber in den meisten Fällen nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

Wie viel Sand dem Cement ohne Nachtheil zugesetzt werden kann, muß man jedesmal durch die oben bezeichneten Proben feststellen. Handelt es sich um die Ausführung eines vollständig wasserdichten Mauerwerks, so darf dem Cement nur so viel Sand zugesetzt werden, daß die Zwischenräume in dem letztern sich noch vollständig mit dem erstern füllen. Dieses Maafs läßt sich durch einen einfachen Versuch annähernd feststellen. Man füllt ein Gefäß von bekanntem Rauminhalt mit trockenem Sande bis zum Rande an, und gießt soviel Wasser darüber, bis dasselbe den Rand des

*) Zeitschrift des hannöverschen Architekten- und Ingenieurs-Vereins. 1866. S. 159.

Gefäßes erreicht. Der Rauminhalt des zugegossenen Wassers, verglichen mit dem des Gefäßes stellt das zulässige Verhältniß des Cementes zum Sande dar, doch thut man wohl, noch etwas mehr Cement zu nehmen. Bei dieser Messung muß man jedoch auf manche Umstände Rücksicht nehmen, die bereits §. 7, §. 20 und §. 38 berührt sind. Die Schüttung des Sandes muß möglichst locker sein, weil eine geschlossene Ablagerung der Sandkörnchen in der breiartigen Mörtelmasse nicht erfolgen kann. Gießt man aber Wasser auf, so tritt sogleich eine dichtere Ablagerung ein und die Oberfläche des Sandes sinkt herab. Man muß daher das Gefäß vollständig und über den Sand hinaus mit Wasser anfüllen. Bei solchem Zugießen kann es leicht geschehn, daß die obern Schichten in ihrer ganzen Ausdehnung benetzt werden, während in den untern die Zwischenräume noch mit Luft gefüllt sind. Letztere kann alsdann nicht entweichen und verhindert daher den Zutritt des Wassers, so daß jenes gesuchte Verhältniß nach dieser Probe sich leicht unrichtig herausstellt. Um dieses zu vermeiden, empfiehlt es sich, das Wasser unmittelbar über dem Boden des Gefäßes in den Sand einzuführen, also schon vor dem Einschütten des letztern einen Trichter, der in eine hinreichend lange, nicht zu weite Röhre ausläuft, in das Gefäß zu stellen, und durch diese das Wasser eintreten zu lassen. Daß der cubische Inhalt des eintauchenden Theiles des Trichters von dem des Gefäßes in Abzug gebracht werden, auch bei vollständiger Anfüllung das Wasser im Trichter sich in gleicher Höhe mit dem Rande des Gefäßes befinden muß, bedarf kaum der Erwähnung. Es mag hinzugefügt werden, daß drei Raumtheile Sand auf 1 Raumtheil Cement in der Regel noch einen undurchlässigen Mörtel geben. Bei Fundament- und Futter-Mauern, Brückenpfeilern und ähnlichen Ausführungen, wobei es auf Wasserdichtigkeit weniger ankommt, kann man sogar fünf und selbst sechs Theile Sand einem Theile guten Portland-Cementes zusetzen.

Der mit vielem Sande gemengte Cement ist indessen schwer zu bearbeiten, wenn man den Mörtel mit Wasser anmacht. Wählt man statt des letzteren Kalkmilch, so bindet er in sich besser, und läßt sich leichter in einen zusammenhängenden Brei verwandeln. Die Verbindung des Kalkes mit Portland-Cement ist auch in andern Fällen vortheilhaft. Durch einen geringen Zusatz des letztern gewinnt der gewöhnliche fette Kalk entschieden hydraulische

Eigenschaften. Ein Gemenge von 1 Theil Cement, 6 Theilen Sand und 2 bis 3 Theilen fetten Kalk stellt einen Mörtel dar, der sich für Mauerwerk, das vielfach dem Wasser ausgesetzt ist, vortrefflich eignet.

Es ist vortheilhaft, beim Anmachen des Mörtels möglichst wenig Wasser zuzusetzen. Reiner Cement-Mörtel erfordert dem Gewichte nach 30 bis 40 Theile Wasser auf 100 Theile Cement. Nach der Erhärtung sind hiervon 14 bis 16 Theile chemisch gebunden, woher 16 bis 24 Theile ausgestoßen werden. Letztere dringen aber nicht in reinem Zustande heraus, sondern enthalten zugleich Alkalien, die sich aus dem Mörtel in ihnen auflösen. Bei Mauern, die im Trocknen ausgeführt sind, schlagen sich diese beim Verdunsten des Wassers auf den freien Oberflächen nieder. Dieses sind die Efflorescenzen die man bei Mauern, welche mit hydraulischem Mörtel ausgeführt sind, gewöhnlich bemerkt. Je mehr überschüssiges Wasser in den Mörtel eingeführt wurde, um so stärker wird dieser ausgelaugt, und das richtige Verhältniß der Bestandtheile geändert. Mauerwerk, welches bei Regenwetter ausgeführt ist, pflegt demnach stärkere crystallinische Efflorescenzen zu zeigen, als solches das bei trockner Witterung dargestellt wurde, obgleich dem Mörtel in beiden Fällen in demselben Verhältniß Wasser zugesetzt war.

Bei Zubereitung des Cement-Mörtels wird der Cement mit dem Sande zunächst trocken gemischt, und alsdann erst das erforderliche Wasser zugesetzt, worauf die Durcharbeitung erfolgt. Dieses darf jedoch nur nach Maafsgabe des Verbrauches geschehn, und dieser muß statt finden, bevor ein Abbinden bemerklich wird. Hat man statt des Wassers Kalkmilch angewendet, so ist eine etwas längere Zwischenzeit zulässig, die auf eine volle Stunde und selbst wenig darüber sich ausdehnen darf.

Auf größeren Baustellen werden zur Bereitung des Cement-Mörtels auch Maschinen benutzt, wenn diese aber nach Art jener für den Traßmörtel eingerichtet sind, so können sie nur das trockne Material mit dem zugesetzten Wasser in innige Verbindung bringen, die Vermengung des Cementes mit dem Sande muß daher schon früher durch Handarbeit erfolgt sein. Bei Gelegenheit der Béton-Bereitung wird eine Maschine beschrieben werden, welche Beides ausführt.

§. 47.

Béton.

Unter Béton versteht man ein Gemenge von kleinen Steinen und hydraulischem Mörtel. Die Steine müssen solche Gröfse und Form haben, dafs sie bei jeder zufälligen Schüttung sich möglichst geschlossen lagern, auch einiger Verband sich in ihnen bildet, wenn dieser gleich nur sehr unvollkommen ist. Ihre Verbindung erhalten sie durch den beigemengten Mörtel der ihre Fugen füllt, der aber nach dem Erhärten an ihnen sicher haften mufs. Aus diesem Grunde dürfen sie keine glatte Oberfläche haben. Vor ihrem Verbranche werden sie in Wasser getaucht oder übergossen, weil sie sonst dem Mörtel zu schnell die Feuchtigkeit entziehen und dadurch seine Erhärtung verhindern würden. Ferner darf der gehörige Härtegrad ihnen nicht fehlen. Vielfach stellt man auch die Bedingung, dafs sie recht scharfkantig sein müssen, um einen guten Verband darzustellen, doch werden oft statt der geschlagenen Steinbrocken auch rund geschliffene Kiesel ohne Nachtheil benutzt, was namentlich in England üblich ist. Gewöhnlich giebt man ihnen solche Gröfse, dafs ihr Durchmesser $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll misst. Den Steinschlägern pflegt man zu diesem Zweck Drahringe von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll Weite als Lehre zu geben mit der Anweisung, dafs die Steine in jeder Richtung hindurchfallen müssen.

Man könnte leicht vermuthen, dafs es vortheilhaft wäre, grössere und kleinere Steine zugleich zu verwenden, damit die kleineren die Fugen zwischen den grösseren füllen, und dadurch der Bedarf an Mörtel, der immer besonders kostbar ist, sich möglichst vermindert. Diese Absicht läfst sich indessen bei der zufälligen Ablagerung, und besonders wegen des beigemengten steifen Mörtels nicht erreichen. Ein Stein berührt den andern nur mit einer Kante oder einer Ecke und findet dadurch schon hinreichende Unterstützung, und oft tritt selbst diese Berührung noch nicht ein. Die kleineren Stücke, die man zusetzen wollte, würden daher leicht die Fugen noch mehr vergröfsern. Aus diesem Grunde läfst man die Steine nicht absichtlich in verschiedener Gröfse schlagen, wiewohl sie immer etwas verschieden ausfallen.

Das Material, woraus die Steinstücken bestehn, ist an sich ziemlich gleichgültig, wenn es nur den obigen Bedingungen entspricht. Vorzüglich eignet sich dazu ein fester Sandstein, doch auch Granit, Grauwacke, fester Kalk und besonders recht hart gebrannte und zerschlagene Ziegel können unbedenklich benutzt werden. Vortheilhaft ist es, wenn die Steine nahezu dasselbe specifische Gewicht haben, wie der Mörtel, weil alsdann die Mischung, besonders in Béton-Maschinen, homogener wird.

Wie bereits erwähnt, werden in England gewöhnlich Flufskiesel zum Béton verwendet, auch in Frankreich und Deutschland geschieht dieses vielfach. Wenn denselben auch die vorspringenden Ecken ganz fehlen, so pflegt der daraus dargestellte Béton, bei Anwendung eines guten Mörtels, doch sehr fest und dicht zu sein, oft übertrifft er sogar denjenigen aus geschlagenen Steinen. Der Grund hiervon dürfte darin zu suchen sein, daß eben wegen der fehlenden Ecken die Ablagerung der Steine geschlossener wird, auch ihre abgerundete Form dazu beiträgt, daß bei der Fabrikation der Béton gleichmäßiger wird. Dazu kommt noch, daß diese Kiesel gemeinlich kleiner sind als die geschlagenen Steine, wodurch gleichfalls die Bearbeitung sich erleichtert und der Béton homogener wird. Man könnte freilich auch für die geschlagenen Steine kleinere Dimensionen wählen, dadurch würden aber bei harten Steinen die Kosten erheblicher werden, und bei weichen würde ein großer Material-Verlust durch das Absplittern eintreten. Wo sich in der Nähe der Baustelle Flufgerölle von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser vorfinden, pflegt deren Verwendung eine sehr erhebliche Ermäßigung der Kosten herbeizuführen, da mindestens der Lohn für das Schlagen erspart wird.

Um das Mischungs-Verhältniß zwischen den Steinen und dem Mörtel zu bestimmen, mißt man zuweilen die Zwischenräume zwischen den ersteren. Man füllt zu diesem Zweck einen großen wasserdichten Kasten, dessen cubischen Inhalt man kennt, mit den gehörig benetzten Steinstücken, und beobachtet, wie viel Wasser man hinzugießen kann, bis dasselbe den Rand des Gefäßes erreicht. Das Volum dieses Wassers ist alsdann dem Gesamtinhalte der Zwischenräume gleich und bei dieser Art der Ablagerung würde eine gleiche Quantität Mörtel zur Füllung der Zwischenräume genügen. Man darf dabei aber nicht vergessen, daß in dem fertigen

Béton die Steine durch den Mörtel verhindert werden, eine eben so dichte Lage anzunehmen wie früher, und sonach sind die Zwischenräume wirklich größer oder die Mörtelmasse muß bedeutender sein. Die Mischungsverhältnisse, die man wählt, sind nicht immer dieselben. Bei der ersten Béton-Fundirung einer Ruhrschleuse vor 35 Jahren nahm man auf 12 Cubikfuß zerschlagene Steine 6 Cubikfuß fertigen Mörtel und erhielt daraus 13 Cubikfuß Béton. Hiernach gehören zu 100 Cubikfuß Béton 92 Cubikfuß Steine und 46 Cubikfuß Mörtel. Aehnlich ist das Verhältniß, welches man beim Schleusenbau zu Saint-Valery an der Somme wählte. Man nahm daselbst nämlich zum Cubikmeter Béton 0,87 Cubikmeter Steine und 0,45 Cubikmeter Mörtel. Bei den Schleusen am Rhein-Rhone-Canal rechnete man dagegen auf den Cubikmeter Béton nur 0,69 Steinbrocken und die zugehörige Quantität Mörtel war aus 0,22 gelöschtem Kalk und 0,40 Sand zusammengesetzt. Bei den Bauten in London hat man die Gewohnheit, die Steine und den Sand nicht zu trennen, sondern beide wie sie als Ballast aus der Themse gebaggert werden, dem Kalk zuzusetzen, und es ist auffallend, daß durch die Beimischung des Kalkteiges das Volum des Ballastes vermindert wird. Dieses erklärt sich dadurch, daß der Sand hierbei in eine mehr geschlossene Lage versetzt wird. 27 Cubikfuß Ballast, die mit 3 Cubikfuß gelöschtem Kalk und 4 Cubikfuß Wasser verbunden werden, geben nur 24 Cubikfuß Béton, die 27 Cubikfuß Ballast bestehn aber aus 23 Cubikfuß Geschiebe und $11\frac{1}{2}$ Cubikfuß Sand *). Zu 100 Cubikfuß Béton sind hiernach erforderlich 96 Cubikfuß Geschiebe, 48 Cubikfuß Sand, oder zusammen 112 Cubikfuß Ballast, ferner $12\frac{1}{2}$ Cubikfuß Kalk und 16 Cubikfuß Wasser. Bei Verwendung geschlagener Steine braucht man zu einer Schachtruthe fertigen Béton 120 bis 130 Cubikfuß Steine und etwa 60 Cubikfuß Mörtel.

Die gehörige Vermengung des Mörtels mit den Stein-
stücken wird dadurch mühsam, daß der Mörtel recht steif sein
muß, wenn er schnell erhärten und den hinreichenden Grad von
Festigkeit annehmen soll. Aus diesem Grunde ist ein kräftiges und
anhaltendes Durcharbeiten der Masse erforderlich, und dieses muß
so lange fortgesetzt werden, bis alle Oberflächen der Steine mit ei-

*) *Nature and properties of concrete by G. Godwin, in den Transactions of the Institute of British Architects. Vol. I. Part. I. London 1836.*

ner Mörtelschicht bedeckt sind. Kleinere Bétonmassen pflegt man durch Handarbeit zu bilden, wobei man sich schmaler Rechen bedient, die drei oder vier 6 Zoll lange Zinken haben. Dasselbe Verfahren wird zuweilen auch noch zur Mischung größerer Massen Béton benutzt, und zwar geschieht dies folgendermaassen. Nachdem die Steine stark benetzt worden, breitet man 6 bis 12 Cubikfuss derselben auf einem Dielenboden regelmässig aus, so dass sie eine 6 Zoll hohe Schicht bilden. Nunmehr setzt man den Mörtel in kleinen Quantitäten hinzu und wirft ihn jedesmal so hoch, dass er wenigstens 3 Fufs herabfällt, um sogleich in die Zwischenräume zwischen den Steinen einzudringen und an einem grossen Theile ihrer Oberfläche zu haften. Um die Berührung zu vervollständigen, bearbeitet man hierauf noch die Masse mit den erwähnten Rechen so lange, bis man sicher ist, dass alle Oberflächen mit Mörtel bedeckt sind. Oft breitet man dagegen den Mörtel über den Dielenboden aus, und wirft das erforderliche Quantum Steine heftig darauf, so dass der Mörtel zum Theil schon die Steine überzieht. Darauf wird aber die Masse mit Spaten umgearbeitet, bis die vorstehend erwähnte Bedingung erfüllt ist.

Bei größeren Ausführungen pflegt man sich besonderer Béton-Maschinen zu bedienen, die in verschiedenster Weise construirt sind. Die Maschine, welche bei den Schleusenbauten an der Ruhr angewandt wurde, bestand aus einer geschlossenen achtseitigen prismatischen Trommel aus Holz, welche durch die hindurchgehende eiserne Achse von einer Dampfmaschine gedreht wurde. Bei der Bewegung stieg der Béton zugleich mit der Wandung immer an, und stürzte alsdann in derselben Art herab, als wenn man ihn mit dem Spaten aufgeworfen hätte. Die Trommel war 6 Fufs lang, 3 Fufs weit und machte in der Minute etwa 9 Umdrehungen. Die eine der langen Seiten liess sich als Klappe zurückschlagen. Wenn dieselbe nach oben gekehrt und die Oeffnung frei war, warf man die 12 Cubikfuss Steine und den Mörtel hinein, schloss die Klappe und setzte die Trommel während 18 Minuten in Bewegung. Alsdann war die Durcharbeitung vollständig erfolgt, und wenn die Klappe sich unten befand, öffnete man sie, worauf der Béton herausfiel. Diese häufig eintretende Unterbrechung ist sehr zeitraubend. Die Besorgniss, dass die scharfen Ecken der Steinstücke abgestofsen werden möchten, bestätigte sich dabei aber nicht, indem die Fallhöhen nicht hoch waren,

auch der Mörtel den Stofs mäfsigte, was sich schon aus dem dumpfen Ton während des Ganges der Maschine, und noch sicherer aus der spätern Untersuchung des Bétons ergab. Die Leistung dieser Maschine war wegen der so oft eintretenden und langen Pausen nicht bedeutend, woher solche Einrichtungen vorzuziehn sind, wobei ein ununterbrochener Betrieb möglich ist.

Dieses geschieht, indem die Trommel schräge gestellt wird, und an beiden Enden offen ist. Durch das obere führt man das Material ein, und aus dem untern tritt der fertige Béton aus. Jene Seitenklappe fällt dabei fort, man pflegt auch wohl das achtseitige Prisma in einen Cylinder zu verwandeln. Die Länge desselben misst 12 bis 14 Fufs und sein innerer Durchmesser 3 bis 4 Fufs.

Eine andere Vorrichtung zur Béton-Bereitung, die man nicht mehr eine eigentliche Maschine nennen kann, bietet Gelegenheit die betreffenden Materialien zusammen von einer bedeutenden Höhe herabfallen zu lassen, jedoch so, dafs sie während des Falles vielfachen Hindernissen begegnen, wodurch sie zurückgehalten werden und in verschiedenartige Berührung mit einander kommen, so dafs sie sich innig vermengen.

Ein solches Fallwerk bestand bei den Hafenbauten im Havre in einer senkrecht aufgestellten, 15 Fufs hohen und etwa 20 Zoll weiten cylindrischen Röhre, durch welche in Abständen von etwa 3 Zoll diametrale Sprossen aus Rundeisen von 9 Linien Stärke hindurchgezogen waren. Diese Sprossen lagen aber nicht parallel unter einander, vielmehr war jede gegen die vorhergehende um 45 Grade versetzt. Es wurden jedesmal gleichzeitig solche Massen eingeworfen, dafs der untergeschobene Wagen die volle Ladung Béton erhielt.

Ein anderes ähnliches Fallwerk, welches man im nördlichen Deutschland vielfach benutzt, ist Fig. 264 auf Taf. XXI im Durchschnitt dargestellt. Eine 25 bis 30 Fufs hohe und 6 bis 8 Fufs breite Rüstung wird durch Zwischenwände in Abtheilungen von 6 bis 8 Fufs Länge getheilt. Jede derselben wird abwechselnd benutzt, so dafs bedeutende Quantitäten Béton gefertigt werden können. An den gegenüberstehenden Seiten jeder Abtheilung sind schiefe Ebenen angebracht, von denen die oberste durch eine Klappe geschlossen werden kann, so dafs sich hier ein Behälter bildet, in welchen die Materialien zu einer halben Schachtruthe Béton schichtenweise in dem beabsichtigten Verhältnisse eingeschüttet werden. Befindet sich

dieses Quantum darin, so löst man die Leine, durch welche die Klappe zurückgehalten wurde, und sogleich stürzt die Masse von einer geneigten Ebene auf die andre, von wo sie aber immer sogleich wieder herabgleitet, und dadurch so vielfach in ihrer gegenseitigen Berührung sich verändert, dafs in wenigen Secunden der gehörig gemengte Béton auf den unten angebrachten Dielenboden herabfällt. Diese Vorrichtung, so wie auch diejenige, welche im Havre angewendet wurde, erfordern indessen eine tiefe Lage der Baugrube, weil sonst das Heben der Steine und des Mörtels auf die Rüstung unverhältnifsmäßige Kosten verursachen würde.

Gewöhnlich sind die Maschinen, worin der Mörtel und der Béton bereitet werden, getrennt gehalten, zuweilen hat man sie indessen auch so verbunden, dafs der Mörtel aus der ersten Maschine unmittelbar in die zweite fällt, und hier nur die Steine zugesetzt werden dürfen, um den Béton fertig zu stellen. Eine derartige Anordnung war zur Gewinnung der großen Béton-Massen für die Fundirung der Schleusen des Ihle-Canales mit sehr gutem Erfolge getroffen. Fig. 261 auf Taf. XX zeigt in *a* die Seiten-Ansicht, in *b* den Grundriß und in *c* den Querschnitt des Schuppens mit den darin aufgestellten Apparaten.

Sowol die Mörtel-Maschine wie die Béton-Maschine besteht in einem Cylinder von 12 Fufs Länge und 3 Fufs Weite. Beide werden durch eine locomobile Dampfmaschine von 8 Pferdekräften mittelst Treibriemen und gezahnter Räder in Bewegung gesetzt, wie sich aus den Zeichnungen ergibt. Die Trommeln sind im Verhältnifs 1 zu 12 gegen den Horizont geneigt, so dafs ihr oberes Ende um 1 Fufs höher liegt, als das untere. Sie haben keine durchgehenden Achsen, woher der innere Raum in ihnen frei bleibt, dagegen laufen sie auf Frictionsrollen und erhalten die drehende Bewegung durch gezahnte Räder, die an ihren obern Enden sie umfassen. Die Peripherie-Geschwindigkeiten beider Trommeln betragen 1 Fufs in der Secunde, sie machen daher in der Minute etwa sechs Umdrehungen.

Die Stäbe, welche die Trommeln bilden, sind 2 Zoll stark, und zwar bestehn die der obern Trommel aus Kiefern-, die der untern dagegen, die wegen der hinzugekommenen Steine stärkeren Angriffen ausgesetzt sind, aus Eichen-Holz. Auf den innern Flächen beider Trommeln sind aus kurzen Winkeleisen drei Spiralen gebildet (in

Fig. *a* und *c* sichtbar), durch welche die eingeführten Materialien am sanften Herabgleiten verhindert, und so hoch gehoben werden, daß sie beim Herabstürzen von diesen Schienen eine innige Verbindung eingehn.

In der obern Trommel wurde der Mörtel, in der untern der Béton bereitet. Der Mörtel bestand aus einem Theile künstlichen Portland-Cement und drei Theilen Sand. Zum Abmessen dienten flache Kasten die für den Sand einen halben, und für den Cement ein Sechstel Cubikfuß hielten. Solche wurden gefüllt und abgestrichen auf die Tische *A* und *B* gestellt, und ein dazwischen stehender Arbeiter schüttete abwechselnd den Inhalt eines Sand- und eines Cement-Kastens in die Trommel. Beide Materialien wurden also zunächst trocken gemengt, und nachdem durch Versuche festgestellt war, daß eine gleichmäßige Masse sich schon bildete, nachdem dieselbe den dritten Theil der Länge der Trommel durchlaufen hatte, so wurde hier das Wasser zugeleitet. Dieses geschah durch ein Rohr, welches aus dem Bottich *C* gespeist wurde und bei *D* mit einem Hahn versehen war, von hier aber in das untere Ende der Trommel eintrat, dieselbe der ganzen Länge nach durchlief, und an dem schrägen Trichter, durch welchen man die trocknen Materialien einschüttete, unterstützt wurde. Vier Fuß vom obern Rande der Trommel entfernt war die Ausflußöffnung des Rohres in der Art eingerichtet, daß das Wasser nach oben ausspritzte, der Strahl stiefs aber gegen eine 3 Zoll über der Oeffnung angebrachte Blechhaube, wodurch das Wasser in feinen Tropfen auf den hier vorübergehenden Cement und Sand herabfiel. Der Hahn *D* wurde von einem zuverlässigen Arbeiter, der dauernd daneben stand, so gestellt, daß der aus der Trommel tretende Mörtel die verlangte Consistenz hatte.

Der fertige Mörtel fiel auf die zwischen beiden Trommeln befindliche geneigte Ebene, auf der ihm das nöthige Steinquantum zugesetzt wurde. Die Steine wurden auf Handkarren angefahren, die nachdem sie abgestrichen, genau 2 Cubikfuß hielten, deren Boden aber aus einem engen eisernen Roste bestand. Die gefüllten Karren wurden zunächst unter eine Pumpe geschoben und hier standen sie so lange, bis das Wasser aus ihnen ganz rein abfloß, also der Staub und die Erde, die an den Steinen haftete, abgewaschen war. Alsdann schob man die Karren durch das Eingangsthor *E* an jene ge-

neigte Ebene, und so oft ein Kasten Cement und ein Kasten Sand oben eingeschüttet war, was durch eine Glocke angezeigt wurde, stürzte man den halben Inhalt der Karre auf diese Ebene.

Der Mörtel wie die Steine fielen von der geneigten Ebene in die untere Trommel oder in die Béton-Maschine, und wenn die Steine auch in gröfseren Massen periodisch hinzutreten, während der Mörtel sehr gleichmäfsig hineinflofs, so vermengten sich Beide beim Durchlaufen der Trommel doch so vollständig, dafs in dem fertigen Béton keine Ungleichmäfsigkeit bemerkt werden konnte. Dieser fiel aus der untern Trommel über eine bewegliche Klappe, unmittelbar in die darunter stehende Handkarre, und sobald letztere gefüllt war, legte man die Klappe um, so dafs sie nunmehr den Béton auf der andern Seite ausschüttete, wo man inzwischen eine leere Karre untergestellt hatte. In dieser Weise setzte sich die Mörtel- und Béton-Bereitung ohne Unterbrechung fort, wenn nicht etwa in dem Transport und der unmittelbar darauf statt findenden Versenkung des Bétons eine kurze Stockung eintrat, in welchem Falle die Locomobile angehalten werden mufste. Hiervon abgesehn hängt die Leistungs-Fähigkeit der Maschine davon ab, wie schnell der zwischen den Tischen *A* und *B* stehende Arbeiter die Sand- und Cement-Kasten auszuschütten vermag. Bei regelmäfsigem Gange wurden in der Stunde $2\frac{1}{2}$ Schachtruthen Béton gefertigt.

Wenn der Béton nicht vorschriftsmäfsig durchgearbeitet war, so dafs nicht sämmtliche Steine sich mit Mörtel überzogen hatten, was jedesmal beim Beginn der Arbeit der Fall war, auch sonst gelegentlich vorkam, so wurde die Karre mit dem unfertigen Béton wieder an die geneigte Ebene zwischen beiden Trommeln zurückgeschoben und ihr Inhalt in die Béton-Maschine geworfen, so dafs dieselben Steine nochmals diese durchliefen.

Die untere Trommel, obwohl sie aus eichenen Stäben zusammengesetzt war, nutzte sich so stark ab, dafs sie, nachdem 1400 Schachtruthen Béton hindurchgegangen waren, erneut werden mufste. Bei ausgedehntem Gebrauche dürfte es sich daher empfehlen, sie im Innern mit Blech zu verkleiden.

Es verdient erwähnt zu werden, dafs diese Maschinen bei ihrer ersten Anwendung während eines recht starken Frostes in Betrieb erhalten werden mufsten. Die Béton-Fundirung der Bergzower Schleuse im Ihle-Canale sollte vor dem Winter von

1866 auf 1867 fertig sein, damit die Uebermauerung im nächsten Sommer erfolgen konnte, äußere Umstände hatten indessen den Anfang der Arbeit früher unmöglich gemacht, und bei der milden Witterung entschloß man sich die Bétonirung am 27. December zu beginnen. Unglücklicher Weise trat indessen bald ein starker Frost ein, der sich mehrere Tage hindurch bis auf -10 Grad R. steigerte. Der Schuppen, dessen Thüren freilich immer geöffnet bleiben mußten, wurde durch mehrere eiserne Oefen geheizt, auch war dafür gesorgt, daß wenigstens Sand und Cement lange Zeit im Schuppen lagerten, also eine mäßige Temperatur annahmen, dasselbe geschah mit dem Wasser im Reservoir. Die Steine, zu deren Ablagerung kein Raum vorhanden war, mußten freilich stets von außen beigefahren werden. Die Mörtel- und Béton- Bereitung erfolgte jedoch ohne Störung, und damit der fertige Béton nicht etwa während des Abfahrens gefrieren möchte, wurde an den kältesten Tagen jede Karre mit erwärmten Säcken überdeckt. Am 17. Januar war die Béton-Versenkung beendet, und als man bei Beginn des folgenden Sommers die Baugrube auspumpte, zeigte sich das Bétonbette vollständig wasserdicht und erhärtet.

§. 48.

Béton-Fundirung.

In vielen Fällen ist der Zudrang des Wassers zur Baugrube so stark, daß man dieselbe nicht trocken legen kann, und sonach die Fundirung nach den gewöhnlichen Methoden nicht ausführbar ist, zuweilen darf man aber, wenn die Beseitigung des Wassers auch möglich wäre, doch nicht die Schöpfmaschinen mit voller Kraft wirken lassen, weil die starken Quellen leicht die natürliche Festigkeit und Tragfähigkeit des Bodens beeinträchtigen. Wenn dieses zu besorgen, muß man eine Fundirungs-Art wählen, wobei das Wasserschöpfen entbehrllich wird. Einige hierher gehörige Methoden, die jedoch nur selten Anwendung gefunden haben, auch in ihren Erfolgen nicht ganz sicher sind, sind bereits erwähnt, von andern wird später die Rede sein, vorzugsweise gehört aber hierher die Fundirung in Béton.

Aus den vorstehenden Mittheilungen ergibt sich schon, daß der Béton unter Wasser erhärtet und sogar ein sehr festes Mauerwerk darstellt, obwohl ihm der künstliche Verband der Steine ganz fehlt, auch die Fugen, wie sie sich zufällig gebildet und mit Mörtel gefüllt haben, verhältnißmäßig sehr groß sind. Wenn dieses Mauerwerk sich daher auch theurer und wegen des fehlenden Verbandes sogar weniger fest, als gewöhnliches herausstellt, so hat es doch den großen Vorzug, daß es unter Wasser ausführbar ist, also die Wasserwärtigung wenigstens so lange entbehrlich macht, bis die Sohle der Baugrube überdeckt und die hier befindlichen Quellen gestopft sind. Diese Methode ist indessen keineswegs neu, da nach Bélidor *) schon im Jahre 1748 ein Hafendamm bei Toulon auf Béton fundirt wurde.

Das Verfahren ist dabei im Allgemeinen dieses. Die nöthige Vertiefung der Baugrube wird nicht sowol durch Graben, als durch Baggern bewirkt, wobei das Wasserschöpfen entbehrlich ist, oder doch nur in geringem Maasse einzutreten braucht. Alsdann erfolgt die Umschließung durch eine Spundwand oder in andrer Weise, und hierauf die Versenkung des Béton-Bettes in angemessener Stärke. Hauptbedingung ist, daß während dieser Versenkung und bis zur vollständigen Erhärtung des Bétons, also während mehrerer Monate, die Schöpfmaschinen außer Thätigkeit bleiben, denn wenn während dieser Zeit der Wasserstand in der Baugrube erheblich gesenkt, und dadurch die Quellen in Thätigkeit versetzt werden, so durchdringen sie auch den noch weichen Mörtel im Béton und spülen denselben aus, wodurch sie freien Zutritt zur Baugrube sich eröffnen und der Zweck der Bétonbettung verfehlt wird.

So lange der Béton noch weich ist, muß man jede Strömung von ihm entfernt halten, weil dadurch der Mörtel nicht nur aufgelöst, sondern selbst fortgespült würde. Dieselbe Wirkung könnte auch schon eintreten, wenn man den Béton durch das Wasser frei hindurchfallen lassen wollte, wobei sogar nicht nur der Mörtel ausgespült, sondern wegen der Verschiedenheit der specifischen Gewichte, welche gewöhnlich zwischen dem Mörtel und den Steinen besteht, würden beide sogar in der nachtheiligsten Weise sich trennen. Beim Versenken muß daher der Béton in geschlossener Masse auf die

*) *Architecture hydraulique. Tome IV. p. 187.*

Sohle der Baugrube so versenkt werden, daß er mit dem darüber stehenden Wasser möglichst wenig in Berührung kommt.

Die Versenkung geschieht hiernach entweder in Trichtern oder in Kasten. Die Trichter bestehn gewöhnlich in hölzernen prismatischen Röhren von quadratischem Querschnitt, in welche man den Béton einschüttet. Sie werden auf bewegliche Gerüste in der Art gestellt, daß ihr Fuß oder ihr unterer Rand die Oberfläche der zu schüttenden Bétonlage nahe erreicht. Der unten austretende Béton wird in gleicher Art, wie eine Sandschüttung, keineswegs sich seitwärts über die ganze Baugrube verbreiten, sondern vielmehr nur unter dem Trichter eine abgestutzte Pyramide bilden, deren obere Grundfläche mit der untern Oeffnung des Trichters übereinstimmt und deren Seitenflächen der Böschung entsprechen, welche der Béton unter Wasser annimmt. Hat ein solcher Körper sich gebildet, so hört das weitere Ausfließen des Bétons aus dem Trichter auf, und nur wenn letzterer verschoben wird, stellt sich aufs Neue eine Anschüttung dar und dehnt den pyramidalen Körper in derjenigen Richtung weiter aus, wohin der Trichter verschoben wurde. Auf solche Art läßt sich durch das Fortrücken des Trichters ein Streifen Béton quer über die Baugrube darstellen, und wenn man hierauf wieder die ganze Bahn, welche den Trichter trägt, so weit verschiebt, daß die untere Mündung des Trichters vor die Oberkante des bereits dargestellten Streifen vortritt, und läßt wieder den Trichter langsam sich über die Bahn bewegen, so legt sich ein zweiter Streifen neben den ersten. Auf diese Art kann man die ganze Sohle der Baugrube nach und nach bedecken oder die beabsichtigte Schicht regelmäsig darstellen. Man giebt indessen einer solchen gewöhnlich nicht die volle Stärke, welche das ganze Bétonbette haben soll, sondern nur etwa die Hälfte oder den dritten Theil derselben, und sonach müssen noch andere Schichten in gleicher Art darüber gelegt werden. Dabei muß man die obern Streifen so legen, daß sie die Fugen der untern überdecken, weil die Fugen wegen der längeren Berührung mit dem Wasser weniger sicher geschlossen sind.

