

Ueber Stromcorrectionen im Fluthgebiet¹⁾

Von J. DALMANN

Vorwort

Die Rath- und Bürger-Deputation in Hamburg, welche im November 1853 zur Berathung und Anfertigung von Vorschlägen und Plänen für die Verbesserung des Fahrwassers der Unterelbe, so wie zur Vorlage von Plänen zur Verbesserung des Cuxhavener Hafens eingesetzt ward, deputirte im Frühjahr 1854 zwei ihrer Mitglieder, die Herren ROSS und REFARDT, zur Besichtigung von Stromcorrectionsbauten und Hafenanlagen im Auslande, namentlich in Holland, Belgien, Frankreich und England, und beauftragte mich, die genannten Herren als Techniker zu begleiten. Aus dieser Reise ward ein reiches Material gesammelt, namentlich über Strombauten im Fluthgebiet, dessen Benutzung mir geneigtest gestattet wurde. Die Bearbeitung dieser Materialien schien mir lohnend zu sein, da die deutsche Literatur bisher wenig über Stromcorrectionen im Fluthgebiet aufzuweisen hat und auch die wenigen Schriften des Auslandes, die sich speciell mit diesem Gegenstande beschäftigen, Vieles zu wünschen übrig lassen. So habe ich es denn im Folgenden versucht, die Sätze abzuleiten, auf denen die richtige Anordnung der Correctionswerke im Fluthgebiet beruht, und aus fremden und eigenen Erfahrungen durch Beispiele gezeigt, wie die Bauwerke unter verschiedenen Umständen gewirkt haben, welche Erfolge an verschiedenen Strömen durch die Correction erreicht sind. Daß hiermit der Gegenstand bei weitem nicht erschöpft ist weiß ich sehr wohl.

Ogleich ich keine Mühe gescheut, den Zustand der besprochenen Ströme und deren Ausbildung durch die Correction so getreu wie möglich zu geben, so wird doch sicher der Localkundige darin Mängel, vielleicht sogar einzelne Unrichtigkeiten entdecken; hiervon habe ich das Buch unmöglich ganz frei halten können, und wer jemals genöthigt gewesen ist die Wahrheiten aus Streitschriften zu sammeln, wird vielleicht die Schwierigkeiten zu schätzen wissen, welche mir entgegenstanden. Niemanden könnte es angenehmer sein als mir, wenn von anderer Seite solche etwaige Mängel berichtigt würden.

Zum ersten Abschnitt habe ich einige Sätze über die Bewegung der Fluthwelle in Strömen gegeben, weil ich nicht annehmen durfte, daß dieselben allen Lesern geläufig seien. Leider wußte ich auf keine Schrift hinzuweisen, welche die nöthige Belehrung über diesen Gegenstand enthält. Möchte diese Bemerkung mit dazu beitragen, daß das bedeutende Beobachtungsmaterial, welches an manchen Orten gesammelt ist, einmal zweckmäßig bearbeitet werde, so daß man die Bewegung der Fluthwelle in verschiedenen Strömen vollständig übersieht, damit die vielen noch dunklen Stellen dieses interessanten und wichtigen Phänomens endlich aufgeklärt werden.

Hamburg, 1855

Der Verfasser

¹⁾ Erschienen in Hamburg 1856

Inhalts-Verzeichniß¹⁾

Vorwort	095
Erster Abschnitt. Die Fluthwelle nach ihrem Eintritt in die Strommündung	097
Zweiter Abschnitt. Anordnung der Correctionswerke	101
*) Dritter Abschnitt. Nähere Betrachtung einzelner Fälle	
Ströme in England	
River Clyde	
» Severn	
» Avon	
» Tyne	
» Mersey	
» Thames	
» Humber	
Einige andere Flüsse in England	
Ströme im nördlichen Frankreich	
Die Seine	
» Loire	
Ströme in den Niederlanden	
Die Schelde	
Der Rhein und die Maaß	
Die Merwede	
Tide-Ströme in Deutschland	
Anmerkungen zum dritten Abschnitt	
I. Nachweise über die Clyde	
II. Auszug aus J. Smeaton's Bericht über die Clyde	
III. Auszug aus J. Colborne's Bericht über die Clyde	
IV. James Watt über die Clyde	
V. Thomas Telford über die Clyde	
VI. John Rennie über die Clyde	
VII. Whidby über die Clyde	
VIII. Russell über die Fluthwelle in der Clyde	
IX. Bald über Baggerungen auf der Clyde	
X. Vergleichung des Effectes der Clyde- und Elbe-Bagger	
XI. Walker über Durchstiche an dem Severn	
XIII. Leader-Williams über die Severn	
XIII. John Rennie über die Tyne	
XIV. Brooks über die Tyne	
XV. Calver's Untersuchungen über die Regulirung der Tyne	
XVI. Calver über Piers	
XVII. Walker über die Tyne-Barre	
XVIII. Angaben über Schiffbrüche an mehreren Küstenpunkten in England	
XIX. Berghaus Angaben über die Wassermenge der Seine	
XX. Actenstücke über die Correction der Seine	
XXI. Frissard Beschreibung des Bore auf der Seine	
XXII. Poirée über die Regulirung der Seine	
XXIII. Doyat über die Wirkung der Seine-Bauten	
XXIV. Beaulieu über die Alluvionen der Seine	
XXV. Renaud und Beaulieu über die Seine	
XXVI. Urtheile der Untersuchungs-Commissionen über die Seine-Bauten	
XXVII. Urtheil der Commission nautique über die Seine-Bauten	
XXVIII. Watter über die Baggerungen auf der Loire	
XXIX. Ueber die Wirkung der Strombauwerke an der Loire	
XXX. Jégou über die Loire	

¹⁾ Die mit *) bezeichneten Abschnitte sind nicht abgedruckt.

XYXI. Fluthverhältnisse der Schelde	
XXXII. K r a y e n h o f ' s Wassermenge-Bestimmungen an der Merwede	
XXXIII. Fluthverhältnisse der Rhein- und Maas-Mündungen	
Anhang. Ueber den Sinkstückbau	119

Erster Abschnitt

Die Fluthwelle nach ihrem Eintritt in die Strommündung

Die Flutherscheinung stellt sich uns als eine Anzahl hinter einander folgender Wellen dar, welche fortwährend von Neuem erregt, sich über die offenen Meere der Erde verbreiten, und je nach den Hindernissen denen sie auf ihrem Wege begegnen, in ihrer Form und Geschwindigkeit mannigfach abgeändert werden. Die Erscheinungen lassen sich im Großen und Ganzen aus der Theorie der Wellen erklären.

Man unterscheidet an der Fluthwelle, eben so als an jeder anderen Welle, den Scheitel als höchsten Punkt, die Fußpunkte als niedrigste Punkte, den vorderen und den hinteren Abhang; und man sagt von einem Orte, an dem die Fluthwelle sich vorbei bewegt, es sei Hochwasser, Niedrigwasser, Fluth, Ebbe, je nachdem der Scheitel, Fußpunkt, vordere Abhang oder hintere Abhang, sich vor dem Orte befindet.

Auf den beiden Abhängen der Welle stellt sich im Allgemeinen eine Strömung in verschiedener Richtung dar, und es wird die Strömung auf dem vorderen Abhange, also in der Richtung der Bewegung der Welle, Fluthstrom, die auf dem hinteren Abhange Ebbestrom genannt.

Die Geschwindigkeit dieser Strömungen hängt von dem Verhältniß der Höhe der Welle zu deren Länge, überhaupt von der Form der Welle, und den Hindernissen welche der Grund etwa bietet ab, ist aber unabhängig von dem Fortschreiten der Fluthwelle, d. h. von der Geschwindigkeit, mit welcher die Undulation durch die Wassertheile fortgepflanzt wird. Die Undulation pflanzt sich am schnellsten und ungehindertsten in einer unbegrenzten Wassermasse fort; die Geschwindigkeit des Fortschreitens wird da, wo die Undulation auf die Grenzen der Wassermasse trifft, verzögert. In weit ausgedehnten, tiefen Meeren, geschieht daher das Fortschreiten rascher, als in engeren und seichten Meeren, und in Flußmündungen, wo das Gefälle des Flusses ein neues Hinderniß für das Fortschreiten und die Entwicklung der Fluthwelle ist, nimmt die Geschwindigkeit des Fortschreitens, abgesehen von anderen bedingenden Umständen, von der Mündung gegen die oberen Parthien des Flusses ab.

Im offenen Meere ist im Allgemeinen die Dauer der Fluth der Dauer der Ebbe gleich, oder doch nicht erheblich von ihr verschieden, und die Fußpunkte der Fluthwelle schreiten mit gleicher Geschwindigkeit vorwärts wie der Scheitelpunkt. Tritt die Fluthwelle in eine Flußmündung, so wird nicht allein, wie vorher bemerkt, ihre Bewegung im Ganzen verzögert, sondern diese Verzögerung trifft, indem die Welle stromaufwärts fortschreitet, den Fuß in stärkerem Maaße als den Scheitel. Die Dauer der Fluth wird daher kürzer, die Dauer der Ebbe länger, je weiter man sich von der Mündung entfernt, und man gelangt endlich an einen Punkt, wo der Scheitelpunkt sich in dem Maaße dem Fußpunkt annähert, daß die Dauer der Fluth, und daher auch die Fluthgröße, d. h. die Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser, zu Null angenommen werden kann. Dieser von der Fluthwelle durchlaufene Theil des Flusses wird das Fluthgebiet desselben genannt.

Die Verzögerung des Fußes gegen den Scheitel hat ihren Grund hauptsächlich

darin, daß der Fuß sich in seichterem Wasser bewegt, und deshalb größere Widerstände zu überwinden hat, als der ihm nachfolgende Scheitel.

Die Grenze des Fluthgebietes ist nicht zugleich auch die Grenze des *Fluthstromes*, sondern Letztere liegt allemal näher an der Mündung als Erstere. Oberhalb dieser Grenze herrscht beständig Ebbestrom, dessen Geschwindigkeit aber, in den verschiedenen Fluthstadien verschieden ist.

Außer der Geschwindigkeit, mit welcher der Scheitel- und die Fußpunkte der Fluthwelle fortschreiten, kommen ganz besonders die Linien in Betracht, in denen die Fortschreitung derselben geschieht. Diese Linien können sehr verschiedene Neigungen gegen den Horizont haben, und mannigfach gekrümmt sein. Sowohl der Scheitel- als der Fußpunkt wird in den Mündungen der Flüsse, bei seiner Bewegung stromaufwärts, bald gehoben, bald gesenkt, bald schreitet er in den Horizontalen fort.