Um den Trichter bequem aufstellen und bewegen zu können, legt man gewöhnlich, wie Fig. 265 in *a* und *b* auf Taf. XXI zeigt, auf die Seitenwände der Baugrube drei unter einander verbundene Balken, von denen zwei mit Schienen versehen sind, worauf der kleine Wagen läuft, der den Trichter trägt, und der mittelst der an beiden

Enden der Rüstung aufgestellten Winden hin und hergezogen werden kann. Der dritte Balken bildet in Verbindung mit dem mittleren eine Laufbrücke, von welcher aus der Trichter gefüllt wird. Die kurzen Schwellen, worauf die drei Balken liegen, sind gleichfalls mit Rädern versehen und diese laufen auf Schienen, die auf die Spundwände befestigt sind.

Ist die Baugrube so breit, daß sie selbst mit armirten Trägern nicht überspannt werden kann, oder fehlt ihr eine hinreichend hohe und feste Seitenwand, so daß solche Schiebe-Bühne sich nicht aufstellen läßt, so muß man den Trichter zwischen zwei Fahrzeuge hängen, die in der Baugrube schwimmen. Eine Einrichtung dieser Art war beim Bau der Schleuse St. Valery sur Somme getroffen. *) Hierbei trat aber die Schwierigkeit ein, den Trichter immer in gleicher Höhe zu erhalten, da eines Theils der Wasserstand in der Baugrube nicht constant war, hauptsächlich aber auch die Fahrzeuge bald mehr und bald weniger tief eintauchten, jenachdem sie gerade durch den aufgeschütteten Béton schwerer oder leichter belastet waren. Um diese Abweichungen auszugleichen, brachte man an beiden Seiten zehn große Tonnen an, die auf dem Wasser schwammen und die man mittelst langer Winkelhebel herabdrücken konnte. Geschah dieses, so trugen dieselben einen Theil der Belastung und die Fahrzeuge hoben sich. Auf diese Art war es möglich, durch angemessenes Anzieln der Hebelarme die Fahrzeuge mit dem Trichter immer in derselben Höhe zu erhalten. Mittelst dieser Vorrichtung konnte man indessen nicht bis an den Rand der Baugrube gelangen, und um auch hier den Béton zu versenken, legte man die Rüstung, welche den Trichter trug, an einer Seite auf ein Fahrzeug und an der andern auf einen Wagen, der auf einer Bahn am Ufer sich bewegte.

Man giebt den Trichtern, deren Zusammensetzung Fig. 165 in *a* und *b* und besonders in dem horizontalen Durchschnitt *c* mit genügender Deutlichkeit erkennen läßt, einen quadratischen oder rechtwinkligen Querschnitt von 2 bis 4 Fuß Seite, der in der ganzen Höhe sich gleich bleibt, wenn nicht vielleicht oben die Ränder etwas übertreten um das Einschütten zu erleichtern. Die engeren Trichter pflegt man sogar nach unten hin in ihren Seiten um 1 bis 2 Zoll zu erweitern, um zu verhindern, daß der Béton nicht durch das

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. I. p. 52.

starke Anhaften an den Wänden zurückgehalten wird, sobald der untere Theil des Trichters sich entleert. Die in früherer Zeit versuchte Anordnung, wobei der Trichter sich nach unten verengte, war aus dem angegebenen Grunde nicht passend, und man ist daher gegenwärtig ganz davon zurückgekommen.

Die Trichter müssen immer bis über den Wasserspiegel der Baugrube mit Béton gefüllt bleiben, damit sowol der nöthige Druck auf die austretende Masse ausgeübt, als auch verhindert wird, daß der Béton beim Durchfallen durch darüber stehendes Wasser nicht leidet. Wird die Arbeit während der Nacht oder aus andern Gründen unterbrochen, so empfiehlt es sich, namentlich wenn man Cement-Mörtel anwendet, den Trichter vollständig zu entleeren. Bei Trafmörtel ist diese Vorsicht weniger geboten, wenn die Unterbrechung nicht zu lange dauert, da dieser in etwa 10 Stunden noch nicht so stark abbindet, daß wirkliche Nachtheile besorgt werden könnten. Zweckmäßig ist es indessen, auch ihn während dieser Zeit nicht ganz ruhig stehn zu lassen, vielmehr den Wächter zu instruiren, daß er etwa alle 2 Stunden durch mäßiges Anziehn der betreffenden Winde den Trichter etwas fortrückt.

Beim Anfüllen des leeren Trichters darf man den Béton nicht unmittelbar hineinschütten, weil er beim freien Hindurchfallen durch das Wasser zu sehr ausgewaschen und in seiner Verbindung gelöst werden würde, man muß ihn vielmehr in Kübeln oder Kasten versenken, wie solche nachstehend beschrieben werden. Diese Art der Füllung ist so lange fortzusetzen, bis das Niveau des Wasserstandes in der Baugrube erreicht ist.

So lange der Béton sich in dem Trichter befindet, ist er der Berührung mit Wasser vollständig entzogen, beim Austreten aus der Mündung schiebt er sich dagegen in dünnen Schichten über die Dossirung der früheren Schüttung fort, und ohne Zweifel ist ein starkes Auswaschen des Mörtels alsdann unvermeidlich. Um dieses zu verhindern, oder wenigstens zu mäßigen, hat man auf einzelnen Baustellen in Frankreich versucht, durch geneigte Tafeln vor und zur Seite der untern Mündung des Trichters, die Dossirungen zu überdecken. Es ist indessen nicht anzunehmen, daß dadurch ein merklicher Vortheil erreicht werden kann, da beim Vorrücken des Trichters das Wasser gewiß mit großer Heftigkeit in den zunächst noch leeren Raum unter den Tafeln einströmt. Hierzu kommt aber, daß

man beim jedesmaligen Zurückgehn des Trichters, wenn dabei die Schüttung fortgesetzt werden soll, gezwungen ist, die eine Klappe oder Tafel an die entgegengesetzte Seite zu legen.

Die Figuren zeigen noch neben der untern Mündung des Trichters zwei Walzen, die etwas tiefer als diese herabreichen. Eine geht dem Trichter voran, die andere folgt ihm. Die letztere drückt auf den frisch ausgeflossenen Béton und comprimirt ihn nicht nur, sondern ebnet ihn auch. Beim Zurückgehn thut dieses dagegen die andre Walze, die bei der ersten Bewegung die vordere war. Das auf solche Art überwalzte Bette zeigt eine so ebene Oberfläche, wie sie durch Versenkung des Bétons in Kasten nicht dargestellt werden kann, und hierauf beruht wohl besonders der Vorzug, den man vielfach der Anwendung des Trichters einräumt.

Wesentlich verschieden ist die Versenkung des Bétons, wenn man denselben über Wasser in gewisse Gefäße schüttet, und diese alsdann auf die Sohle der Baugrube herabläßt und sie hier entleert. Es werden dadurch einzelne Haufen neben einander gebildet, die sich in ihren Dossirungen überdecken, und sonach wieder zusammenhängende Streifen bilden. Die Oberfläche derselben ist aber keineswegs so eben, wie beim Gebrauch des Trichters mit den Walzen. Für die untern Schichten ist diese Unregelmäßigkeit ohne Nachtheil, weil die darüber versenkten alle Vertiefungen wieder füllen, aber selbst für die obere Schicht ist die vollständige Ausebnung kein dringendes Bedürfnis, da bei der spätern Uebermauerung solche leicht dargestellt werden kann. Man pflegt indessen auch die obere Schicht unmittelbar nach dem Versenken des Bétons, also während derselbe noch weich ist, mittelst einer schweren eisernen Scheibe an einer hölzernen Stange anzudrücken und ihn hierdurch einigermassen zu ebnen. Man darf diesen Apparat jedoch nicht als Stampfe benutzen, weil alsdann das Wasser in starke Bewegung versetzt und die leicht löslichen Theile des Mörtels ausspülen würde. Jedenfalls muß man beim Versenken die am untern Ende mit einer kleinen Scheibe versehene Peilstange vielfach gebrauchen, um sich zu überzeugen, daß die unvermeidlichen Unebenheiten nicht zu bedeutend werden. Entdeckt man irgendwo große Vertiefungen, so sind solche noch nachträglich zu füllen.

Die Gefäße, in welchen man den Béton versenkt, sind sehr verschieden. Zuweilen sind es Eimer, die von den gewöhnlichen

sich nur dadurch unterscheiden, daß die Bügel nicht an dem obern Rande, sondern tiefer abwärts, nämlich wenig oberhalb des Schwerpunktes des mit Béton gefüllten Eimers befestigt sind. Sie lassen sich alsdann durch Leinen, die an die Böden angesteckt sind, leicht umkehren und entleeren. In ähnlicher Art werden auch prismatische Kasten behandelt, die man vielfach benutzt. Sie hängen mittelst Tauen an zwei Zapfen in den Seitenbrettern, damit sie sich aber beim Anzieln der am Boden befestigten Leine leicht umdrehn, und entleeren, so giebt man ihnen einen trapezförmigen Querschnitt, oder oben eine gröfsere Breite hat, als unten.

Diese Eimer und Kasten sind jedoch, wenn man damit gröfsere Massen Béton versenken will, nicht leicht zu entleeren, ausserdem verändern sie beim Umkippen häufig ihre Lage, so daß die Haufen sich nicht regelmäfsig neben einander stellen, man wählt daher lieber Kasten die statt der festen Böden mit beweglichen Klappen versehen sind, man öffnet diese, sobald die Kasten bis zur Sohle der Baugrube herabgelassen sind. Es kommt hierbei wieder darauf an, eine vielfache Berührung des Bétons mit dem Wasser zu vermeiden, der Kasten muß sich daher entleeren, während seine Entfernung vom Boden möglichst geringe ist. Zu diesem Zwecke bringt man oft zwei Klappen an, die geschlossen nicht in eine Ebene fallen, vielmehr unter einem rechten Winkel gegen einander geneigt sind. Fig. 262 *a* und *b* auf Taf. XX ist ein solcher Kasten in zwei Seiten-Ansichten dargestellt. Sobald er bis auf einige Zolle dem Grunde sich genähert hat, so werden die beiden Haken, durch welche die eine Klappe an beiden Enden gehalten wird, mittelst der daran befestigten Leinen gelöst, und dadurch schlagen beide Klappen soweit zurück, wie Fig. 262 *a* in den punktirten Linien zeigt. Ist der leere Kasten demnächst wieder aufgezogen, so werden beide Klappen gehoben, und die Haken eingestellt. Diejenige Klappe, welche von den Haken gehalten wird, greift über die andre über und hält dadurch auch diese in ihrer Lage.

Am zweckmäfsigsten ist unbedingt die auf Fig. 263 dargestellte Anordnung, die gegenwärtig auch ziemlich allgemein gewählt wird. Der Kasten besteht dabei aus zwei Viertel-Cylindern, die in der Achse unter sich verbunden, und an den auswärts vortretenden Enden derselben aufgehängt sind. Ausserdem sind an ihnen noch Ketten befestigt, und indem man diese zusammen anzieht, so öffnet

und entleert sich der Kasten, selbst wenn er schon unmittelbar den Grund berührt, der freie Fall des Bétons durch das Wasser ist also hierbei auf das geringste Maafs zurückgeführt. Dieser Kasten bedarf auch keiner besondern Vorrichtung zum Schliesssen, er schliesst sich vielmehr von selbst, sobald nur jene Doppel-Kette nicht angezogen wird, auch wenn er gefüllt ist, hat er keine Tendenz sich zu öffnen. Er besteht gewöhnlich aus Eisenblech.

Fig. 263 *a* und *b* zeigen noch, in welcher Weise die Füllung, so wie die Senkung und das Heben des Kastens ausgeführt wird. Er hängt an zwei starken Tauen, die über die Welle einer Winde geschlungen sind, und letztere wird durch ein Getriebe mittelst zwei Curbeln bewegt. An der Achse der Winde ist ein Sperr-Rad angebracht, um den Kasten in der passenden Höhe zu halten. Man hebt ihn so hoch, dafs seine Oberkante so eben unter die Verschwellung des Winde-Gerüsts reicht. Die am Cylinder-Mantel des Kastens befestigten Ketten werden zur Seite geschoben, und der Kasten mit Béton gefüllt. Geschieht dieses mittelst gewöhnlicher Handkarren, so werden dieselben so weit an das Winde-Gerüst geschoben, dafs das Rad dagegen stöfst, damit aber bei dem Ausstürzen nach vorn das Rad nicht zurückläuft, so wird hinter dasselbe ein hölzerner Keil, der mit einem Stiel versehn ist, untergeschoben. Bei dem nunmehr erfolgenden Verstürzen wird die Karre so weit umgeschlagen, dafs deren Handhaben sich auf den Riegel legen, der die beiden horizontalen Holme des Winde-Gerüsts mit einander verbindet. Die Karre entleert sich alsdann vollständig über das Kopfbrett, welches das Rad überdeckt, und ihr Inhalt stürzt sicher in den Kasten. Bei der Gröfse des in den Figuren 263 dargestellten Kastens fafst derselbe 12 Cubikfufs, und 5 bis 6 Karren sind erforderlich, um ihn mit geringer Ueberhäufung zu füllen. Hierbei mufs noch mittelst eines Rechens oder einer Hacke der Béton in die Ecken geschoben werden, die sonst leer bleiben würden.

Nunmehr löst man die Sperrhaken und läfst den Kasten langsam herab. Wenn sein oberer Rand das Wasser berührt, und dieses anfängt, die Unebenheiten der Oberfläche des Bétons auszufüllen, so mufs die Senkung möglichst langsam erfolgen, um ein heftiges Einströmen zu verhindern, wobei der Mörtel ausgewaschen werden könnte. Nachdem der Kasten sich auf die Sohle der Baugrube oder auf den bereits früher versenkten Béton aufgestellt hat, so werden

die Curbeln in derselben Richtung noch weiter gedreht, so daß die Winde noch etwa eine Umdrehung macht. Alsdann zieht der Vorarbeiter, der hinter dem Winde-Gerüst steht, das Mittel-Tau, mit welchem die an den Cylinder-Mantel befestigten Ketten verbunden sind, scharf an, indem er die Windungen desselben auf der Welle nachzieht, und das Ende dieses Taus anholt. Werden nun die Curbeln im entgegengesetzten Sinne gedreht, so daß der Kasten sich hebt, so hängt dieser zunächst nur an dem Mittel-Tau, indem die beiden Seitentaue, die ihn an der Achse fassen, schlaff sind. Er öffnet sich daher und nimmt die Stellung an, die Fig. 263 *c* zeigt. Die cylindrischen Kasten-Wände werden also unter dem Béton hervorgezogen, so daß dieser zum Theil nur in der Höhe der Wandstärke durch das Wasser fällt.

Ist der Kasten bis über das Wasser gehoben, so wird das Mittel-Tau nachgelassen, worauf der Kasten sich wieder schließt. Bevor derselbe aufs Neue gefüllt wird, schiebt man aber das Windegerüst, welches zu diesem Zweck auf Rädern steht, die auf Schienen laufen, um die Länge des Kastens vor, und damit hierbei keine Irrung eintritt, so sind auf der Brücke die betreffenden Marken schon vorher kenntlich bezeichnet. In dieser Weise bildet sich ein ziemlich gleichmäßiger Béton-Streifen über die ganze Breite der Baugrube, und damit sich an dieser der nächste genau anschließt, so wird nunmehr die ganze Brücke, welche mit der oben (bei Gelegenheit der Versenkung durch Trichter) beschriebenen genau übereinstimmt, um die Breite eines Streifen vorgeschoben. Auch diese Entfernungen sind an den Bahnen, worauf die Räder der Brücke laufen, vorher deutlich und scharf markirt. Bei Ausführung der Béton-Bettungen für die drei Schleusen am Ihle-Canale geschah die Versenkung des Bétons in der bezeichneten Weise.

Zuweilen hat man diese halbcylindrischen Kasten auch aus Holz dargestellt, dabei pflegt aber der Uebelstand einzutreten, daß sie von selbst aufschwimmen, nachdem sie sich entleert haben, wobei die Taue leicht in Unordnung kommen. Um das Herablassen zu erleichtern hat man auch Bremsvorrichtungen an den Winden angebracht, was bei großen Kasten gewiß vortheilhaft ist. Je größer dieselben sind, um so weniger tritt der Béton mit dem Wasser in Berührung, da die Oberfläche nicht dem cubischen Inhalte proportional ist. Man benutzt daher zuweilen Kasten, die 24 bis 30 Cu-

bikfuß fassen. Es läßt sich indessen dabei doch immer eine vielfache Berührung mit dem Wasser nicht vermeiden, welche eintritt, wenn der ausfließende Béton die zu seiner Unterstüzung nöthigen Dossirungen annimmt. Die Frage, ob die Versenkung durch Trichter oder durch Kasten vorzuziehn sei, ist zur Zeit noch nicht entschieden, jedenfalls ist es aber zweckmäfsig letztere zu wählen, wenn die Versenkung von Fahrzeugen aus erfolgt, weil diese bei der periodisch wechselnden Belastung mit Béton in verschiedene Tiefe eintauchen.

Die aus dem Mörtel ausgewaschenen Theile sind so fein, dafs sie einige Zeit hindurch im Wasser schweben, doch schlagen sie bald als eine schlammige Masse nieder. Vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes schiebt der frisch eingeschüttete Béton dieselbe vor sich her, so lange sie nur eine dünne Schicht bildet und noch weich und flüssig ist. Mit der Zeit nimmt sie aber eine gröfsere Consistenz an, alsdann weicht sie nicht mehr aus, und da sie nicht wie der Mörtel erhärtet, so unterbricht sie den wasserdichten Zusammenhang der nach einander versenkten Béton-Massen, und giebt Veranlassung zu starken Quellungen, sobald man später die Baugrube trocken legt. Um dieses zu verhindern empfiehlt es sich, das Schütten der einzelnen Lagen möglichst schnell auf einander folgen zu lassen, damit der Schlamm, der sich auf die untere Schicht absetzt, noch dünnflüssig ist, also ausweichen kann, sobald die Ueberdeckung durch die nächste Schicht erfolgt. Es ist daher passend eben so viele Versenkungs-Vorrichtungen anzuwenden, als man Schichten über einander legen will, und dieselben in möglichst geringen Abständen gleichzeitig im Betriebe zu erhalten. Dabei ist es freilich nothwendig, die Béton-Fabrikation in entsprechender Weise auszudehnen, damit es nicht am nöthigen Material zur Versenkung fehlt.

Mehrfach hat man versucht diesen Schlamm in andrer Weise zu entfernen. Beim Abkehren durch Drahtbesen wird er indessen nur im Wasser vertheilt, zweckmäfsiger ist es ihn mittelst Sackbaggern zu heben, und am vortheilhaftesten dürfte es sein, ihn abzupumpen.

Es mag noch erwähnt werden, dafs aus dem Béton sich auch Gase zu entwickeln pflegen, die, indem sie durch den weichen Schlamm dringen, bisweilen röhrenförmige Niederschläge des letz-

tern veranlassen, welche nach Trockenlegung der Baugrube ein knollenartiges Gefüge zeigen.

Um das ganze Verfahren bei der Bétonfundirung zu beschreiben, wähle ich zuerst den Fall, daß der Baugrund aus Sand oder Kies besteht, und setze voraus, daß sich sehr starke Quellen in demselben bilden würden, wenn man die Fundirung in gewöhnlicher Art vornehmen und das Wasser auspumpen wollte. Diese Quellen lockern aber den Sand auf und vermindern daher die Tragfähigkeit des Bodens, woher die Pumpen nicht früher in Thätigkeit gesetzt werden dürfen, als bis man den Béton aufgebracht hat und derselbe so vollständig erhärtet ist, daß die Quellen nicht mehr hindurchdringen können. Man gräbt gewöhnlich den Boden bis zu derjenigen Tiefe aus, die man ohne Anwendung von Schöpfmaschinen erreichen kann. Alsdann müssen Baggermaschinen aufgestellt werden. Die nähere Beschreibung derselben ist im dritten Theile dieses Werkes gegeben, hier mag nur bemerkt werden, daß man durch sie auch recht ebene Flächen darstellen kann, die wenigstens keine Erhebungen zeigen, die größer als etwa 3 Zoll sind. Man könnte in ähnlicher Art, wie §. 43 bei Gelegenheit des Brückenbaus zu Moulins beschrieben ist, auch durch Abstreichen eine noch vollständigere Einebnung hervorbringen, auch würde, falls das Wasser sehr trübe ist und sonach ein starkes Absetzen von Baggerschlamm befürchtet werden müßte, eine Ueberschüttung mit grobem Kies vortheilhaft sein, wozwischen der Schlamm sich lagern kann, ohne den Béton darüber zu verunreinigen. Dieses Verfahren ist bei der Fundirung der Eingangsschleuse in den Canal St. Martin wirklich in Anwendung gekommen. *)

Falls der Boden nicht aus sehr feinem Sande besteht, so kann man selbst bei durchlässigem Untergrunde den Wasserspiegel durch Auspumpen bis zu einer gewissen Tiefe und oft einige Fuß tief senken, ohne die Tragfähigkeit des Bodens zu beeinträchtigen. Der hierdurch erreichte Vortheil ist zuweilen sehr bedeutend, indem alsdann die Graben-Arbeit weiter fortgesetzt werden darf, die gemeinlich viel wohlfeiler als die Baggerung ist, außerdem gewinnt man auch, wenn später die Pumpen außer Thätigkeit gesetzt werden, eine Wassertiefe, in welcher die Baggermaschinen schwimmen können.

*) *Annales des ponts et chaussées*. 1832. I. p. 87.

Um jedoch sicher zu sein, daß die statthafte Grenze nicht überschritten wird, thut man wohl, an einzelnen Punkten der Baugrube Eisenstangen ohne scharfe Spitzen an unbewegliche Rüstungen in lothrechter Stellung und so zu befestigen, daß sie frei herabsinken können. Durch feste Marken an den Rüstungen bezeichnet man die Höhen der Köpfe der Stangen, und beobachtet diese während des tiefern Ausgrabens. Sobald einige Auflockerung des Bodens eintritt, sinken die Stangen herab, und alsdann darf das Graben nicht weiter fortgesetzt werden, vielmehr muß die Vertiefung durch Baggern beginnen.

Die Baugrube muß in der Sohle diejenige Ausdehnung haben, welche man für die Fundirung bestimmt hat, auch müssen ihre Seiten so dossirt sein, daß kein Einstürzen der Ufer zu besorgen ist. Erst wenn diese Erdarbeiten ausgeführt sind, geht man zum Einrammen der Spundwände über, die alsdann regelmässiger und schliessender sich darstellen lassen, als wenn man sie zuerst ausgeführt, und später die Baugrube ausgebaggert hätte. Den Raum zwischen den Spundwänden und Dossirungen füllt man sogleich mit einer für Fangedämme geeigneten Erde an und stampft dieselbe fest. Dieses Verfahren ist indessen insofern bedenklich, als dabei leicht Erdtheilchen durch die Spundwand dringen, welche als Schlamm niederschlagen, und die zusammenhängende Ablagerung des Bétons verhindern. Sodann muß man bei dieser Hinterfüllung auch die Spundwand gegen das Ueberweichen sichern, und zwar entweder durch rückwärts angebrachte Erdanker, oder durch gegenseitige Absteifung der gegenüber stehenden Wände. Das Erste pflegt indessen sehr kostbar zu sein, und durch die Absteifungen wird die regelmässige und zusammenhängende Béton-Versenkung, wo nicht ganz verhindert, doch sehr erschwert. Im Allgemeinen empfiehlt es sich daher, die Spundwände nicht früher zu hinterfüllen, als bis die Béton-Bettung ausgeführt ist. Die zum Anfahren des Bétons erforderlichen Laufbrücken legt man entweder auf Querhölzer, die an einer Seite auf der Spundwand, an der andern aber auf einem Banket der Erdböschung ruhen, oder auf eine leichte Rüstung, deren Pfähle nur mit der Handramme eingetrieben sind.

Es ist schon früher (§. 42) davon die Rede gewesen, daß man bei beschränkten Bauplätzen die Grube zuweilen nicht in der ganzen Ausdehnung, also mit Einschluss des Raumes über den Erd-

dossirungen ausheben kann. Alsdann ist man gezwungen, mit dem Einrammen der Spundwände den Anfang zu machen und zwischen denselben die Vertiefung durch Graben oder Baggern herzustellen. Die Erdarbeiten erhalten dabei freilich nur eine geringere Ausdehnung, aber die Rammarbeit wird dagegen erschwert, auch lassen sich die gegenseitigen Absteifungen in diesem Falle nicht umgehn, sobald man die Baugrube vertieft.

Es muß noch erwähnt werden, daß die mehrfach berührte Forderung, den Béton nur in stehendes Wasser zu versenken, zuweilen sich nicht in aller Strenge erfüllen läßt, namentlich bei Wehr- und Schleusen-Bauten, wenn eine starke Niveau-Differenz auch während der Bauzeit nicht zu beseitigen ist, wobei also die Baugrube durch unterirdische Adern theils mit dem Oberwasser und theils mit dem Unterwasser des Flusses in Verbindung steht und sonach fortwährend das Wasser von der einen Seite in sie hinein- und von der andern herausfließt. Wenn dieses geschieht und man die Bewegung nicht hindern kann, so sind die niederwärts gerichteten Strömungen weniger nachtheilig, als die aufsteigenden, denn die ersten können den Mörtel nicht fortführen, während die letzten dieses thun, und dadurch Canäle im Béton bilden. Aus diesem Grunde ist es in solchem Falle am passendsten, die Baugrube in offene Verbindung mit dem Oberwasser zu setzen und den Wasserstand in ihr möglichst hoch zu halten.

Die Stärke, die man dem Bétonbette giebt, richtet sich nicht sowohl nach dem Gewichte des fertigen Baues, der darauf gestellt werden soll, als vielmehr nach dem Druck der von unten dagegen tretenden Quellen. Der Béton ist gewöhnlich kostbarer als andres Mauerwerk, man wird ihm daher keine überflüssige Stärke geben, und diese vielmehr nur nach jenem Druck bestimmen. Man pflegt bei allen Schleusenbauten, wenn deren Breite auch nur einige 20 Fufs beträgt, dem Bétonbette mindestens die Stärke von 3 Fufs zu geben, bei einer größeren Breite genügt dieses aber nicht mehr. Bei der Eingangs-Schleuse zum St. Katharine's Dock, dessen Breite im Fundamente 68 Fufs maafs, hatte das Bétonbette die Stärke von 7 Fufs.

Häufig geschieht es, daß man auf das Bétonbette selbst Fangedämme stellt, deren Anordnung und Construction im Folgenden beschrieben werden soll. Diese tragen zur Vermehrung des Gewichtes wesentlich bei, aber wenn sie auch ein Aufheben der ganzen Fun-

dirung verhindern, so können sie doch durch die ungleichmäßige Belastung Veranlassung geben, daß das Bétonbette in der Mitte durchbricht, wie mehrmals vorgekommen ist. Man muß daher der Fundirung eine solche Stärke geben, daß sie vermöge ihrer relativen Festigkeit diesem Bruche mit Sicherheit widersteht, und zwar in jedem einzelnen Querschnitt. Um hiernach die erforderliche Stärke des Bétonbettes zu bestimmen, ist es nöthig, das specifische Gewicht und die Festigkeit des Bétons zu kennen. Das erste hängt von dem dazu verwendeten Material ab, und ein Mittelwerth dafür dürfte sich, wenn man zerschlagene Ziegelsteine anwendet, auf 1,5 und bei Bruchsteinen und Flußgeschieben auf 2 bis 2,5 stellen.

Die relative Festigkeit läßt sich mit hinreichender Genauigkeit aus der absoluten herleiten. Letztere steigert sich zwar nach einzelnen Versuchen sogar bis auf 400 Pfund und darüber auf den Quadratzoll, im Allgemeinen wird dieses Maafs aber nicht erreicht. Michaelis theilt mit, daß die auf Veranlassung des Ober-Bergamtes in Bonn mit reinem Traßmörtel (1 Theil Kalk und 2 Theile Traß) angestellten Versuche nach 18 Wochen die Tragfähigkeit desselben gleich 114 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt ergaben, wogegen Cement-Mörtel aus 1 Theil Portland-Cement und 3 Theilen Sand bestehend nach andern sorgfältigen Versuchen schon nach drei Wochen die absolute Festigkeit von 100 Pfund auf den Quadratzoll zeigte. Für die großen Mörtelmassen, die bei Bétonfundirungen versenkt werden, darf man wegen der verschiedenen Zufälligkeiten das Maafs der Festigkeit im Allgemeinen nicht zu groß annehmen, wenn man aber, um ganz sicher zu sein, dieses so geringe setzen wollte, wie einzelne Versuche es ergeben, so würde daraus die Nothwendigkeit einer ungewöhnlichen Mächtigkeit des Bétonbettes folgen, die aus der Erfahrung sich nicht ergibt. Hierbei kommt auch noch der Umstand in Betracht, daß die umgebende Erde und diejenigen Theile des Fangedammes, welche an beiden schmalen Seiten die Baugrube einschließen, wesentlich zur Verhinderung eines Bruches beitragen, während in der nachstehend angegebenen Berechnung die Bedingung für das Gleichgewicht in jedem einzelnen Querschnitt ohne Rücksicht hierauf hergeleitet ist. Man darf deshalb wohl die Festigkeit des Bétons, wenn er mit der nöthigen Sorgfalt bereitet und versenkt ist, zu 100 Pfund auf den Quadratzoll Querschnitt annehmen.

Ich setze voraus, daß an beiden langen Seiten der Baugrube auf dem Bétonbette Fangedämme aus Béton aufgeführt sind, welche das Aufschwimmen des ganzen Bettes durch ihr Gewicht verhindern, daß sie aber einem Bruche in der Mitte des Bettes nicht entgegenwirken, sondern in diesem Falle eine drehende Bewegung annehmen können, ohne die Höhenlage ihres Schwerpunktes zu verändern. Hiernach bestimmt sich die Kraft, welche auf den Bruch hinwirkt durch den Druck des Wassers gegen denjenigen Theil des Bétonbettes, welcher zwischen den Fangedämmen liegt, und diesem Drucke wirkt sowohl das Gewicht von eben diesem Theile des Bétonbettes, als dessen Festigkeit entgegen. Bezeichnet man mit

b die Breite des Bétonbettes zwischen den Fangedämmen,

e die Dicke desselben,

h die Höhe des äußern Wasserstandes über dem Bétonbette,

m die absolute Festigkeit des Bétons in Pfunden, und zwar für die angenommene Maafseinheit, nämlich den Quadratfuß,

γ das Gewicht eines Cubikfußes Wasser und mit

$p\gamma$ das Gewicht eines Cubikfußes Béton;

so ist für den am meisten zu besorgenden Bruch, nämlich in der Mittellinie der Fundirung, das Moment des Wasserdruckes gegen den halben Boden des Bétonbettes und zwar für einen Abschnitt desselben von 1 Fuß Breite

$$\frac{1}{2} b (h + e) \gamma \cdot \frac{1}{4} b$$

und das Moment vom Gewichte des Bétonbettes

$$\frac{1}{2} b e p \gamma \cdot \frac{1}{4} b$$

Bei Bestimmung des Momentes der relativen Festigkeit ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß die rückwirkende Festigkeit des Bétons ohne Vergleich viel größer als die absolute ist, und daher die neutrale Achse nahezu in der Oberfläche des Béton-Bettes liegt. Jenes Moment ist also

$$e m \cdot \frac{1}{3} e$$

und die Bedingung des Gleichgewichtes

$$\frac{1}{8} b^2 \gamma (h + e) = \frac{1}{8} b^2 e p \gamma + \frac{1}{3} e^2 m$$

Durch Auflösung dieser Gleichung läßt sich der Werth von e bestimmen.

Bei der Schleuse in Ruhrort war

$$b = 29 \text{ Fu\ss}$$

$$e = 3,5 \text{ Fu\ss.}$$

Setzt man für diesen Fall

$$p = 1,5$$

$$m = 14400 \text{ Pfund und}$$

$$\gamma = 62 \text{ Pfund,}$$

so folgt

$$h = 10,8 \text{ Fufs}$$

oder das Bétonbette von dieser Breite und Stärke konnte noch dem Drucke widerstehn, wenn der äufsere Wasserstand sich gegen 11 Fufs über die Oberfläche des Bétons erhob. Dieses war in der That auch der Fall gewesen, als aber beim Anschwellen die Ruhr einige Fufs höher stieg und man die Baugrube noch immer trocken erhalten wollte, so brach die Bettung, die schon manche undichte Stellen zeigte, der Länge nach auf. Um dem Drucke eines Wasserstandes von 14 Fufs über der Oberfläche widerstehn zu können, hätte das Bétonbette nach der vorstehenden Formel die Stärke von etwas über 4 Fufs haben müssen.