Von der Form und Neigung der Linien, in welchen Fußpunkt und Scheitel sich bewegen, hängt das Verhältniß der *Fluthgröße* an den verschiedenen Punkten des Flusses unter sich, wie zur Fluthgröße im offenen Meer vor der Mündung ab, und Erstere kann die Letztere um ein Beträchtliches übersteigen.

Die *Linien*, in denen der Scheitel- und Fußpunkt fortschreiten, sind wie die *Geschwindigkeit* des Fortschreitens, abhängig von den Hindernissen, die der Fluthentwicklung entgegen stehen, von der Form und Gestaltung der Ufer und des Strombettes, und von dem Gefälle; und je nach diesen bedingenden Umständen findet bald ein Aufsteigen, eine Senkung, oder ein horizontales Fortschreiten statt.

Im Allgemeinen erreicht die Fluthwelle in denjenigen Localitäten ihre *größte Höhe*, im Verhältniß zur Fluthgröße vor der Mündung, wo die Ufer sich trichterförmig zusammenziehen, und der Grund allmählig ansteigt.

Das Fluthwasser wird in solchen Trichtern gewaltsam hinein gepreßt, und wie das Profil sich verengt, und damit die Hindernisse der Bewegung machen, wird der Scheitel bisweilen zu einer erstaunlichen Höhe aufgetrieben. So im Bristol-Canal und der Mündung des Severn, in der Bai von St. Michel und an manchen anderen Orten.

In geringerem Maaße tritt dieser Fall aber sehr häufig ein, und es ist sogar eine gewöhnliche Erscheinung, daß die Fluthgröße im unteren Theil der Flüsse, diejenige vor der Mündung übertrifft.

In größeren Flüssen, deren Stromschlauch im Fluthgebiet breit und tief ist, und deren Gefälle mäßig, weicht der Scheitel der Welle im Allgemeinen nicht beträchtlich von der Horizontalen ab.

In Flüssen, die durch Inseln und Sandbänke vielfach gespalten sind, die scharfe Krümmungen haben, deren Bett seicht ist, ist eine *Senkung* des Scheitelpunktes, und eine nach oben rasch abnehmende Fluthgröße, die gewöhnliche Erscheinung. Außer manchen größeren Flüssen, sind es besonders die kleinen im Fluthgebiet mündenden Nebenflüsse, in denen sich der Scheitel rasch senkt.

Steht einer kräftigen Fluthwelle ein starkes Stromgefälle bei geringer Wassertiefe entgegen, so wird die fortschreitende Bewegung des Fußpunktes bisweilen so sehr verzögert, und das nachdrängende Wasser wächst so rasch hinter dem Fußpunkt, daß ein Theil des vorderen Abhanges der Fluthwelle *vertical* und sogar *überstürzend* wird. Es ist dies die Erscheinung des Bore oder Mascaret, welcher in Europa hauptsächlich in dem Severn, der Seine und der Dordogne sich entwickelt.

Für den Strombau ist außer dem Fortschreiten und der Größe der Fluthwelle noch das Gesetz wichtig, nach welchem das Steigen und Fallen des Wassers an den verschiedenen Punkten des Fluthgebietes geschieht. Dies Gesetz wird aus der *Form der Fluthcur-*

ven erkannt. Die Fluthcurven werden erhalten, wenn man zu den Zeiten als Abscissen, die zugehörigen Wasserstände als Ordinaten aufträgt. Auch diese Fluthcurven, deren Form im offenen Meere einfach ist, weichen in ihrer Gestalt auf den verschiedenen Flüssen, ja in den verschiedenen Theilen eines und desselben Flusses, erheblich von einander ab. Ihre Form ist ebenfalls hauptsächlich bedingt durch die Gestaltung des Flußbettes und der Ufer, und durch die Gefällverhältnisse. Derjenige Zweig der Curve, welcher das Steigen darstellt ist im Allgemeinen steiler, als derjenige, welcher das Fallen des Wasser darstellt, doch können die verschiedensten Modificationen vorkommen. Um nur Einen einfachen Fall herauszuheben, erwähne ich, daß die Fluthcurve von dem Punkte an, wo gleichzeitig in der Nähe des Beobachtungsortes große Flächen Außenländereien überfluthet werden, flacher ansteigen wird, als in der Parthie kurz vorher.

Die Form der Fluthcurven ist häufig als die Form der Fluthwelle selbst betrachtet worden; dies ist aber durchaus unzulässig, ausgenommen im freien Meere.

Im Meere, wo wir die Geschwindigkeit der verschiedenen Punkte der Welle als gleich voraussetzen, stellt die Fluthcurve die Fluthwelle dar, wenn man die Endpunkte der Ersteren um die Wellenlänge von einander entfernt denkt. Im Strome ist die Form der Fluthwelle in jedem Augenblick eine andere, und von der Form der Fluthcurven sehr verschieden; diese aber bieten das Mittel, um zu jener zu gelangen, indem man aus ihnen, die zu derselben Zeit, an verschiedenen Punkten des Flusses beobachteten Wasserhöhen, in das Längenprofil des Flusses einträgt.

Alle bisher besprochenen Erscheinungen der Fluthwelle wiederholen sich nicht von einer Tide zur anderen genau in der gleichen Weise, denn dies würde einen constanten oberen Zufluß, und eine genau gleiche Fluthentwicklung vor der Mündung der Flüsse voraussetzen, was beides in der Wirklichkeit nicht der Fall ist; denn die Menge des Oberwassers ist veränderlich, und die Fluthwelle vor der Mündung erleidet theils periodische, von der Dauer des Mondumlaufes abhängige Schwankungen, theils nicht voraus bestimmbare, durch die meteorologischen Prozesse, und hauptsächlich durch die Richtung und Stärke des Windes.

Setzen wir der Einfachheit wegen eine völlig gleichartige Fluthentwicklung an der Mündung voraus, und denken nur die Quantität des oberen Zuflusses variabel, so wächst an der bisherigen Grenze des Fluthgebietes, zugleich mit dem Oberwasser, die Wasserhöhe, und erniedrigt sich bei abnehmendem Oberwasser, und die Folge davon ist, daß Fluthen von gleicher Größe im ersten Falle die ehemalige Grenze des Fluthgebietes nicht erreichen, sie im anderen Falle überschreiten. Ebenso wie die Grenze des Fluthgebietes, rückt auch die Grenze des Fluthstromes bei steigendem Oberwasser abwärts, bei fallendem aufwärts.

Sowohl der Fußpunkt als der Scheitelpunkt der Fluthwelle werden bei steigendem Oberwasser gehoben, bei fallendem Oberwasser gesenkt, und zwar wird in beiden Fällen der Fußpunkt im Allgemeinen stärker afficirt als der Scheitelpunkt, so daß die Fluthgröße im ersteren Falle verkleinert, im zweiten Falle vergrößert wird. Diese Erscheinungen treten in den oberen Theilen des Fluthgebietes aber stärker hervor, als in den Parthien weiter stromabwärts und in der Nähe der Mündung, und oft schon beträchtlich oberhalb dieser, machen sich die Veränderungen im Zufluß des Oberwassers, namentlich in der meerbusenartigen Erweiterung der größeren Flüsse, gar nicht bemerkbar.

Betrachten wir nun die Erscheinungen, welche durch Fluthen verschiedener Größe, bei constantem oberen Zufluß hervor gerufen werden, so zeigt sich zunächst, daß höhere Fluthen sich im Allgemeinen weiter stromaufwärts erstrecken als niedrige, und daß bei größeren Fluthen, in allen Parthien des Fluthgebietes, das durchfließende Wasservolumen größer ist als bei kleineren.

Die Größe der Fluthen ist bekanntlich abhängig, wenn wir vorläufig von den meteorolo-

gischen Einflüssen absehen, von der Stellung der Sonne und des Mondes, sowohl in Bezug des Winkels, den die beiden Himmelskörper mit der Erde bilden, als auch ihrer Declination und Parallaxe. Es ist hier nicht der Ort diese Abhängigkeit näher zu entwickeln, und es mag nur bemerkt werden, daß die Größe der Fluthen von den Springfluthen bis zu den tauben Fluthen *a b* -, und von diesen bis zu den Springfluthen wieder *z u n i m m t*, und daß die Dauer von einer Springfluth bis zur nächsten, und ebenso die Dauer von einer tauben Fluth bis zur nächsten, nahezu $14\frac{1}{2}$ Tage umfaßt, in denen sich 28 Fluthen ereignen. Zur Zeit des ersten Neu- oder Vollmondes nach dem Frühjahr- und Herbst-Aequinoctium erreicht die Springfluth ihr Maximum.

Dieser beständige Wechsel der Fluthgröße stellt sich im offenen Meere so dar, daß die höchsten Springfluthen zugleich auch die tiefsten Ebben, und die niedrigsten tauben Fluthen zugleich auch die höchsten Ebbestände zeigen, und zwar sinkt das Niedrigwasser der Springfluth um eben so viel tiefer als das Niedrigwasser der tauben Fluth, als das Hochwasser der Springfluth sich über das Hochwasser der tauben Fluth erhebt.

Im Fluthgebiet der Ströme findet nicht dasselbe Verhältniß statt. Schon in der Nähe der Mündung, wo der Strom häufig noch die Gestalt eines Meerbusens hat, rückt gewöhnlich der Ebbestand der tauben Fluth, dem Ebbestand der Springfluth näher, und man kommt stromaufwärts zu einem Punkt, wo die Ebben der tauben und Spring-Fluthen in gleicher Höhe sind. Noch höher aufwärts kehrt sich das Verhältniß um; die Ebbe der tauben Fluth sinkt tiefer als die Ebbe der Springfluth. Das Hochwasser der Springfluth bleibt aber im ganzen Fluthgebiet über dem Hochwasser der tauben Fluth, und auch die Fluthgröße ist größer bei den Spring- als bei den tauben Fluthen, wie sich denn auch erstere weiter stromaufwärts fühlbar machen als letztere.