Bei sehr grosfer Breite der Baugrube, also wenn das Bétonbette auch sehr stark werden müfste, pflegt man zur Ermäßigung der Kosten eine etwas geringere Dicke zu wählen, als nach der vorstehenden Rechnung erforderlich wäre, man mufs aber alsdann das Bette anderweitig belasten, um das Heben und Brechen desselben zu verhindern. Zu diesem Zwecke versenkt man vor dem Auspumpen eine grosfe Quantität Steine, die man später vermauert, auf den Boden, oder stellt unter die Verstrebungen, durch welche die Spundwände gegen einander abgesteift sind, hölzerne Stempel, die zur Vertheilung des Druckes auf Unterlagen über dem Boden stehn. In diesem Falle müssen aber die Verstrebungen, nachdem sie mit Brettern überdeckt sind, noch durch hinreichend grosfe Steinmassen belastet werden. Die Fälle, dafs Bétonbetten wegen ungenügender Stärke oder weil sie noch nicht vollständig erhärtet waren, gebrochen sind, haben sich so oft wiederholt, dafs in dieser Beziehung die grösste Vorsicht sich gewifs rechtfertigt. Man thut auch wohl, dabei auf einen etwas höhern Wasserstand Rücksicht zu nehmen, als nach der Jahreszeit erwartet werden darf. Sollte indessen ein ungewöhnlich hoher Wasserstand eintreten, wobei der Druck gegen das Bétonbette gefährlich wird, so bleibt nur übrig, den Bau zu unterbrechen und die Baugrube voll Wasser laufen zu lassen.

Um über das Erhärten der Schüttung ein sicheres Urtheil zu

gewinnen, füllt man während der Bétonirung und besonders gegen das Ende derselben, Kasten oder Fässer mit Béton an, und versenkt dieselben in Wasser. Indem man sie von Zeit zu Zeit aushebt und untersucht, kann man sich leicht von der Erhärtung überzeugen, die der Béton angenommen hat, doch muß man schliesslich die Klumpen zerschlagen, um sicher zu sein, daß der Mörtel im Innern gleichfalls vollständig fest ist.

Ist das Bétonbette von einer dicht schliessenden Spundwand umgeben, und diese sorgfältig mit guter Erde hinterfüllt, so pflegt die Trockenlegung der Baugrube keine Schwierigkeit zu machen. Der Wasserzudrang durch die Fugen zwischen den Spundbohlen läßt sich auch dadurch ermäßigen, daß man, sobald ein solcher über Wasser sich zeigt, durch eingetriebenes Werg die Fuge stopft. War dagegen der Boden sehr unrein, so daß die Spundwand sich nicht regelmässig ausführen liefs, oder hatte man die Baugrube nur durch Stülpwände oder Brett-Tafeln umschlossen, die gegen einzelne Pfähle gelehnt waren, so ist der Wasserzudrang viel bedeutender. Es kann alsdann sogar geschehn, daß die unter dem Bétonbette austretenden Quellen dieses umgehn und durch die umschliessende Wand zur Baugrube gelangen. Führen dieselben reines Wasser, so sind sie nur insofern nachtheilig, als die Wasserwältigung schwieriger wird, wenn aber mit ihnen gröfsere Sandmassen herauskommen, die sich neben dem Ausflusse in die Baugrube ablagern, so ist dieses ein sicheres Kennzeichen, daß irgend wo Höhlungen sich bilden, die möglicher Weise unter dem Bétonbette sich befinden und die sichere Unterstützung desselben gefährden.

Häufig giebt man dem Bétonbette eine gröfsere Ausdehnung, so daß man die umschliessenden Fangedämme noch auf dasselbe stellen kann. Diese Fangedämme werden gleichfalls aus Béton gebildet, und ihre äufsern Wände, wogegen sie geschüttet werden, sind die Spund- oder sonstigen hölzernen Wände, die das Bette umgeben, die innern Wände müssen aber besonders zu diesem Zwecke hergestellt werden. Da ein ganz dichter Schlufs in ihnen nicht nothwendig ist, so pflegt man sie nur leicht aus Brettern zu construiren, die gegen Pfosten gelehnt sind. Nicht selten versieht man diese Pfosten mit stumpfen Spitzen und treibt sie soweit in die obere, noch nicht erhärtete Bétonlage ein, daß sie gegen das Verschieben gesichert sind. Ein solches Verfahren ist aber nicht zu billigen, weil

dadurch das Bétonbette leicht beschädigt werden kann und jedenfalls dasselbe an diesen Stellen nicht mehr die volle Stärke behält.

Passender ist es, nachdem das Bétonbette vollständig angeschüttet und einigermaassen erhärtet ist, auf dasselbe in der Richtung der einzustellenden Wand noch einen schmalen und etwa 1 Fuß hohen Rücken Béton zu legen, und hierin sogleich die Pfosten einzustellen. Fig. 266 auf Taf. XXI zeigt diese Anordnung. Man lehnt gegen diese Pfosten in Abständen von 4 bis 5 Fuß horizontale Bohlen, die unter sich durch Leisten verbunden sind, und stößt dahinter die Bretter, welche die Wand bilden sollen, möglichst schließend in den noch weichen Béton ein, und nagelt sie an die über Wasser liegende oberste Bohle. Die Pfosten, die schon früher durch ein dagegen gelegtes Rahmstück unter sich verbunden waren, werden nunmehr durch Zangen an die Spundwand geankert.

Häufig wählt man zur Darstellung der innern Wände der Fangedämme auch die in Fig. 267 gezeichnete Construction, indem man je zwei gegenüber stehende Pfosten vor ihrer Aufstellung durch Spannriegel und Streben zu einem Rahmen verbindet. Um diese Rahmen zu richten und vorläufig in ihrer Stellung zu halten, müssen sie nicht nur durch übergangenagelte Latten gegen die Spundwände befestigt, sondern auch durch angehängte Steine gegen das Aufschwimmen gesichert werden. Eine vollständige Befestigung erhalten sie durch die seitwärts angebrachten Rahmen und die Zangen, die von einer Spundwand bis zu der andern herüberreichen. Bei dieser Anordnung stehn die Pfosten nur auf dem Bétonbette, ohne in dasselbe einzugreifen. Brett-Tafeln, die man gegen sie lehnt, bilden die innern Wände der Fangedämme.

Bevor die Fangedämme geschüttet werden, muß der Schlamm, der sich auf dem Bétonbette abgelagert hat, möglichst beseitigt werden. Diese Vorsicht ist besonders nöthig, wenn der Damm wieder aus Béton bestehn soll. Wie schon oben erwähnt, wird diese Reinigung durch Sack-Bagger und Pumpen bewirkt. Auf wichtigen Baustellen läßt man sogar die Saugeschläuche der Pumpen von Tauchern führen.

Müssen die Fangedämme später wieder entfernt werden, so ist ihr Abbruch, wenn sie aus Béton bestehn und vollständig erhärtet sind, überaus schwierig. Man pflegt daher solche vorzugsweise nur anzuwenden, wo sie nicht hinderlich sind, und zum Theil

die davor und darüber auszuführenden Mauern ersetzen, denen sie an Härte und Tragfähigkeit nicht bedeutend nachstehn. Dabei ist freilich eine vollständige und innige Verbindung des Bétons mit dem Mauerwerk nicht zu erwarten, woher man die Gesammt-Stärke etwas gröfser annehmen mufs, als bei einer in gehörigem Verbande ausgeführten Mauer erforderlich gewesen wäre. Man mufs auch guten hydraulischen Mörtel verwenden, der bald abbindet und ein späteres Setzen der Mauer verhindert.

Bisweilen werden in solchen Fällen die Béton-Fangedämme auf der Seite, welche der Baugrube zugekehrt ist, dossirt, hierdurch wird aber die gehörige Ablagerung des Bétons, der wegen der übergreifenden Zangen nur in Kasten versenkt werden kann, wesentlich verhindert.

Bei Schleusenbauten bietet sich vielfach Gelegenheit, nicht nur an beiden Seiten, sondern auch gegen das Oberwasser Béton-Fangedämme zu benutzen, insofern der Oberboden den in der letzten Richtung ausgeführten Fangedamm überdeckt, oder nur wenig darunter bleibt. Nicht selten bildet man auch den Abschluß gegen das Unterwasser gleichfalls aus Béton. Dieser Damm mufs aber später entfernt werden, und gemeinhin läfst sich dieses nicht anders, als durch Sprengen mit Pulver ausführen. Um dabei das schwierige Bohren der Löcher, worin die Schüsse eingesetzt werden, zu umgehn, hat man zuweilen cylindrische Eisen-Stangen von passender Stärke in die untere Bétonlage eingestellt und bis zur vollen Höhe des Dammes umschüttet, wodurch jene Bohrlöcher sich bildeten.

Es mufs noch einer eigenthümlichen Beschränkung der Höhe der Fangedämme erwähnt werden, wodurch eine Ermäßigung der Stärke des Bétonbettes zulässig wird. Diese Stärke ist so zu bestimmen, dafs nach Trockenlegung der Baugrube die von unten dagegen tretenden Quellen das Bette nicht durchbrechen, eine solche Gefahr verschwindet aber, wenn das ganze Bauwerk fertig oder zum Theil ausgeführt ist. Ist dasselbe eine Schiffsschleuse oder ein Trockendock, so beseitigt sich schon die Gefahr, sobald man den Boden mit dem verkehrten Gewölbe überspannt hat. Es kommt also nur darauf an, während einer gewissen Periode den Wasserdruck zu mäßigen, und dieses ist möglich, wenn man neben, oder noch besser rings um die ganze Baustelle Gräben eröffnet, in welchen man durch kräftige Schöpfmaschinen den Wasserspiegel senkt. Unter Vor-

aussetzung eines durchlässigen Untergrundes, der etwa aus Kies besteht, wird alsdann der Druck in der Baugrube nur diesem äußern Wasserstande und nicht dem des natürlichen Grundwassers entsprechen. Wenn man aber den Fangedämmen, welche die Baugrube umschließen, nur eine Höhe giebt, welche diesen gesenkten Wasserstand etwas überragt, so vermindern sich nicht nur die Kasten, sondern man gewinnt auch die Sicherheit, daß das Bétonbette keinem zu starken Drucke ausgesetzt werden kann, weil bei höherem Wasserstande die Baugrube sich anfüllt, und der Druck aufhört. Es ist nicht zu verkennen, daß eine solche Anordnung, wobei man eine innere und eine äußere Baugrube darstellt, wegen der Schöpfmaschinen sich vertheuert, aber in Betreff der Ersparung an Béton sowol für das Bette, als für die Fangedämme veranlaßt sie doch eine wesentliche Ermäßigung der Kosten, namentlich da die Schöpfmaschinen nur während des Beginnes der Maurer-Arbeiten in Betrieb bleiben dürfen. Beim Bau der Schleuse zu St. Valery sur Somme kam vor etwa 50 Jahren dieses Verfahren zur Anwendung. *)

Bei Bétonfundirungen ereignet es sich zuweilen, daß an einzelnen Stellen bedeutende Quellen durchtreten. Eine Unregelmäßigkeit beim Versenken des Bétons, oder ein zu frühzeitiges Abspumpen des Wassers, vielleicht auch eine zu starke Wasserwältigung in späterer Zeit, während die Quellen gerade besonders reichhaltig waren, können hierzu Veranlassung geben. Wenn ein solcher Fall eingetreten ist, muß eine besondere Vorsicht angewandt werden, um den Zufluß zu sperren und ihn von dem darüber aufzuführenden Mauerwerk abzuhalten. Wollte man eine undichte Stelle im Béton, welche das Wasser stark durchläßt, durch ein darüber versetztes Werkstück oder durch unmittelbare Uebermauerung schließen, so würde der noch weiche Mörtel in dieser Mauer sogleich ausgespült werden, und der Quell würde nach und nach, so oft man ihn abzusperrern versucht, immer weiter durch die Mauer dringen und selbige beschädigen, sein Austreten in die Baugrube wäre daher auf solche Art nicht zu hemmen. Man muß sonach, wenn man die undichte Stelle mit Mauerwerk überdecken will, darin künstlich einen Canal bilden, worin das Wasser mit Leichtigkeit abfließen kann. In diesem Falle greift der Quell die Fugen daneben nicht an und der Mörtel in den letzteren kann

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1832. I. pag. 75.

vollständig erhärten. Ist die Erhärtung erfolgt und tritt das Wasser durch eine gehörig vorgerichtete Ausflußöffnung hervor, so kann man die letztere leicht verschließen und sonach den Quell sperren. Man hat dieses Mittel häufig in Anwendung gebracht und namentlich hölzerne Röhren zur Ausmündung des Quells benutzt, die eingemauert, und nach der vollständigen Erhärtung des Mörtels durch einen hölzernen Pfropf verschlossen wurden. Dabei tritt aber, wenn man auch die Verschiedenartigkeit des Materials unbeachtet läßt, noch der Uebelstand ein, daß der Canal im Mauerwerk bleibt, und bei einer zufälligen spätern Oeffnung der umgebenden Fugen das Wasser wieder durch das Bauwerk zu fließen anfängt. Es liegt hiernach ein großer Vorzug in der Methode, den ganzen Canal mit einer Masse auszufüllen, welche vollständig erhärtet und das Mauerwerk an dieser Stelle ersetzt. Zu diesem Zwecke eignet sich am besten ein stark hydraulischer Mörtel. Das dabei anzuwendende Verfahren verdient eine nähere Beschreibung.

Bérigny versuchte zuerst, unter einem Bauwerke die hohlen Räume durch Einspritzen einer dickflüssigen Masse anzufüllen. Unter dem Boden des alten Schiffdocks zu Rochefort hatte das durchdringende Wasser den Grund ausgespült, und es zeigten sich Risse und Versackungen im Mauerwerk, welche den Einsturz des ganzen Baues befürchten ließen. Durch das erwähnte Verfahren füllte man die Höhlungen wieder an. Man bediente sich dabei einer ausgebohrten eisernen Röhre von 6 Zoll Weite und nahe 4 Fuß Länge, die auf ein im Boden ausgeführtes Bohrloch gestellt wurde. Die Röhre wurde mit einem dicken Thonbrei angefüllt, worauf der passende Kolben mit der Kolbenstange eingesetzt und letztere mittelst eines Rammklotzes, der 160 Pfund wog, eingetrieben wurde. Sobald man auf diese Art nach mehrmaliger Füllung der Röhre kein Material durch das Bohrloch mehr hineinbringen konnte, so wiederholte man dieselbe Operation in einem zweiten Bohrloche, das etwas über 3 Fuß vom ersten entfernt war und eben so in andern. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, wo dieselbe Reparatur erforderlich war, benutzte Bérigny statt des Thones schon den Mörtel *), der später zu ähnlichen Arbeiten immer angewendet ist. Es

*) Sganzin, *programmes*. 4. édition. I. p. 52. Bérigny hat diese Arbeiten auch in einem besondern Mémoire beschrieben.

mag bei dieser Gelegenheit noch die Ausfüllung des Rostes unter den Pfeilern der Brücke zu Tours erwähnt werden, die in den Jahren 1835 und 1836 erfolgte. Man mußte hier die Brückenpfeiler ihrer ganzen Höhe nach durchbohren, um zu den Höhlungen unter dem Roste zu gelangen. Das Bohrloch hatte die Länge von 38 Fufs, seine Weite betrug $5\frac{1}{2}$ Zoll. Das Eintreiben des Mörtels unter einem starken Drucke, der von oben angebracht wurde, liefs sich wegen des großen Widerstandes in dem langen Bohrloche nicht mehr bewirken, daher wählte Beaudemoulin das Verfahren, dafs er einen durchbohrten eisernen Kolben, dessen Ventile nach unten aufschlugen in der Höhe des Rostes, also unmittelbar über den auszufüllenden Räumen, mittelst des Bohrgestänges auf- und abbewegen liefs. Dieser Kolben schob das darüber befindliche Material abwärts und füllte auf solche Art die Höhlungen an. Unter dem zehnten Pfeiler der Brücke sollen auf diese Art 1123 Cubikfufs Mörtel eingepumpt sein, doch war derselbe vorher nicht zubereitet, weil er in diesem Falle zu schnell erhärtete, man sah sich vielmehr gezwungen, die Bestandtheile desselben besonders zu versenken, und die beschriebene Operation bezog sich nur auf den Kalkbrei, während der Sand dazwischen frei eingeschüttet wurde. *)

Die Schließung der ausgesparten künstlichen Canäle, worin die Quellen bis zur vollständigen Erhärtung des umgebenden Mauerwerkes frei abfliefsen, geschieht in ähnlicher Art, man darf aber in diesem Falle nie eine ganz abgeschlossene enge Höhlung zu füllen versuchen, denn das darin enthaltene Wasser kann dem eindringenden Mörtel nicht ausweichen, und sonach erfolgt die Füllung eines solchen Raumes gar nicht, oder doch nur sehr unvollständig. Das Verfahren, das man hierbei in Anwendung bringen muß, ist folgendes.

Wenn aus dem Bétonbette an einer Stelle eine Wasserader oder ein stärkerer Quell hervortritt, so wird künstlich ein nahe horizontaler Canal von mindestens 3 Zoll Weite dargestellt, worin das Wasser unbehindert abfliefsen kann. Der Quell wird so weit geleitet, bis man ihn sicher eingefafst hat und man sonach die Schließung vornehmen kann, ohne ein Durchbrechen des Wassers an einer andern Stelle zu besorgen. Zur Einbringung des Mörtels darf indessen der erwähnte Canal nicht benutzt werden, weil in diesem

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. II. p. 117.

Falle das Wasser sich nicht zurückdrängen läßt, man muß vielmehr hierzu eine besondere Oeffnung vorrichten, oder dem Canale noch eine zweite Mündung geben, die am besten nach oben gekehrt ist, wobei aber scharfe Biegungen vermieden werden müssen. In die obere Oeffnung setzt man das Gufsrohr von einer Spritze ein. Dieses ist eine ausgebohrte hölzerne Röhre und das Gufsrohr besteht aus Eisenblech. Die lichte Weite der Röhre beträgt etwa 5 Zoll und die des Gufsrohres $2\frac{1}{2}$ Zoll. Letzteres wird sobald es in die aufwärts gerichtete Mündung des zweiten Canales eingestellt ist, mit Werg umwunden, und vollständig abgedichtet, um jeden Seitenausfluß zu verhindern. Man füllt nunmehr die hölzerne Röhre mit einem zwar dünnen, aber stark hydraulischen Mörtel an. Oft fließt derselbe schon durch sein eignes Gewicht herab, und füllt den Canal, doch pflegt dieses nur im Anfange zu geschehn, und bald müssen noch besondere Mittel angewendet werden, um ihn herabzutreiben. Dieses geschieht, nachdem die Röhre ganz angefüllt ist, indem man einen Pfropfen aus aufgelöstem Tauwerk bildet und denselben darauf setzt, worüber alsdann eine Kolbenstange kommt, die sich in der hölzernen Röhre ohne Widerstand hin- und herbewegen läßt. Diese Stange drückt man mit Gewalt hinein, und wenn der todte Druck sie nicht mehr bewegt, so treibt man sie mit Schlägeln oder auch wohl mit einer Handramme herab, bis der in der Röhre befindliche Mörtel in den Canal gedrungen ist. Hierbei muß man aber aufmerksam sein, daß der Mörtel nicht etwa durch den Pfropf oder zur Seite desselben rückwärts herausquillt, weil er sonst das spätere Herausziehn des Pfropfes sehr erschweren und das Ausheben der Pumpe zu diesem Zwecke nöthig machen würde. Das Letzte ist besonders insofern nachtheilig, als die ganze Operation schnell und ohne Unterbrechung ausgeführt werden muß, damit der Mörtel nicht etwa schon erhärtet, während man ihn noch weiter treiben will. Bemerkt man also, daß der Pfropf nicht dicht schließt, so muß man sogleich die Kolbenstange herausnehmen und eine zweite Lage Werg über die erste legen. Sobald die Kolbenstange soweit herabgetrieben ist, daß man annehmen darf, die Röhre sei entleert, so zieht man sie heraus und faßt mit einem Krätzer den Pfropfen, der gleichfalls entfernt wird. Alsdann füllt man die Röhre wieder mit Mörtel und wiederholt dieselbe Operation. Dieses geschieht so lange, bis der Mörtel in zusammenhängender Masse aus der untern Oeff-

nung des Canales hervortritt, oder wenn man wegen des hohen Wasserstandes in der Baugrube sich hiervon nicht unmittelbar überzeugen kann, bis die eingespritzte Quantität Mörtel überreichlich genügt, um den ganzen Inhalt des Canales zu füllen.

Der Mörtel kann nunmehr von dem Quell nicht sobald durchdrungen werden, weil das Wasser auf eine zu große Länge hindurchdringen müßte. Am sichersten ist es, die Operation vorzunehmen, während die Baugrube mit Wasser gefüllt bleibt. Wenn nach einiger Zeit der Mörtel erhärtet ist, so wird durch ihn nicht nur der Wasserlauf vollständig gesperrt, sondern das Mauerwerk ist auch durch den Béton, also eine ähnliche Masse, ersetzt, und der frühere Canal kann kaum noch als eine schwache Stelle angesehen werden. Dieses Verfahren ist so sicher, daß man bei einiger Uebung und einiger Vorsicht in seinem Gebrauche wegen des Erfolges nicht besorgt sein darf, doch muß der Canal in seiner ganzen Länge und in beiden Mündungen gehörig geöffnet sein. Wenn dagegen diese Bedingung nicht erfüllt ist, so darf man auch auf einen günstigen Erfolg nicht rechnen. Hieraus erklärt es sich auch, weshalb die Versuche, das Bétonbette selbst durch eingespritzten Mörtel zu dichten, immer erfolglos geblieben sind. *).

Wenn das Bétonbette zu schwach, oder beim Auspumpen noch nicht gehörig erhärtet war, so bricht es der Länge nach auf, und die in dieser Weise entstandene Fuge läßt sich nicht schließen. Sie ist freilich ohne wesentlichen Nachtheil, wenn man eine hohe Mauer- masse, etwa einen Brückenpfeiler darauf stellen will, wenn aber wie im Schleusenboden nur eine schwache Uebermauerung oder etwa ein umgekehrtes Gewölbe darüber kommt, so pflegt die Fuge sogleich durch dieses sich fortzusetzen und der Boden hebt und senkt sich, jenachdem die Baugrube ausgepumpt wird, oder sich mit Wasser füllt. Bei einer Schleuse an der Ruhr war diese Bewegung sehr deutlich zu erkennen, indem die Oberkanten der Bétonfangedämme

*) In den *Annales des ponts et chaussées* befinden sich über diesen Gegenstand mehrere Aufsätze, die vorstehende Beschreibung des Verfahrens verdanke ich jedoch der sehr gefälligen mündlichen Mittheilung des rühmlichst bekannten Ingenieur Mary, der ähnliche Arbeiten vielfach geleitet hat, und im Jahre 1840 unter Vorzeigung der betreffenden Pumpen mich damit bekannt machte.

bei solchem Wechsel des Wasserstandes um $1\frac{1}{2}$ Linien sich einander näherten oder entfernten. Glücklicher Weise war die Schleuse nach ihrer Vollendung keinem starken Wasserdruck ausgesetzt und sie hat sich auch schon mehrere Jahrzehende hindurch ohne Beschädigung erhalten.

Vielfach versucht man die Quellen durch eingeworfenen schnell bindenden Cement zu stopfen. Dieses Mittel ist wiederholentlich bei den Hafengebäuden in Saint-Nazaire und nach der Mittheilung des Ingenieur Ferme *) stets mit dem besten Erfolge zur Anwendung gebracht. Ueber einem festen, aber vielfach gespaltenen Felsboden wurden Mauern in Bruchsteinen ausgeführt. Sobald man auf einen Quell traf, mußte derselbe von den noch nicht erhärteten Mörtelfugen und namentlich auch von den Lagerfugen der untern Steinschicht entfernt gehalten werden, weil hier wegen der ziemlich ebenen Oberfläche des Felsens besonders leicht sich weit geöffnete Wasserläufe bildeten. Die Quellen waren im Allgemeinen nicht reich, doch traten sie unter starkem Drucke vor. Man ließ mehrere Fufs weit um sie den Raum frei, so daß über ihnen ein weit geöffneter Schacht in der Mauer sich bildete, den sie bis zu einer gewissen Höhe anfüllten, wo man das Wasser seitwärts abfließen ließ. War in dieser Weise die Mauer etwa 4 Fufs hoch aufgeführt, so stellte man eine eiserne Röhre von 3 bis 4 Zoll Weite ein und ummauerte diese mit schnell bindendem Mörtel. Das Quellwasser floß während dieser Zeit durch die Röhre frei ab, übte also nur einen mäßigen Druck auf die frischen Fugen aus. Waren endlich letztere vollständig erhärtet, so daß man sie ohne Nachtheil einem stärkeren Angriff aussetzen durfte, so ging man zur Absperrung des Quells über, die allerdings möglichst schnell erfolgen mußte. Man stellte in jene Röhre das Saugerohr einer Pumpe, und setzte dies kräftig in Bewegung, um die Röhre ganz oder doch größtentheils zu entleeren, alsdann stürzte ein anderer Arbeiter trocknen schnell bindenden Cement in solcher Masse hinein, daß die Röhre damit bis zur Hälfte oder zwei Drittheilen der Höhe gefüllt wurde, und ein dritter Arbeiter schob unmittelbar darauf einen vorher vorbereiteten hölzernen Pflock in die Mündung der Röhre und trieb ihn fest ein. Nach 48 Stunden nahm man den Pflock heraus, der Quell

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1869. I. pag. 420.

war alsdann vollständig gestopft, doch pflegte der obere Theil der Röhre mit Wasser gefüllt zu sein. Dieses pumpte man wieder aus, und stampfte Béton ein.

Um das Durchdringen von Quellen durch Bétonbettungen zu verhindern, hat man in Frankreich wiederholentlich den Béton nicht unmittelbar auf die Sohle der Baugrube, sondern auf wasserdichte Leinwand geschüttet. Treussart soll dieses Verfahren zuerst empfohlen haben, und es ist, wie es scheint, immer mit günstigem Erfolge angewendet worden, weil eines Theils die im Bétonbette etwa vorkommenden schwachen und undichten Stellen vor dem ersten Hinzutreten der feinen Wasseradern gesichert bleiben, auch verhindert die Leinwand die Ablösung des Schlammes von der Oberfläche des natürlichen Bodens und die Verunreinigung des Bétons durch denselben. Bei den Schleusenbauten in dem Ardennen-Canale hat man besonders hiervon Gebrauch gemacht und eine starke und mehrfach mit Theer bestrichene Leinwand benutzt. Um diese aber gegen Beschädigung durch die scharfen Ecken der Steine zu sichern, hat man sie sowohl oben, als auch unten mit gewöhnlicher Leinwand umgeben. Eine andere Vorsichtsmaasregel, die bei der Schleuse zu Brienne in Anwendung kam, bestand darin, daß man kurze Holzstücke in dünnen Bündeln mehrfach unter die Leinwand und zwar normal gegen die Längsachse der Schleuse befestigte, um auf diese Art den Quellen einen Seitenabfluß wie in Rigolen zu eröffnen. *) Eine solche Anordnung dürfte aber auf einem stark durchdringlichen Boden, wo vorzugsweise die Bétonfundirungen Anwendung finden, überflüssig sein.

Das vorstehend beschriebene Verfahren bei Bétonfundirungen bezog sich zunächst auf den Fall, daß der Baugrund sehr sandig ist und bei einer starken Senkung des Grundwassers aufgelockert wird und dadurch an Tragfähigkeit verliert. Die erwähnten Methoden bleiben aber dieselben, wenn man bei einem festen Baugrunde wegen der Reichhaltigkeit der zudringenden Quellen zu dieser Fundirungsart gezwungen ist. Namentlich tritt der letzte Fall in einem klüftigen Kalkboden häufig ein, und ebenso in jedem Fels-

*) Ueber die Anwendung der wasserdichten Leinwand handelt besonders ein Aufsatz von Barré de Saint-Venant in den *Annales des ponts et chaussées*. 1834. I. p. 125.

boden im Flußbette selbst, oder in großer Nähe desselben. Auch hier läßt sich durch Ausführung des Bétonbettes und der Béton-Fangedämme eine bequeme Baustelle am leichtesten darstellen, und es bleibt hierüber nur zu erwähnen, daß in solchen Fällen vor der Versenkung des Bétons häufig der natürliche Boden stellenweise ausgebrochen werden muß, damit das Bette die nöthige Stärke erhalten kann.

Daß man durch Bétonschüttungen den eigentlichen Rost über den Rostpfählen ersetzen und dadurch auch die Wasserwältigung ganz umgehen kann, ist bereits §. 34 erwähnt und dabei zugleich bemerkt worden, daß diese Methode noch den wesentlichen Vortheil bietet, daß die Pfähle hierdurch gegen einander abgesteift und gegen ein Ueberweichen gesichert werden.

Zuweilen hat man auch den Béton zur Darstellung hoher Mauer Massen unter Wasser benutzt, und besonders zu Brückenpfeilern in tiefen Flußbetten. Das Verfahren ist hierbei dieses, daß man den ganzen Raum für die Pfeiler mit einer Spundwand, oder auch wohl nur mit einer andern ziemlich dichten Wand umgiebt, denn wenn auch Fugen von etwa 1 Zoll Weite darin vorkommen, so wird noch immer keine merkliche Quantität Béton hindurchfließen. Der so umschlossene Raum wird so tief ausgebagert, daß man keine Unterspülung des fertigen Pfeilers besorgen darf. Alsdann geht man zur Versenkung des Bétons über, und setzt diese so weit fort, bis man nahe unter dem kleinsten Wasserstande das gewöhnliche Mauerwerk beginnen kann. In dieser Höhe pflegt man die Stärke des Pfeilers zu vermindern, und dadurch gewinnt man hinreichenden Raum, um eine leichte Umschließung des Pfeilers, wie durch einen kleinen Bétonfangedamm oder durch eine schwache Ziegelmauer vorzunehmen, und im Schutze derselben etwa einen Fuß tief, oder auch wohl noch tiefer, das Wasser über dem Pfeiler auszuschöpfen.

Wenn die Sohle des Flußbettes aus gewachsenem Felsen besteht, und besonders wenn der Wasserstand darüber bedeutend ist, so ist die Umschließung des Raumes, den man mit Béton füllen will, sehr schwierig und man muß alsdann die Methoden anwenden, die für solchen Fall bei Gelegenheit der Fangedämme beschrieben sind (§. 43). Hier wäre nur noch zu erwähnen, daß man in neuerer Zeit bei Fundirung von Brückenpfeilern eiserne Cylinder

benutzt hat, die man wie Brunnenkessel versenkt und mit Béton füllt. Diese Methode zeigt sich besonders unter Anwendung comprimirter Luft (§. 50) sehr vortheilhaft.

Schliesslich wäre zu bemerken, das man vielfach und namentlich in Frankreich den Béton nicht nur unter Wasser, sondern auch in solchen Fällen anwendet, wo gewöhnliches Mauerwerk ausführbar ist. So hat man die Bassins zu Wasserleitungen verschiedentlich ganz aus Béton erbaut. Das Reservoir Racine in der Strafe gleiches Namens in Paris, das in drei Abtheilungen 194000 Cubikfuss fasst, ist in dieser Art construirt. Der Baugrund war hier so schlecht, das man mit den Fundamenten der Pfeiler, die nur aus Béton bestehn, 15 Fufs tief herabgehn musste. Zwischen diese Pfeiler sind Kreuzgewölbe von etwa 10 Fufs Spannung aus Béton ausgeführt, die mit ihrer Uebermaurung den Boden des Bassins bilden. Sie hatten sich gut gehalten und man bemerkte nur hin und wieder einzelne Tropfen an der untern Fläche dieser mit einem 10 Fufs hohen Wasserstande belasteten Gewölbe. Es war Absicht gewesen, die Bassins von innen mit einer festen Cement-schicht zu überziehn, die von Zeit zu Zeit ausgebessert werden sollte. Hierbei zeigte sich aber der Uebelstand, das auf dem Béton kein Ueberzug sicher haftet, und aus diesem Grunde hat man das später ausgeführte Bassin Vaugirard neben dem Boulevard des Invalides mit Wänden umgeben, die nur im Innern aus Béton bestehn und von beiden Seiten mit Stücken des sehr porösen Mühlsteines, der an der Marne bricht, verkleidet sind. Auf diesem haftet der Ueberzug aus Cement sehr gut, und lässt sich daran, so oft es nöthig ist, auch erneuern. Dieses letztgenannte Bassin besteht aus zwei Abtheilungen und fasst im Ganzen 323000 Cubikfuss. Es wird durch dieselben Leitungen aus dem Ourcq-Canale gespeist, welche die Springbrunnen auf dem Place de la Concorde mit Wasser versehen, und zwar geschieht die Füllung dieses Bassins nur während der Nacht, wenn die Springbrunnen nicht fließen. Die Mauern des Bassins Vaugirard sind 16 Fufs hoch, oben 5 Fufs breit, zu beiden Seiten stark dossirt und unten mit einer überwölbten Galerie umgeben, durch welche man die Filtrationen leicht zu entdecken und deren nachtheiligen Einfluss auf die umgebenden Grundstücke zu beseitigen hofft.