Diese bisweilen unrichtig beurtheilte Erscheinung muß so aufgefaßt werden: bei den tauben Fluthen tritt verhältnißmäßig wenig Wasser in den Strom, und es werden nicht alle dem Fluthgebiet angehörende Stromparthien mit Wasser versorgt. Die Folge davon ist, daß in den oberen Parthien des Fluthgebietes, wo die Dauer der Ebbe länger ist bei den tauben, als bei den Springfluthen, das Wasser bei den ersteren vollständiger abfließt. Werden die Fluthen größer, so erfüllen sie das Fluthgebiet weiter hinauf mit Wasser, und die Dauer der Ebbe wird kürzer. In der Parthie, welche oberhalb der Grenze der Fluthen der tauben Tiden liegt, steigt jetzt der Wasserspiegel, und das dort aufgestaute Oberwasser und das zurückfließende Fluthwasser ist anzusehen als ein vermehrter oberer Zufluß, und dieser wirkt, wie wir früher gezeigt haben, auf eine Erhebung des Ebbespiegels der folgenden Fluth. Aber diese Wirkung pflanzt sich begreiflich auch weiter unterhalb fort, wiewohl in kleinerem Verhältniß, und trotz des vermehrten Gefälles, fließt auch hier nicht alles eingeströmte Fluthwasser wieder ab, einmal, weil die Quantität absolut vergrößert, und zweitens, weil die Dauer der Ebbe verkürzt ist. Bei den nächsten, immer um etwas höheren Fluthen, die noch weiter den Fluß hinaufsteigen, wird die Wirkung in derselben Weise vermehrt, und die höchste Springfluth endlich findet einen Ebbespiegel, der einem höheren Oberwasser zu entsprechen scheint, in der That aber nur von dem in größerem Maaße eingeströmten und weiter aufwärts geführten Fluthwasser herrührt. Diese Erscheinung wird in den meisten Fällen durch die verschiedenen, die Fluthentwicklung bedingenden Umstände verwischt; unter begünstigten Verhältnissen wird sie jedoch in der Seine und Severn z. B. deutlich wahrgenommen.

Es mag beiläufig noch bemerkt werden, daß der höhere Ebbespiegel mit dazu beiträgt, daß sich die Fluthwelle der Springfluth in Strömen kräftiger entwickelt, und tiefer in den Fluß eintritt, da durch die größere Wassertiefe die Hindernisse, welche der Bewegung entgegen stehen, verringert werden. Dieses Heben und Senken des Ebbe- und damit auch des Fluthspiegels durch die Größe der vorhergehenden Fluthen, hat aber nicht allein bei den

periodischen Schwankungen der Fluthgröße statt, sondern in derselben Weise, wenn die Flutherscheinung durch die Richtung und Stärke des Windes modificirt wird. Man kann daher nicht behaupten, daß bei gleichem Stande des Oberwassers und gleichen Fluthen an der Mündung, auch gleiche Fluth- und Ebbehöhen im ganzen Fluthgebiet stattgefunden haben, wenn nicht auch die vorangegangenen Fluthen gleich waren. Waren diese an Höhe oder an Dauer ungleich, so sind es auch die nachfolgenden, denn sie finden verschiedene Wasserstände, welche, wie gezeigt, auf die Entwicklung der Welle von Einfluß sind, und diese Wasserstände waren im Allgemeinen um so höher, je höher die vorhergehenden Fluthen stiegen und je kürzer deren Ebben dauerten.

Nimmt man endlich, wie es in der Natur allemal der Fall ist, gleichzeitig den oberen Zufluß und die Fluth an der Mündung variabel, so werden die Erscheinungen äußerst complicirt, und machen die Untersuchungen der Bewegung der Fluthwelle in den Flußmündungen zu einer höchst difficilen Aufgabe, von der hier abgebrochen werden muß, da die vorstehenden Bemerkungen über die Fluthwelle nur den Zweck haben, denjenigen Lesern, denen das Feld fremd ist, ein Verständniß der folgenden Abschnitte zu ermöglichen.

Es möge hier nur noch erwähnt werden, daß die meteorologischen Einflüsse auf die Fluthentwicklung da in den Hintergrund treten, wo die Fluthwelle sehr großartig auftritt, daß andernfalls dieselben aber vorzugsweise die Modification der Größe der Fluth hervorbringen, wo diese an sich nur klein ist, und daß sie die Unterschiede der Spring- und tauben Tiden bisweilen fast völlig maskiren, wie z. B. an der Deutschen und Holländischen Nordseeküste.

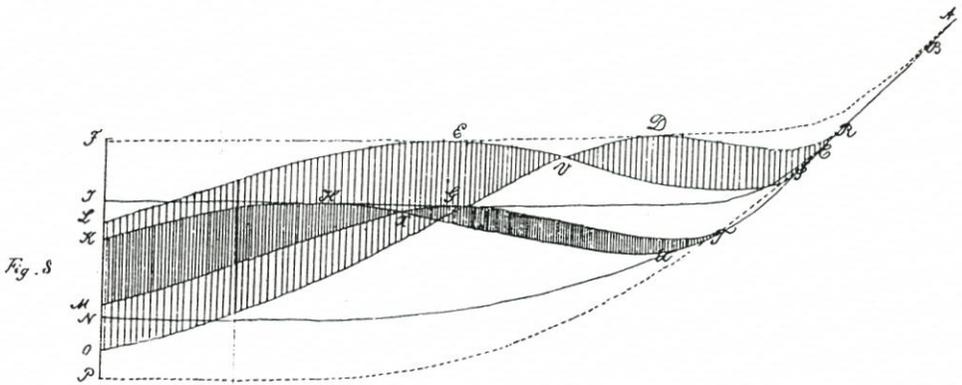
Zweiter Abschnitt

Anordnung der Correctionswerke

Alle Corrections-Arbeiten in den oberen, der Meeresfluth nicht unterworfenen Stromparthien, kommen darauf hinaus, daß man das Gefälle des Stromes regelt. Dies geschieht durch Beschränkung des Stromes auf angemessene Breiten, und durch Veränderung seiner Richtung. Ist auf diesem Wege ein gleichmäßiges Gefälle auf größeren Strecken hergestellt, und hat sich den Gefällverhältnissen entsprechend auch die Tiefe ausgebildet, so ist eine fernere Verbesserung nicht weiter denkbar. Will man größere Tiefe für die Schifffahrt als die hierdurch erhältliche, so bleibt nur übrig, den Strom zu canalisiren, d. h. durch Wehre das Gefälle auf einzelne Punkte zu concentriren. Die Wassermenge ist bei dieser Operation etwas Gegebenes; sie hängt ab von der Größe des Stromgebietes, von dessen Bodencultur, geognostischer Beschaffenheit, von den climatischen und meteorologischen Verhältnissen. Durch die Correction kann die Wassermenge in keiner Weise geändert werden.

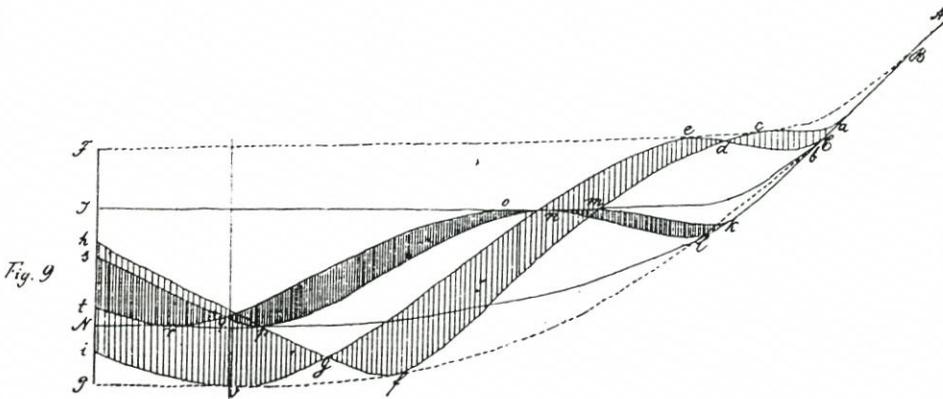
Anders sind die Verhältnisse im Fluthgebiet der Ströme. Das durch den oberen Strom gelieferte Wasserquantum wird hier vermehrt durch das einströmende Fluthwasser, und Letzteres überwiegt das Erstere um so mehr, je weiter man sich der Mündung nähert. Dies Fluthwasser hat aber nicht, wie das Wasser des oberen Stromes, ein unabänderlich gegebenes Maaß, sondern es kann die Quantität desselben, durch natürliche oder künftige Einwirkungen, erhebliche Aenderungen erleiden. Wie diese Aenderungen zu bewirken sind, wird später gezeigt; vorher aber sollen die Einflüsse betrachtet werden, welche eine veränderte Fluthentwicklung in Strömen, auf die Ströme selbst hervor bringt.

Setzen wir der Einfachheit wegen wieder einen constanten Zufluß des oberen Stromes voraus, denken wir ferner die Größe aller Fluthen gleich, und nehmen wir auch die Tiefe des Stromes genügend an, daß sich die Fluthwelle kräftig entfalten kann, so zeigt die Fig. 8 ein



ideelles Bild der Fluthentwicklung in solchem Strom. ABC ist das Gefälle des oberen Stromes, CGHI stellt die Linie dar, in welcher der Scheitel der Welle fortschreitet, CTUN die Linie der Bewegung der Fußpunkte. C ist demnach die Grenze des Fluthgebietes, IN die Fluthgröße an der Mündung. In einer gewissen Zeit bewegt sich die Fluthwelle von KHU nach MGT, und während dieser Zeit wird der Raum XGTU mit Wasser erfüllt, der Raum MKHX wasserfrei. Bezeichnen wir die Inhalte dieser Flächen bezüglich durch a und A, und nennen wir b die mittlere Strombreite zwischen X und T, B zwischen K und X, so wird die in der Zeit, in welcher sich der Scheitel der Fluthwelle von H nach G bewegt, bei K abgeflossene Wassermenge ausgedrückt durch $AB - ab$.