Eben so, wie bei Wasser-Reservoirs pflegt man in Frankreich

auch bei Canal-Schleusen, deren Baugrube vollständig trocken, und vom Wasserzudrange ganz frei ist, unter den gewölbten Boden eine 3 bis 4 Fufs starke Bétonschiicht zu legen, obwohl der Ausführung des Mauerwerks nichts entgegensteht. Das in gehörigem Verbande und mit vollen Fugen sorgfältig ausgeführte Mauerwerk hat in jeder Beziehung vor dem Béton Vorzüge, wenn aber diese Sorgfalt fehlt, so steht es ihm leicht bei Weitem nach. Die künstlichen Blöcke, die zur Ueberdeckung der Steinschüttungen der Hafendämme dienen, wurden in einem unserer Häfen theils aus gespaltenen Graniten gemauert, theils aus demselben zerschlagenen Granit in Béton dargestellt, während derselbe Mörtel in beiden Fällen benutzt wurde. Es stellte sich augenscheinlich heraus, dafs die Béton-Blöcke nicht so leicht zerbrachen, noch auch sich abrundeten als die gemauerten, während doch diese wegen des Verbandes eine viel grössere Festigkeit haben sollten. Es zeigte sich indessen, dafs dieser Verband höchst unvollkommen war, die Fugen schienen auch vielfach offen geblieben zu sein und namentlich haftete der Mörtel viel weniger an den vermauerten, als an den im Béton verarbeiteten Granitstücken. Dieses rührte ohne Zweifel davon her, dafs für die gehörige Benetzung nicht gesorgt war. Dazu kam noch das nicht zu beseitigende Bemühen der Maurer, den Blöcken ein recht regelmässiges Ansehn zu geben, woher an den Seitenflächen vielfach Steine verwendet waren, die gar nicht einbanden.

Die Zubereitung des Mörtels und des Bétons läfst sich dagegen, besonders wenn Beides in Maschinen geschieht, leicht controlliren, und eben so die Schüttung und Befestigung desselben durch Andrücken und Ausebnen. Es können daher hierbei solche Fehler, wie bei der gewöhnlichen Maurerarbeit, wenn hinreichende Aufsicht fehlt, nicht vorkommen, und es rechtfertigt sich daher, unter solchen Verhältnissen dem Béton den Vorzug zu geben.

§. 49.

Senk-Kasten.

Man kannte schon im Alterthum das Verfahren, in tiefem Wasser durch Versenken von Schiffen künstlich einen Baugrund zu bil-

den, worauf Hafendämme oder andre schwere Bauwerke gestellt wurden. Diese Methode wurde wesentlich verbessert, als man die Schiffe nicht mehr mit losen Steinen füllte, sondern sie vollständig ausmauerte, was im Trocknen geschah, während die Schiffe noch schwammen. Sie versanken erst, wenn man das Wasser eintreten liess. Man erreichte auf solche Art den Vortheil, dass man eine grosse zusammenhängende Masse darstellte, welche zum Tragen des Oberbaues geeigneter war, als eine lose Steinschüttung. Um ein gehörig sicheres Fundament zu bilden, musste das Schiff aber auch mit einer grossen Basis sich auf den Grund aufstellen. Benutzt man hierbei statt gewöhnlicher Schiffe solche, die besonders zu diesem Zwecke erbaut sind, so giebt man ihnen flache Boden und senkrechte Wände. Erstere vertreten alsdann die Roste, und letztere sind nur während des Baues selbst, wo sie als Fangedämme dienen, von Nutzen, man muss sie also in der Art befestigen, dass sie sich von oben lösen und entfernen lassen, und man kann sie alsdann bei den folgenden in gleicher Art construirten Kasten aufs Neue gebrauchen. Diese Kasten heissen gewöhnlich übereinstimmend mit ihrer französischen Benennung Caissons, doch wird bei uns dafür vielfach auch der Ausdruck Senk-Kasten gewählt. Es ist nicht zu leugnen, dass dieses Verfahren die Schwierigkeiten einer Fundirung in tiefem Wasser wesentlich vermindert, und es fand daher besonders in Frankreich und England vielfache Anwendung. In Deutschland ist davon nur selten Gebrauch gemacht worden, aber auch im Auslande ist man in der neusten Zeit, nachdem die Bétonfundirung üblich geworden ist, hiervon beinahe ganz zurückgekommen, wozu wohl die Unfälle wesentlich beigetragen haben, welche bei den in Caissons fundirten Bauwerken sich häufig ereigneten. Aus diesen Gründen ist es entbehrlich, die ältere Methode noch mit allen dabei vorkommenden Modificationen zu beschreiben, es wird vielmehr genügen, das Verfahren im Allgemeinen zu bezeichnen.

Zunächst entsteht die Frage, ob man den Boden des Caissons unmittelbar auf den gehörig geebneten Grund, oder auf Pfähle stellen soll. Im ersten Falle vertritt der hölzerne Boden die Stelle eines liegenden Rostes und im zweiten die eines Pfahlrostes. Beides kommt vor. Wenn man den Kasten unmittelbar auf den Grund stellt, so muss letzterer geebnet und so tief gegen das umgebende Flussbette gesenkt werden, dass keine Unterspülung eintre-

ten kann. Zu diesem Zweck umgibt man die Baustelle mit einem leichten Fangedamme, der, wenn er auch nicht wasserdicht ist, doch wenigstens das heftige Durchströmen verhindern muß, weil der starke Strom immer Sand und Kies herbeiführen und dadurch die künstliche Ausebnung sehr schnell aufheben würde.

De Cessart, der besonders die Fundirung in Caissons vielfach angewendet und empfohlen und ihre Vorzüge namentlich in Bezug auf Kostenersparung wiederholentlich gerühmt hat, wendete beim Bau der Brücke zu Saumur folgendes Verfahren an. Den Raum zwischen zwei Reihen leicht eingerammter Pfähle packte er mit Faschinen aus, in welche Steine eingebunden waren, oder mit sogenannten Senkfaschinen. Hierdurch bildete sich die Umschließung, welche die starke Strömung von der Baustelle abhielt, doch war letztere dadurch nicht vollständig geschlossen, vielmehr wurde auf der vom Strome abgekehrten Seite eine Oeffnung frei gelassen, durch welche der Senk-Kasten eingeschoben werden konnte. Hierauf wurde die Baugrube durch Baggern vertieft, und sobald man die gehörige Tiefe erreicht hatte, erfolgte die Ausebnung des Grundes, damit der Boden des Caissons überall gleichmäfsig zum Tragen kam. Dieses geschah, indem die tieferen Stellen mit Kies gefüllt, oder auch wohl der ganze Raum mit Kies beschüttet und alsdann die Oberfläche desselben mit einer Schiene horizontal abgestrichen wurde. *).

Wenn dagegen der Kasten auf Pfähle gestellt werden soll, so kommen wieder die beiden Fälle vor, daß nämlich entweder der Rost bis zum Flußbette und vielleicht auch noch tiefer versenkt wird, oder daß man ihn nur eben unter den niedrigsten Wasserstand bringt. Das letzte Verfahren ist jedenfalls das bequemere, dabei tritt aber der Uebelstand ein, daß man die Zwischenräume zwischen den Pfählen, wie §. 34 bereits erwähnt worden, nicht gehörig ausfüllen und gegen Ausspülung sichern kann. Man pflegt alsdann die Rostpfähle mit einer Spundwand zu umschließen, und wenn die Zwischenräume gehörig gefüllt sind, eine Steinschüttung rings um die Spundwand anzubringen. Wenn dagegen bei Anwendung der Rostpfähle die Versenkung des Rostes bis unter das Flußbette stattfinden soll, so muß man wieder den leichten Fangedamm darstellen und die Baggerung so tief herabführen, daß man mit der

*) De Cessart, *travaux hydrauliques*. Vol. I. Paris 1806.

Grundsätze die Pfähle in der gehörigen Tiefe abzuschneiden im Stande ist. Hierauf werden die Zwischenräume zwischen den Pfählen ausgefüllt und in einer geringen Höhe über den Pfahlköpfen horizontal abgestrichen. Dafs dabei die Kiesschüttung über die Pfähle noch etwas vorragt, ohne jedoch dieselben zu überdecken, wird nicht als nachtheilig angesehen, weil sie sich noch setzt oder eingedrückt wird und man dadurch dem Entstehen hohler Räume unter dem Roste vorzubeugen glaubt.

Die Dimensionen der Caissons müssen der Gröfse des darin auszuführenden Bauwerks entsprechen, doch kann man eine lange Kaimauer nicht in einem Caisson ausführen, man mufs vielmehr eine Trennung vornehmen und die einzelnen Theile mit einander möglichst zu verbinden suchen. Die Höhe der Wände mufs ferner so gewählt sein, dafs dieselben nach der Versenkung bis über das niedrigste Wasser vorragen, damit man die weitere Erhöhung über Wasser ausführen kann. Findet auf der Baustelle Ebbe und Fluth statt, so pflegt man den Wänden der Caissons nur eine solche Höhe zu geben, dafs das Mauerwerk beim Versenken über Niedrig-Wasser reicht. Bei der Spülschleuse zu Dieppe, die de Cessart baute, war die Anordnung in dieser Art getroffen. So lange das Caisson noch schwimmt, so hebt es sich mit der Fluth und sinkt mit der Ebbe, sobald man es aber versenkt hat, so tritt während der Fluth das Wasser ein, und nur bei niedrigem Wasser kann man den Bau weiter fortsetzen. Dafs die Wände gehörig stark sein müssen, um einem Wasserdrucke, der ihrer Höhe entspricht, zu widerstehen, darf kaum erwähnt werden.

Die Construction des Bodens ist von der Aufstellungsart des Caissons abhängig. Wenn keine Rostpfähle vorkommen und sonach der ganze Boden gleichmäfsig trägt, so werden die Balken nur von unten mit Bohlen verkleidet, wenn dagegen Pfähle eingerammt sind, so ist es nöthig, dafs die sämmtlichen Köpfe derselben auf Balken treffen, und man mufs alsdann das Einrammen zwischen gewissen versenkten Lehren vornehmen, wodurch man allein in einer grösseren Tiefe unter Wasser eine regelmäfsige Lage der Pfahlköpfe erreichen kann. Vortheilhafter ist jedoch die Methode, die man in Frankreich angewendet hat, wonach der Boden des Caissons nicht mit Bohlen verkleidet, sondern aus einer dichten Balkenlage gebildet wird. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs jeder Pfahlkopf,

wo er sich auch befinden mag, vollständig zum Tragen kommt. Eine Verbindung des Pfahles mit dem Boden des Caissons, oder mit den Rostschwellen durch Zapfen, oder auf andre Art, läßt sich nicht darstellen, sie ist auch entbehrlich, weil das große Gewicht des fertigen Baues ein Verschieben undenkbar macht und die Pfähle sich auch wirklich etwas einzudrücken pflegen.

Fig. 269 auf Taf. XXII zeigt den vertikalen Querschnitt eines Caissons, wie solche bei mehreren Brückenbauten in Paris benutzt sind. Der Boden besteht aus einer geschlossenen Balkenlage, welche der Länge nach durch fünf Gänge Halbholz verbunden, und außerdem durch einen Rahmen umschlossen ist, worin die sämtlichen Balken mit Zapfen eingreifen. Zur Verbindung der Balken mit dem Rahmen sind rings umher in Abständen von 3 Fufs Schrauben-Bolzen angebracht, deren Muttern in die Balken eingelassen sind, und deren Köpfe sich gegen den Rahmen lehnen, wie die Figur auf der linken Seite zeigt.

Die Seitenwände werden gebildet durch Stiele die 8 bis 10 Fufs von einander entfernt und in die Rahmen verzapft sind. In ihnen befinden sich Nuthen, worin man starke Bohlen einschiebt, welche die eigentlichen Wände bilden. Auf der äußern Seite greifen außerdem noch schräge Streben, die auf jenen Rahmen aufstehen, mit Versatzung in die Stiele. Ueber je zwei einander gegenüber stehende Stiele ist eine Zange gelegt, die an beiden Seiten durch eine starke eiserne Stange mit dem Rahmen verbunden ist, welcher den Boden einschließt. Die Figur zeigt auf der rechten Seite diese Stange. Sie ist unten mit einer Oese versehen, womit sie über einen Haken greift, der in den Rahmen und den anstossenden Balken eingetrieben ist. Oben ist sie durch den Kopf der Zange gezogen und wird hier durch die Schraubenmutter gehalten. Löst man die letztere, so kann man die Stange vom Haken abziehen und die Wände des Caissons werden frei, so daß man sie beim Bau des folgenden Pfeilers wieder benutzen kann. Um die Stiele mit einander fest zu verbinden, sind endlich über die Zangen noch Langhölzer gelegt und an diese mit Schraubenbolzen befestigt.

Die Erbauung solcher Caissons erfolgt wie die der Schiffe, auf Hellingen oder geneigten Ebenen am Ufer, von wo sie in das Wasser herabgleiten, doch ist hierbei große Vorsicht nöthig, weil sie bei ihrer Länge und bei ihrer schwachen Verbindung leicht bre-

chen. Um sie gehörig wasserdicht zu machen, wird jede einzelne Fuge ebensowohl im Boden, wie an der Seite, von aussen durch eingetriebenes Werg gedichtet und demnächst mit heissem Pech übergossen. Gewöhnlich erhalten die Caissons an einer Seite noch ein Schütz, damit man beim Versenken das Wasser sanft einlassen kann, so wie einige Pumpen, die theils zur Beseitigung des eingedrungenen Wassers dienen, theils aber auch um den ganzen Kasten wieder zu heben, falls er beim ersten Versenken nicht genau eingestellt sein sollte.

Ueber die Ausführung des Mauerwerks in den Caissons ist zu bemerken, daß dieses sehr gleichmäfsig vertheilt werden, oder daß man wenigstens durch eine sonstige Beschwerung für eine gleiche Belastung aller Theile sorgen muß, weil sonst ein Bruch erfolgt. Sobald der Grund, auf dem das Caisson aufstehen soll, gehörig ausgeglichen ist, so pflegt man dieses sogleich darüber zu führen, und es möglichst bald mit Wasser zu füllen und zu versenken. Man bemüht sich immer, den Bau so anzuordnen, daß die Maurerarbeit in dieser Zeit weit genug gediehn ist, um die Versenkung sogleich erfolgen zu lassen, weil die erwähnte Ausebnung ihre Regelmäßigkeit bald verliert. Wenn das Caisson an der passenden Stelle versenkt ist, so wird die nöthige Beschwerung desselben durch Aufpacken von Steinen auf die darüber angebrachte Rüstung vorgenommen und man pumpt das eingelassene Wasser aus. Auf diese Art kann man im Schutz der Seitenwände, wie zwischen Fangedämmen, das Mauerwerk bis zur gehörigen Höhe herausführen. Jedenfalls leidet das Caisson weniger, wenn es möglichst bald versenkt wird, als wenn man es lange Zeit hindurch mit dem begonnenen Mauerwerk schwimmen und es wohl gar, wenn Ebbe und Fluth stattfindet, abwechselnd auf den Grund setzen läßt.

Wenn man das ganze Bauwerk nicht in einem einzigen Caisson ausführen kann, was namentlich bei Kaimauern der Fall ist, so muß man für die gehörige Verbindung der besonders fundirten Theile sorgen. De Cessart spannte zu diesem Zweck nach der Entfernung der Caissonwände Bogen von einer Mauer zur andern und zwar in solcher Tiefe, als der Wasserstand irgend zuliefs. Dabei sind aber die Oeffnungen unter den Bogen nicht gehörig zu schliessen und daher dürfte ein anderes Verfahren den Vorzug verdienen, welches Lamandé bei den Kaimauern in Paris anwandte. Derselbe suchte

nämlich die Zwischenräume zwischen den langen Wänden zweier neben einander versenkten Caissons durch vorgeschlagene Pfähle und leichte Fangedämme möglichst zu dichten, worauf die beiden nächsten Wände an den schmalen Seiten entfernt wurden, so daß beide Caissons sich in einen verwandelten. Hierauf konnte man das Intervall der Mauer vom Grunde aus aufführen, und damit nicht die Wände der sämtlichen Caissons stehn bleiben durften und die ganze Baugrube sich zu sehr ausdehnte, so wurde jedesmal in der Nähe der Stelle, die man auf solche Art ausmauern wollte, der Raum zwischen der langen Wand des Caissons und dem fertigen Mauerwerk geschlossen. Der wasserfreie Raum umfaßte also jedesmal nur diejenige Stelle, woselbst die Verbindung stattfinden sollte.

Die vorstehend beschriebenen Senkkasten sind, wie bereits erwähnt, in neuerer Zeit durch die viel einfachere und sehr sichere Methode der Fundirung auf Béton verdrängt worden. Letztere ist in der That in allen Fällen leicht anwendbar, wo die Wassertiefe so mäfsig bleibt, daß man Senkkasten hätte benutzen können. Dagegen hat man in den letzten Jahren mehrfach und zum Theil mit überraschend günstigem Erfolge eine wesentlich verschiedene Fundirungs-Art angewendet, wobei das Bauwerk auf kastenförmigen und bis zu großer Tiefe versenkten Mauern ruht, die wieder Senkkasten genannt werden.

Diese Methode ist nur eine Modification oder weitere Ausdehnung des im Landbau vielfach angewandten Verfahrens, Gebäude auf Senk-Brunnen zu stellen. Von den Senk-Brunnen war bereits §. 8 die Rede. Sie werden, wie dort beschrieben, ausgeführt und versenkt, man geht damit aber so weit herab, bis man eine Erdschicht trifft, welche hinreichende Tragfähigkeit besitzt, um das Gebäude sicher zu unterstützen. Demnächst wird aber der Brunnen entweder mit Béton, oder bis zur Höhe des Grundwassers mit grobem Kies angefüllt und weiter aufwärts bis zu seinem obern Rande ausgemauert, so daß die darauf ruhende Last sich über den ganzen kreisförmigen Querschnitt vertheilt.

Der wesentliche Vortheil dieser Fundirungs-Art besteht darin, daß man bei aufmerksamer Führung des Baues und wenn das Mauerwerk in sich fest verbunden ist, bis zu großer Tiefe herabgehn kann. Wenn aber Brunnen von geringem Durchmesser sich nur in reinen Grund versenken lassen, so kann man in weiteren Brunnen oder Kasten an der

Seite, wo ein Hinderniß sich vorfindet, die Vertiefung so weit vortreiben, daß der Widerstand gehoben und der Brunnen nicht mehr zurückgehalten wird. Schon bei Ausführung der Schachte, welche die Zugänge zu dem Themse-Tunnel bilden (§. 8), machte man die Erfahrung, daß Schwierigkeiten dieser Art sich überwinden lassen. Bedingung ist es aber, daß der Boden, auf dem man solche Brunnen oder Senk-Kasten ausführen will, über Wasser, oder doch wenigstens in der Höhe des Wasserspiegels liegt. Ist dieses nicht der Fall, die Wasser-Tiefe aber nicht groß, so bleibt noch übrig, durch Anschütten von Erde die erforderliche Erhöhung darzustellen. Hat der Brunnen dagegen nur eine mäßige Weite und keine bedeutende Wandstärke, so hängt man auch wohl den hölzernen Kranz mittelst Schrauben an eine Rüstung, und übermauert ihn, indem man ihn stets so weit herabsinken läßt, daß nur der obere Mauer-Rand über Wasser tritt. Sobald der Kranz sich auf den Grund aufstellt, beseitigt man die Hängeeisen und Schrauben, und bewirkt nunmehr durch Baggern im Innern die weitere Versenkung. In dieser Weise hat man zuweilen Brückenpfeiler von mäßigen Dimensionen fundirt.

Wenn man auf sumpfigem Grunde sichere Bauwerke ausführen will, so ist diese Fundirungs-Art besonders zu empfehlen. So wurden die Pfeiler des Eisenbahn-Viaductes über die Silberwiese bei Stettin auf dergleichen gemauerte Kasten gestellt. Wenn dieselben sehr tief versenkt werden, so hindert nichts unmittelbar daneben auch so große Wassertiefen darzustellen, daß Seeschiffe daran anlegen können. Dabei bleibt freilich die Schwierigkeit, diese einzelnen Fundamente mit einander so zu verbinden, daß durch die Zwischenräume die Erde nicht herabstürzen kann. Sehr zweckmäßig ist in dieser Beziehung, wie überhaupt in der ganzen Anordnung und Ausführung beim Bau der südlichen Kai-Mauer des Sandthor-Hafens bei Hamburg verfahren. Die von dem Erbauer derselben, dem Wasserbau-Director Dalmann, meinen Wunsch entsprechend mir mitgetheilten Bauzeichnungen sind in Fig. 268 auf Taf. XXI wiedergegeben.

Der seit einigen Jahren ausgeführte und wegen der Verbindung mit der Eisenbahn stets mit großen Seedampfern belegte Sandthor-Hafen am obern Theile von Hamburg, war bisher nur auf der nördlichen Seite mit einer Ufereinfassung, und zwar einer hölzernen, versehen, neben der ein breitspuriges Geleise sich hinzog, worauf etwa zehn Dampfkrahne standen, um die eingehenden Güter in die da-

hinter stehenden überdachten Schuppen zu heben, von wo sie unmittelbar auf die Eisenbahn-Wagen verladen werden konnten. Dieses Kai genügte aber nicht für den Verkehr, woher auch das südliche Ufer in ein Kai, und zwar in ein massives verwandelt werden sollte. Dieses Ufer war niedriges sumpfiges Terrain, von dem jedoch für die erforderliche Verbreitung des Hafens ein Theil abgegraben werden mußte. Bevor dieses geschah, fundirte man die Kaimauern auf solchen Senkkasten. Dieselben haben oblonge Querschnitte, wie Fig. 268 *b* und *c* zeigt, deren äußere Seite in der Richtung des Kais 12 Fufs 9 Zoll Rheinländisch, und in der darauf senkrechten Richtung 18 Fufs 3 Zoll messen. Die Mauern sind 2 Fufs 6½ Zoll, oder 3½ Klinker stark. Die Kasten verbreiten sich aber nach unten, um durch den Seitendruck am Herabsinken möglichst wenig behindert zu werden. Der lichte Abstand der Kasten von einander, und zwar zwischen den obern senkrechten Mauern mißt 14' 7". Auf nahe 2¼ Ruthe Länge wurde daher immer ein Kasten versenkt, und die Länge des ganzen Kais mißt ungefähr 270 Ruthen.

Der gewöhnliche Fluthwechsel in Hamburg beträgt 5½ Fufs, die Hafensohle sollte 14½ Fufs unter ordinär Niedrigwasser liegen, woher die Kasten noch ungefähr 3 Fufs tiefer gesenkt wurden. Das Terrain lag einige Fufs über ordinär Hochwasser, doch befanden sich darin mehrere tiefere Rinnen, durch welche das Wasser eingetreten wäre. Diese mußten durchdämmt werden, damit abgesehn von besonders hohen Fluthen, in der ganzen Baustelle der Wasserstand auf 4 Fufs unter ordinär Niedrigwasser gehalten werden konnte. Bis zu diesem Horizont sollten auch die Kasten versenkt werden, sie erhielten daher sogleich die Höhe von nahe 18 Fufs.

Die Ausführung der Senkkasten war derjenigen der Senkbrunnen sehr ähnlich. Man machte den Anfang mit dem Abgraben und Planiren des Bodens bis man auf Grundwasser traf, alsdann legte man aus doppelten Bohlen einen Rahmen aus, der genau der Ausdehnung der untern Mauerschicht entsprach und hierauf wurden die Mauern aus hartgebrannten Klinkern in stark hydraulischem Mörtel bis zur vorbezeichneten Höhe aufgeführt.

Nunmehr stellte man auf jeden Kasten eine Baggermaschine, welche den Boden lothrecht aushob, oder deren Baggerleitern sich doch wenigstens nicht weit von der lothrechten Richtung entfernen. Diese Maschine, durch eine am Ufer stehende Locomobile ge-

trieben, stand auf einer über die längern Seiten des Kastens gestreckten Eisenbahn, konnte also der Uferlinie beliebig genähert, oder von derselben entfernt werden. Einige Maschinen ließen sich auch in der Quer-Richtung, also parallel zum Ufer, in gleicher Weise verstellen. Doch zeigte sich diejenige Einrichtung bequemer, wobei die Maschine immer in der Achse des Kastens blieb, aber die Baggerleiter in ihrem untern Theile vor und zurückbewegt werden konnte, also um die Achse der obern Trommel sich drehte. Endlich waren alle Maschinen noch mit der Vorrichtung zum Heben und Senken der Leitern versehen, so daß beliebig an jeder Stelle die Eimer in größerer oder geringerer Tiefe wirken konnten. *)

Sobald die Baggermaschine einige Zeit hindurch gewirkt und im Innern des Kastens eine merkliche Vertiefung bewirkt hat, so verliert der Boden, auf dem der Rahmen ruht, seine Unterstützung, er dringt nach innen vor und der Kasten senkt sich. Dieses geschieht sehr sanft und gleichmäßig, wenn der Untergrund rein, und die Baggerung rings umher bis zu derselben Tiefe erfolgt ist. Der Untergrund war indessen sehr unrein und daher der Widerstand sehr verschieden. Es kam sogar vor, daß Baumstämme in der Tiefe lagen. Durch vorsichtige Führung des Baggers gelang es aber, auch diese tiefer zu versenken oder zu durchbrechen, und sonach die Kasten bis zur vollen Tiefe, und zwar in senkrechter Stellung, herabzubringen. Oft genug neigten sie sich nach einer Seite stark über, alsdann mußte der Bagger da wirken, wo ihre Oberfläche sich am meisten erhob. Ein Bruch des Mauerwerks erfolgte in keinem Falle, und da die ganze Masse innig zusammenhing, so war es ohne Nachtheil, wenn dieselbe zuweilen auch nur durch einen einzelnen Gegenstand von geringer Ausdehnung am Herabsinken verhindert wurde. Dieses Hinderniß mußte aber durch starkes Vertiefen im Innern beseitigt werden. In solcher Art gelang es, alle Kasten recht regelmäßig zu senken und nahe genug in die beabsichtigte Ufer-Linie zu stellen.

Indem die Kasten nicht nur ihr eignes Gewicht tragen, sondern auch durch die massive Mauer und die Hinterfüllung belastet werden sollten, so war eine starke Probe-Belastung nothwendig. Zu diesem Zwecke stellte man auf jeden versenkten Kasten ein Gefäß aus starkem Eisenblech auf, das einen abgestutzten Kegel bil-

*) Diese Baggermaschine ist derjenigen ähnlich, die im III. Theile dieses Werkes §. 75. beschrieben ist.

dete. Der untere Durchmesser desselben hielt nahe 24 Fufs, der obere 36 Fufs, und die Höhe maafs 30 Fufs. Hierin wurde Wasser gepumpt, und dadurch eine Belastung von mehr als 10 000 Centner dargestellt. Einige Senkung wurde nunmehr jedesmal bemerkt, doch war dieselbe meist sehr unbedeutend, und hörte bald ganz auf.

Nachdem die Kasten als feststehend angesehen werden konnten, wurden sie mit Béton gefüllt und übermauert, wie die Figuren in den verschiedenen Schnitten zeigen. Der freie Raum zwischen je zwei Kasten wurde aber mit einer $2\frac{1}{4}$ Fufs starken Kappe aus Klinkern überspannt. Auf diesen Kappen, so wie auf der Uebermauerung der Kasten steht zunächst die eigentliche Kaimauer, die sich bis 14 Fufs 7 Zoll über Niedrig-Wasser erhebt, aufserdem eine zweite Mauer, welche die hintere Schiene des Geleises für die Dampfkrane trägt. Beide sind durch massive Pfeiler verbunden, die sehr kräftige Contreforts bilden. Die freien Räume zwischen je zwei Kasten hat man aber rückwärts durch Spundwände geschlossen, um das Ausspülen der Hinterfüllungs-Erde zu verhindern, während vor den Spundwänden auf die Länge der Senkkasten sich eine hinreichend flache Böschung bis zur Sohle des Hafens bildet. Die Durchschnitte *e* und *f* zeigen diese Mauern, wie die Spundwand.

Schliesslich mufs noch von den eisernen Senkkasten die Rede sein, die man in neuerer Zeit hin und wieder bei Fundirungen in tiefem Wasser benutzt hat, und die auf weichem Untergrunde manche Vortheile bieten.

Beim Bau der Eisenbahn-Brücke über die Marne bei Nogent kam es darauf an, den Mittelpfeiler in dem sehr beweglichen Flußbette zu fundiren, da grose Vertiefungen zu besorgen waren. Beim gewöhnlichen Sommer-Wasserstande maafs die Tiefe an dieser Stelle nahe 13 Fufs, und die Sohle bestand bis 3 Fufs darunter aus losem Sande, und auf weitere 4 Fufs aus einem Gemenge von Sand und Thon, worunter sich erst Kies vorfand, den man als festen Baugrund ansehen konnte. Die Fundirung mufste also bis 20 Fufs unter Wasser herabgeführt werden. Der Ingenieur Pluyette, der diesen Bau ausführte, entschlofs sich daher einen sowol oben, wie unten offenen Kasten aus Eisenblech anzuwenden. Er gab demselben solche Dimensionen, dafs rings um den über Wasser vortretenden Brückenpfeiler ein Raum von $6\frac{1}{2}$ Fufs Breite frei blieb. Unten war der Kasten weiter, als oben, so dafs er eine pyramidale

Gestalt hatte. Die horizontalen Querschnitte bildeten in den mittleren Theilen Rechtecke, und waren durch Halbkreise an beiden Seiten begrenzt. Die ganze Länge maafs oben 69 Fufs und unten 73 Fufs, die Breite dagegen oben 32 Fufs und unten 36 Fufs. Die ganze Höhe betrug nahe 29 Fufs, so dafs der Kasten, wenn er 1 Fufs tief in den Kies versenkt wurde, noch 8 Fufs den Sommerwasserstand überragte.

Die Blechstärken waren nach dem Drucke, dem die Schichten ausgesetzt werden sollten, verschieden angenommen, und auferdem durften sie an den abgerundeten Enden schwächer sein, als in den mittleren Theilen. Sie maafs in der untern $9\frac{1}{2}$ Fufs hohen Zone, die den Béton umschliessen sollte und daher nur geringem Drucke ausgesetzt wurde, beziehungsweise 1,8 und 2 Linien. In der zweiten 11 Fufs hohen Zone, die nach dem Versenken des Bétons den vollen Wasserdruck auszuhalten hatte, da sie erst später ausgemauert wurde, 3,7 und 4,6 Linien. Die obere Zone endlich, die nur bei höheren Wasserständen als Fangedamm dienen sollte, bestand aus Blechen von derselben Stärke, wie die untere. Mit Einschluss der Anker, die im mittleren Theile die gegenüber stehenden Wände gegen einander verstrebt, wog der Kasten 1400 Centner.

Nachdem das Flußbette durch Baggern bis zur Kieslage vertieft war, führte man, zwischen zwei Fahrzeugen schwebend den Kasten darüber und versenkte ihn mittelst Schrauben. Sodann wurde der Schlamm, der auf der Sohle sich inzwischen abgesetzt hatte, durch Handbagger im Innern entfernt, auch dabei wieder für eine gleichmäfsige Einsenkung gesorgt, und nunmehr der Béton eingebracht. Nach Erhärtung desselben pumpte man den Kasten leer und führte die Ausmauerung und den untern Theil des Pfeilers aus. Schliesslich beseitigte man den über das Sommerwasser vortretenden Theil des Kastens, indem die Verbindung hier nicht durch Niethe, sondern durch Schraubenbolzen dargestellt war *).

Gegen dieses Verfahren sprach sich Beaudemoulin sehr entschieden aus **), indem er meinte, die Umschließung mit hölzernen Wänden und die Darstellung von Béton-Fangedämmen wäre nicht nur sicherer, sondern auch wohlfeiler gewesen. Die für die grös-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1856. II. pag. 282.

***) *Annales des ponts et chaussées.* 1857. II. pag. 238.

sere Sicherheit angeführten Gründe dürften indessen zweifelhaft sein, und sonach begründet sich auch kaum die Voraussetzung in Betreff der geringeren Kosten.

Eben so, wie diese Blechkasten, hat man in den Niederlanden zu gleichem Zweck auch Kasten angewendet, die aus gusseisernen Tafeln zusammengesetzt waren. In einem Falle traten dabei sehr bedenkliche Beschädigungen ein, die vorzugsweise wohl durch die zu großen Dimensionen veranlaßt waren, während auch die eigenthümliche Beschaffenheit des Untergrundes den Bau außerordentlich erschwerte *).

Die Eisenbahn zwischen Alkmar und Nieuwe-Diep überschneidet zweimal den Nordholländischen Canal und mußte, um den Durchgang großer Seeschiffe zu ermöglichen, auf Drehbrücken darüber geführt werden. Zu diesem Zwecke kam es darauf an, außer den beiden Landpfeilern, jedesmal noch einen Pfeiler, auf dem die Drehbrücke ruht, und einen der theils diese unterstützt, wenn sie geschlossen ist, und theils die feste Brücke trägt, auszuführen. Durch die Drehbrücken wurden je zwei Oeffnungen von 64 und 32 Fufs lichter Weite überspannt, und sie stand auf einem cylindrischen Pfeiler von 19 Fufs Durchmesser. Der andre Pfeiler war 22 Fufs lang und $9\frac{1}{2}$ Fufs breit. Beide sollten in versenkten eisernen Kasten fundirt werden, jedoch war es ursprünglich Absicht gewesen, die langen Pfeiler auf je zwei Cylinder von $9\frac{1}{2}$ Fufs Durchmesser zu stellen und diese über Wasser durch vertikale Eisenplatten mit einander zu verbinden. Der Bau-Unternehmer glaubte jedoch, die Ausführung würde sicherer und bequemer sein, wenn er Kasten anwendete, die der Ausdehnung dieser Pfeiler entsprächen und bei der Länge von 22 Fufs und der Breite von 11 Fufs, an beiden Enden abgerundet wären. Die Genehmigung zu dieser Aenderung wurde ertheilt.

Was die Höhenverhältnisse betrifft, so wird der Wasserspiegel in dieser Canalstrecke auf ungefähr 2 Fufs unter Amsterdamer Peil, d. h. unter mittlerem Hochwasser in Amsterdam gehalten. Die Sohle des Canales liegt 20 Fufs unter diesem Normal-Horizont, oder die Wassertiefe mißt 18 Fufs, und die eisernen Kasten sollten noch $19\frac{1}{2}$ Fufs tiefer versenkt werden. Indem diese während des

*) *Verhandelingen van het koninklijk Instituut van Ingenieurs. 1868—1869.*

Baues bis Amsterdamer Peil heraufreichen sollten, so betrug ihre ganze Höhe $39\frac{1}{2}$ Fufs.

Die Kasten bestanden aus gufseisernen Platten von 1 Zoll Stärke, nahe 5 Fufs Höhe und durchschnittlich etwa 6 Fufs Breite. Sie waren an den Seiten, wie auch oben und unten mit Flanschen versehen und wurden durch Schraubenbolzen so mit einander verbunden, dafs sie Ringe bildeten, bei deren Zusammenstellung die vertikalen Fugen versetzt waren.

An starke hölzerne Rüstungen hing man zunächst diejenigen Platten auf, welche den untersten Ring bilden sollten, und verband sie mit einander. Darüber stellte man den folgenden Ring und so fort, indem man den bereits verbundenen Kasten stets so weit versenkte, dafs sein oberer Rand noch über Wasser blieb. Die Kasten hingen dabei beständig an 9 oder 12 starken eisernen Schrauben, woran man sie gleichmäfsig herablassen konnte. Diese Vorsicht wurde auch fortgesetzt, nachdem die Kasten sich bereits auf die Sohle aufgestellt hatten.

Bei der zuerst ausgeführten Brücke auf dem Koegras, eine Stunde von Nieuwe-Diep entfernt, erfolgte die Aufstellung und Versenkung bis zur beabsichtigten Tiefe sehr regelmäfsig und ohne Unfall. Sobald sie die Sohle des Canals erreicht hatten, stellte man eine Baggermaschine mit lothrechter Eimerleiter auf jeden Kasten, und in dem Maafse, wie dieselbe den feinen und ziemlich locker abgelagerten Sand aushob, drang der Kasten tiefer in den Grund ein. Sobald dieses geschehn war, ebnete man einigermaassen den Grund, und brachte mittelst halb-cylindrischer Senkkasten Béton ein, und zwar bis zur Höhe der Canal-Sohle. War diese Bettung etwas erhärtet, so pumpte man den Kasten aus und das Mauerwerk konnte darüber im Trocknen ausgeführt werden. Schliesslich wurden die Ringe, die sich über das volle Mauerwerk erhoben, einer nach dem andern gelöst, indem man mittelst besonderer Schraubenschlüssel die Muttern über den horizontalen Fugen unter Wasser fafste und zurückdrehte. Dabei wäre nur zu erwähnen, dafs schon auf dieser Baustelle während des Baggerns das Wasser in den Kasten meist etwas höher, als im Canale stand.

Viel gröfseren Schwierigkeiten begegnete man beim Bau der Brücke neben Alkmar. Der Boden bestand auch hier aus Sand, doch war dieser so fest abgelagert, dafs die Baggereimer nicht ein-

drangen. Man war daher gezwungen, mit zugeschärften Stofseisen den Grund aufzulockern und unter fortwährendem Verschieben des Baggers den so eben gelösten Sand auszuheben. Dabei konnte es natürlich nicht fehlen, daß der Widerstand an verschiedenen Stellen verschieden war, und der Kasten sich alsdann schräge stellte. Durch kräftiges Baggern neben den höchsten Punkten, und indem man diese noch mit großen Gewichten (bis zu 1600 Centner) belastete, gelang es endlich, die Kasten in die richtige Lage zurückzubringen. Bei dem längeren Kasten ereignete es sich sogar, daß derselbe, nachdem er bereits 9 Fufs tief in den Grund eingedrungen war, sich plötzlich seitwärts verschob. Es blieb nur übrig, an einer Seite von innen, und an der andern von außen zu baggern, um ihn wieder an seine Stelle zu bringen. Dabei traten häufig die Senkungen plötzlich und so heftig ein, daß sie mit starken Stößen verbunden waren.

Bei dieser mühsamen Arbeit war es endlich gelungen, den langen Kasten bis auf $11\frac{1}{2}$ Fufs unter die Canal-Sohle zu versenken. Man hatte so eben einen neuen Kranz von Platten aufgesetzt, auch darüber eine starke Belastung gebracht und begann das Baggern aufs Neue, als plötzlich das Wasser in dem Kasten anschwell und den 6 Fufs über dem äußern Wasserspiegel liegenden Rand mit Heftigkeit überströmte. Der Kasten stürzte dabei 5 Zoll tief herab, und hierbei zerbrach er, so daß an der einen schmalen Seite, nahe im Scheitel der Verbindungs-Curve ein Riß sich auf $13\frac{1}{2}$ Zoll öffnete, während gegenüber nur eine feine Bruchfuge entstand. Nachdem das Ausströmen des Wassers aufgehört, bemerkte man, daß der Kasten sich nahe 13 Fufs hoch mit Sand gefüllt hatte, während das nächste Canal-Ufer eingestürzt war. Man fand auch einen durch die ganze Länge des Kastens hindurchgehenden Bruch in der einen Seitenwand, der von 18 bis auf 15 Fufs unter dem Wasserspiegel anstieg.

Veranlassung zu der höchst auffallenden Erscheinung, daß das Wasser sich plötzlich so hoch in dem Kasten erhob, und bei der heftigen Einströmung so viel Sand hineintrieb, konnte nur sein, daß man eine wasserführende Schicht eröffnet hatte, welche von einem bedeutend höher liegenden Terrain gespeist wurde. Der starke Zufluß hörte indessen angeblich nach 5 Minuten auf, vielleicht weil bei der eintretenden Bewegung der Druck so schnell abnahm, wie man dieses auch bei springenden Strahlen bemerkt (vergl. §. 16).

Wahrscheinlich verhinderte auch der eingedrungene Sand das fernere starke Zuströmen des Wassers.

Man betrachtete es als einen besonders günstigen Umstand, daß der ganze Kasten noch in den Schrauben hing, und sonach das abgebrochene Stück nicht herabstürzen konnte. Jedenfalls mußte die Brücke an dieser Stelle ausgeführt werden, da die Eisenbahn wegen der Nähe von Alkmar sich nicht verlegen liefs, das Ausheben des Kastens, also die Ersetzung desselben durch einen neuen war aber unmöglich. Es blieb sonach nur übrig, die getrennten Theile so gut es geschehn konnte, zu vereinigen und in demselben Kasten den Brückenpfeiler aufzuführen.

Die Baggermaschine wurde wieder in Gang gesetzt und der eingedrungene Sand, soweit thunlich beseitigt. Alsdann hob man das abgebrochene Stück etwas an und näherte es durch umgeschlungene Ketten und durch Ziehbänder soweit dem andern Theile, daß jene Fuge im obern Rande nur noch etwa 5 Linien geöffnet blieb. Von jedem Versuche, den Kasten noch weiter zu versenken, mußte man absehn, doch gewann man eben wegen der festen Schichten, die so schwer zu durchbrechen gewesen waren, die Ueberzeugung, daß es unnöthig sei, den Kasten bis zu der früher beabsichtigten Tiefe, woran noch 8 Fufs fehlten, herabzutreiben.

Die Baggerung wurde nunmehr bis nahe an den untern Rand des Kastens fortgesetzt, alsdann die Füllung mit Béton sogleich begonnen und diese 3 Fufs höher, als es im ursprünglichen Plane lag, heraufgeführt, um jene horizontale Fuge vollständig zu überdecken. Zum Sperren der vertikalen Fugen umgab man den Kasten mit getheerter Leinwand, worauf die Pumpen so weit das Wasser wältigten, daß die Uebermaurung möglich wurde. Der größern Sicherheit wegen niethete man über die Bruchstellen auf beiden Seiten noch Laschen auf und um wegen der geringeren Tiefe der Fundirung einer Unterspülung vorzubeugen, baggerte man rings um den Kasten einen Graben, durchschnittlich von 40 Quadratfufs Querschnitt und füllte diesen bis zur Canal-Sohle mit Béton an. Man bemerkte, daß die Sandmasse, die man im Ganzen aus diesem Kasten gebaggert hatte, ungefähr das Fünffache vom Inhalt desselben maafs.

Die Versenkung des cylindrischen Kastens für den Drehpfeiler erfolgte darauf ohne einen ähnlichen Unfall, doch scheint man auch

hier nicht bis zu der früher beabsichtigten Tiefe herabgegangen zu sein, auch wurde eine Lage Basalte zur Verhinderung einer Unterspülung umher versenkt.

Bei der Probe-Belastung der Brücke mit 4000 Centnern, so wie auch während des dreijährigen Bahnbetriebes haben diese beiden Pfeiler keine Sackung und überhaupt keine Bewegung bemerken lassen.

§. 50.

Fundirung unter Luftdruck.

Man hatte bereits vielfach und namentlich bei Erbauung von Hafendämmen die Taucherglocke in großer Tiefe unter Wasser benutzt, um theils Werkstücke regelmässig zu versetzen, theils aber auch um andres Mauerwerk auszuführen, oder um den Grund zu reinigen und dergleichen. Diese Anwendung des Luftdrucks blieb jedoch räumlich immer nur sehr beschränkt, und erst in den letzten Jahrzehenden hat man mit überaus günstigem Erfolge, sowol weite Röhren als auch ganze Fundamente von Brückenpfeilern durch Benutzung der comprimirtten Luft bis zu bedeutender Tiefe unter Wasser versenkt, und diese Methode hat sich sowol durch ihre Sicherheit, als auch durch ihre Wohlfeilheit so sehr empfohlen, daß sie gegenwärtig fast bei allen Ueberbrückungen großer und tiefer Ströme Anwendung findet. Man hat indessen auf zwei ganz entgegengesetzte Arten den Luftdruck benutzt, doch ist man von der Methode, die man Anfangs befolgte, und die unter gewissen Verhältnissen sich schon sehr brauchbar erwies, gegenwärtig zurückgekommen, während die andre allgemeinen Eingang gefunden hat.

Zunächst mag die erste kurz berührt werden. Im Jahre 1843 nahm Dr. Pott in England ein Patent auf die Erfindung, Pfähle durch Luftdruck in den Grund zu treiben. Diese Pfähle sollten aus hohlen eisernen Röhren bestehn, die unten offen sind, oben dagegen durch Klappen luftdicht geschlossen werden können. Nachdem sie durch ihr eignes Gewicht sich etwas in den Boden eingedrückt haben, schließt man diese Klappe und pumpt den innern Raum nahe luftleer. Alsdann wird der Pfahl vom Druck der

äufsern Luft belastet und dringt noch etwas tiefer ein, doch wäre dieser Erfolg von wenig Bedeutung, wenn nicht das aus dem Boden in den Pfahl tretende Wasser den Sand oder die Erde auflockerte, und hierdurch das weitere Herabsinken veranlafste. Der Pfahl füllt sich hierbei aber nicht nur mit Wasser, sondern zum Theil auch mit Erde an. Alsdann läfst man die Luft wieder eintreten, öffnet die Klappe, pumpt das Wasser aus und beseitigt zugleich die eingedrungene Erde, worauf man wieder die Klappe schließt und die Luftpumpe in Bewegung setzt. Der Untergrund wird nunmehr aufs Neue gelockert und der Pfahl sinkt tiefer ein und so fort, bis er endlich die beabsichtigte Tiefe erreicht hat.

Wenn der Boden fester ist und durch eine schwache Strömung nicht gelockert wird, so läfst sich durch dieses einfachste Verfahren das gehörige Eindringen des Pfahles nicht bewirken, und man muß alsdann eine kräftigere Strömung veranlassen. Dieses geschieht, wenn man die Luftpumpe nicht unmittelbar mit dem von der Röhre umschlossenen Raum in Verbindung setzt, der nur nach und nach entleert, also auch in gleicher Weise mit Wasser gefüllt wird. Man bringt daher einen großen Behälter, gleichsam einen Windkessel an, den man möglichst luftleer macht, und in diesen durch plötzliches Oeffnen eines Hahnes die Luft aus der Röhre einströmen läßt. Dadurch erfolgt die Luft-Verdünnung schneller und in gleichem Maafse verstärkt sich die Einströmung des Wassers, welches den Grund kräftiger angreift.

Außerdem hat man den Apparat noch in anderer Weise vervollständigt. Der in den Pfahl eindringende Boden lagert sich nämlich in demselben oft so fest ab, daß seine Beseitigung schwierig wird, die aber nothwendig ist, weil entgegengesetzten Falles beim folgenden Auspumpen die Wirkung um so schwächer werden würde. Man stellt daher eine zweite, jedoch viel engere Röhre, die unten mit einem nach oben aufschlagenden Ventil versehen ist, in den Pfahl, und nachdem letzterer sich gefüllt hat und die Luft wieder eingetreten ist, setzt man den von der Luftpumpe ausgehenden Schlauch mit dieser engeren Röhre in Verbindung. Dieselbe füllt sich alsdann mit einem Theile von dem Inhalte des Pfahles und lockert zugleich den übrigen Theil auf. Da sie sich aber unten schließt, so kann man mit ihr nach und nach die ganze Erdmasse ausheben.

Diese Erfindung wurde seit dem Jahre 1845 mehrfach, und zum Theil mit günstigem Erfolge angewendet*), besonders verdient der Bau eines Viaductes auf der Insel Anglesea Erwähnung. Jeder Pfeiler wurde dabei auf neunzehn gufseiserne Pfähle von $13\frac{1}{2}$ Zoll äufserm Durchmesser und $15\frac{1}{2}$ Fufs Länge gestellt, die in den Wänden 17 Linien stark waren. Das Versenken derselben erfolgte in der beschriebenen Art sehr schnell, mitunter sogar 2 Fufs tief in einer Minute. Nachdem die Pfähle bis zur beabsichtigten Tiefe von 12 Fufs in den Grund eingedrungen waren, und man den darin eingetretenen Sand ausgehoben hatte, füllte man sie mit Béton an. Sie bildeten einen sehr festen Pfahlrost und die darauf gestellten Pfeiler liefsen selbst beim Uebergange der schwersten Eisenbahnzüge keine Bewegung bemerken.

Es dürfte hier die passendste Stelle sein, einer andern in neuer Zeit versuchten Methode zum Eintreiben gufseiserner Pfähle Erwähnung zu thun, die auf demselben Princip, nämlich auf der Auflockerung des Bodens beruht, obgleich der Luftdruck dabei nicht in Anwendung kommt. Dieses Verfahren ist in der That sehr einfach. Nachdem der hohle eiserne Pfahl an der Rüstung so befestigt ist, dafs er frei herabsinken, jedoch sich nicht seitwärts überneigen kann, so führt man bis nahe über dem untern Rande den Schlauch einer Feuerspritze herab, der mit zwei Ausgußröhren nach entgegengesetzten Seiten versehen ist. Sobald die Spritze in Thätigkeit gesetzt wird und die starken Strahlen gegen den Boden unter der Röhrenwand gerichtet werden, so lockern sie diesen auf. Man dreht aber an einem Hebel den Pfahl, und verbreitet dadurch die Auflockerung rings umher. Das hindurchströmende Wasser findet den bequemsten Ausweg unmittelbar an der äufsern Wandfläche des Pfahles, wodurch hier in hohem Grade die Reibung gemäfsigt wird, und der Pfahl bald die erforderliche Tiefe erreicht. Die Bewegung mufs aber ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, weil sonst die äufserer Erde nachstürzt, und alsdann der Pfahl sich so fest stellt, dafs man ihn weder heben, noch tiefer senken kann. Bei Fundirung des Leven-Viaductes in der Morecombe-Bai drangen die Pfähle in dieser Art jedesmal während 20 bis 30 Minuten 19 Fufs

*) Mittheilungen hierüber befinden sich in Förster's allgemeiner Bauzeitung, 1858. Seite 189,

tief ein. Bei der Kaimauer in Southport brachte man aber die Aenderung an, daß man die untern Oeffnungen der Röhren durch Scheiben schloß, die in ihrem Umfange mit sägeförmigen Zähnen versehen waren, welche vor die äußere Wandung vortraten. In der Mitte der Scheibe war aber das Ausgußrohr des Schlauches hindurchgeführt. Gewiß wird man von dieser Methode nur unter besonders günstigen Boden-Verhältnissen Gebrauch machen können, obwohl sie vielleicht vor der Anwendung der Luftverdünnung noch Vorzüge hat.

Mittelst der beschriebenen Luftverdünnung sollte 1851 die Fundirung der beiden Mittel- und der beiden Landpfeiler der Brücke bei Rochester über den Medway zur Ausführung kommen, und zwar wollte man unter jeden Mittelpfeiler vierzehn gußeiserne Röhren von 6 Fuß Weite stellen, deren einzelne Theile durch Flanschen im Innern verbunden waren. Nach vorgängiger Untersuchung des Baugrundes erwartete man, daß die Versenkung derselben bis 20 Fuß unter die Sohle des Flußbettes ohne Schwierigkeit möglich sein werde. Hierin hatte man sich indessen getäuscht. Der Boden war so compact, daß das Wasser nur spärlich durch denselben in die Röhren eindrang und sonach die Auflockerung nicht erfolgte und die Pfähle sich nicht senkten. Dazu kam noch, daß unter dem einen Landpfeiler vielfach Steine und Holzstämme sich vorfanden, die vollends die beabsichtigte Fundirungs-Art unmöglich machten.

Der Ingenieur Cubitt, der die Arbeiten leitete, entschloß sich daher zu einem ganz entgegengesetzten Verfahren, nämlich die Räume in den Pfählen nicht luftleer zu machen, sondern die Luft darin so stark zu comprimiren, daß das Wasser daraus zurückgedrängt würde, und der Boden ausgegraben werden könnte. Das Verfahren war sonach dasselbe, von dem Triger schon 1840 Gebrauch gemacht hatte, um einen Schacht bis zum Kohlenflötz abzuteufen, das einige sechszig Fuß unter dem Niveau der Loire bei Haie-Longue lag. Dabei wurde damals eine 5 Fuß 9 Zoll weite Blechröhre angewendet, die oben mit einer Luftscheuse versehen war (§ 8). Cubitt benutzte dagegen die bereits vorhandenen gußeisernen Röhren.

Er brachte an dem obern Ende jeder derselben je zwei kleine Luftscheusen an, die noch nicht 5 Quadratfuß in ihrer Grundfläche hielten, oben mit den Einsteige-Oeffnungen und zur Seite mit Thüren versehen waren. Zwischen beiden befand sich ein Krahn, mittelst

dessen man den mit Erde gefüllten Kübel aus der Tiefe heben und zugleich in eine der beiden Schleusen stellen konnte. *)

Sowol die Klappen, welche die Einsteige-Oeffnungen schliesen, wie auch die Thüren öffneten sich nach innen und wurden durch den Luftdruck geschlossen erhalten. In Abständen von 9 Fufs unter einander, nämlich jedesmal auf den Flanschen der Röhren befanden sich Böden, die durch Leitern mit einander verbunden waren.

Die Operation war einfach diese, dafs mittelst einer Dampfmaschine Luft in die Röhre gepumpt und hier so stark comprimirt wurde, dafs sie das Wasser vom Eindringen durch die untere Oeffnung abhielt und es zurückdrängte. Auf diese Weise blieb die ganze Röhre wasserfrei, und man konnte den Boden darunter ausgraben und in die Kübel werfen.

Damit aber beim Ausbringen der Kübel aus der Röhre der Luftdruck nicht aufgehoben, sondern nur wenig vermindert würde, so hatte jede Luftschleuse doppelten Verschluss und wirkte in ähnlicher Art, wie eine Schiffschleuse. Sollte ein gefüllter Kübel entleert werden, so stellte man durch Oeffnen eines Hahnes die Verbindung der Röhre mit der Schleuse dar, und sobald der Luftdruck sich hier ausgeglichen hatte, öffnete man die Thüre, und schob mittelst des Krahns den Kübel hinein. Man löste die Kette, woran der Kübel hing, schob sie zugleich mit dem Krahne zurück und schlofs die Thüre. Nunmehr öffnete man ein Ventil, wodurch die Luft aus der Schleuse nach aufsen entwich, worauf die obere Klappe von selbst herabfiel, und alsdann wurde der gefüllte Kübel mit einer zweiten Winde durch jene Oeffnung, welche bisher von der Klappe geschlossen war, ausgehoben und verürzt. Der Kübel konnte hierauf sogleich wieder in die Luftschleuse gestellt, und nachdem diese gegen die äufsere Luft geschlossen und mit der Röhre in Verbindung gesetzt war, bis zum Grunde herabgelassen werden. In gleicher Weise gingen auch die Arbeiter, so oft es nöthig, aus und ein.

Indem der starke Luftdruck gegen den obern Boden aufwärts wirkte, die Röhre auch vollständig leer von Wasser war, so verlor sie so sehr an ihrem Gewichte, dafs ihr weiteres Eindringen verhindert, und sie zuweilen sogar gehoben wurde. Um sie hinreichend zu

*) Wiener Bauzeitung. 1858. Seite 190.

belasten, mußte man zwei Balken darüber legen, an welchen symmetrisch zwei große Steinkasten gehängt waren. Es war jedoch zuweilen nöthig, das Gewicht auf einer Seite kräftiger wirken zu lassen, als auf der andern, wenn die Röhre nicht gleichmäßigen Widerstand fand. Alsdann liefs man den einen Kasten in das Wasser eintauchen, damit er aber von der Strömung nicht in zu heftige Bewegung gesetzt würde, blieb nur übrig, diese beiden cylindrischen Kasten in Blechröhren zu hängen, die auf der Sohle des Flußbettes aufstanden.

Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs bei dem stellenweise sehr festen Grunde zuweilen das darüber angesammelte Wasser durch den starken Luftdruck nicht zurückgedrängt werden konnte. Man brachte daher einen Heber an, dessen längerer Schenkel bis zur Sohle herabreichte, während der kürzere in das äufsere Wasser tauchte. Hierdurch wurde die Entleerung sehr schnell bewirkt, doch mußte man aufmerksam sein, den Hahn sogleich zu schliessen, sobald der Heber Luft schöpfte. Unterliefs man dieses, so hatte die heftige Ausströmung eine sehr schnelle Verdünnung der Luft zur Folge, die mit einer starken Abkühlung verbunden war. Letztere veranlafste plötzlich die Bildung eines so intensiven Nebels, dafs ohnerachtet der im Schachte brennenden Lampen volle Dunkelheit eintrat.

Indem die Fundirung unter comprimirter Luft bei diesem Versuche sich so bewährt hatte, dafs man dadurch Schwierigkeiten überwand, die in andrer Weise nur mühsamer und mit gröfsere Kosten zu beseitigen gewesen wären, so wurde bald dasselbe Verfahren auch anderweit angewendet. In Frankreich geschah dieses bei verschiedenen Brückenbauten, wie bei Lyon, Moulins und Maçon, die erste und wichtige Anwendung dieser Methode war aber die Fundirung der Brücke über die Theifs bei Szegedin, die im Jahre 1857 durch die französische Eisenbahn-Gesellschaft zur Ausführung kam.

Der Oberbau, von Blech-Bogen getragen, ruht auf sieben Mittel- und zwei Land-Pfeilern. Die Durchfluß-Oeffnungen zwischen ihnen haben sämmtlich gleiche Weite, nämlich von 132 Fufs. Die beiden Landpfeiler, unter denen der Boden hinreichende Festigkeit hatte, sind unmittelbar auf diesem mit verbreiteten Banketen aufgemauert, die Mittelpfeiler dagegen, die durchschnittlich auf 9 Fufs Wassertiefe trafen, und wo der Untergrund zum Theil nur wenig Festigkeit

hatte, mußten bis 38 Fufs unter das gewöhnliche Sommerwasser herabgeführt werden. Hierbei wurden gufseiserne Säulen angewendet, aus denen man mittelst starken Luftdruckes das Wasser beseitigte und in denen man den Boden ausgrub, wodurch wieder ihre tiefere Einsenkung erfolgte. Jeder Pfeiler bestand aus zwei Säulen, die über Wasser durch eine etwa 5 Fufs hohe Eisenplatte mit einander verbunden waren.

Die gufseisernen Säulen hielten $9\frac{1}{2}$ Fufs im Durchmesser, da man ihnen die möglichste Weite geben wollte, ohne sie aus einzelnen Cylinder-Segmenten zusammensetzen zu dürfen. Ihre Wandstärke maafs 14 Linien. Jeder einzelne Theil war nahe 6 Fufs hoch, und sowol oben, wie unten mit einer nach innen vortretenden Flansche versehen, die durch eine Anzahl angegoßner Consolen verstärkt war, während zwischen je zweien der letzteren ein Schraubenbolzen diesen Theil des Cylinders mit dem anschließenden verband.

Die Röhren waren aus Schottland bezogen, doch wurde jede einzelne derselben auf der Baustelle an beiden Seiten abgedreht, so dafs sie nicht nur möglichst schliefsend auf einander paßten, sondern auch concentrisch verbunden werden konnten. Nachdem sie in dieser Art vorbereitet waren, erfolgte erst das Bohren der Bolzenlöcher. Vor dem Zusammensetzen überstrich man aber die berührenden Flächen mit gewöhnlichem Eisenkitt aus Feilspähnen, Ammoniak und Schwefel-Blumen bestehend, der nach wenig Tagen vollständig erhärtet war, doch ist der Ingenieur Cezanne, der den Bau leitete, der Ansicht, dafs man besser gethan hätte, wie beim Brückenbau zu Bordeaux geschehn, eine Zwischenlage aus Kautschuk zu wählen.

Man war indessen nicht im Stande, die Röhren in ihren ganzen Längen auf dem Ufer zusammenzusetzen, weil sie dadurch zu schwer geworden wären. Sie konnten nur zur Hälfte verbunden werden, und von diesen wurde der untere Theil auf seine Stelle in Fahrzeugen geführt und hier von festen Rüstungen aus gehoben und auf den Grund gestellt. Er hing dabei jedoch in Ketten, bis die Vereinigung mit der andern Hälfte erfolgt war.

Wurden demnächst die Hängeketten gelöst, so drang die Säule sogleich mehrere Fufs tief in den Grund ein, sie mußte dabei aber zwischen den Führungen am Gerüste sehr sicher gehalten werden, damit sie weder sich überneigen, noch auch seitwärts schie-

ben konnte. Durch fremde Belastung bemühte man sich, sie noch möglichst tief herabzudrücken, sobald dieses aber keinen Erfolg mehr hatte, so wurde die Luftschleuse eingesetzt, deren beide Boden man gegen die obern Flanschen befestigte. Beim Einpumpen der Luft mußte die fremde Belastung beibehalten werden, weil die Röhre, sobald das Wasser daraus zurückgetrieben war, weniger wog, als das Wasser welches sie verdrängte. Sobald die Luftpumpe in Bewegung gesetzt war, konnte man zwar die eingedrungene Erde durch die Luftschleuse ausheben, aber die beabsichtigte Senkung unterblieb dennoch entweder ganz, oder trat nur in geringem Maasse ein. Um diese darzustellen, blieb nur übrig, dafs man die Arbeiter austreten liefs und den Cylinder mit der äufsern Luft in Verbindung setzte. Durch das alsdann eindringende Wasser vergrößerte sich nicht nur sehr bedeutend das Gewicht, sondern bei diesem Einströmen wurde auch der Boden unter dem Cylinder gelockert, so dafs oft ein plötzliches Herabsinken um mehrere Fufse erfolgte. Bei thonigem Boden, in welchem die starke Reibung gegen die Seitenwände die Röhre zurückhielt, waren diese heftigen Stöße besonders gefährlich und bedrohten mehrmals die Rüstung, gegen welche die Führung sich lehnte. In Betreff der Versenkung muß noch erwähnt werden, dafs man vielfach das eingedrungene Wasser nicht durch den Boden zurücktreiben konnte und man alsdann in eingestellten Hebern dasselbe aufsteigen und über dem äufsern Wasserspiegel abfliefsen liefs.

Aus vorstehender Beschreibung ergibt sich, dafs diese Fundirungs-Art in mehrfacher Beziehung doch bedenklich ist und namentlich dabei besorgt werden muß, dafs der Cylinder schliesslich gar nicht von einer festen Erdschicht, vielmehr nur von der Reibung und Adhäsion der Seitenwände getragen wird. Letztere kann aber leicht mit der Zeit sich mäfsigen, und dadurch würde die Sicherheit des Baues wesentlich gefährdet. Um dieser Besorgnifs zu begegnen, wählte man bei Szegedin ein eigenthümliches Mittel. Man rammte nämlich zwölf Pfähle in jeden Cylinder, die etwa 18 Fufs unter den untern Rand desselben herabreichten. Dafs der Grund durch sie befestigt wurde, ist um so mehr anzunehmen, da sie ausserdem noch den günstigen Erfolg hatten, den ganzen Raum wasserdicht abzuschliessen. Nachdem man das Wasser ausgepumpt hatte, schnitt man die Pfähle nahe über dem Grunde ab, und brachte Béton ein,

den man vorsichtig ausbreitete und bis zum obern Rande der Röhren auftrug. Dieser Béton schloß sich also an die Röhrenwände und namentlich an die Flanschen sehr scharf an, so daß seine spätere Trennung undenkbar ist, während er selbst auf den Pfählen ruht. Man hatte also eigentlich die gusseiserne Säule auf einen Pfahlrost gestellt.

Bei den mancherlei Zufälligkeiten beim Versenken der Säulen konnte es nicht fehlen, daß dieselben zuweilen tiefer eindrangen, als man beabsichtigt hatte, alsdann mußten die Ringe, welche die Capitäle trugen, etwas größere Höhe erhalten. Eine andre Unregelmäßigkeit, die bei einigen Pfeilern eintrat, ließ sich nicht beseitigen. Es kam nämlich vor, daß beim Versenken der zweiten Säule, die daneben stehende erste wieder in Bewegung kam, und sich jener näherte. In diesem Falle blieb nur übrig, den Riegel, der beide verbinden sollte, in etwas geringerer Länge umzugießen. *)

Die verschiedenen Schwierigkeiten, die bei diesem Bau eintraten, wurden zum Theil durch die Anwendung der gusseisernen Röhren veranlaßt, welche eine größere Ausdehnung der Fundamente unmöglich machte. Eine wesentliche Verbesserung der Methode erfolgte daher, als man statt des Gusseisens gewalzte Bleche wählte. Aus solchen ließen sich nicht nur Kasten darstellen, welche den ganzen Pfeiler umfaßten, sondern die Versenkung derselben war auch sicherer, indem dieses Material weniger der Gefahr des Bruches ausgesetzt ist, wenn vielleicht die Unterstüzung nicht gleichmäßig ist, oder heftige Erschütterungen eintreten. Ueberdies hatte die Erfahrung an den Kesseln der Hochdruckmaschinen bereits gezeigt, daß solche Bleche sich sehr sicher und zugleich luftdicht verbinden lassen. Dazu kommt aber noch, daß die auf solche Art construirten Kästen mit horizontalen Decken versehen werden können, über denen schon während des Versenkens die Uebermauerung sich ausführen läßt, wodurch ein so großes Gewicht dargestellt wird, daß der Kasten von selbst in dem Maasse tiefer eindringt, wie der Erdboden darin ausgehoben wird.

Die erste und in jeder Beziehung höchst wichtige Fundirung dieser Art geschah beim Bau der Rhein-Brücke zwischen Kehl

*) Vorstehende Mittheilungen sind aus der von Cezanne gegebenen Beschreibung in den *Annales des ponts et chaussées* 1859. I. p. 334. entnommen.

und Strasburg im Jahre 1859. Wenn man in neuester Zeit auch manche Modificationen eingeführt hat, so sind doch viele Anordnungen, die damals getroffen wurden, ungeändert beibehalten, und gewiss ist nicht in Abrede zu stellen, das das ganze Verfahren sowol im Allgemeinen, wie in allen Einzelheiten mit grosser Ueberlegung und Sachkenntniss erdacht war und zur Ausführung gebracht wurde. Die Ingenieure Vuignier und Fleur-Saint-Denis entwarfen die Projecte, doch scheint der Bauunternehmer Castor dabei wesentlich theiligt gewesen zu sein, wenigstens erstattete die Gesellschaft zur Beförderung der National-Industrie in Paris ihm ihren Dank für den Eifer und die Sachkenntniss womit er diese wichtige Ausführung ermöglicht habe. Eine nähere Beschreibung der hierbei gewählten Einrichtungen dürfte daher sich rechtfertigen. *)

Zur Verbindung der beiderseitigen Eisenbahnen sollte zwischen Strasburg und Kehl eine Brücke erbaut werden, die zwei Geleise und zwei Fufspfade enthielt. Ihre ganze Länge zwischen den Landpfeilern war auf 718 Fufs festgestellt. Die drei mittleren Oeffnungen durch feste Gitter überspannt, waren je 178 Fufs weit und die zwei Oeffnungen an beiden Ufern, über welche Drehbrücken führten, jede 83 Fufs. Man hatte sich dahin geeinigt, das die französische Regierung den Bau der sämmtlichen Pfeiler mit Einschluss der Fundirung derselben, die Badensche Regierung dagegen die Darstellung des Oberbaues übernehmen solle.