Denken wir nun, daß die Fluthgröße an der Mündung durch irgend einen Umstand auf das doppelte Maaß gebracht wird, und sich in dieser Größe beständig wiederholt, während alle übrigen Verhältnisse gleich bleiben, so zeigt dieselbe Figur, wie sich im Großen und Ganzen die Verhältnisse in diesem Falle gestalten würden. Die Fluthgröße würde in den unteren Parthien des Stromes, wo das Oberwasser keinen, oder doch nur einen verschwindend kleinen Einfluß übt, ebenfalls ungefähr das doppelte Maaß erreichen; die Grenze des Fluthgebietes aber würde aufwärts gerückt werden, und in den höher gelegenen Parthien des Fluthgebietes würde daher die Fluthgröße mehr als die doppelte Größe der früheren erreichen, und dies Verhältniß zur früheren Fluthgröße wird zunehmen, je näher an der Fluthgrenze man es betrachtet. In der Figur stellt FP die Fluthgröße an der Mündung dar, B die ihr entsprechende Grenze des Fluthgebietes; BDEF und BRSP, die Linien, in welchem sich der Scheitel und die Fußpunkte der Welle bewegen, LES die Fluthwelle zu einer bestimmten Zeit, ODR dieselbe zu einer späteren Zeit. Die Unterschiede der Flächen, $OLEV = A'$ weniger $VDRS = a'$, jede multiplicirt mit der ihrer Lage entsprechenden mittleren Strombreite, B' und b' , gehen wieder das durch die Mündung bei FP abgeflossene Wasserquantum, für die Zeit, welche der Scheitel der Fluthwelle gebraucht hat, um von E bis D fortzuschreiten. Vergleichen wir nun diese Differenzen $A'B' - a'b'$ und $AB - ab$, also das bei der Fluthwelle von doppelter Größe in einem bestimmten Stadium der Ebbe und in einer gewissen Zeit abgeflossene Wasserquantum, mit dem in demselben Stadium der Ebbe in derselben Zeit abgeflossene bei der einfachen Größe der Welle; so ergibt sich leicht, daß das erste Quantum mehr als das Doppelte des letzteren beträgt. Denn einmal ist die Fluthgröße doppelt so groß als früher, dann aber pflanzt sich eine große Fluth unter denselben Verhältnissen rascher stromaufwärts fort als eine kleinere, und während der Scheitel der kleineren Fluth den Weg IH zurücklegt, durchläuft der Scheitel der größeren den Weg FE. Die Fläche $A' - a'$ muß daher mehr als doppelt so groß sein als die Fläche $A - a$, und da in regelmäßig



gestalteten Strömen die Breiten im Allgemeinen nach oben abnehmen, so muß dies Verhältnis in noch höherem Maaße bei den Wassermassen stattfinden.

In ganz ähnlicher Weise stellt sich die Erscheinung aber während der Fluth dar. Fig. 9 zeigt das Fortschreiten der Welle $t r o l$ nach $s p m k$, während das Wasser an der Mündung von t bis s wächst. Das Wasserquantum, welches während dieser Zeit bei $F P$ einströmt, ist gleich den Flächen $t s q r$ plus $n m k l$, weniger $p q o n$, wenn jede mit den ihrer Lage entsprechenden Strombreiten multiplicirt wird. Die Welle von doppelter Größe würde unter denselben Umständen, in derselben Zeit, aus der Lage $i v e b$ in die Lage $h f c a$ übergehen, und das Wasserquantum, welches des Steigens von i nach h bei $F P$ durchflösse, würde ausgedrückt sein, durch Fläche $i h g v$ plus Fläche $d c a b$ weniger Fläche $f g e d$, wenn jede noch mit den ihrer Lage zukommenden Strombreiten multiplicirt wird. Diese letztere Summe überwiegt aber wiederum die erstere um mehr als das Doppelte, weil nicht allein die Fluthgröße verdoppelt, sondern gleichzeitig die Geschwindigkeit des Fortschreitens vergrößert gedacht werden muß.

Die Annahme der Verdoppelung der Fluthgröße an der Mündung, ist aber nur zur größeren Bequemlichkeit bei der Herleitung gewählt, und man sieht leicht, daß dieselben Schlüsse gültig bleiben, wenn an irgend einer Stelle des Flusses eine dauernde Aenderung mit der Fluthgröße vorgeht; allemal wird, die übrigen Verhältnisse gleich bleibend gedacht, wenn die Fluthgröße einer bestimmten Stelle um $\frac{1}{n}$ ihres früheren Werthes zu- oder abnimmt, die an dieser Stelle durchfließende Wassermenge im stärkeren Verhältniß als $\frac{1}{n}$ zu- oder abnehmen, und dasselbe, oder ein noch stärkeres Verhältniß wird in den oberhalb dieser Stelle belegenen Parthien des Fluthgebietes, in Bezug auf die Wassermenge hervor gebracht werden.

Hierbei ist aber wohl zu beachten, daß nur von dem eingeströmten Fluthwasser, oder dem zurückgestauten Oberwasser die Rede ist, nicht aber von dem stets in demselben Maaße zufließenden Oberwasser, dessen Quantität begrifflich von der Größe der Fluthwelle unabhängig ist. Man darf daher aus dem vorstehenden Satz z. B. nicht folgern, daß in einem Strom, welcher beispielsweise 30,000 Cubicfuß Oberwasser per Secunde abführt, in dem Theil des Fluthgebietes, wo die Fluthgröße noch 2 Fuß beträgt, die abgeführte Wassermasse auf mehr als das Doppelte, also auf mehr als 60,000 Cubicfuß per Secunde gesteigert würde, wenn die Fluthgröße auf 4 Fuß sich vermehrte; sondern der Satz besagt, daß wenn bei 2 Fuß Fluthgröße, während der Fluth in jeder Secunde 1000 Cubicfuß Wasser aufwärts, bei der Ebbe 35,000 Cubicfuß abwärts fließen, so werden bei 4 Fuß Fluthgröße, beträchtlich mehr als 2000 Cubicfuß Wasser aufwärts, und beträchtlich mehr als 40,000 Cubicfuß abwärts fließen.

Ist eine solche Vergrößerung der Fluthgröße, und damit eine Vergrößerung der durchfließenden Wassermenge, an irgend einem Punkt eines Flusses erreicht, so ist dies auf die Gefällverhältnisse und die Größe der Stromprofile vom entschiedensten Einfluß. Gefälle, Profilform, Profilgröße, und Wassermenge eines Stromes, sind von einander abhängige Größen, und die Aenderung einer derselben, bringt nothwendige Aenderungen im Zustande der anderen hervor; und im Allgemeinen hat eine Vermehrung der Wassermenge, eine Vergrößerung sowohl des Gefälles als der Profile zur Folge. In solchen Stromparthien, deren Untergrund fest und durch die Strömung unangreifbar ist, steigt der Wasserspiegel, bei Vermehrung des Wasserquantums, zu größerer Höhe an, und es stellt sich eine stärkere Geschwindigkeit in den Profilen dar. In sandführenden Strömen aber, wo die Höhe des Grundes und die Breite des Flußbettes veränderbar sind, und sich den jedesmaligen Verhältnissen des Wasserquantums und der Gefälle anschließen, wird das Flußbett selbst einer Aenderung unterworfen, wenn die Wassermenge verändert wird. Das stärkere Gefälle, und die damit verbundene Vermehrung der Geschwindigkeit, wirkt so lange vergrößernd auf die Profile, bis die Geschwindigkeit der Strömung und die Nachgiebigkeit des Grundes in einen neuen Zustand des Gleichgewichtes gekommen sind. Wenn man bei dieser Vergrößerung der Profile dafür sorgt, das die Ufer nicht angegriffen werden können, so ist der Erfolg lediglich eine Vertiefung. Umgekehrt werden die Tiefen abnehmen, wenn die Fluthgröße sich verkleinert.

Es geht schon hieraus hervor, wie wesentlich für Stromcorrectionen im Fluthgebiet eine Vermehrung des Fluthwassers ist; ehe wir aber die Mittel aufsuchen, durch welche diese hervor gebracht werden kann, ist es zweckmäßig die Größe des durchfließenden Wasserquantums, in jedem Stadium der Fluth und Ebbe, noch etwas näher zu betrachten, und auf Zahlen zurück zu führen. Hierzu verhilft der folgende Satz.

Die Wassermenge, welche in der Zeiteinheit durch ein bestimmtes Profil im Fluthgebiet fließt, ist abhängig von der Größe der Oberfläche der oberhalb dieses Profils gelegenen Parthie des Fluthgebietes, von der Größe der Hebung oder Senkung des Wasserspiegels an allen Punkten dieser Stromparthie während der Zeiteinheit, und von der Quantität des oberen Zuflusses. Sind diese Daten für irgend ein Zeitmoment bekannt, so kann die durchfließende Wassermenge daraus mit Sicherheit gefolgert werden.

Der Satz begründet sich darauf, daß die abfließende Wassermenge M , aus einem Recipienten von bekannter Oberfläche A , in welchem ein constanter und bekannter Zufluß C statt hat, und bei dem die Hebung, $-d$, oder die Senkung, $+d$, des Wasserspiegels ebenfalls bekannt ist, sich ausdrückt durch $M = \pm d A + C$. Sind solcher Recipienten von den Oberflächen A, A_1, A_2, \dots mehrere hinter einander, hat in dem ersten ein constanter Zufluß C statt, wird durch irgend einen Umstand, z. B. durch die verschiedene Größe der Abflußöffnungen, der Wasserspiegel in einigen gehoben, in anderen gesenkt, und ist das Maaß dieser Schwankung des Wasserspiegels während der Zeiteinheit durch d, d_1, d_2, \dots bezeichnet, negativ als Hebung, positiv als Senkung, so ist der Abfluß aus dem letzten Recipienten ausgedrückt durch $M = \pm d, A, \pm d_1, A_1 + \dots + C$. Als eine Anzahl solcher hinter einander liegenden Recipienten ist aber jede beliebige Parthie des Fluthgebietes, von der Fluthgrenze abwärts, zu betrachten. Die Fluthwelle bringt darin Schwankungen hervor, deren Größe an einer Anzahl aufgestellter Pegel in gleichen Zeitintervallen, an allen Pegeln gleichzeitig, beobachtet werden kann, und wenn diese Pegel nahe genug stehen, so darf in der praxis das an denselben beobachtete Maaß der Hebung und Senkung, für dasjenige der ganzen Stromstrecke, in welcher sie aufgestellt sind, genommen werden. Die Oberfläche jeder Stromparthie wird durch direkte Messungen bekannt, und die Größe des oberen Zuflusses ist ebenfalls durch direkte Geschwindigkeitsmessungen bestimmbar.

Mittelst dieses Satzes bestimmte zuerst Herr Wasserbau-Director HÜBBE, im Jahre 1841, die durchfließende Wassermenge in einem Profil der Unterelbe (veröffentlicht in den „Einige Wasserstands-Beobachtungen im Fluthgebiete des Elbstromes“). Später ist dieselbe Methode, welche einer großen Schärfe fähig ist, bei hydrotechnischen Fragen, bei denen die Wassermenge in Betracht kam, im Fluthgebiet der Elbe mehrmals mit Vortheil angewandt.

Wird durch $\Sigma d' A'$ die Summe aller positiven Summanden bezeichnet, durch $\Sigma d'' A''$ die Summe aller negativen Summanden, so ist die durchfließende Wassermenge M ausgedrückt durch $M = \Sigma d' A' - \Sigma d'' A'' + C$, und in dem Profil herrscht *Ebbestrom*, kein Strom, oder *Fluthstrom*, je nachdem $\Sigma d' A' + C \gtrless \Sigma d'' A''$ ist. Die mittlere Geschwindigkeit im Profil aber wird gefunden, wenn die Größe des Querschnitts für den bestimmten Zeitmoment q genannt wird, aus der Gleichung $v = \frac{M}{q}$.

Der Ausdruck für die durch ein bestimmtes Profil fließende Wassermenge, läßt sich auch noch ganz allgemein so ausdrücken: $M = \Sigma b d + C$, wo b jede der um die Längeneinheit von einander entfernten Breiten des Stromes im Fluthgebiet, von dem bestimmten Profil bis zur Grenze des Fluthgebiets, bezeichnet, d die zu jeder dieser Breiten gehörige Depression des Wasserspiegels, negativ als Hebung, positiv als Senkung, C den constanten oberen Zufluß; Alles ausgedrückt für den Zeitmoment für den die Bestimmung gelten soll, und für die Zeiteinheit. Es mag hierbei bemerkt werden, daß für jeden anderen Zeitmoment nicht allein die Depression eine andere wird, sondern daß sich auch die Werthe von b ändern, da in demselben Profil, bei verschiedenen Wasserständen, auch die Breiten verschieden sind.

Wenn man neben dem letzten Ausdruck das früher über die Bewegung der Fluthwelle Gesagte berücksichtigt, so läßt derselben erkennen, daß die durchfließende Wassermenge *vermehrt* werden kann, wenn man die oberen Strombreiten vergrößert, dabei aber so zu Werke geht, daß die Depressionen in ihrer Größe erhalten, oder ebenfalls vergrößert werden, d. h. daß gleichzeitig die Fluthwelle in ihrer Entwicklung keine Aenderung erleidet, oder andernfalls in der Entwicklung gefördert wird. Oder, um einen concreten Fall anzuführen, wenn oberhalb eines bestimmten Profils der Strom sich plötzlich verengt, und in bedeutender Strecke, oder bis zur Grenze des Fluthgebietes eng bleibt, so läßt sich die durch dies Profil strömende Wassermenge dadurch vermehren, das man den Strom bis zur Grenze des Fluthgebietes *verbreitert*. Sorgt man dafür, daß die Strombreiten nach oben regelmäßig abnehmen, und schafft man in dem verbreiterten Theil zugleich Tiefe, so daß der Fluthwelle bei ihrer Bewegung möglichst wenig Hindernisse entgegen treten, so kann durch solche Operation die Wassermenge in hohem Maaße vermehrt werden. Denn einmal wächst die Wassermenge im Verhältniß der neuen Breiten zu den alten, durch diese größere Wassermenge aber werden die unterhalb gelegenen Profile vergrößert, und dies wirkt wieder auf eine leichtere Entwicklung der Fluthwelle, so daß auch d zugleich mit b wächst.

Diese Methode der Verbesserung kommt in großen Strömen wohl nie zur Anwendung, denn einerseits sind dort die natürlichen Strombreiten im Fluthgebiet im Allgemeinen schon übermäßig groß, andererseits würden die Kosten einer solchen Operation unerschwinglich sein; nichts desto weniger kann sie in beschränkten Localitäten zum Ziel führen, und es wird gerade jetzt auf der Clyde eine solche Verbreiterung ausgeführt, die dem Zwecke vollkommen entspricht. Die specielleren Angaben darüber sollen später, bei näherer Betrachtung dieses Flusses gemacht werden.

Ein viel gewöhnlicherer Fall ist der, daß das Strombett ganz, oder in einzelnen Parthien verwildert ist, daß der Strom große Breiten angenommen hat, und in mehrere Arme zerspalten, zwischen Inseln und Sandbänken hinfließt.

Im Fluthgebiet ist die Tendenz mehrere in derselben Richtung laufende Stromrinnen auszubilden, sobald der Strom eine übermäßige Breite angenommen hat, in noch viel höherem Grade vorhanden als im oberen Theil der Ströme. Hier wie dort führt bei einem niedrigen Wasserstande vorzugsweise die eine, bei einem höheren Wasserstande eine andere Rinne die Hauptmasse des Wassers ab, und je nachdem im oberen Strom der eine oder der andere Wasserstand statt hat, bildet sich zeitweilig die eine oder die andere Rinne vorzugsweise aus. Im Fluthgebiet ist nicht allein der Wasserstand und das Gefälle in jedem Augenblick veränderlich, sondern auch die Richtung der Strömung ist einem periodischen Wechsel unterworfen, und hierin liegt ein neuer Grund für die Bildung mehrerer Stromrinnen neben einander.

Während das Wasser bei der Ebbe, kurz nach Hochwasser, vorzugsweise durch eine dieser Rinnen fließt, wird es durch die zwischenliegenden Sände, oder durch geringe Gefällunterschiede, in einem späteren Stadium der Ebbe in einen anderen Schlauch gewiesen, und während es hier das Bett ausfurcht, stellt sich in einem noch anderen Schlauch schon der Fluthstrom ein, welcher das mitgeführte Material nun wieder vorzugsweise in den der Ebbeströmung hauptsächlich ausgesetzten Rinnen ablagert. So wird in jeder Tide der Reihe nach jede der Rinnen zum Hauptstromschlauch, ihr Grund wird während dieser Zeit angegriffen, und ihr Zustand würde sich verbessern, wenn nicht schon nach einigen Stunden ihr günstiges Verhältniß zur Hauptströmung aufhörte, und dieses auf eine andere Rinne übertragen würde.

Durch diese fortwährend sich ändernden Verhältnisse der Strömung wird es auch erklärlich, daß im Fluthgebiet die Form des Grundes, wenn nicht künstlich durch Bauten, durch Baggerei oder andere Mittel auf denselben eingewirkt wird, sich nur höchst langsam ändert, und daß sich dieselben Formen der Sände und Kolke, wiewohl an einer anderen Stelle, noch nach Jahren wiederfinden.

Auch im oberen Strom bildet sich das Flußbett bei anhaltend constantem Wasserstande, den Gefällverhältnissen, der Wassermasse, und der Stromrichtung entsprechend, in einer bestimmten Weise aus; bei anhaltend höherem oder niedrigerem Wasserstande wird diese Form des Flußbettes aber wieder zerstört, und in eine neue umgebildet. Im Fluthgebiet, wo die Dauer jedes Wasserstandes nur momentan ist, und dieselben Stände sich nahezu unter denselben Verhältnissen binnen Kurzem wiederholen, kann das bewegte Wasser bei keinem dieser Stände beträchtlich nach einer bestimmten Richtung an der Form des einzelnen Sandfeldes oder Kolkes modeln, und das Resultat aller Strömungen ist daher vorzugsweise eine Verschiebung der Formen des Bettes, in der Richtung der überwiegenden Strömung, also im Allgemeinen der Ebbeströmung. Herr Wasserbau-Director HÜBBE, hat vor einigen Jahren die Verschiebung der Form der Sände an einigen Beispielen nachgewiesen. (Abgedruckt in den „Neuen Hamburgischen Blättern. 1848. No 10.“)

Sobald die Regelmäßigkeit der Fluthentwicklung unterbrochen wird, sei es durch Eisgang, oder durch eine Sturmperiode, so werden größere oder geringere Aenderungen der Form des Bettes auch im Fluthgebiet wahrgenommen, und selbst eine einzelne große Sturmfluth ist fähig, erhebliche Formänderungen des Bettes hervorzubringen, oder wenigstens einzuleiten.

Das nächstliegende Mittel zur Verbesserung solcher verwilderter Stromstrecken besteht darin, daß man die übermäßigen Breiten beschränkt, so daß der Strom in Einem Schlauch zusammen gehalten, gezwungen ist, diesen zu vertiefen. Dieses Mittel ist, soviel mir bekannt, zuerst von John GOLBORNE im Jahre 1768 für die Clyde vorgeschlagen, und einige Jahre später mit entschiedenem Erfolge zur Ausführung gebracht.

Sobald durch Einbauten die Breiten des Stromes beschränkt und regelmäßig gestaltet, die

Ufer gegen Abbruch geschützt, und die Nebenrinnen geschlossen werden, greift der Strom, welcher nun zu allen Zeiten der Fluth und Ebbe denselben Lauf verfolgen muß, den Grund an. Die Rücken, welche bisher den Abfluß des Wassers, besonders im letzten Stadium der Ebbe hemmten, werden beseitigt, und in Folge davon gestalten sich die Gefällverhältnisse gleichmäßiger in der ganzen Strecke, und es senkt sich der Niedrigwasserspiegel in der regulirten, und der nächst oberhalb gelegenen Stromparthie. Die Fluthwelle findet jetzt statt einer Anzahl Rinnen, in denen tiefe Kolke mit höheren Sandrücken abwechseln, einen Schlauch von regelmäßigerer Tiefe, in welchem der Bewegung der Wassermasse weniger Hindernisse entgegen treten, und sie entwickelt sich in freierem Schwunge namentlich dann, wenn erst die zwischen den Regulirungswerken eingeschlossenen Flächen in festes Ufer umgewandelt sind. Die Fluthwelle bewegt sich aber nicht allein schnell stromaufwärts, sondern ihre Größe wächst auch, weil der Spiegel des Niedrigwassers oberhalb gesenkt ist, und sie kann noch eine ferne Vergrößerung dadurch erleiden, daß ihr Scheitel zu größerer Höhe aufsteigt. Die Grenze des Fluthgebietes wird weiter stromaufwärts gerückt, und das durch diesen und die übrigen Umstände gewonnene Fluthwasser, wirkt fernerhin vertiefend auf die regulirte Stromstrecke, und auf die oberhalb dieser gelegenen Parthien ein.

Alle diese einander bedingenden Wirkungen sind eine nothwendige Folge der Regulirung und müssen eintreten; das Maaß derselben aber ist, abgesehen von der Beschaffenheit des Grundes, abhängig von der Größe der Breite bis zu welcher der Strom eingeschränkt ist, und es kann sehr verschieden ausfallen, je nachdem diese mehr oder minder richtig gewählt ist.