Das Strombette besteht bis zu grosser Tiefe aus Kies, der jedoch von der starken Strömung fortwährend in Bewegung erhalten wird, so das man beim Fahren in kleinen Nachen und wenn mit dem Rudern inne gehalten wird, das Rollen des Kieses deutlich hören kann. Diese Stromstrecke befindet sich übrigens noch in sehr unregelmeltem Zustande, woher vielfach hohe Bänke mit grossen Tiefen wechseln, doch bleiben beide keineswegs dauernd an ihren Stellen, vielmehr verändert sich häufig, und namentlich zur Zeit der oft wiederkehrenden Anschwellungen, das Bette so vollständig, das nicht selten nach Ablauf des Hochwassers Tiefen von 20 bis 30 Fufs

*) Sehr wichtig sind die Mittheilungen von Schwedler und Hipp in Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen 1860. Seite 182, und eben so auch die Beschreibung, die Castor selbst unter Beifügung sehr schöner Zeichnungen in dem Werke: *Travaux de navigation et de chemins de fer*, Paris 1861, veröffentlicht hat.

sich da vorfinden, wo kurz vorher die Kiesbank über Wasser lag. Unter diesen Umständen war eine sehr tiefe Fundirung der Pfeiler dringend geboten, und man entschloß sich, damit bis 64 Fufs unter den gewöhnlichen Sommer-Wasserstand herabzugehn. Bei Anwendung der comprimirten Luft hatte man also in den Räumen, aus welchen das Wasser zurückgedrängt werden sollte, schliesslich einen Ueberdruck von zwei Atmosphären darzustellen, der sich aber noch verstärkte, wenn zufällig gerade höherer Wasserstand eintrat.

Bei Ausführung dieser Fundirung wählte man ein Verfahren, welches von der bisherigen Methode zum Versenken von Röhren unter starkem Luftdrucke wesentlich verschieden war, wovon man jedoch später wieder abgegangen ist, wiewohl es in gewisser Beziehung vortheilhaft erscheint. Man hat nämlich den ganzen eisernen Kasten, oder den Luftkasten, der den untern Theil des Pfeilers bildet, mit comprimirter Luft erfüllt, und man ist alsdann gezwungen nicht nur die aus- und eingehenden Arbeiter nebst den Geräthen und Mauer- Materialien jedesmal die Luftschleuse passiren zu lassen, sondern man muß auch die großen Massen des aus dem Flußbette ausgehobenen Materials in gleicher Weise herausschaffen. Letzteres wurde dagegen bei der hier gewählten Anordnung dadurch umgangen, daß in jedem Kasten sich eine weite eiserne Röhre befand, die oben und unten offen war, worin sich also der äußere Wasserstand darstellte, und worin man Baggermaschinen mit vertikalen Leitern einhing, die unmittelbar von der Sohle des Bettes das Material lösten, und ohne Vermittelung einer Luftschleuse es direct so hoch hoben, daß es von selbst in die zur Abfuhr bestimmten Prahme stürzte. Der Vortheil, den man dabei erreichte, bestand darin, daß die Baggermaschine durch Dampfkraft bewegt und in ununterbrochenem Betriebe erhalten werden konnte, während man sonst den Boden abgraben, in Eimern bis in die Luftschleuse durch Menschenkraft heben, und nachdem der äußere Luftdruck in der Schleuse dargestellt ist, ihn von hier weiter fördern muß. Fig. 270 *a* und *b* auf Taf. XXII zeigt diese Anordnung. Rings um jene Röhre in dem Kasten ist die Luft in angemessener Weise comprimirt. Hier stehn die Arbeiter und stürzen den gelösten Boden in die Vertiefung unter der Röhre, von wo der Bagger ihn weiter fördert. Das Wasser in der untern Mündung der Röhre bildet aber den luftdichten Schluß derselben.

In einer andern Beziehung hatte man die Vorsicht weiter getrieben, als es nöthig war, wie man schon bei der Fundirung des ersten Pfeilers bemerkte. Die Fundamente der beiden äußern Pfeiler sollten 74 Fufs lang und $22\frac{1}{2}$ Fufs breit sein. Man wagte aber nicht Kasten von diesen Dimensionen, die nahe 11 Fufs hoch sein sollten, im Zusammenhange darzustellen, und zerlegte sie daher in je vier besondere Kasten, von denen jeder bei gleicher Breite und Höhe nur $18\frac{1}{2}$ Fufs lang war, also nicht nur an beiden Seiten mit Wänden, sondern außerdem auch mit einem besondern Brunnen für den Bagger und mit je zwei Einsteigeschächten versehen sein mußte. Als man indessen diese Kasten zur Fundirung des ersten Pfeilers zusammensetzte, verband man sie schon durch einige Bolzen, die man später entfernen wollte, um sie einzeln zu versenken. Man liefs indessen diese leichte Verbindung beim ersten Herablassen noch bestehn, und fand auch später keine Veranlassung sie zu beseitigen, woher man für die folgenden Pfeiler eine solidere Verbindung darstellte, und außerdem auch, wie Figur *a* zeigt, in die Zwischenwände weite kreisrunde Oeffnungen einzuschneiden wagte, wodurch es möglich wurde, die Vertiefungen in der ganzen Ausdehnung des Pfeilers möglichst gleichmäfsig eintreten zu lassen, und sonach den ganzen Kasten gegen Durchbiegen oder Brechen um so mehr zu sichern.

Die Construction der Luftkasten ergibt sich im Allgemeinen aus den Figuren. Starke Träger aus halbzölligem Eisenblech ziehn sich in beiden Richtungen unter den Decken hin und werden seitwärts von eben so starken eisernen Winkel-Bändern oder Consolen getragen, die zugleich wesentlich zur Absteifung der Seitenwände dienen. Die Blechstärke der letztern mißt nahe 4 Linien und die der Decken 6 Linien.

Rings um jeden Brückenpfeiler war eine hohe Rüstung auf eingerammten Pfählen erbaut, die zwei Böden über einander trug, von denen der untere etwa 9 Fufs, der obere aber 27 Fufs über dem mittleren Wasserstande lag. Darüber befand sich eine Ueberdachung, damit unter allen Witterungs-Verhältnissen die Fundirung ohne Störung fortgesetzt werden konnte. Der untere Boden war über dem Pfeiler offen. Auf dem obern lagen zu beiden Seiten der Oeffnung starke Schienen, auf welchen ein Laufkahn stand, mittelst dessen man sowol die Theile der Kasten, als auch die Mauermaterialien an jede beliebige Stelle niederlassen konnte. Nachdem in

dem untern Boden die Oeffnung durch übergelegte Balken überspannt war, wurden hier die vier Kasten zuerst einzeln zusammen genüthet und alsdann unter sich verbunden, sodann aber mittelst der Schrauben, die vom obern Boden getragen wurden, etwas angehoben. Hierauf konnten jene Balken zurückgezogen, und der ganze Kasten beliebig tief herabgelassen werden.

In der Decke jedes Kastens befanden sich, wie der Grundriß Fig. 270 *c* zeigt, drei Oeffnungen. Die mittlere ist für den offenen Förderschacht bestimmt, der bis unter den untern Rand des Kastens herabreicht, und worin die Baggermaschine hängt. Die beiden andern dienen zur Verbindung mit den Einsteigeschächten, die mit Luftschleusen versehen sind. Zwei solcher Schächte waren nothwendig, wenn keine Unterbrechung eintreten sollte, sobald beim tiefern Einsenken ihre weitere Erhöhung nothwendig wurde. Man hat diese Schächte daher nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd gebraucht. Dafs die drei aus Eisenblech bestehenden Schächte luftdicht mit der Decke des Kastens verbunden waren, bedarf kaum der Erwähnung.

Wichtig ist die Anordnung der Schrauben, die man auch bei spätern Bauten ohne wesentliche Aenderung beibehalten hat. Ueber den obern Boden treten durch kräftige Verstrebungen unterstützt an jedem Ende eines einzelnen Kastens drei eichene Balken von $9\frac{1}{2}$ Zoll im Gevierten vor, so dafs die zwei darauf liegenden gußeisernen Scheiben mit ihren Oeffnungen sich nahe lothrecht über dem äufsern Rande des Kastens befinden. Solcher Scheiben sind aber jedesmal zwei neben einander gelegt, nämlich eine zwischen den ersten und zweiten und die andere zwischen den zweiten und dritten Balken, so dafs je zwei Schrauben durch die drei Balken hindurchgreifen. Eine Schraube kann nämlich nur so lange gebraucht werden, bis sie nahe ausgelaufen, oder die Mutter bis gegen ihr oberes Ende getreten ist. Damit alsdann die weitere Senkung vorgenommen werden kann, mufs eine zweite vorgerichtet sein, an welche man den Kasten hängt.

Die Schrauben, aus Eisen bestehend, halten 3 Zoll im Durchmesser und sind, wie Fig. 272 zeigt, 8 Fufs lang, die Muttern aus Glockenmetall sind in den untern Flächen flach sphärisch und zwar convex abgedreht, eben so auch die gußeisernen Platten, auf denen sie ruhn, damit die Schrauben sich jederzeit nach der Richtung des

Zuges einstellen können. Die Schrauben sind an den untern Enden mit Oesen versehen, woran durch Schraubenbolzen gabelförmige Hängeeisen befestigt sind, die abwärts wieder solche umfassen, und so fort, so daß sich aus diesen eine Kette bildet, die aus Gliedern von 6 Fuß Länge besteht. So oft eine Schraube ausgelaufen, und wieder zurückgedreht ist, wird ein neues Glied in die Kette eingeschaltet. Die Kette greift unten durch einen starken Bügel, der an die Seitenwand des Kastens angehängt ist, wie Fig. 272*b* zeigt.

Um die sämtlichen sechzehn Schraubenmutter gleichmäßig zu bewegen, an denen die vier mit einander verbundenen Kasten hängen, sind alle Mutter übereinstimmend mit Zähnen versehen, in welche sowol in der einen Richtung wie in den andern Sperrkegel eingreifen, die an eisernen Hebeln, gleichsam Schraubenschlüsseln, von 6 Fuß Länge befestigt sind. Die Hebel werden an jeder Seite des Pfeilers durch Eisenstangen unter sich verbunden (Fig. 270*c*), und wie man diese anzieht, so bewegen sich alle Mutter um eine gleiche Anzahl von Zähnen, oder der ganze Kasten senkt sich auf einer Seite gleich tief. Indem aber auf der andern Seite die Bewegung nach demselben Zurufe erfolgt, so tritt auch hier die gleichmäßige Senkung ein.

Vor der Versenkung jedes Kastens waren bereits die Anfänge der verschiedenen Schachte angehängt. Die Förderschachte, deren Stelle weiter aufwärts das Mauerwerk vertrat, reichten nur bis zu mäßiger Höhe herauf, die Einsteigeschachte mußten dagegen bei tieferem Herabgehn des Kastens immer verlängert werden, weil sie an den obern Enden die Luftschleusen tragen sollten.

Die mit einander verbundenen Kasten mußten so schwer sein, daß sie versanken, doch durften sie nicht die Schrauben zu stark belasten. Letzteres war am meisten während der Zeit zu besorgen, daß die Kasten über Wasser schwebten. Sie wogen alsdann zusammen 2900 Centner. Beim weitem Eintauchen verloren sie an ihrem Gewichte, denn man konnte alsdann, indem die Luftpumpen in Thätigkeit gesetzt wurden, das Wasser aus den Kasten verdrängen und dadurch den Auftrieb wesentlich verstärken, während die Uebermauerung, soweit es thunlich war, in das Wasser eintauchte.

Ursprünglich war es Absicht gewesen, und bei dem ersten Pfeiler geschah dieses auch wirklich, die Uebermauerung nur in einer gewissen Höhe beginnen zu lassen, und zunächst über dem Kasten

eine Bétonschüttung anzubringen, die von hölzernen Wänden umschlossen war. Man fand diese Vorsicht aber bald entbehrlich, und stellte das Mauerwerk im Innern aus Bruchsteinen und im Außern aus roh bearbeiteten Werkstücken schon unmittelbar auf die Kasten, indem man aber die Seitenflächen nach innen ein wenig zurückzog, so wurde das Versenken merklich erleichtert.

Die Baggermaschine war im Wesentlichen dieselbe, die Régemortes schon beim Bau der Brücke zu Moulins benutzt hatte. Je zwei derselben wurden durch eine Dampfmaschine von 12 Pferdekraften getrieben. Um den untern Trommeln der Baggerketten eine sichere Haltung zu geben, und um sie nach beendigter Versenkung des Pfeilers wieder ausheben zu können, so sind dieselben an Rahmen befestigt, die man in gewissen Führungen des Schachtes tiefer herablassen oder heben kann, und die nur in Ketten hängen. Jeder Baggereimer faßt 1,6 Cubikfuß, und dieselben sind ungefähr 8 Fuß von einander entfernt. In jedem Kasten stehn vier Arbeiter, die den Kies von den Seitenwänden des Kastens in die Vertiefung hineinschaufeln, wo die Baggermaschine denselben faßt und hebt. Da die Geschwindigkeit der Kette nahe $4\frac{1}{2}$ Zoll beträgt, so hätte man erwarten dürfen, daß die vier Baggermaschinen in der Stunde etwa 10 Schachtruthen heben würden, der wirkliche Effect stellte sich aber wegen der vielfachen Unterbrechungen und da die Eimer sich keineswegs immer vollständig füllten, durchschnittlich nur etwa auf 3 Schachtruthen.

Die Baggermaschine war übrigens wie bei den vertikalen Leitern immer geschieht, so eingerichtet, daß vor der Entleerung jedes Eimers die steil abfallende Rinne, worin der Kies in das zu seiner Aufnahme bestimmte Fahrzeug stürzt, bis unter den Eimer verlängert wird. In diesem Falle erfolgte das Vor- und Zurückschieben der Verlängerung durch einen besonders dazu angestellten Arbeiter.

Die Einsteige- oder Fahr-Schachte waren cylindrische Blechröhren von 3 Fuß Weite. Sie waren unten mit einem Ansätze versehen, gegen welchen eine Klappe sich luftdicht anschloß. Dieselbe war in demjenigen Schacht, den man gerade benutzte, geöffnet, da der Verschluss in der Schleuse statt fand, nur während der Verlängerung eines Schachtes, wobei die Schleuse abgehoben werden mußte, kam diese Klappe zur Wirksamkeit, und so lange der starke Ueberdruck im Innern statt fand, wurde sie durch diesen

geschlossen gehalten. In den Schachten befanden sich eiserne Leitern, die sich, wie die Figuren zeigen, bis durch die Schleusen hindurch fortsetzen. Auch die Einrichtung der Schleusen ergibt sich aus den Zeichnungen. Sie sind über 6 Fuſs weit und zwischen den beiden Böden 8 Fuſs hoch. In den letzteren befinden sich die Einsteige-Oeffnungen, die durch starke Klappen luftdicht geschlossen werden. Bei dem groſsen Gewichte dieser Klappen war es aber nöthig, besondere Winden zu ihrem Anheben und sanften Herablassen anzubringen. Außerdem waren Hähne angebracht, durch welche die Schleuse sowol mit der äußern Luft, als mit derjenigen im Kasten in Verbindung gesetzt werden konnte.

Um aus den Kasten beim Versenken das Wasser zu verdrängen und sie mit Luft zu fllen, waren sehr kräftige Luftpumpen vorge richtet, die durch Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt wurden und sich auf besondern Fahrzeugen befanden. Man hatte deren Leistungsfähigkeit nach dem muthmaslichen Bedürfnis bestimmt, als die Besorgnis angeregt wurde, der Verlust an Luft möchte sich vielleicht noch höher stellen, woher man berdis eine Hlfsmaschine hinzufügte, die durch eine Dampfmaschine von 25 Pferdekräften getrieben wurde. Sie pumpte in der Stunde etwa 13000 Cubikfus atmosphärischer Luft in den Kasten, doch verminderte sich dieses Volum in groerer Tiefe nach dem Mariotteschen Gesetze bis auf die Hälfte und sogar auf den dritten Theil. Man machte die Beobachtung, das diese Maschine allein genügte, um einen der beiden mittleren Pfeiler, die wegen ihrer geringeren Länge nur aus je drei Kasten bestanden, bis 27 Fuſs unter Wasser zu senken. Gewis war die Vorsicht in Betreff der doppelten Pumpen sehr wichtig, und trug wesentlich zum geregelten Fortgange des Baues bei, da bei jedem Zutritt des Wassers in den Kasten nicht nur eine Unterbrechung der Arbeit, sondern auch wegen der Auflockerung des Untergrundes die unangenehmsten Erfolge zu erwarten sind, das Versagen einer Pumpe aber wegen eingetretener Beschädigungen nie mit Sicherheit vermieden werden kann. Bei der erwähnten Hlfspumpe hatte man den Cylinder in einen Wasserkasten gelegt, dessen Inhalt durch steten Zuflus fortwährend erneut wurde, um die Luft, die bei der starken Compression eine hohe Temperatur annahm, etwas abzukühlen, und dadurch den Aufenthalt im Kasten minder beschwerlich zu machen.

Nachdem die Kasten in sich verbunden und bis zu einer gewissen Höhe mit ihren Schächten versehen waren, hob man sie mittelst der Schrauben an, so dafs sie an diesen hingen und an denselben soweit herabgelassen werden konnten, dafs ihre Decken nur wenig über Wasser vorragten. Alsdann übermauerte man sie, und schlofs die Mauern an die Förderschachte scharf an, während rings um die Einsteigeschachte ein geringer Raum frei gelassen wurde, um diese später ausheben, und bei andern Kasten aufs Neue gebrauchen zu können. Die weitere Verlängerung des Förderschachtes wurde aber nur bis zur Höhe von 18 Fufs über der Decke des Kastens fortgesetzt, indem der luftdichte Anschluß des Mauerwerks hier dargestellt war, und weiter aufwärts das letztere seine Stelle vertreten mußte.

Auf solche Art wurde die Versenkung der Kasten so weit fortgesetzt, bis sie die Sohle des Strombettes erreichten. In einem Falle wich dieses sehr stark von der Horizontal-Ebene ab, indem es am vordern Kopfe 16, am hintern aber 24 Fufs unter Wasser lag. Durch vorhergehende Baggerung mußte diese grofse Ungleichmäfsigkeit beseitigt werden.

Standen die Kasten eines Pfeilers endlich auf dem Grunde, so setzte man die Luftpumpen in Bewegung, und wenn diese das Wasser zurückgedrängt hatten, so stiegen vier und zwar jedesmal recht kräftige Arbeiter in jeden einzelnen Kasten, wo sie möglichst gleichmäfsig den Boden abstachen und ihn unter den Bagger-Schacht warfen. Bis zur Tiefe von einigen dreifsig Fufs verursachte der Luftdruck kaum eine merkliche Beschwerde, doch trat solche bei einigen Arbeitern weiter abwärts ein, woher sie durch Andre abgelöst werden mußten. Aber selbst wenn der Druck auf drei Atmosphären stieg, zeigte sich in keinem Falle eine nachhaltige Störung der Gesundheit. Alle Arbeiter, welche durch andre abgelöst waren, meldeten sich bald wieder zum Eintritt bei einem neuen Pfeiler.

Die Versenkung des ersten Pfeilers nahm 85 Tage in Anspruch, da hierbei noch vielfache Unterbrechungen eintraten, die des zweiten 34 Tage, die des dritten 26 und die des vierten nur 22 Tage. Wenn die Arbeit in vollem Gange war, so sank der Pfeiler im Sandboden Anfangs in der Stunde bis 4 Zoll herab, bei der gröfsten Tiefe aber nur noch 1 Zoll, durchschnittlich nahe 3 Zoll. Bei grobem Kiese war das Eindringen mäfsiger. Die ganze ausgehobene

Sand- und Kies-Masse stellte sich etwa auf das $1\frac{1}{2}$ fache von dem Volum des Pfeilers und des Kastens.

Ueber die Ausfüllung der bis zur beabsichtigten Tiefe versenkten Kasten mit Cement oder Béton wird in der folgenden Beschreibung ähnlicher Fundirungen die Rede sein, da in Bezug auf die Rheinbrücke nähere Mittheilungen hierüber nicht veröffentlicht sind.

Dieselbe Fundirungsart, die man bei der Kehler Brücke gewählt hatte, wurde mit wenigen Abänderungen auch beim Bau der Eisenbahnbrücke über den Pregel in Königsberg angewendet. Mehrfache Erfahrungen, die man in diesem Falle machte, sind so wichtig, daß ihre Mittheilung nicht umgangen werden darf *).

Um die Ostbahn mit der Bahn von Königsberg nach Pillau in Verbindung zu setzen, mußte der Pregel überbrückt werden und dieses geschah, wie es für das Interesse der Bahn am günstigsten erschien, auch in fortificatorischer Beziehung gewünscht wurde, unmittelbar neben dem Bahnhofe der Ostbahn, also am untern Ende der Stadt, so daß alle einkommenden und ausgehenden Seeschiffe gezwungen sind, die Drehbrücke zu passiren. Der Pfeiler, worauf diese ruht, liegt nahe am südlichen oder linken Ufer. Die Durchlaßöffnung ist 47 Fufs weit, die Breite des anschließenden Strompfeilers mißt 13 Fufs, und die Entfernung desselben vom rechten Ufer, die durch eiserne Polygonal-Träger überspannt ist, 195 Fufs. Das Strombette besteht, wie die anschließenden und sich weit ausdehnenden niedrigen Ufer bis zu großer Tiefe, aus sehr lockern, schlammigen Ablagerungen. Eine 8 Fufs mächtige Kiesschicht, die auf reinem Sande aufliegt, wurde erst 50 Fufs unter dem mittleren Wasserstande angetroffen, während die Wassertiefe hier 28 bis 30 Fufs beträgt und nur unmittelbar neben den Ufern sich etwas vermindert.

Unter diesen sehr ungünstigen Local-Verhältnissen schien es gerathen, den Strompfeiler auf eine zusammenhängende und möglichst weit ausgedehnte Fundirung zu stellen, woher man die bei der Kehler Brücke gewählte Methode zum Muster nahm. Von der Zerlegung des Kastens in drei oder vier kleinere, die sich bereits als entbehrlich herausgestellt hatte, wurde abgesehn. Man wählte

*) Erbkam's Zeitschrift für Bauwesen. 1866. Seite 518.

daher einen einzigen Kasten aus Eisenblech, der 47 Fufs lang, 17 Fufs breit und 9 Fufs hoch war. Die Blechstärke maafs $4\frac{1}{2}$ Linien. Die Decke wurde in Abständen von $3\frac{1}{2}$ Fufs durch Querträger von 2 Fufs Höhe unterstützt, und diese waren in gleichen Entfernungen durch Längsträger mit einander verbunden, deren Höhe, soweit nicht eine besondere Verstärkung nöthig war, nur 10 Zoll betrug. Die Seitenwände schlossen sich an Consolen an, die am Fusse der Wände scharf ausliefen, oben aber $3\frac{1}{4}$ Fufs breit, und auferdem nicht nur an den aufgehenden Rändern, sondern auch an jeder Seitenfläche mit je drei horizontalen Eckeisen versehen waren. Sogleich nach der Zusammenfügung des Kastens wurden zwischen je zwei Consolen passende Stücke Eichenholz auf die untern Eckeisen gelegt und darüber eine Maurung ausgeführt, deren Schichten aus der horizontalen Richtung bald in eine schwache Wölbung übergingen, damit die oberen Eckeisen gleichfalls zum Tragen kämen. In dieser Art wurden die Nischen zwischen den Consolen vollständig gefüllt. Auferdem überspannte man die quadratischen Felder zwischen den Trägern der Decke mit flachen Kappen. Dieses Mauerwerk, welches den innern Raum nicht beengte, liefs sich im leeren und feststehenden Kasten unbedingt besser ausführen, als nach dem vollständigen Versenken, auferdem aber trug es auch zur Vermehrung der Luftdichtigkeit des Kastens bei.

Die auf eingerammten Pfählen ruhende Rüstung stellte wieder zwei Etagen dar, von denen die untere, die nur 4 Fufs über Wasser lag, als eigentliche Baurüstung zur Zusammensetzung des Kastens diente, und daher mit einer 50 Fufs langen und 19 Fufs breiten Oeffnung versehen war, während die obere die Schrauben-Vorrichtungen zum Herablassen des Kastens und die Geleise für den Laufkrahnen trug. Sie stellte gleichfalls eine ziemlich freie Oeffnung dar, durch welche mittelst des Krahnes die Maurermaterialien, so wie die Luftschleusen u. d. g. in der ganzen Ausdehnung des Pfeilers bequem gehoben und versetzt werden konnten.

Die Vorrichtungen zum Heben und Senken des Kastens, waren genau dieselben wie bei der Kehler Brücke. Die Anzahl der Schrauben oder Hänge-Eisen betrug im Ganzen 32, und auch hier befanden sich immer je zwei nahe neben einander, nur war ihre Benutzung insofern abweichend, als man hier nicht nur die Hälfte derselben gleichzeitig in Wirksamkeit setzte, während die

andere Hälfte zur weiteren Versenkung vorbereitet wurde, vielmehr die Einrichtung getroffen war, daß immer nur 1 oder höchstens 2 Schrauben auf einmal gelöst und neue Kettenglieder eingeschaltet werden durften. Die Senkung liefs sich nur auf 1 Fuß in der Stunde bringen, was beim geregelten Fortgange der Arbeit genügte.

In der Decke des Kastens befanden sich drei Oeffnungen, eine für den Baggerschacht und die beiden andern für die Einsteigeschachte. Die erste Oeffnung war 5 Fuß weit, und durch einen Blechcylinder umgeben, der von der Decke bis 1 Fuß unter den untern Rand des Kastens herabreichte. Ueber dem Kasten setzte sich der Schacht nur in dem gemauerten Brunnen fort. Aus diesem traten vier eiserne Consolen zur Führung der Baggerleiter vor, die bis zu einer mäfsigen Höhe sich erhob. Damit man aber, wenn die Leiter etwa ausgenommen werden mußte, sie später wieder einstellen könnte, so wurden an das Mauerwerk zwei Blechrinnen befestigt, welche die Fortsetzung der Führung bildeten. Die Baggermaschine war dieselbe, wie bei der Kehler Brücke, bei ihrer Aufstellung war aber die Aenderung eingeführt, daß sie nicht wie dort auf dem festen obern Boden, sondern auf dem Mauerwerk des Pfeilers ruhte, also die obere Trommel an allen Bewegungen desselben Theil nahm. Sie wurde wieder durch eine Locomobile getrieben.

Ueber die zwei Einsteigeschachte, von 3 Fuß Weite, ist nichts zu bemerken und eben so wenig über die Luftschleusen, deren Weiten 6 Fuß und deren Höhen 10 Fuß mafsien.

Nachdem der Kasten vollständig zusammengesetzt und zwischen den Consolen, wie in den Deckenfeldern ausgemauert war, wurde er etwas angehoben und der provisorische Boden darunter beseitigt. Nunmehr begann die Uebermauerung, indem man eine Werksteinschicht darüber in hydraulischem Mörtel versetzte. Das folgende Mauerwerk wurde nur aus hart gebrannten Ziegeln in Cement-Mörtel ausgeführt. Um jedoch das Gewicht desselben möglichst zu ermäßigen, da die Rüstung ohnerachtet der langen Pfähle nicht unbedingt sicher erschien, so wurde der Pfeiler noch nicht voll ausgemauert, vielmehr nur rings umher, so wie um die drei Schachte mit $2\frac{1}{2}$ oder 2 Fuß starken Mauern umgeben, wozu noch die drei Zwischenmauern neben den Schachten kamen. Es blieben also acht hohle Räume frei, deren Querschnitte nahe die Hälfte von dem des Pfeilers enthielten. Es muß aber noch bemerkt werden, daß an

den vier Ecken Maafsstäbe eingemauert wurden, mit welchen man die Schichten häufig verglich, um sich zu überzeugen, daß sie überall gleich weit von der Decke des eisernen Kastens entfernt waren, derselbe also gleichmäfsig belastet wurde.

In gleichem Maafse, wie die Mauer an Höhe zunahm, wurde der Kasten tiefer herabgelassen. Am 5. October 1864 tauchte der untere Rand des Kastens in das Wasser ein, und am 26. October berührte er das Flußbette, während die Schrauben und Hänge-Eisen einem Zuge von etwa 7000 Centner ausgesetzt waren. Indem nunmehr die Luft-Pumpe in Bewegung gesetzt und das Wasser aus dem Kasten entfernt wurde, so verminderte sich der Druck auf die Rüstung so sehr, daß man zur Ausmauerung der bisher noch offen gelassenen Räume übergehn konnte. Von jetzt ab wurde auch die Bagger-Maschine in Thätigkeit gesetzt, indem 10 Mann im Kasten standen und aus dem ganzen umschlossenen Raume die Erde der Maschine zuwarfen. Die Arbeit wurde Tag und Nacht hindurch fortgesetzt, indem eine dreifache Ablösung eingerichtet war, die einzelnen Arbeiter blieben jedoch jedesmal nur 4 Stunden unten, indem sie zweimal am Tage herabgingen.

Die Versenkung erfolgte anfangs ganz regelmäfsig, und wenn der Kasten zuweilen an einer Seite stärkeren Widerstand fand, als an der andern, so nahm er doch bald wieder die horizontale Lage an, indem neben der zurückbleibenden Wand die Erde besonders tief ausgestochen und vor den Bagger geworfen wurde.

So war der Kasten am 5. November 11 Fuß tief in das Flußbette eingedrungen, als die Locomotive ihren Dienst versagte, und eine geringe Ausbesserung erforderte, die in wenig Stunden beendet sein konnte. Diese kurze Unterbrechung hatte aber sehr ernste Folgen, denn der Pfeiler fing bald an, sich zu senken. Man bemühte sich zwar die Hängeeisen möglichst schnell herabzulassen, doch ging dieses nicht rasch genug von statten, und da nunmehr ohne den Gegendruck der Luft und den Widerstand des Bodens der Pfeiler einen Zug von 15 000 Centner ausübte, so sank derselbe plötzlich noch 6 Zoll tiefer. Wiewohl die Hängeeisen dabei unversehrt blieben, so neigten sich doch die beiderseitigen Rüstungen gegen einander, und erlitten einige Beschädigungen. Indem man mit dem Zurückdrehn der Schrauben fortfuhr und diese entlastete, so nahmen die Rüstungen später wieder ihre frühere Stellung ein.

Die Ursache dieses Unfalls war leicht erklärlich. Indem die Luft entwich, so drang unter den Wänden des Kastens das Wasser ein, und rifs zugleich den daselbst liegenden Sand und Schlamm mit sich, den es in den Kasten und vorzugsweise in den Baggerschacht führte. Eben so wie nach den obigen Mittheilungen Röhren dadurch mehrfach versenkt sind, dafs man unter ihren Rändern eine starke Strömung veranlafste, so war hier aus demselben Grunde derselbe Erfolg herbeigeführt.

Die grösste Störung verursachte der in den Baggerschacht eingedrungene Sand. Die Maschine war so eingeklemmt, dafs selbst unter einem Zuge von 150 Centner die Kette nicht bewegt werden konnte. Man sah kein andres Mittel zur Beseitigung des Sandes, als dafs man denselben aufzulockern versuchte. Zu diesem Zwecke bohrte man vom Kasten aus Löcher in den Baggerschacht, und bemühte sich durch diese den Sand theilweise herauszuholen, indem man gekrümmte Eisenstangen hineinschob und umdrehte, doch war der Erfolg ganz unbedeutend, und eben so auch, wenn man durch diese Löcher Wasser hineingofs.

Es blieb nur übrig, durch tiefes Aufgraben den Schacht von unten zu entleeren. Zu diesem Zwecke mußte der ausgehobene Boden durch die Luftschleuse beseitigt werden. Dieses verursachte wenig Schwierigkeit, indem man auf passenden Gestellen zwölf Eimer in der Schleuse unterbringen und diese zusammen durchschleusen konnte.

Es wurde sonach die Versenkung des Kastens wieder begonnen und beim Aufgraben vorzugsweise dafür gesorgt, unter dem Baggerschacht eine recht tiefe Grube frei zu halten, in welche der Sand von oben herabstürzte. Dabei drang auch der Kasten etwas tiefer ein, und als endlich am 16. November der Schacht so weit geleert war, dafs die Maschine wieder in Thätigkeit gesetzt werden konnte, betrug die inzwischen erfolgte Senkung etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs, die Förderung durch die Schleusen hatte indessen nahe dreimal mehr gekostet, als durch die Baggermaschine.

Die Arbeit nahm hierauf während einiger Tage einen geregelten Fortgang, und der Kasten war bis 40 Fufs unter Wasser gesunken, als man am 20. November bemerkte, dafs die Luftpumpe nicht ge-

hörig wirkte, weil die Kolben undicht geworden waren. Eine Reparatur war nothwendig, die indessen, da Alles vorbereitet wurde, in wenig Stunden beendigt werden konnte. Man war indessen so vorsichtig, beim Einstellen des Pumpen-Betriebes die Baggermaschine sogleich auszuheben. Außerdem drehte man auch, so schnell es geschehn konnte, die Schraubenmuttern zurück, indem man hierdurch das stofsweise Versinken des Kastens zu verhindern meinte. Dieses war jedoch nicht der Fall, derselbe sank vielmehr plötzlich $2\frac{1}{2}$ Fufs herab, und die Rüstung verschob und krümmte sich dabei sehr bedenklich.

Nachdem die Hänge-Eisen gesenkt waren, wurden die beiderseitigen Rüstungen so fest gegen einander verstrebt, wie die Benutzung des Laufkrahnes es irgend gestattete. Die Oberfläche des Pfeilers war in der Längenrichtung um 6 und in der Querrichtung um 2 Zoll aus der Wage gekommen, was sich durch kräftigeres Aufgraben neben den minder tief herabgesunkenen Wänden später ausgleichen liefs. Die hierbei eingetretene Versandung ergab sich aber viel stärker, als sie bei dem ersten Unfall gewesen war. Der Kasten hatte sich bis zur Decke mit Sand angefüllt, außerdem war dieser aber auch in beide Einsteige-Schächte gestiegen und zwar in den einen 13, in den andern 3 Fufs hoch, während seine Höhe im Baggerschachte 12 Fufs betrug.