Betrachten wir den Ausdruck für die Wassermenge des unteren Profils, bis zu welchem die Regulirung ausgeführt ist, und welches wir als regelmäßig ansehen, so zeigt sich, daß die Wassermenge nur dann ihr früheres Maaß beibehält, wenn der Ausdruck $\Sigma b d$ nach der Regulirung, in jedem Stadium der Fluth und Ebbe, seine frühere Größe beibehält. Wird die Fluthentwicklung in Folge der Bauten nicht um so viel verstärkt, daß diese Summe nach der Regulirung mindestens eben so groß ist als sie es vor der Regulirung war, so ist eine Abnahme der Wassermenge in der nächst unterhalb gelegenen Stromstrecke die nächste Folge. Eine Abnahme der Wassermenge zieht aber nothwendig eine Abnahme der Profilvergröße, also wenn die Breite ungeändert ist, eine Abnahme der Tiefe nach sich, demnach eine Verschlechterung der Stromparthie unterhalb der regulirten, und diese Abnahme findet statt, während in der regulirten Strecke Tiefen und Fluthgröße im Wachsen, diese also in doppelter Beziehung in der Verbesserung begriffen ist. Sobald die Tiefen in der unteren Parthie aber abnehmen, treten hier der Fluthwelle größere Hindernisse entgegen, und hemmen diese in ihrer freien Entwicklung; sie kann sich daher nicht mehr so kräftig nach oben ausdehnen, und da dies sich alsbald in der Abnahme der Wassermenge oberhalb fühlbar macht, so verschlechtern sich auch dort wieder die Tiefen und der Strom geht, nachdem er eine zeitlang in einem anscheinend bedeutend verbesserten Zustande sich befand, langsam aber sicher einen Zustand entgegen, der ihn in Rücksicht der Schiffbarkeit, schlechter erscheinen läßt, als dies vor der Regulirung der Fall war, indem sich Untiefen wie früher, vielleicht noch schlimmere, auch weiter stromabwärts zeigen werden. Wollte man weiter abwärts nun ebenfalls die Breiten übermäßig einschränken, so würde dadurch wiederum nur eine zeitweilige Verbesserung erreicht werden, und man wäre später genöthigt immer weiter stromab zu bauen, bis sich endlich die Barrengegend so weit ausgedehnt hätte, daß man kein Mittel zur ferneren Beseitigung fände.

Durch künstliche Aufräumung im unteren Theile des Stromes kann den schädlichen Wirkungen, welche die Abnahme der Wassermenge hervorbringt, allerdings vorgebeugt, und der Strom in dem verbesserten Zustande erhalten werden; von solchen Mitteln ist hier aber die

Rede nicht, sondern es ist nur versucht worden, den Gang der Natur zu schildern, den sie einschlägt, um den Strom ohne fremde Beihülfe auf den Gleichgewichtszustand zurück zu führen, wenn derselbe durch falsch angeordnete Bauten in Grenzen gezwungen ist, die seinen Verhältnissen nicht entsprechen. Es wird aber hoffentlich hierdurch gelungen sein, es klar zu machen, worauf das Streben bei Stromcorrectionen im Fluthgebiet gerichtet sein muß. Die Bedingungen, welche erfüllt sein müssen, wenn von der Correction eine nachhaltige Wirkung erwartet werden soll, sind: Die Regelung der Breiten in den verwilderten Stromstrecken, wobei dieselben so fest zu stellen sind, daß nicht allein in den verwilderten Parthien die möglichst größte Tiefe hervorgebracht werde, sondern daß auch ferner, das durch die nächst unterhalb der zu corrigenden Stromstrecke belegenen Profile durchfließende Wasserquantum, ein Maximum werde, und mindestens nach der Correction dasselbe Maaß beibehalte, welches es vor der Correction hatte.

Ist die Bestimmung der Normal-Breite schon für Correctionen in den oberen Stromgegenden die schwierigste der dabei vorkommenden Fragen, so wird sie es in noch viel höherem Grade, wenn es sich darum handelt, die Breiten im Fluthgebiet festzustellen. Die Wissenschaft ist weit von dem Punkte entfernt, daß durch sie diese Frage mit einiger Sicherheit *allem ein* gelöst werden könnte, und man sieht sich in jedem besonderen Falle auf das Studium der obwaltenden Verhältnisse hingewiesen; dieses allein kann vor groben Irrthümern schützen. Das Studium der Fluthverhältnisse, also hauptsächlich der Größe der Fluthen unter den verschiedenen Umständen, das Ansteigen des Scheitels und der Fußpunkte der Fluthwelle, das Gesetz des Steigens und Fallens des Wassers, d. h. die Form der Fluthcurven an einer Anzahl verschiedener Punkte des Stromes, die Größe des Gefälles an allen Punkten und zu allen Zeiten der Fluth und Ebbe; dann aber auch die Größe der Wassermenge, die Lage der verschiedenen Stromrinnen, die Tiefen, und die Aenderungen denen dieselben im Laufe der Zeit unterworfen gewesen, das sind die hauptsächlichsten Punkte, auf welche es ankommt; das Studium derselben setzt uns in den Stand zu beurtheilen, welcher Verbesserung diese Größe fähig sind, und erlaubt einen Schluß auf die zukünftig zu erwartende Wassermenge, die Gefälle und die Tiefen.

Die Bestimmung der Breite erfordert natürlich mehr Ueberlegung für diejenigen Stromstrecken in denen das Fluthwasser überwiegt, als in der Nähe der Grenze des Fluthgebietes, wo das Oberwasser dominirt, und das Fluthwasser nur als eine größere oder geringere Vermehrung desselben zu betrachten ist. Man pflegt daher auch die oberen Parthien des Fluthgebietes ganz wie den oberen Strom zu bearbeiten, und ihn, hinsichtlich der technischen Behandlung, erst da als Tidestrom anzusehen, wo die Masse des Fluthwassers sich geltend macht, und wo, wenigstens bei niedrigem Stande des Oberwassers, auch der *Fluthstrom* auftritt. Die weiter unterhalb gelegenen Parthien sind es aber auch im Allgemeinen, welche vorzugsweise der Verbesserung bedürfen; einmal weil dem Strom hier mehr Gelegenheit gegeben ist sich auszubreiten, und die Bildung von Inseln und Nebenrinnen erleichtert wird, dann aber auch, weil man an diese Stromparthien höhere Ansprüche wegen der *Schiffahrt* zu machen pflegt.

In vielen Fällen ist man in der Beschränkung der Breite zu weit gegangen, und es haben sich dann die vorerwähnten schädlichen Erfolge in der nächst unterhalb belegenen Stromstrecke gezeigt. Dies ist der Grund, daß einige englische Techniker, Correctionen im Fluthgebiet überhaupt als unzulässig dargestellt und angerathen haben, nur die Ufer zu schützen, und durch *Baggerei* die erforderliche Tiefe herzustellen.

Die *Baggerei* ist auch in weiteren Kreisen, kurz nach Einführung der Dampfkraft auf den *Baggern*, als das allein Heil bringende Mittel längere Zeit betrachtet worden, und namentlich in denjenigen Ländern, in welchen Nichttechniker auf den Gang der Arbeiten Einfluß übten,

hauptsächlich in England, in ausgedehntem Maße angewendet worden. Die Zuversicht, welche der Laie auf die Baggerei setzt, ist ganz erklärlich, wenn man bedenkt, daß die Bagger fast ausschließlich auf den der Schifffahrt hinderlichsten Untiefen arbeiten, und jeder gefüllte Baggereimer direct beiträgt, diese Hindernisse aus dem Wege zu räumen; daß das durch einen Bagger geförderte Material bedeutend ist, und erst dann als unbedeutend erscheint, wenn man es mit den ungeheuren Waffen von Sinkstoffen vergleicht, welche durch die Ströme bewegt werden, eine Vergleichung, zu welcher der Laie meistens nicht geneigt ist; daß bisweilen Verbesserungen in solchen Localitäten hervorgebracht sind, wo das Strombett nicht aus Sand, sondern aus Materialien bestand, die dem Stromangriff widerstehen; daß endlich da, wo die Baggereien in Verbindung mit stromleitenden Werken zur Anwendung gebracht ist, vornehmlich ihr der Erfolg zugeschrieben zu werden pflegt.

Geht man auf die Ursachen der Ablagerungen in sandführenden Strömen zurück, so sieht man leicht, daß diese nicht dadurch aufgehoben werden können, daß an einzelnen Stellen des Flußbettes isolirte Rücken aufgeräumt werden, daß die Tendenz des Stromes, vorzugsweise an diesen Stellen Bänke zu bilden, durch die Aufräumung nicht beeinträchtigt, daß im Gegentheil der Strom von Neuem disponirt sein wird, so lange an der vertieften Stelle Material aufzuhäufen, bis der frühere Zustand, den man unter den obwaltenden Verhältnissen als den Gleichgewichtszustand zwischen der Stromkraft und der Ausdehnung der Sandbänke betrachten muß, wieder hergestellt ist. Dieser Erfolg tritt in der That allemal ein, wenn die künstliche Einwirkung auf das Strombett aufhört, wiewohl die Zeit, welche zur vollständigen Herstellung der früheren Zustände nöthig ist, wesentlich abhängt, von dem größeren oder geringeren Umfange, welche den Baggeroperationen gegeben wird. Die größeren Tiefen pflegen dabei rasch abzunehmen, während ein Rest der Baggerrinne sich gemeinlich längere Zeit erhält. Auch pflegt im Fluthgebiet der Ströme der Stromschlauch, welcher zur Barre führt, sich oberhalb zu verbreitern und zu vertiefen, wenn auf der Barre beträchtliche Baggeroperationen vorgenommen sind; man darf aber aus diesem Umstande keine Hoffnung für das Verschwinden der Barre schöpfen. Die Verbesserung des Stromschlauches hat ihren Grund allein darin, daß der Strom Sand gebraucht, um die Barre wieder zu erhöhen, und diesen Sand entnimmt er vorläufig aus dem tiefen Stromschlauch und von der denselben begrenzenden Sänden, wo derselbe durch den aus den oberen Stromparthien regelmäßig nachrückenden Sandmassen ersetzt wird, obwohl etwas langsamer, als er den der Barre entzogenen Sand ergänzt. Bei fortgesetzter Baggerei verändert auch wohl die Barre langsam, durch allmähliges Seitwärtschieben, oder plötzlich ihre Lage, und man hat an alsdann immer neuen Stellen den Sand fortzuschaffen.

Da nach Beseitigung der bekanntesten Schifffahrts-Hindernisse einer Stromstrecke immer andere und andere etwas tiefer liegende, früher nicht beachtete Untiefen als Hindernisse auftreten, und aufgeräumt werden müssen; so erreicht man sehr bald eine Grenze, über die bei einer bestimmten, fortdauernd thätigen Baggerkraft, die schiffbare Tiefe nicht getrieben werden kann, für welche die Kraft der Bagger, mit der Menge des vom Strom abgelagerten Materials ein Gleichgewicht ist. Durch Vermehrung der Baggerkraft kann diese Grenze erweitert werden, es nimmt aber ersichtlich die von Neuem gewonnene Tiefe, im Vergleich zur Vermehrung der Baggerkraft, in sehr schwachem Verhältnisse zu, da nicht allein die Länge der auszutiefenden Sände, sondern auch deren Anzahl mit der größeren Tiefe wächst, und überdem das Material zu größerer Höhe gefördert werden muß. Man sieht sich daher, selbst wenn bedeutende Geldmittel zu Gebote stehen, bald an der Grenze der Verbesserung, die nicht überschritten, sondern bei stets ausdauernder Arbeit nur erhalten werden kann. Diese Umstände haben factisch die Unzulänglichkeit des oft vorgeschlagenen Mittels der Baggerei bewiesen, und die früher gehegten Hoffnungen niedergeschlagen, durch ausgedehnte Anwen-

ding desselben, zu dauernder Verbesserung zu gelangen. Daß die oben angeführten Erfolge bei breiten, in mehrere Rinnen zerspaltenen Strömen eintreten mußten, konnte leicht vorher gesehen werden; mir ist aber auch kein Fall bekannt geworden, wo in kleineren Tideflüssen Baggereien allein, ohne daß gleichzeitig stromleitende Werke angelegt wären, dauernden Erfolg gehabt hätten; daß die Bewegung der Fluthwelle dadurch befördert und eine verstärkte Spühlkraft durch den Strom erreicht wäre.

Der oft ausgesprochene Satz, daß die Baggerei einzig die Wirkungen angreift, ohne die Ursachen der Barrenbildung zu heben, worauf doch jede vernünftige Stromcorrection in erster Linie hinstreben muß, ist jetzt ziemlich allgemein von den Hydrotechnikern anerkannt. Die Baggerei darf daher nicht neben den Mitteln zur Stromcorrection aufgeführt werden, sondern sie findet ihre Stelle bei denjenigen Arbeiten, welche man zur rascheren *Ausbildung* des durch Bauwerke geregelten Stromlaufes vornimmt. Hier kann sie als secundäres Hülfsmittel von großem Nutzen sein, und wir werden in der Folge darauf zurückkommen. Kehren wir nach dieser Abschweifung zu der Aufgabe zurück, die Mittel zu Stromcorrectionen aufzusuchen.

Bei den besonderen Schwierigkeiten der Aufgabe, die Strombreiten so zu bestimmen, daß der unteren Stromstrecke ihr Wasserquantum erhalten, und gleichzeitig der größtmögliche Effect in der corrigirten Strecke hervorgebracht werde, ist man auf andere Mittel bedacht gewesen, die Aufgabe zu lösen, von denen das folgende jetzt vielfach in Anwendung gebracht wird. Es besteht darin, daß man in der zu corrigirenden Strecke, die Strombahn in regelmäßiger Breite durch *parallele Dämme* einfaßt, diese Dämme mit ihrem oberen Ende an das Ufer anschließt, die sich dadurch seitlich von der Strombahn bildenden Bassins aber nach unten offen läßt, die Aufschlickung in ihnen in keiner Weise befördert, sondern sie als *Spülbassins* für die unteren Stromstrecken betrachtet.

Es ist klar, daß auf diese Weise, so lange die Bassins nicht aufgeschlickt sind, der unteren Stromparthien ihr Wasserquantum erhalten wird, ja daß es noch beträchtlich vermehrt werden kann, indem die Tiefen in dem eingeschränkten Theil des Stomes sich vergrößern, die Gefälle sich regeln, und dadurch der Fluthwelle eine freiere Entwicklung gestattet wird.

Die *Geschwindigkeit* mit der die Seitenbassins aufschlicken, ist abhängig von der Menge der Sinkstoffe mit denen das Fluthwasser beladen ist, und es läßt sich wenig allgemein Gültiges darüber sagen. Wo das Fluthwasser stark getrübt ist, namentlich da, wo die Ufer der Küste und des unteren Stromes aus leicht angreifbarem Material bestehen, welches vom Wasser theils aufgelöst, theils klein zertheilt in Suspension gehalten wird, wie Kalkstein, Kreide etc. schreitet die Verlandung bisweilen auffallend rasch fort, z. B. an der unteren Seine, wie wir später sehen werden; in anderen Localitäten wieder sehr langsam. In den oberen Parthien des Fluthgebietes, wo der Fluthstrom nicht stark ist, geht die Verlandung der abgeschlossenen Stromarme und seitlichen Bassins, wenn sie so belegen sind, daß sie vom Oberwasser nicht durchströmt werden, im Allgemeinen, erfahrungsmäßig, sehr langsam von Statten, während die weiter stromabwärts belegenen rascher aufzuwachsen pflegen.

Ueber die *Höhe*, welche den Parallelwerken zu geben ist, sind die Meinungen sehr getheilt; manche Ingenieure in England und Frankreich wollen sie nahe zu bis zur Höhe der ordinären Fluth geführt sehen, anderen geben ihnen nur die Höhe der halben, oder gar nur den vierten Theil der Höhe der Fluth, noch andere endlich halten die Krone der Werke im oberen Theil des Fluthgebietes hoch, und senken sie, wie das Werk stromabwärts fortgeführt wird. Für die Ausbildung der neuen Strombahn ist es offenbar von großem Werth, wenn die Krone der Dämme hoch gehalten wird, da alsdann die Strömung zu allen Zeiten der Fluth und Ebbe gezwungen ist, auf die Vertiefung der Fahrbahn zu wirken; während man bei niedrigen Dämmen, nur für die Zeit wo ihre Kronen über Wasser sind, sicher ist, daß die volle

Stromkraft auf die Ausbildung der eingefassten Rinne verwendet wird. So lange die Dämme hoch überfluthet sind, ist die Hauptstromrichtung durch sie nur wenig gehindert, auch in die Seitenbassins über zu treten, und die alten, zum Theil tiefen Stromschläuche zu verfolgen. Auch auf die Entwicklung der Fluthwelle in der neuen Fahrbahn üben höhere Dämme einen besseren Einfluß als niedrige. Dennoch erscheint es unter Umständen zweckmäßig, sofern man in den Erfolgen sicher sein will, den Dämmen keine allzugroße Höhe zu geben, und lieber etwas an der Fahrtiefe einzubüßen und zwar wird man sich hierzu allemal entschließen müssen, wenn eine rasch fortschreitende Verlandung hinter den Dämmen zu erwarten steht. Werden die Sinkstoffe hauptsächlich durch das Oberwasser angeführt, und sind dieselben von der Beschaffenheit, daß sie bei kräftiger Strömung schwebend erhalten, oder über niedrige Gegenstände hinüber geschoben werden, so kann ein hoher Paralleldamm das Seitenbassin gegen das Eindringen der Sinkstoffe sehr sicher bewahren; bestehen dagegen in der zu regulirenden Stromstrecke die Sinkstoffe hauptsächlich aus Schlick, welcher vorzugsweise aus still stehendem Wasser niederschlägt, und ist überdem der Schlickfall bedeutend, so verkleinert sich bei höheren Dämmen das Fluthbassin rascher als bei niedrigen, und man muß darauf gefaßt sein, daß die Verlandungen mit der Zeit zur Höhe der Dämme anwachsen, in deren Schutz sie sich ablageren. In letzterem Falle sind daher niedrige Dämme vorzuziehen, weil sie den Ablagerungen einen geringern Schutz gewähren, und darauf zu rechnen und dahin zu streben ist, daß diese die Höhe der Dämme nicht überschreiten. Auf einer niedrigen Ablagerung, welche täglich lange mit Wasser bedeckt ist, kann der Pflanzenwuchs, welcher das rasche Fortschreiten der Verlandung so außerordentlich befördert, nicht aufkommen, besonders da nicht, wo das Wasser salzig ist, und es muß demselben, wo er sich zeigt, entgegen gewirkt werden.

Die Methode die Dämme im oberen Theil des Fluthgebietes hoch zu halten, und ihre Krone stromabwärts zu senken, scheint den verschiedenen Ansprüchen aus folgenden Gründen am vollständigsten zu entsprechen. Die Fluthwelle wird sich kräftiger in der regelmäßig beschränkten Fahrbahn entwickeln, als in den Seitenbassins, sie wird also dort auch rascher fortschreiten als hier und ein bestimmter Punkt des vorderen Abhanges der Fluthwelle, welche sich in der Fahrbahn bewegt, wird daher das obere Ende der Dämme eher erreichen, als der entsprechende Punkt derjenigen Welle, welche in dem Seitenbassin aufläuft; bei niedrigen Dämmen findet daher in den oberen Parthien der corrigirten Stromstrecke ein Uebersturz nach den Seitenbassins statt, welcher durch höhere Dämme vermieden wird. In den unteren Theilen der corrigirten Stromstrecken geht die Entwicklung der Fluth zu beiden Seiten des Dammes gleichmäßiger von Statten, weshalb ein Uebersturz hier weniger zu befürchten ist. Ferner nimmt die Fluthgröße im Allgemeinen nach oben ab, und auch die Breite des Stromes pflegt im unteren Theil größer zu sein, als im oberen; es ist daher der größte Wasserverlust durch die Verlandung der unteren Parthien zu besorgen.

Sind die Bassins bei Dämmen von abnehmender Höhe endlich bis zur vollen Höhe der Dämme verlandet, so kann das durch die unterhalb belegene Stromstrecke fließende Wasserquantum immer noch dieselbe Größe haben als vor der Correction; ja, wenn die Fluthentwicklung durch die Corrections-Arbeiten bedeutend gekräftigt ist, so kann das Wasserquantum selbst größer sein, als es vorher war. Denn wenn wir die Höhe der Dämme zu ein Viertel der Fluthhöhe annehmen, so wird die seitlich belegene Fläche bis zur Höhe von drei Viertel der Fluthgröße mit Wasser bedeckt; weiter aufwärts, wo die Dämme halbe Fluthhöhe haben, bleibt für die Seitenflächen eine Wasserhöhe von der halben Fluthgröße u.s.w. Bedenkt man dabei, daß auch vor der Correction, das verwilderte Flußbett mit trocken laufenden Sänden angefüllt war, so erscheint der Wasserverlust unbedeutend, und er kann durch die größere Menge des in der Strombahn aufwärts geführten Wassers, mehr als ersetzt gedacht werden.