Man mußte mit den Ausgrabungen in einem der beiden ersten Schachte den Anfang machen, und aus diesem in den Kasten herabgehn, um denselben nach und nach zu entleeren. Beide Luftschleusen zusammen förderten in 24 Stunden 4 Schachtruthen, und bei der großen Schwierigkeit, welche die Aufräumung des Baggerschachtes verursacht haben würde, entschlofs man sich, von der weitem Benutzung desselben ganz abzusehn. Dieses empfahl sich um so mehr, als schon in der letzten Zeit des Betriebes der ausgestochene Boden viel compacter geworden war, so dafs man nur gröfsere Klumpen abstach, die von den Bagger-Eimern selten gefafst und gehoben wurden.

Inzwischen war starker Frost eingetreten, der jedoch die Arbeit in sofern nicht hinderte, als die Temperatur im Kasten sich dauernd auf $+10$ Grade Réaumur erhielt. Nur beim Durchgange durch die Schleuse war der plötzliche Luftwechsel, der zugleich eine starke Nebelbildung veranlafste, sehr unangenehm und nach-

theilig. Die Seitenreibung gegen den Pfeiler wurde in der großen Tiefe so bedeutend, daß die weitere Senkung nicht früher erfolgte, als bis man einige Zoll tief unter dem untern Rande des Kastens die Erde ausgegraben hatte.

Am 12. December erreichte man endlich 50 Fufs unter dem Wasserspiegel eine Kiesschicht. Die Mächtigkeit derselben betrug, wie eine neue Bohrung ergab, 8 Fufs und sie ruhte auf reinem Sande. Dieses schien ein hinreichend fester Baugrund zu sein, woher die Versenkung hiermit abschloß. Der Boden unter dem Kasten wurde geebnet und alsdann übermauert. Die Steine, wie den Mörtel mußte man durch die Luftschleusen herablassen, und das Mauerwerk wurde ringförmig um die beiden Luftschleusen und zwar immer in der vollen Höhe vom Boden bis zur Decke so ausgeführt, daß es sich nach und nach den Mittellinien der Schachte näherte, bis der letzte cylindrische Raum endlich geschlossen werden konnte und die Arbeiter in den Schacht traten. Nunmehr wurde der Betrieb der Luftpumpe eingestellt, die Luftschleusen abgenommen, und die eisernen Röhren, welche die Schachte bildeten, ausgehoben. Die Schachte selbst füllte man aber bis zum gewöhnlichen Wasserstande des Pregels mit Béton an. Um sich zu überzeugen, ob der Pfeiler hinreichende Tragfähigkeit besäße, brachte man später eine Probe-Belastung von 9500 Centnern darauf, die dem größten Gewichte entsprach, welches der Pfeiler zu tragen haben würde. Es war dabei keine Senkung zu bemerken.

Aus vorstehenden Mittheilungen ergibt sich, daß man in Betreff der Beschaffenheit des Baugrundes hier weit größern Schwierigkeiten begegnete, als bei Fundirung der Kehler Brücke. Diese zeigten sich namentlich darin, daß man der Rüstung nicht die nöthige Festigkeit geben konnte. Andererseits handelte es sich hier nur um die Erbauung eines einzigen Pfeilers, und deshalb mochte man bei Beschaffung der nöthigen Apparate nicht zu weit gehn. Die beiden erwähnten sehr unangenehmen Störungen wären vermieden worden, wenn man für Ersatz der Pumpe und Locomobile gesorgt hätte, so daß beim Schadhaftwerden einer Maschine augenblicklich eine andere für sie eintreten konnte. Auch die Baggermaschine, obwohl sie sich sehr zu empfehlen scheint, insofern sie ganz unabhängig von dem Luftdruck das Material von der Sohle der Baugrube aushebt, leistete in dem compacten Boden, den die

Eimer nicht durchschnitten, verhältnißmäßig nur wenig. Indem die Maschine außerdem auch vielfachen Beschädigungen ausgesetzt war, und namentlich bei eintretenden Zufälligkeiten nur schwer wieder in Thätigkeit zu setzen war, so benutzte man sie schließlicly gar nicht mehr, und zwar gerade in der Zeit, als sie wegen der großen Förderungs-Höhe vorzugweise vortheilhaft gewesen wäre.

Obwohl bei Fundirung der Rheinbrücke, soviel bekannt, kein Unfall sich ereignet hatte, so zeigte sich dennoch schon hier, daß die Methode mit manchen Mängeln verbunden sei, die sich wohl beseitigen ließen. Als daher der Unternehmer Castor zwei Jahre später, im Winter von 1861 auf 1862 auf der Bahnlinie von Paris nach Dieppe die Brücke zu Argenteuil über die Seine ausführte, so wählte er eine wesentlich verschiedene Anordnung, die später auch vielfache Nachahmung gefunden hat. In der bereits erwähnten Schrift sagt Castor, daß diese neuere Methode vor der früheren durch ihre Einfachheit, so wie durch größere Wohlfeilheit und Sicherheit den Vorzug verdiene. *)

Die Brückenpfeiler wurden bei diesem Bau nicht mehr in ihrer ganzen Ausdehnung fundirt, sondern auf je zwei Säulen von $11\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser gestellt, die über Wasser mit einander verbunden wurden. Die Versenkung jeder dieser Säulen geschah wieder unter starkem Luftdrucke, über dem Luftkasten stand aber nur ein einzelner ummauerter Schacht, der sich oben an die Luftschleuse anschloß.

Jede Säule ist in ihrer ganzen Höhe von einem eisernen Mantel umschlossen, wie Fig. 271 zeigt. Castor wählte dazu Gußeisen, doch erklärt er schon in der Beschreibung, die er abfaßte, nachdem er erst vier Säulen versenkt hatte, daß die Anwendung des Eisenbleches sich hierzu mehr eigne, auch wohlfeiler sei. Die gußeisernen Ringe, die er übereinander legte, hielten bis zum Spiegel des Sommerwassers $11\frac{1}{2}$ Fuß und weiter aufwärts 10 Fuß im Durchmesser, und waren $3\frac{1}{4}$ Fuß hoch. Die Flanschen, durch angegossene kleine Consolen unterstützt, traten nach innen vor. Auf ihren obern Flächen waren flache Rinnen angebracht, in welche man Ringe von vulkanisirtem Kautschuk legte, worauf sie durch je vierzig Schrau-

*) Verschiedene interessante Mittheilungen hierüber findet man auch in Oppermann's *nouvelles annales de construction*. Januar 1864.

benbolzen mit einander verbunden wurden. Der untere Ring, der in den Boden eindrang, war am untern Ende mit einer auswärts zugeschärften Schneide versehen. Die Wandstärken dieser jedesmal in einem Stück gegossenen Ringe maßen, jenachdem sie mehr oder weniger zufälligen Stößen ausgesetzt waren, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll.

Der untere Ring trägt nicht allein die darauf gestellten folgenden Ringe, sondern außerdem eine durchbrochene Kuppel oder ein kegelförmiges Gitter, das den untern Arbeitsraum überdeckt und auf dem das darüber aufgeführte Mauerwerk ruht, wie Fig. 271 *a* zeigt. Dieses Gitterwerk besteht gleichfalls aus Gufseisen. Seine Höhe mißt etwa $6\frac{1}{4}$ Fufs. Die Stäbe, deren Anzahl in der untern Hälfte noch einmal so groß, als in der obern ist, werden in ihrer halben Höhe durch einen starken Ring unterstützt, der auswärts vortritt, und eben so wie der obere Ring ein sicheres Auflager dem Mauerwerk bietet, damit dieses nicht etwa, indem es von der Kegelfläche herabgleitet, einen zu heftigen Druck gegen den äußern Mantel ausübt. Wie die Figur zeigt, wird die in Rede stehende durchbrochene Kuppel *) mit bearbeiteten Werkstücken in hydraulischem Mörtel ummauert, der hintere Raum aber mit Béton ausgefüllt.

Mit der Erbauung des Gerüstes wurde der Anfang gemacht. Dasselbe stellte wieder zwei Böden dar, von denen der eine 9 Fufs, der andre 27 Fufs über Wasser lag. Der untere dient zur Anfuhr und Ablagerung der Materialien, wie auch zum Befestigen der Führungen, zwischen denen man die Säule herabgleiten läßt. Der obere Boden, an welchen man in gleicher Art wie bei der Kehler Brücke, nach den mitgetheilten Zeichnungen jedoch nur an vier Hänge-Eisen und Schrauben die Säule aufhängt, trägt die Eisenbahn eines Laufkrahnes. Mit dem letztern werden die einzelnen Ringe, so wie auch die Luftschleuse beigefahren und während ihrer Befestigung gehalten. Zugleich dient der obere Boden auch zur Führung der Säule, bis diese sich hinreichend fest in den Boden eingestellt hat.

Ueber die Oeffnung im untern Boden der Rüstung werden zwei starke Balken gelegt, hierauf der untere mit der Schneide versehene Ring gestellt, die durchbrochene Kuppel darauf befestigt, wie auch der nächste äußere Ring. Der dazwischen befindliche Raum wird

*) Man nannte dieselbe Crinoline, und diese Benennung ist ziemlich allgemein für diese Construction eingeführt.

alsdann, wie erwähnt, ausgemauert, der zweite Ring aufgebracht, die Ummauerung und Anfüllung mit Béton fortgesetzt, und eben so auch der dritte Ring und zugleich der Deckel, der die Kuppel schließt. Nunmehr hebt man mittelst der Schrauben diesen ganzen Theil der Säule etwas an, damit die Balken fortgezogen werden können, und läßt ihn soweit herab, daß seine Verlängerung bequem vom untern Boden aus erfolgen kann.

Der Schacht, durch welchen die Arbeiter hinabsteigen, ist $3\frac{1}{2}$ Fufs weit, er wird aber nicht durch eine eiserne Röhre eingeschlossen, vielmehr nur durch hölzerne Stäbe, die wie in einem Fasse sich an einander lehnen und durch eiserne Ringe im Innern in ihrer Lage gehalten werden. Den Raum zwischen ihnen und der äußern Wandung füllte man mit Béton an und ließ die Säule nach Maafsgabe dieser Erhöhung tiefer herab, bis sie die Sohle des Flufsbettes, das etwa 5 Fufs unter Wasser lag, erreichte.

In der Tiefe von 15 Fufs unter Wasser traf man schon festeren Boden an, in welchen die Säulen sehr schwer eindringen, und solchen Widerstand fanden, daß man unbedenklich die Luftschleuse abheben und durch Aufsetzen neuer Ringe die Säule erhöhen konnte. Der Bau wurde in der Weise ausgeführt, daß die beiden neben einander stehenden Säulen, die einen Pfeiler darstellen sollten, gleichzeitig in Angriff genommen wurden, und der Rollkrahm die Luftschleuse abwechselnd auf die eine und die andre stellte.

Die Luftschleuse war eigenthümlich eingerichtet. Sie besteht, wie Fig. 271 *b* zeigt, aus zwei concentrischen Cylindern von Eisenblech. Der innere $4\frac{1}{2}$ Fufs weit und $7\frac{1}{2}$ Fufs hoch steht in offener Verbindung mit dem Schacht, in ihm findet daher dauernd der starke Luftdruck statt. Der äußere Cylinder dagegen, der 1 Fufs niedriger ist, hält $10\frac{1}{2}$ Fufs im Durchmesser. Es bildet sich also zwischen beiden ein ringförmiger Raum von nahe 3 Fufs Breite, und dieser ist in diametraler Richtung durch zwei Wandungen luftdicht abgeschlossen. Jede Hälfte desselben bildet eine Luftschleuse, die man durch je zwei Hähne beliebig mit der comprimirten Luft des Schachtes füllen, oder dieselbe auslassen und den atmosphärischen Druck darin darstellen kann. Die Zugänge zu den Schleusen bilden nicht Klappen im Boden und der Decke, sondern Thüren in den Seitenwänden, und zwar stehen die beiden Thüren sich gegenüber. Eine derselben ist in der Figur sichtbar. Sie sind 25 Zoll

hoch, 18 Zoll breit. Man kann also ohne Schwierigkeit hindurchsteigen. Um den luftdichten Schlufs darzustellen, sind die starken eisernen Zargen mit einem Kautschuk-Bande überdeckt.

Jede Luftschleuse kann bei ihrer großen Ausdehnung eine bedeutende Quantität des geförderten Materials fassen, welches, nachdem es darin angesammelt ist, auf einmal durchgeschleust wird. Um dieses Material aber von der Sohle des Senkkastens bis zur Schleuse zu heben, ist die in der Figur angedeutete Anordnung getroffen. Auf der Decke des äußern Cylinders liegt nämlich eine kleine Dampfmaschine von einer Pferdekraft, zu welcher der Dampf von der andern Maschine, welche die Luftpumpen treibt, in einem flexibeln Rohre zugeführt wird. Die Maschine dreht die Achse eines Schwungrades und von dieser überträgt sich die Bewegung unter Verminderung der Geschwindigkeit bis auf ein Fünftel, auf eine andre Achse, die durch eine Stopfbüchse in den innern Cylinder, also über den Schacht geführt ist. Hier befindet sich eine Riemscheibe, und eine zweite solche ist an der Winde angebracht, welche die gefüllten Eimer hebt. Der Riemen, der beide verbindet, ist jedoch so lang, daß er sich selbst überlassen die Bewegung nicht der Winde mittheilt. Dieses geschieht erst, wenn er durch Andrücken einer dritten Scheibe mittelst eines Hebels in Spannung versetzt wird. Aus der Figur ergiebt sich diese Anordnung.

An der Decke des mittlern Cylinders, der stets dem vollen Luftdrucke ausgesetzt ist, befindet sich sowol ein Manometer, als auch ein Sicherheitsventil, welches in der Art belastet wird, daß der Druck nicht bedeutend höher gesteigert werden kann, als zum Zurückdrängen des Wassers erforderlich ist.

Das Verfahren beim Ausschachten ist nun dieses: je fünf Arbeiter, die nach 4 Stunden abgelöst werden, befinden sich in dem Raume, der mit comprimirter Luft gefüllt ist. Drei derselben stehn im Luftkasten, und graben den Boden auf, den sie in den Eimer werfen, der etwa $\frac{1}{2}$ Cubikfuß faßt. Der vierte Arbeiter steht oben im innern Cylinder, und setzt auf den Zuruf der Gräber die Winde in Thätigkeit. Sobald der Eimer aber hinreichend hoch gehoben ist, so stürzt er den Inhalt des Eimers in diejenige Luftschleuse, die gerade gefüllt werden soll. Hierauf läßt er den leeren Eimer herab, indem er mittelst des Hebels, der hierbei als Bremse wirkt, seine Bewegung mäfsigt. Der fünfte Arbeiter endlich befindet sich in der

Luftschleuse, und wirft die Erde nach beiden Seiten. Unter günstigen Umständen wird in 4 Arbeitsstunden eine Schleuse gefüllt, ihr Inhalt mißt ziemlich genau 1 Schachtruthe, doch bemerkt Castor, daß zuweilen in derselben Zeit nahe 200 Cubikfuß gefördert werden.

Sobald die Schleuse gefüllt ist, wird die innere Thüre geschlossen, die Luft aus der Kammer gelassen und die äußere Thüre geöffnet, durch welche man die Erde auswirft. Während der Anfüllung der einen Schleuse, kann die andere zum Ein- und Ausgehn benutzt werden, mit der Anfüllung der letzteren wird auch sogleich der Anfang gemacht, wie jene gefüllt ist.

Indem der zu durchfahrende Boden großentheils aus zähem blauen Thon bestand, worin jedoch vielfach Kies und gröberes Gerölle abgelagert war, und in der Tiefe in Mergel überging, so eignete es sich häufig, daß das Wasser, welches sich am Boden ansammelte, durch den Luftdruck nicht zurückgedrängt werden konnte. In diesem Falle benutzte man einen Heber, der durch eine der Luftschleusen in das äußere Wasser geführt war, während sein längerer Arm in einem Schlauch bestand, der bis zur Sohle herabreichte. Sobald der Hahn am Ende des letzteren geöffnet wurde, strömte das Wasser in Folge des starken Luftdruckes aufwärts. Genügte der letztere aber nicht, so brauchte man nur den Schlauch momentan aufzuheben, so daß er etwas Luft schöpfte, alsdann war das Gewicht des Inhaltes so sehr gemäsigt, daß ein starker Strahl ausfloß. Es wurde also von demselben Hilfsmittel hier wieder Anwendung gemacht, welches Triger schon benutzt hatte (§. 9).

Wenn man endlich eine Erdschicht erreicht hatte, die hinreichende Tragfähigkeit besaß, so wurde der Boden im Innern des Kastens geebnet, darüber eine 8 bis 10 Zoll hohe Lage Béton ausgebreitet, und diese mit einer eben so starken Mörtelschicht aus reinem Portland-Cement überdeckt. Besonders kam es darauf an, den letztern recht fest gegen die Wandungen zu verstreichen. Eine dritte Schicht reinen Cementes füllte alsdann den Raum bis zum obern Rande des untern Ringes an. In diese drei Schichten stellte man aber vorher eine Anzahl 2 Zoll weiter und 3 Fuß langer, an beiden Enden offener eiserner Röhren ein, welche bis zum Erhärten des Mörtels sowol der Luft, wie dem Wasser den Durchgang gestattete, falls der Druck auf beiden Seiten verschieden wäre, und

die sonach das Durchziehen des Wassers durch den noch weichen Mörtel verhinderten. War letzterer endlich erhärtet, so füllte man diese Röhren mit steifem Mörtel. Hierauf wurde die Anfüllung mit Béton bis zur Kappe des kegelförmigen Raumes fortgesetzt. Nunmehr konnte man den Schacht mit der atmosphärischen Luft in Verbindung setzen. Die Luftschleuse wurde also beseitigt und der Schacht im untern Theile mit Béton gefüllt und bis über Wasser ausgemauert.

Dieses Verfahren zur Versenkung der Fundamente und zwar unter Beibehaltung der Umschließung durch eiserne Cylinder und der Ueberdeckung des untern Raumes durch den gitterförmig construirten Kegel, der in den Schacht übergeht, ist mit manchen Modificationen in neuerer Zeit vielfach in Anwendung gekommen. So sind die Pfeiler der neuen Eisenbahn-Brücke über die Oder bei Stettin in dieser Weise fundirt, und so auch die der Rheinbrücke bei Hamm neben Düsseldorf. Man hat dabei indessen statt des Gufseisens, großentheils Verbindungen aus Blech gewählt, wie dieses schon Castor empfahl.

Nichts desto weniger ist man auch in neuester Zeit zuweilen wieder auf die ältere Methode zurückgekommen, wonach man das Fundament im Zusammenhange über die ganze Grundfläche des Pfeilers ausdehnte. Dieses ist namentlich im Jahre 1869 beim Bau der Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Hämerten ohnfern Stendal geschehn. Unter Berücksichtigung früherer Erfahrungen wurden jedoch manche sehr passende Aenderungen hierbei eingeführt, deren Mittheilung um so wichtiger sein dürfte, als der Baudirector der Berlin-Hannoverschen Eisenbahn Herr Stute mir auf meinen Wunsch nicht nur die betreffenden Bauzeichnungen zu vorliegendem Zwecke zur Verfügung stellte, sondern mich auch von manchen Einzelheiten der Ausführung in Kenntniß setzte, die in den vorstehenden Beschreibungen unberührt geblieben sind.

Die Brücke, welche zugleich Strom- und Fluthbrücke ist und einen großen Theil des Elb-Thales überspannt, hat neunzehn Oeffnungen von verschiedenen Weiten, die mit Ausnahme der beiden von einer zweiflügeligen Drehbrücke geschlossen, sämmtlich mit Polygonal-Trägern überspannt sind. Vom linken oder dem westlichen Ufer beginnend sind die ersten acht Oeffnungen 100 Fufs weit, alsdann folgt eine von 120 Fufs Weite, darauf vier von 201 Fufs und

auf diese die beiden, welche die Drehbrücke überspannt und deren Weiten 42 Fufs messen. Die nächste ist wieder 201 Fufs, und die letzten drei sind 120 Fufs weit. Die sechs Pfeiler zwischen der zehnten und sechszehnten Oeffnung, welche in dem eigentlichen Flussbette stehn, sind in Blechkasten und unter Anwendung des Luftdruckes 28 bis $36\frac{1}{2}$ Fufs unter dem niedrigen Sommerwasserstande gegründet. Die Wassertiefe in der Brückenlinie maafs bei diesem Wasserstande im Maximum 5 Fufs. Der Boden bestand zunächst aus Sand und Kies, worin aber möglicher Weise starke Vertiefungen eintreten können, in gröfserer Tiefe fand sich fester Thon, der stellenweise in compacten Mergel überging.

Die Rüstungen, die durch Arbeitsbrücken mit dem einen oder dem andern Ufer verbunden waren, hatte man beim Beginn des Baues ungefähr nach dem Muster der Kehler Brücke angeordnet. Es waren darin wieder zwei über einander befindliche Böden angebracht, von denen im untern eine Oeffnung freigelassen war, durch welche der ganze Kasten versenkt werden konnte, während die ähnliche Oeffnung im obern, durch welche mittelst des Laufkrahnes die gröfsern und schwerern Theile des Senk-Apparates gehoben und herabgelassen wurden, in Abständen von 15 Fufs durch Balken überspannt war, welche namentlich zur sichern Unterstützung der Schrauben dienten, an denen der Kasten hing. Die Muttern dieser Schrauben ruhten aber nicht auf übergekragten Querbalken, sondern auf je zwei Längsbalken, die theils von starken Streben und theils von den erwähnten übergreifenden Balken getragen wurden.

Indem die Schrauben am stärksten belastet waren, wenn der vollständig zusammengesetzte und sowol in den Wänden, wie auch in der Decke bereits ausgemauerte Kasten von dem untern Boden abgehoben und bis zum Wasser herabgelassen wurde, während dieser Zeit aber die ganze Oeffnung im untern Boden frei bleiben mußte, also hier keine gegenseitige Absteifung angebracht werden durfte, so führte man später die Aenderung ein, dafs der Kasten nicht über dem untern Boden, sondern auf darunter gestellten Prahmen zusammengesetzt und ausgemauert wurde, wodurch es möglich war, der ganzen Rüstung gröfsere Festigkeit zu geben.

Eine andere Abweichung gegen die Rüstung der Kehler Brücke bezog sich darauf, dafs der Laufkrahnen nicht auf dem obern Boden

selbst, sondern auf darüber ausgeführten vielfach verstrebtten doppelten Wänden stand, wodurch seine Höhe und sein Gewicht sich ansehnlich verminderten.

Der Luftkasten für einen gewöhnlichen Mittelpfeiler ist Fig. 273 auf Taf. XXIII in der Ansicht von oben dargestellt. Seine Länge misst 49 Fufs 9 Zoll und seine Breite 16 Fufs, während der darauf ausgeführte Pfeiler bis über das höchste Wasser dieselben Dimensionen hat. Fig. 274 *b* zeigt in größerem Maafsstabe einen Querschnitt des Kastens durch die Mitte eines Schachtes, und Fig. 274 *a* sowol die obere Ansicht, wie auch den horizontalen Durchschnitt desjenigen Theiles, durch welchen der Querschnitt gelegt ist. Aus diesen Figuren ergibt sich eine wesentliche und gewifs sehr zweckmäßige Abweichung von der früher gewählten Constructionsart. Die Träger, welche die Decke unterstützen, liegen nämlich nicht unter, sondern über derselben, und hierdurch wird der wichtige Vortheil erreicht, dafs man die Felder dazwischen, die hier von oben frei sind, viel bequemer und sorgfältiger ausmauern kann, während die schliessliche Ausmauerung des Kastens dadurch erleichtert wird, dafs derselbe eine ebene Decke hat.

Die Zusammensetzung des Kastens ergibt sich mit hinreichender Deutlichkeit aus den Figuren, worin die durchschnittenen Bleche, so wie auch die aufgenietheten Eckeisen und sonstigen Schienen durch starke Linien bezeichnet sind. Die obere Ansicht des ganzen Kastens Fig. 273 stellt die Lage der Träger, so wie auch die zur Unterstützung der Wände angebrachten Consolen vollständig dar, und es darf in dieser Beziehung nur hinzugefügt werden, dafs die Bleche vergleichungsweise gegen sonstige Anordnungen nur mässige Stärken hatten. Diese betrug nämlich nur $\frac{3}{4}$ Zoll, wodurch das ganze Gewicht des eisernen Kastens sich auf 413 Centner reducirte. Die Erfahrung zeigte auch, dafs dieses vollständig genügte. Man beachtete aber die Vorsicht, dafs man die Uebermauerung vorzugsweise durch die Träger unterstützte, indem man auf diese breite und feste Steinplatten legte. In Betreff der Wände, welche durch die zahlreichen Consolen verstärkt wurden, ging man aber von der richtigen Ansicht aus, dafs dieselben während des regelten Fortganges der Arbeit nicht das volle Gewicht des Pfeilers zu tragen haben, weil dieses bis nach Ausmauerung des Kastens

durch den Auftrieb der darin befindlichen Luft, außerdem aber auch durch die Seitenreibung des Pfeilers gegen den anschließenden Grund sehr gemäßig wird.

Indem die Wände des Kastens über die luftdichte Decke hinausreichten, so ließen sich die Bügel, woran der Kasten hing, bequem mit jenen verbinden, und man brauchte damit nicht bis an den untern Rand herabzugehen. Diese Bügel bestanden aus zweizölligem Rundeisen, und ihre verbreiteten Enden umfaßten, wie Fig. 276 zeigt, die vortretenden Ränder der Wände, indem zur Verstärkung der letztern noch Zwischenbleche angebracht waren.

Die Anzahl dieser Bügel und sonach auch die der Schrauben betrug, wie Fig. 273 zeigt, im Ganzen zwanzig, indem an jeder Seite sich fünf Paare befanden. Die Hängeeisen, welche die Ketten bildeten, wie auch die Schrauben, waren nach dem Muster der an der Kehler Brücke gebrauchten geformt und zusammengesetzt. Man machte jedoch hier die Erfahrung, daß die gleichzeitige Drehung der Schraubenmutter durch die mit einander verbundenen langen Schraubenschlüssel keineswegs ganz sicher sei, was vielleicht von der Drehung der Ketten herrührte, und daß man daher die sämtlichen Ketten stets sorgsam beobachten muß, um sie möglichst gleichmäßig zum Tragen zu bringen. Beim Versenken des Kastens ließ man denselben aber nicht abwechselnd an der einen und der andern Schraube jedes Paares hängen, vielmehr wurden gleichzeitig die sämtlichen Schrauben aller Paare in Thätigkeit gesetzt, soweit einzelne Ketten nicht verlängert werden mußten. Die Verlängerung der Kette erfolgte daher bald hier und bald dort, und man hatte dafür gesorgt, daß gemeinhin dieses nur bei einer oder höchstens bei zweien zugleich geschah, aber unbedingt eine Schraube jedes Paares immer in Wirksamkeit blieb. Auf diese Weise hing der Kasten gewöhnlich an neunzehn, oder doch wenigstens an achtzehn Ketten. Diese Anordnung war aber keineswegs getroffen, um die Ketten möglichst zu entlasten, vielmehr hätte die Hälfte derselben den Kasten noch sicher getragen, aber es fehlte an dem nöthigen zuverlässigen Aufsichts-Personal, um das gleichzeitige Einziehen neuer Glieder an vielen Ketten zu überwachen. Das hier in Anwendung gebrachte Verfahren verhinderte daher die sonst nothwendig werdende längere Pause.

Aus der Decke des Kastens steigen drei Schachte von 3 Fuß

Weite empor. Das untere Ende von einem derselben ist in Fig. 274 sichtbar. Sie erhalten nicht gleich Anfangs die volle Höhe, werden vielmehr nach und nach verlängert, wie die Mauern des Pfeilers sich höher erheben. Jeder derselben trägt eine Luftschleuse. Der mittlere dient als Fahr- oder Einsteige-Schacht, die beiden äußern als Förder-Schachte. Alle drei sind im Innern mit eisernen Leitern versehen, wie die Figur zeigt. Die einzelnen Theile der Schachtröhren bestehen aus $\frac{1}{4}$ zölligen Blechen, sie sind 6 Fufs lang und sowol oben, wie unten durch eingeschobene und angeniethete Ringe aus Eckeseisen verstärkt. Beim Aufbringen eines neuen Röhrentheiles werden Gummischeiben zwischen die Ringe gelegt und Schraubenbolzen hindurchgezogen.

Die Fahrschleuse, vom Bau der Königsberger Brücke übernommen, hielt $5\frac{1}{2}$ Fufs im Durchmesser und hatte die Höhe von 10 Fufs. Aufser den beiden Klappen an der Decke und im Boden, wodurch man ein- oder austrat, war sie nur mit den Hähnen zum Ein- und Auslassen der comprimirtten Luft und mit der Winde-Vorrichtung zum Heben und Herablassen der Klappen versehen.

Wichtiger waren die Förderschleusen, von denen eine Fig. 275 im verticalen und horizontalen Durchschnitt dargestellt ist. Sie haben solche Einrichtung erhalten, dafs man darin mehr als eine halbe Schachtruthe ausgehobenen Bodens unterbringen und denselben leicht beseitigen kann, sobald die Verbindung mit der äußern Luft dargestellt ist. Es mufs aber erwähnt werden, dafs Erfahrungen bei früheren ähnlichen Bauten bereits gezeigt hatten, wie das Versenken solcher Kasten nicht sowol durch die Beseitigung des ausgehobenen Bodens, als vielmehr durch den langsamen Fortgang der Uebermauerung verzögert wird. In letzter Beziehung läfst sich aber bei dem beschränkten Raume und der nothwendigen Sorgfalt in dieser Arbeit eine gröfsere Beschleunigung nicht einführen, und es ist daher entbehrlich, irgend welche Anordnungen zu treffen, wodurch die abgestochene Erde möglichst schnell fortgeschafft werden kann. Aus diesem Grunde wurde nicht nur von jener Baggermaschine abgesehen, deren Einführung, wie sich in Königsberg gezeigt hatte, bei unvorhergesehenen Zufälligkeiten überaus nachtheilig werden konnte, sondern es bedurfte auch keiner sonstigen kostspieligen und complicirtten Einrichtungen zu diesem Zwecke, wodurch überdies der luftdichte Verschlufs gewissermaafsen bedroht wurde. Man

stellte sich also nur die Aufgabe, die Schleuse so einzurichten, daß sie nicht früher mit der äußern Luft in Verbindung gesetzt werden durfte, bis eine große Quantität Erde darin angesammelt war, und sonach das häufige Durchschleusen entbehrlich wurde.

Diese Schleuse, gleichfalls von cylindrischer Gestalt, erhielt hiernach die Weite von 8 Fufs und die Höhe von 7 Fufs. Der obere Eingang, dessen Lage in Fig. 275. *b* durch den punktirten Kreis angedeutet ist, befand sich seitwärts, der untere dagegen in der Mitte des Cylinders und des Schachtes. Der Raum der Schleuse zerlegte sich aber in zwei Seitenkammern und in den mittleren Gang, der zwischen jenen ungefähr diametral hindurchging. Den Abschluß bildeten Blechwände von 3 Fufs Höhe, welche an ihren Enden gegen die cylindrische Wand geniethet und außerdem durch je drei eiserne Haken von dieser gehalten wurden, damit sie bei der Füllung der Kammern mit Erde nicht etwa in den Gang gedrängt würden. Jede Kammer faßte, wenn sie ganz gefüllt war, 50 Cubikfufs, doch wurde darin gewöhnlich nur etwa $\frac{1}{4}$, oder in beide Kammern zusammen $\frac{1}{2}$ Schachtruthe eingebracht.

In dem mittleren Gange befand sich auf der einen Seite die Leiter, die zur obern Einsteige-Oeffnung führte, auf der andern dagegen die Winde-Vorrichtung, mittelst deren die obere, wie die untere Klappe gehoben und herabgelassen wurde. Zwei Thüren, in der Figur mit *C* bezeichnet, stellten die Verbindung mit den Kammern dar, außerdem war daneben noch eine kleine Leiter angebracht, von welcher aus der Inhalt der Eimer über die Blechwand gestürzt werden konnte, sobald wegen höherer Füllung der Kammern die Thüren geschlossen werden mußten.

Zum Entleeren der Kammern waren außerdem in jeder Wand noch zwei Schütze *D* angebracht. Nach dem Ziehn derselben verbreitete sich das gehobene Material über beide Enden des Ganges, und hier befanden sich zwei Oeffnungen im Boden, mit luftdicht schließenden Klappen *E*, die vor dem Ziehn der Schütze aufgeschlagen wurden. Auf diese Art brauchte die Erde nicht weiter gehoben zu werden, sie wurde vielmehr nur durch die Schütz-Oeffnungen nach den Oeffnungen im Boden geschoben, von wo sie über stark geneigte Rinnen von selbst in die Prahme herabfiel.

Bevor die in den Kammern angesammelte Erde beseitigt werden kann, muß die Verbindung mit dem Schachte aufgehoben, also die

Bodenklappe der Schleuse geschlossen werden, was mittelst der erwähnten Winde-Vorrichtung geschieht. Alsdann öffnet man einen der beiden Hähne *A*, durch welche die comprimirte Luft entweicht, und nunmehr öffnet sich die obere Einsteige-Oeffnung und die Schleuse wird dadurch bei Tage stark erleuchtet, während sie bisher nur das schwache Licht empfing, welches durch die starke Glaslinse drang, die in die obere Klappe eingesetzt ist. Es muß hierbei noch bemerkt werden, daß beide Einsteige-Klappen, wie auch die Klappen *E* durch Gummi-Ringe gedichtet sind, welche die Oeffnungen rings umgeben. Die beiden ersten Klappen, die ein bedeutendes Gewicht haben, werden durch die in der Figur dargestellte Winde-Vorrichtung gehoben und herabgelassen, indem der Haken an der Zugleine in einen oder den andern Ring gesteckt wird. Der Ring der obern Klappe befindet sich aber an einem abwärts gerichteten Arme, damit die Klappe vollständig geschlossen werden kann. Dieselbe muß auch zunächst in dieser Lage festgehalten werden, bis sich ein starker Ueberdruck auf der untern Seite gebildet hat, der sie alsdann noch fester andrückt, als dieses durch die Winde möglich war.

Nachdem man beide Seiten-Kammern der Schleuse entleert hat, müssen die Rahmen, auf welche die Klappen *E* aufschlagen, sorgfältig gereinigt werden, damit sich hier der luftdichte Schluß wieder darstellt, und wenn darauf auch die obere Klappe gehoben ist, wird mittelst der Hähne *B* die Verbindung mit dem Schachte dargestellt und die Schleuse mit comprimirter Luft gefüllt. Einer dieser Hähne, dessen Anordnung mit den Hähnen *A* im Wesentlichen übereinstimmt, ist Fig. 277 im vertikalen und horizontalen Durchschnitt dargestellt. Der Kegel, den man mittelst der Handhabe dreht, ist im untern Theile hohl und befindet sich über einer Oeffnung in der Bodenplatte der Schleuse, der Raum im Kegel steht also fortwährend in Verbindung mit der Schachtröhre, und sobald man den Kegel dreht, so daß die darin befindliche Seiten-Oeffnung gegen die kleine Ausflufs-Röhre tritt, so setzt sich diese Verbindung bis zur Schleuse fort.

In dem conischen Ansatz unter der Schleuse bemerkt man noch in Fig. 275 *a* die Zuleitungs-Röhre *F*. Durch diese tritt mittelst eines elastischen Schlauches aus den Luftpumpen die comprimirte Luft in den Schacht und in den Senkkasten. Sollten die

Pumpen momentan angehalten werden, so fällt sogleich die an der Ausmündung dieser Röhre angebrachte Klappe herab und verhindert das Austreten der Luft.

Es waren zwei Luftpumpen aufgestellt, von denen jede allein das Bedürfnis befriedigen konnte, die eine arbeitete mit zwei Cylindern, die andere dagegen nur mit einem. Man bemerkte aber, daß die letztere in starken Stößen die Luft zuführte, was nicht nur für die Arbeiter unangenehm war, sondern auch den ganzen Apparat zu gefährden schien, woher bei solcher Pumpe die Anbringung eines Windkessels erforderlich ist. Die eine wie die andre Pumpe wurde durch Dampfkraft in Betrieb gesetzt, doch war stets nur eine im Gange.

Nach dieser Beschreibung der ganzen Vorrichtung wäre noch über die Art der Benutzung derselben Einiges hinzuzufügen.

Mit dem Abstechen und Ausheben der Erde waren bei jedem Schacht sechs Mann beschäftigt. Vier derselben befanden sich im Kasten, gruben den Boden aus, warfen ihn in den Eimer und zogen diesen an der über eine Rolle geschlungenen Leine herauf, die in Fig. 275 *a* sichtbar ist. In der Schleuse stand der fünfte Mann, der den vollen Eimer entweder durch die Thüre oder über die Wand fort in eine Kammer verstürzte. Der sechste Mann befand sich endlich in einer der beiden Kammern und verbreitete darin das eingeworfene Material. Nach vier Stunden wurden diese Arbeiter durch andere abgelöst, sie traten aber an demselben Tage noch einmal während vier Stunden ein. Die Arbeit wurde ununterbrochen Tag und Nacht hindurch fortgesetzt, und es waren daher dreifache Ablösungen, also für beide Schächte zusammen sechs und dreizig Mann, erforderlich. Dieselben waren nicht auf Taglohn angestellt, wurden vielmehr für jeden Cubikfuß ausgebrachten Bodens bezahlt. In jeder Schicht von 4 Stunden konnte ohne besondere Anstrengung in jedem Schachte eine halbe Schachtruthe gefördert werden. Es liefs sich aber durchaus nicht bemerken, daß diese Beschäftigung in der comprimirtten Luft auf die Leute nachtheilig gewirkt hätte, die meisten derselben waren bei der Versenkung aller Pfeiler thätig.

Bei einem Besuche auf der Baustelle, während der Kasten freilich noch nicht besonders tief in den Boden eingedrungen war, bemerkte ich, daß die comprimirtte Luft das Wasser aus dem Sande so vollständig zurückgedrängt hatte, daß beim Niederlegen auf den

Boden die Kleider gar nicht befeuchtet wurden. Man hat auch wiederholentlich wahrgenommen, daß die eingepumpte Luft nicht nur unmittelbar am Rande des Kastens, sondern noch 20 bis 24 Fuß davon entfernt in Blasen aufstieg.

Jede der benutzten Luftpumpen genügte mehr als hinreichend, um die Verluste zu decken, die durch den unvermeidlichen Mangel an dichtem Schluß der vielfachen Fugen veranlaßt wurden, es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Fugen um so nachtheiliger sind, je höher sie liegen, weil der Druck auf der innern Seite durch den ganzen Schacht und bis in die Schleuse sehr nahe derselbe bleibt, der äußere dagegen unter Wasser bedeutend zunimmt, und am untern Rande des Kastens so groß wie der innere wird, woher der Ueberdruck, der allein das Entweichen der Luft veranlaßt, hier aufhört.

Aus den Erfolgen, die bei manchen kurzen Unterbrechungen gesammelt waren, schloß man, daß der Kasten in der Zeit von einer halben Stunde sich mit Wasser vollständig füllen würde, falls die Pumpe so lange außer Thätigkeit bliebe. Dieses geschah freilich nicht, wohl aber liefs man zuweilen absichtlich mässige Quantitäten Wasser in den Kasten eindringen. Sobald man nämlich den Thonboden erreichte, wurde die Reibung so stark, daß der Kasten ohnerachtet der Vertiefung durch Aufgraben und des Gewichtes der darauf ruhenden Mauermaße nicht herabsank. Das Graben wurde aber alsdann auch sehr schwierig, indem der Thon bei dem unvermeidlichen Zudringen des Wassers sich in Schlamm verwandelte. Besonders zeigten sich diese Uebelstände, als unter dem einen Pfeiler an einer Seite des Kastens die steil ansteigende Mergelschicht frei wurde. Um die Fundirung hinreichend tief herabzuführen, blieb alsdann kein andres Auskunftsmittel, als das bereits oben erwähnte, nämlich das Wasser unter dem Kasten in starke Strömung zu versetzen, und es hierdurch zur Beseitigung der Hemmnisse zu veranlassen, welche das Herabsinken des Kastens verhinderten. Dabei drang freilich eine Menge Kies mit hinein, der wieder ausgehoben werden mußte, aber der beabsichtigte Zweck wurde doch erreicht. Man bemerkte dabei, daß die Masse des eintretenden Kieses geringer blieb, wenn die Strömung recht stark war, als wenn sie weniger kräftig und dafür längere Zeit hindurch unterhalten wurde. Man

öffnete daher plötzlich die Hähne, und schloß dieselben wieder nach kurzer Zeit.

Was die Uebermauerung betrifft, so sollte dieselbe im Allgemeinen mit Bruchsteinen und einer Umschließung mit Werkstücken erfolgen. Die Felder bis zur Oberkante der Träger wurden auch in Bruchsteinen und gutem Cementmörtel ausgemauert, darüber legte man eine vollständige Schicht Werkstücke, und über dieser wurde rings umher die Verkleidung mit Läufern und Binden dargestellt. Im Innern sah man sich aber mehrfach gezwungen, statt der Bruchsteine, die von Magdeburg her bezogen wurden, aber oft nicht rechtzeitig ankamen, Ziegel zu verwenden. Auch während der Nacht liefs sich ohnerachtet der starken Beleuchtung das Bruchstein-Mauerwerk nicht in gehörigem Verbande ausführen und alsdann wurde die Verwendung der Ziegel gleichfalls nothwendig.

Indem die Schachtröhren, die durch Schraubenbolzen befestigt waren, später wieder herausgenommen und anderweit benutzt werden sollten, so durfte das Mauerwerk sich nicht unmittelbar an sie anschließen. Man richtete deshalb hölzerne Ringe von 2 Zoll Stärke vor, die man über das fertige Mauerwerk legte, und bei Erhöhung des letzteren weiter hob. Diese Vorsicht genügte indessen nicht, um das zufällige Hineinfallen des Mörtels zu verhindern, woher die Röhren noch mit Stroh umwunden wurden.

Wenn endlich die Versenkung in solche Tiefe erfolgt war, daß eine Unterspülung nicht mehr besorgt werden konnte, man auch einen festen Baugrund erreicht hatte, so kam es darauf an, den Kasten möglichst dicht schließend in der Art auszufüllen, daß die Füllung als Fortsetzung des Pfeilers angesehen werden durfte, und noch volle Sicherheit bot, wenn auch die Wände des Kastens durch Rost oder sonstige chemische Einwirkungen ihre Haltbarkeit später verlieren, oder vollständig zerstört werden sollten. Man überzeugte sich auch hier, daß eine möglichst sorgfältige Ausmauerung am passendsten sei. Eine solche bedarf aber wieder eines festen Auflagers, und dieses ist in der Sohle des Kastens nicht leicht zu beschaffen. Schon der Sand und feine Kies ist in der Oberfläche sehr lose abgelagert, und noch mehr der Thon. Sobald aber später der Luftdruck aufhört und das Wasser freien Zutritt erhält, so ist einige Bewegung wieder unvermeidlich, und soweit der Kasten mit der Uebermauerung nicht durch die Reibung zurückgehalten wird,

so muß er sich alsdann etwas senken, oder dieses ist noch später zu besorgen. Die Verhältnisse sind eigentlich dieselben, wie sie sich in aufgeschwemmtem Boden bei jeder gewöhnlichen Fundirung wiederholen. Wenn dabei auch keine wesentliche Gefahr für den ganzen Pfeiler zu besorgen ist, so empfiehlt es sich doch gewiß, einer solchen möglichst vorzubeugen. Meines Erachtens wäre es auch in diesem Falle am passendsten, die ganze frei gelegte Bodenfläche mit einem fest eingerammten Pflaster zu versehen, um die obern Erdschichten in eine recht geschlossene Ablagerung zu versetzen, und sie dadurch tragfähiger zu machen (vergl. §. 32).

Zuweilen hat man die Kasten mit Béton gefüllt, statt sie auszumauern, bei dem in Rede stehenden Bau ist dieses nicht geschehn, und zwar vorzugsweise deshalb, weil das Material am schnellsten herabgeschafft werden konnte, wenn Ziegel und Mörtel gewählt wurden. Die Ausmauerung wurde an beiden schmalen Seiten des Kastens begonnen und immer von der Sohle bis zur Decke heraufgeführt, um sie möglichst dicht an die letztere anzuschließen. Die Klappen unter den Schachten mußten, sobald man einer solchen sich näherte, geschlossen und eingemauert werden, weil sie wegen ihrer größern Ausdehnung sich nicht herausbringen ließen. In der Nähe des mittleren Schachtes wurde das Mauerwerk in concentrischen Kreisen herum geführt und schließlichs auch erhöht, bis man den Schacht erreichte, und sonach der ganze Kasten gefüllt war. Nunmehr durften die Luftpumpen außer Betrieb gesetzt, und die Luftschleusen beseitigt werden. Diejenigen Theile der Schachtröhren, die an dem Kasten selbst befestigt sind, und sich nicht lösen ließen, wurden mit Béton gefüllt, alsdann die Schachte ausgepumpt, die einzelnen Röhren abgeschroben und ausgehoben und schließlichs die brunnenartigen Oeffnungen ausgemauert.



Inhalts-Nachweisung

der beiden Bände des ersten Theiles vom Handbuche der Wasserbaukunst.

(Die Römischen Zahlen bezeichnen den Band, die Arabischen die Seitenzahl.)

- | | |
|--|---|
| Abfangeschere. I. 101. | Bär, siehe Rammklotz. |
| Abtreppen der Fundamente. II. 29. | Baggermaschine im Luftkasten. II. 388. 407. |
| Abzugs-Canal, verdeckter. I. 317. | Banket. II. 17. |
| Abzugs-Graben. I. 336. | Baugrube. II. 236. |
| Ansammlung des Wassers. I. 220. | — Abfangen der Quellen. II. 274. |
| Aquäduct. I. 197. | — Trockenlegung ders. II. 268. |
| Archimedische Schnecke. II. 289. | — Umschließung ders. II. 244. |
| Arme am hölzernen Rammklotz. II. 95. | Baugrund, Untersuchung dess. II. 5. |
| Artesische Brunnen. I. 75. | — künstlicher. II. 36. 47. |
| — — Ausführung derselben. I. 122. | Bergsturz. II. 28. |
| — — Benutzung derselben. I. 92. | Bergtrafs. II. 305. |
| — — Ergiebigkeit derselben. I. 84. | Béton. II. 322. 329. |
| — — Erscheinungen an dens. I. 81. | — Erhärten dess. II. 345. |
| — — Wahl der Stelle für dens. I. 122. | — Festigkeit dess. II. 343. |
| Asphalt-Röhre. I. 275. | Béton-Bette, Stärke dess. II. 342. |
| Atmidometer. I. 19. | Béton-Fundirung. II. 31. 331. 340. 355. |
| Aufpfropfen der Pfähle. II. 151. | Béton-Bereitung d. Handarbeit. II. 324. |
| Aufsetzer. II. 120. | Béton-Maschine. II. 325. 328. |
| Ausfluß des Wassers durch Ansatz-
Röhren. I. 161. | Béton-Versenkung in Kasten. II. 335. |
| — durch Oeffnungen in dünner Wand.
I. 137. | — in Trichtern. II. 332. |
| Ausguß-Röhren. I. 259. 295. | Béton über Wasser. II. 357. |
| Ausheben der Erde aus Luftkasten.
II. 410. | Betriebs-Kräfte. II. 278. |
| Ausmauern d. Luftkasten. II. 402. 413. | Bewässerungs-Anlagen. I. 369. |
| Ausziehn der Pfähle. II. 217. 233. | Bewegung des Bodens. II. 15. |
| | Bewegung d. Wassers in Röhren. I. 167. |
| | Blei-Röhre. I. 273. |

- Block. II. 114.
 Bohlen-Pumpe. II. 300.
 Bohrbrunnen. I. 76.
 Bohrer, zum Brunnenbohren. I. 105.
 Bohr-Röhre. I. 114. 126.
 Bohrruder. I. 353.
 Bohrschacht. I. 125.
 Bohrtäucher. I. 115. 126.
 Bohrtau. I. 126.
 Bohrthurm. I. 123.
 Bohrwirbel. I. 100.
 Brücken-Canal. I. 337.
 Brunnen, Amerikanische oder Abessinische. I. 381.
 — absorbirende. I. 89.
 — gewöhnliche. I. 66.
 — öffentliche. I. 305.
 — Venetianische. I. 28.
 Brunnen-Bohrer. I. 128.
 Brunnenstube. I. 222.
 Bundpfahl. II. 190.
 Bundring. I. 99.

 Caisson, siehe Senkkasten.
 Cement. II. 315.
 Cement-Mörtel. II. 319.
 Chinesisches Rad. II. 287.
 Cisterne. I. 23.
 Colmation. I. 355.
 Colmations-Bassin. I. 360.
 Compensations-Stück. I. 296.
 Constantes Niveau. I. 227.
 Contraction der Strahlen. I. 141.

 Dampftramme. II. 141.
 — von Nasmyth. II. 142.
 Delphin. I. 224.
 Drainirung. I. 362.
 Drain-Röhre. I. 366.
 Druckhöhe. I. 168.
 Durchstich. I. 335.

 Eckpfahl in der Spundwand. II. 190.
 Eckramme, siehe Winkelramme.
 Efflorescenz des Mörtels. II. 321.

 Eimer zum Schöpfen. II. 283.
 Einsteige-Schacht, siehe Fahrschacht.
 Entwässerung. I. 323.
 Erdbohrer. I. 106.
 Erddossirung. II. 237.
 Erdschichten, absorbirende. I. 46.
 — undurchlässige. I. 45.
 — wasserführende. I. 45.
 Erd-Transport. II. 240.
 Erdwagen. II. 241.
 Erdwinde. II. 230.
 — mit zwei Trommeln. II. 233.
 Erhöhung des Bodens durch Niederschlag. I. 357.
 Erweiterungs-Bohrer. I. 107.

 Fachbaum. II. 199.
 Fahrschacht am Luftkasten. II. 388. 407. 412.
 Fahrschleuse. II. 407.
 Fallblock. II. 133.
 Fallstück. I. 104.
 Fangedamm. II. 21. 245.
 — Absteifen dess. II. 256.
 — aus Béton. II. 346.
 — Construction dess. II. 249.
 — Dichtung dess. II. 264.
 — Dimensionen dess. II. 248.
 — Durchleitung des Wassers durch denselben. II. 272.
 — auf Felsboden. II. 258.
 — Füllmaterial dess. II. 261.
 — von größerer Höhe. II. 253.
 — niedrige. II. 247.
 Fange-Instrumente. I. 112.
 Federn bei Spundwänden. II. 185. 200.
 Filter, natürliche. I. 210. 239.
 Filtration. I. 28. 45.
 Filtriren des Wassers. I. 232.
 Filtrir-Apparat. I. 236.
 Filtrir-Bassin. I. 245.
 — Ergiebigkeit dess. I. 251.
 — Reinigung dess. I. 251. 263.
 Flaschenzug. II. 114.
 Flufskiesel z. Béton-Bereitung. I. 323.

- Förderschleuse. II. 400.
 Füllpfähle. II. 36.
 Fundament, Verbreitung dess. II. 17. 38.
 Fundirung. II. 3.
 — nöthige Tiefe ders. II. 4. 7. 10.
 — an Abhängen. II. 38.
 — auf Felsböden. II. 23.
 — auf Kies. II. 32.
 — auf Klippen in d. See. II. 30.
 — unter Luftdruck. II. 374.
 — unter Luftdruck der Brücken
 bei Argenteuil. II. 398.
 bei Hämerten. II. 403.
 bei Kehl. II. 382.
 bei Königsberg. II. 391.
 bei Szegedin. II. 379.
 Fundirung auf dem Rasen. II. 39.
 — auf Sand. II. 32.
 — auf Sand-Cylindern. II. 54.
 — auf Sand-Schüttung. II. 47.
 — in schlammigem Grunde. II. 6.
 — Seitendruck ders. II. 22.
 — auf Steinschüttung. II. 55.
 — auf Thon. II. 34.
 Fundirungs-Säulen, gesenkt durch
 Luftverdünnung. II. 374.
 — durch Strömung. II. 376. 381. 411.
 Fußblock. II. 118.
 Futter-Röhre. I. 114.
 Gefälle der Entwässerungs-Gräben. I. 349.
 Geschwindigkeits-Höhe. I. 168.
 Gestänge beim Brunnen-Bohren. I. 95.
 Gesundheits-Rücksichten b. Entwässerungs-Arbeiten. I. 354.
 Grundablaß. I. 338.
 Grundbau. II. 3.
 Grund-Fangedamm. II. 265.
 Grundpfahl. II. 146.
 Grundrinne. I. 221.
 Grundsäge. II. 204.
 Grundwasser. I. 44. 63.
 Gufseiserne Röhren. I. 277.
 Hahn in Luftschleusen. II. 409.
 Hahn in Wasserleitungen. I. 291.
 Haken der Kunstramme. II. 132. 137. 139.
 Handramme. II. 81.
 Hangbau. I. 379.
 Heber auf Fangedämmen. II. 272.
 Heber in Luftkasten. II. 379. 381. 402.
 Heber, schwimmende. I. 225.
 Hitze, beim Rammen. II. 111.
 Inundation, siehe Ueberstauung.
 Kalk, hydraulischer. II. 303. 314.
 — magerer. II. 314.
 Kastenwerk. II. 284.
 Kausche. I. 102. II. 116.
 Kernwand. II. 185.
 — ohne Spundung. II. 188. 200.
 Kettenpumpe. II. 295.
 Klärung des Wassers. I. 233.
 Klärungs-Rohr. I. 75.
 Klampe. II. 243.
 Klappen-Ventil. I. 293.
 Knebel an der Ramme. II. 108.
 Knecht, siehe Aufsetzer.
 Kopfstück. I. 100. 126.
 Kranztau. II. 108.
 Krebschere. I. 107.
 Kreisel-Pumpe. II. 299.
 Kreissäge. II. 210.
 Kreuzbohrer. I. 111.
 Kronenbohrer. I. 111.
 Kunstramme. II. 123.
 — Betrieb ders. II. 131.
 — mit continuirlicher Bewegung. II. 138.
 Läufer, Läufer-Ruthe. II. 84.
 Langpfahl. II. 146.
 Lehre, siehe Zwinge.
 Leitungs-Röhren. I. 257. 277.
 — Abzweigung ders. I. 265. 290.
 — aus Asphalt. I. 275.
 — bleierne. I. 273.

- Leitungs-Röhren, flexible. I. 298.
 — aus Gufseisen. I. 277.
 — hölzerne. I. 261.
 — aus Sandstein. I. 271.
 — aus Steingut. I. 273.
 — aus gebranntem Thon. I. 272.
 Liegender Rost. II. 20. 39. 41.
 Löffel oder Löffel-Bohrer. I. 108.
 Luft, comprimirt zu Fundirungen.
 II. 377.
 Luftkasten. II. 384. 405. 411.
 — Ausmauerung dess. II. 402. 413.
 — mit conischer Kuppel. II. 399.
 — Entweichen der Luft aus demselben. II. 411.
 — Uebermauerung dess. II. 412.
 Luftpumpen. II. 389. 410.
 Luftschleuse. I. 73. II. 377.
 Luftspund. I. 258. 267. 294.
 Luftverdünnung in Brunnen. I. 75.
 — bei Fundirungen. II. 374.

 Mäkler, siehe Läufer.
 Meißel-Bohrer. I. 111.
 Meliorationen. I. 325.
 Messung d. Wassermenge. I. 212.
 Mönch. I. 221.
 Mörtel, gewöhnlicher. II. 302.
 — hydraulischer. II. 301. 303.
 — Maschine. II. 311. 321. 327.

 Niederschläge, atmosphärische. I. 3.
 7. 12.
 — erdige. I. 361.
 Nivelliren d. Sümpfe. I. 332.
 Norien ^{siehe} Kastenwerke.
 Nuthen d. Spundpfähle. II. 185.

 Oese d. Rammklotzes. II. 96.
 Ombrometer. I. 7.
 Oxydation gufseiserner Röhren. I. 299.

 Paternoster-Werk. II. 295.
 Pfähle, eiserne. II. 170.
 — in Felsboden. II. 168.

 Pfahlköpfe, verstärkt durch Ringe.
 II. 137.
 Pfairst. II. 5. 18. 57.
 — Construction dess. II. 63.
 — Höhe dess. II. 74.
 — Verankerung dess. II. 63.
 Pfahlschuh. II. 161.
 — d. Spundpfähle. II. 194.
 Pfahlspitze. II. 155.
 Piezometer. I. 179. 194.
 Pionir-Ramme. II. 92.
 Portland-Cement. II. 316.
 Prellbalken. I. 124.
 Probe-Pfahl. II. 153.
 Pumpe. II. 300.
 Puzzolane. II. 303.

 Quellen-Bildung. I. 41. 51.
 — Fassen ders. I. 65.
 — intermittirende. I. 62.
 — Stopfen ders. II. 274.
 Querprofile, künstlicher Flußbetten.
 I. 343. 346.

 Rammen. II. 81.
 — Englische. II. 91.
 — Französische. II. 91.
 — Niederländische. II. 89.
 Ramm-Arbeiten. II. 109. 165.
 — auf Fahrzeugen. II. 121.
 Rammklotz. II. 81. 93.
 — aus Gufseisen. II. 97.
 — Wirkung der Hubhöhe. II. 125.
 Rammregister. II. 184.
 Ramme, Richten ders. II. 86.
 Rammscheibe, hölzerne. II. 98.
 — eiserne. II. 103.
 Rammtau. II. 104.
 Regen, siehe Niederschläge.
 Regenmenge. I. 7. 12.
 Regenmesser. I. 7.
 Regensarg. I. 24.
 Regulator bei Colmationen. I. 360.
 Reif. I. 6.
 Reservoir. I. 304. 309.

- Rinnstock. I. 221.
 Röhrbirne. I. 269.
 Román-Cement. II. 315.
 Rost, versenkt unter Wasser. II. 76.
 Rostpfahl. II. 146. 150.
 — Absteifung dess. II. 63. 75.
 — schräge gestellt. II. 61. 89. 121.
 — Splintern dess. II. 168.
 — nöthige Stärke dess. II. 176.
 — Tragfähigkeit dess. II. 176.
 Rückenbau. I. 379.
 Rundpfahl. II. 150.
 Rüstung zum Bau d. Luftkasten. II. 385. 404.
 Sackbohrer. I. 69.
 Sand, Lagerung dess. I. 47. II. 32. 47.
 Sandbohrer. I. 109.
 Sandcylinder zur Fundirung. II. 54.
 Sandschüttung. II. 47.
 Santorin-Erde. II. 303.
 S-Bohrer. I. 111.
 Schaufelwerk, geneigtes. II. 293.
 Scheibe, im Flaschenzuge. II. 114.
 — in der Ramme. II. 98. 103.
 Scher-Ramme. II. 85.
 Schiebe-Ventil. I. 292.
 Schlag, zum Befestigen von Tauen. II. 118.
 Schlamm über d. Béton. II. 339.
 Schlamm-Kasten in Leitungen. I. 259.
 Schling-Grube. I. 45.
 Schneckenrad. II. 288.
 Schnee. I. 10.
 Schöpfmaschinen. II. 275.
 — Betrieb ders. II. 276.
 Schöpfrad. II. 287.
 Schraube zum Senken d. Luftkasten. II. 386. 406.
 Schraubenpfahl. II. 170.
 Schwanz-Ramme s. Stützen-Ramme.
 Schwanz-Tau. II. 112.
 Schwellen in Canälen. I. 341.
 Schwemm-Wiesen. I. 356. 377.
 Schwengel, b. Brunnenbohren. I. 124.
 Schwungsäge. II. 216.
 Schwungschaufel. II. 281.
 Seen, Senkung ders. I. 338.
 Seilbohren. I. 97. 132.
 Seitengräben. I. 351.
 Senkbrunnen. I. 69. II. 364.
 Senkgruben. I. 45.
 Senkkasten. II. 21. 358.
 — Aufstellung ders. II. 359.
 — Construction ders. II. 361.
 — eiserne. II. 368.
 — massive ohne Boden. II. 365.
 Selbstregulirung d. Zuflusses. I. 225.
 Setzen d. Pfähle. II. 118.
 Sicker-Gräben. I. 362.
 Siele oder Entwässerungs-Schleusen. I. 338.
 Siele oder unterirdische Abzugs-Canäle. I. 318.
 Spitzpfähle. II. 146.
 Springbrunnen, künstliche. I. 195.
 — natürliche. I. 58.
 Spundbohle, horizontale. II. 201.
 Spundung. II. 191.
 Spundpfahl. II. 185.
 — Schneide dess. II. 192.
 — eiserner. II. 202.
 Spundwand. II. 185.
 — vor liegendem Rost. II. 42.
 — vor Pfahlrost. II. 66.
 — Einrammen ders. II. 186. 195.
 — Stärke ders. II. 190.
 — Wasserdichtigkeit ders. II. 188.
 Standröhre. I. 310.
 Steigeröhre. I. 120.
 Stopfen d. Quellen im Béton. II. 349.
 Strafsen-Rinnen, Spülung ders. I. 313. 316.
 Stroppe. II. 116.
 Stülpwand. II. 201.
 Stützen-Ramme. II. 87.
 Sumpf in der Baugrube. II. 274.
 Suterrazzi. I. 201.

- Takel siehe Flaschenzug.
 Temperatur, Einfluß ders. auf die
 Bewegung d. Wassers. I. 172.
 Terrain-Aufnahme. I. 331.
 Thau. I. 6.
 Themse-Tunnel, Zugänge dess. I. 71.
 Thonröhren. I. 272.
 Tragfähigkeit d. Sandes. II. 10.
 — d. Thones. II. 12.
 Trafs. II. 304.
 Trafs-Mörtel, reiner. II. 309.
 — verlängertes. II. 310.
 — Zubereitung dess. II. 310. 313.
 Trafs-Mühle. II. 307.
 — Probe. II. 305.
 Trieb sand. I. 48.
 Tuffstein. II. 304.

 Ueberrieselung. I. 375.
 Ueberstauung. I. 371.
 Umschließung einzelner Pfahlköpfe.
 II. 244.
 Unterirdische Ströme. I. 51.

 Verdunstung. I. 6. 18.
 Versumpfung. I. 328.
 Violinblock. II. 114.
 Vorfluth. I. 335.

 Wasser, fremdes, Beseitigung dess.
 I. 339.
 Wasser-Bedarf in Städten. I. 302.
 Wasser-Leitung. I. 135.
 Wasserleitung, deren Speisung. I. 196.
 304.
 — in Häusern. I. 311.
 — in Städten. I. 302.
 Wassermenge der Quellen. I. 33.
 — der Flüsse. I. 35. 344.
 Wasserschnecke. II. 289.
 Wasserzoll. I. 216.
 Wechsel-Häuschen. I. 259.
 Wechselstück. I. 104.
 Widerstands-Höhe. I. 168.
 Wiesenbau, Siegenscher. I. 378.
 Wiesen-Flößen. I. 356. 377.
 Windkessel. I. 310.
 Winkelramme. II. 86.
 Wipptrog. II. 287.
 Wuchtbaum. II. 220.
 Wurfrad. II. 282.
 Wurfschaufel. II. 281.

 Ziegelmehl. II. 303.
 Zuggleine. II. 107.
 Zugramme. II. 81. 84.
 — vierschwellige. II. 85.
 Zwinge. II. 196.

Ende des zweiten und letzten Bandes
 vom ersten Theil.

Tabellarische Verzeichnung

Wasser, fester Bestandtheil der
I. 332
Wasser, fester in 270 Grad, I. 303
Wasser, fester, I. 185
Wasser, fester, durchsichtig, I. 196
I. 304
— in Wasser, I. 311
— in Spiritus, I. 302
Wasser, fester, bei 0 Grad, I. 33
— bei 1 Grad, I. 33, 34
Wasser, fester, bei 2 Grad, I. 33
Wasser, fester, I. 316
Wasser, fester, bei 5 Grad, I. 35
Wasser, fester, bei 10 Grad, I. 104
Wasser, fester, bei 15 Grad, I. 105
Wasser, fester, bei 20 Grad, I. 378
Wasser, fester, bei 25 Grad, I. 377
Wasser, fester, bei 30 Grad, I. 380
Wasser, fester, bei 35 Grad, I. 381
Wasser, fester, bei 40 Grad, I. 382
Wasser, fester, bei 45 Grad, I. 383
Wasser, fester, bei 50 Grad, I. 384
Wasser, fester, bei 55 Grad, I. 385
Wasser, fester, bei 60 Grad, I. 386
Wasser, fester, bei 65 Grad, I. 387
Wasser, fester, bei 70 Grad, I. 388
Wasser, fester, bei 75 Grad, I. 389
Wasser, fester, bei 80 Grad, I. 390
Wasser, fester, bei 85 Grad, I. 391
Wasser, fester, bei 90 Grad, I. 392
Wasser, fester, bei 95 Grad, I. 393
Wasser, fester, bei 100 Grad, I. 394

Wasser, fester, bei 105 Grad, I. 395
Wasser, fester, bei 110 Grad, I. 396
Wasser, fester, bei 115 Grad, I. 397
Wasser, fester, bei 120 Grad, I. 398
Wasser, fester, bei 125 Grad, I. 399
Wasser, fester, bei 130 Grad, I. 400
Wasser, fester, bei 135 Grad, I. 401
Wasser, fester, bei 140 Grad, I. 402
Wasser, fester, bei 145 Grad, I. 403
Wasser, fester, bei 150 Grad, I. 404
Wasser, fester, bei 155 Grad, I. 405
Wasser, fester, bei 160 Grad, I. 406
Wasser, fester, bei 165 Grad, I. 407
Wasser, fester, bei 170 Grad, I. 408
Wasser, fester, bei 175 Grad, I. 409
Wasser, fester, bei 180 Grad, I. 410
Wasser, fester, bei 185 Grad, I. 411
Wasser, fester, bei 190 Grad, I. 412
Wasser, fester, bei 195 Grad, I. 413
Wasser, fester, bei 200 Grad, I. 414
Wasser, fester, bei 205 Grad, I. 415
Wasser, fester, bei 210 Grad, I. 416
Wasser, fester, bei 215 Grad, I. 417
Wasser, fester, bei 220 Grad, I. 418
Wasser, fester, bei 225 Grad, I. 419
Wasser, fester, bei 230 Grad, I. 420
Wasser, fester, bei 235 Grad, I. 421
Wasser, fester, bei 240 Grad, I. 422
Wasser, fester, bei 245 Grad, I. 423
Wasser, fester, bei 250 Grad, I. 424
Wasser, fester, bei 255 Grad, I. 425
Wasser, fester, bei 260 Grad, I. 426
Wasser, fester, bei 265 Grad, I. 427
Wasser, fester, bei 270 Grad, I. 428
Wasser, fester, bei 275 Grad, I. 429
Wasser, fester, bei 280 Grad, I. 430
Wasser, fester, bei 285 Grad, I. 431
Wasser, fester, bei 290 Grad, I. 432
Wasser, fester, bei 295 Grad, I. 433
Wasser, fester, bei 300 Grad, I. 434

A. W. Schade's Buchdruckerei (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47

Ende des zweiten und letzten Bandes
vom ersten Teil



290.00

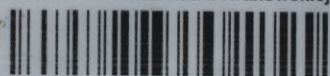
WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349956

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349612

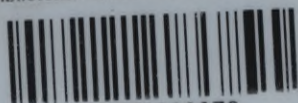
Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000309179

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300970