Es läßt sich nicht verkennen, daß diese Art die Corrections-Aufgabe zu behandeln, sich in mancher Beziehung sehr empfiehlt, und daß sie in solchen Fällen, wo die Einschränkungen sehr bedeutend sind, selbst hinsichtlich der ersten Anlagekosten, vor anderen Methoden den Vorzug verdient; nichts desto weniger hat auch sie ihre Schattenseiten, und diese können unter manchen Umständen Veranlassung werden, daß man sich nach anderen Mitteln für den vorliegenden Zweck umsieht.

Die Uebelstände bestehen hauptsächlich darin, daß die Paralleldämme dauernd dem Stromangriff ausgesetzt bleiben, und daß der Hauptstrom, so lange die Dämme unter Wasser sind, noch immer sich den früheren, tiefen Stromschläuchen in den Seitenbassins zuwenden kann.

Was den ersten Punkt betrifft, so haben die Parallelwerke im Fluthgebiet, und namentlich im unteren Theil desselben, wo das Oberwasser keinen merklichen Einfluß mehr äußert, freilich nicht in dem Grade durch den Uebersturz zu leiden, als am oberen Strom, wo ihr vollständiger Ruin durch diesen Uebersturz so häufig herbeiführt wird; der Angriff ist hier hauptsächlich gegen den Fuß der Werke gerichtet, und man hat sie daher außer gegen die Auskolkungen, welche durch den Uebersturz hervorgebracht werden, noch besonders gegen den directen Stromangriff zu bewahren. Es versteht sich von selbst, daß eine Senkung, selbst eine ungleichmäßige Senkung, den Dämmen nicht schadet, denn da ihre Wirkung darin besteht, daß der Strom zwischen ihnen den Grund vertieft, so muß natürlich auf ein Sinken der Dämme von vorne herein gerechnet, und die Construction dem entsprechend so gewählt werden, daß sich ihre Höhe leicht wieder herstellen läßt; aber es ist nicht allein diese allgemeine, die ganze Fahrbahn treffende Vertiefung, der die Werke zu widerstehen haben, sondern sie bleiben einzelnen Stromanfällen, die bald diese, bald jene Stelle des Werkes treffen, ausgesetzt. Auch nach Beendigung der Regulirung bildet der Strom sein seitlich regelmäßig beschränktes Bett, nicht völlig regelmäßig in der Tiefe aus, sondern er behält stets die Tendenz, die tiefe Stromrinne, das Fahrwasser, zu verlegen, und greift daher bald diese Stelle seiner Ufer, bald jene stärker an, woraus fortwährende Reparaturen an den Werken erwachsen. Wenn der Stromangriff sich gegen bestimmte Punkte des Werkes wendet, so kann es sehr kostspielig werden, das Werk zu halten; halten aber muß man es unter allen Umständen, da der Strom, wenn der Durchbruch einmal erfolgt wäre, leicht einen Arm der Seitenbassins zum Hauptstrom umbilden könnte. Als Beispiel, wie rasch Stromangriffe unter begünstigenden Umständen auch im Fluthgebiet um sich greifen, will ich nur folgenden Fall, den ich aus eigener Erfahrung kenne, anführen. In der Barrengegend der Unter-Elbe ist der Strom durch eine Reihe theils begrünter Inseln in zwei Hauptarme gespalten. Gegen eine dieser Inseln wandte sich vor einigen Jahren der Strom, durchbrach sie während des Winters, und im nächsten Frühjahr stellte sich in dem circa 1200 Fuß in der Niedrigwasserlinie breiten Durchriß, eine Tiefe von 12 Fuß bei Niedrigwasser her. Dasselbe aber würde sich bei einem Parallelwerk ereignet haben, und zwar noch viel rascher, da dessen Breite bedeutend geringer ist, als die Breite der Insel war, und nun sehr energische, rechtzeitig angewendete Mittel, hätten den Durchbruch verhindern können. Wäre baldige Verlandung hinter den Dämmen voraussichtlich, oder läge diese überhaupt in der Absicht, so könnte man sich auf einen solchen Kampf einlassen; da dies aber sehr häufig nicht der Fall ist, so geht man einen unabsehbaren Kampf mit der Natur ein, den man durch die Anlegung der Werke gerade vermeiden wollte.

Diese starken, nicht vorauszusehenden Stromangriffe treten indeß vorzugsweise bei großen Strömen auf, nicht weil die Strömung in diesen stärker ist, sondern weil deren Breite schon oberhalb des Fluthgebietes zur Abführung des Oberwassers bedeutend ist, und im Fluthgebiet naturgemäß noch beträchtlich vergrößert werden muß. Je breiter aber der

regulirte Strom ist, desto weniger darf man im Allgemeinen auf eine gleichmäßige Tiefe des ganzen Strombettes hoffen, während bei kleinen Flüssen, die Strombahn im Fluthgebiet so eingeschränkt werden kann, daß die Strömung gezwungen ist, sie in nahezu gleichmäßiger Tiefe zu erhalten. Für diese kleineren Flüsse eignet sich daher ganz besonders die beschriebene Methode, indem die Paralleldämme ihnen Gelegenheit geben, ihr Bett regelmäßig zu vertiefen. Wo man sie bei größeren Strömen anwendet, ist es zweckmäßig die Parallelwerke möglichst an die Inseln anzuschließen, und sie als den Uferschutz und die Verlängerung der Inseln nach unterhalb zu betrachten. Auch thut man gut die Inseln an das feste Ufer anzuschließen, und dadurch die seitlichen Bassins zu theilen. Man erreicht hierdurch den Vortheil, daß bei der Kleinheit der einzelnen Bassins, der Uebersturz über die Parallelwerke nie so heftig werden kann, als bei Einem großen Bassin von der Länge der ganzen zu corrigirenden Stromstrecke, weil die Differenz der Wasserstände bei einem kürzeren Damme, zu beiden Seiten desselben, weniger beträchtlich ist, als bei einem langen Damme; und man hat den weiteren Vortheil, daß das Spülwasser der Seitenbassins nicht allein der Stromparthie unterhalb der corrigirten, sondern auch dieser Parthie selbst zu Nutzen kommt, und auf deren Vertiefung einwirkt. Man wird ferner wohl thun die Werke in denjenigen Concaven, in welchen ein Stromangriff vorzugsweise zu besorgen ist, durch kurze Bühnenköpfe gegen Unterspülung zu schützen. Nimmt man auf einen solchen Schutz durch seitlich abgelegte Bühnen in der ganzen Länge des Werkes von vorne herein Rücksicht, so kann man auch in den größten Strömen die Parallelwerke vollkommen standfest machen; es möchte aber wegen der bedeutenden Anlagekosten diese Constructionsart nicht leicht gewählt werden.

Dem zweiten Nachtheil, welchen niedrige, nicht verlandete Parallelwerke haben, das Uebertreten der Hauptstromrichtung in die Stromrinnen der Seitenbassins, läßt sich nur durch niedrige Coupirungen dieser alten Stromarme begegnen. Führt man diese aus, so ist zugleich der Weg zu einer rascheren Verlandung angebahnt, welche die Werke selbst sicherer stellt, und einen Durchbruch derselben unschädlicher macht.

Durch die vorstehenden Betrachtungen sehen wir uns auch bei der Behandlung der Stromregulirung durch niedrige Parallelwerke wieder darauf zurückgeführt, daß im Allgemeinen schließlich auf die Verlandung der Seitenbassins Rücksicht genommen, und dieselbe in gewissem Maaße künstlich befördert werden muß, wenn die Werke vor Zerstörung bewahrt, und der Erfolg derselben sicher gestellt werden soll; und wer die Aufgabe in ihrer Totalität auffaßt, wird die Regulirung durch niedrige Parallelwerke erst dann als beendet betrachten, wenn die Verlandung soweit vorgeschritten ist, daß die Hauptströmung, bei überflutheten Dämmen, sich nicht mehr den Seitenbassins zuwendet.

Bisweilen ist die Offenhaltung einer oder mehrerer Stromrinnen eine Bedingung des Projectes, z. B. wenn an diesen Stromarmen Orte belegen sind, denen eine Wasserstraße erhalten werden muß, wenn die Entwässerung durch das Abschließen beeinträchtigt wird u.s.w.; in solchen Fällen ist man gezwungen, diesen Rücksichten Opfer zu bringen, selbst wenn dadurch die Werke einem dauernden Stromangriff ausgesetzt bleiben.

Durch Bühnen, welche man in Deutschland und Holland bei der Ausführung von Stromcorrectionen vorzugsweise anwendet, können dieselben Erfolge als durch Parallelwerke herbei geführt, und den unteren Stromparthien ihre Wassermenge erhalten werden, wenn man nur die Kronen der Bühnen niedrig hält, damit die Verlandungen ebenfalls niedrig bleiben, und kein Pflanzenwuchs sich auf ihnen bildet. Alsdann werden die seitlichen, überflutheten Flächen, ebenso zur Erhaltung des Wasserquantums beitragen als die Seitenbassins hinter den Paralleldämmen, und man hat noch den Vortheil, daß die Hauptströmung sich nicht den alten Stromarmen zuwenden wird, eben weil diese vielfach coupirt sind.

In England und Frankreich sind gegen den Bühnenbau manche Einwendungen erhoben,

und namentlich wird den Buhnen zur Last gelegt, daß sie keinen gleichmäßig tiefen Stromschlauch erzeugen; in Frankreich ist auch die Meinung sehr allgemein verbreitet, daß der Strom zwischen den Buhnen serpentiniert, und man sie, um dies zu vermeiden, sehr nahe legen müsse. In England sind in großen Strömen nie Corrections-Arbeiten vorgekommen, und wo man diese in kleineren Flüssen durch Buhnen ausgeführt hat, sind die Buhnen theils unglücklich angeordnet, theils eignen sich diese kleinen, eng beschränkten Flüsse vorzugsweise für die vorher beschriebenen Paralleldämme. In Frankreich kannte man von den Buhnen, bis vor einigen Jahren, nur die wenigen von MINARD beschriebenen Werke, die Nichts gegen den Buhnenbau, sondern nur das beweisen, daß man die Idee desselben, und die Wirkung der Werke, gänzlich mißverstanden hatte. In neuerer Zeit ist in einer Parthie der mittleren Garonne eine sehr glückliche Correction durch Buhnen ausgeführt, beschrieben in den „Annales des ponts et chaussées vom Jahre 1848 von BAUMGARTEN,“ die auch im Norden Frankreichs nicht unbekannt geblieben ist, und die Ingenieure in soweit von dem alten Vorurtheil zurückgebracht hat, daß sie die Zweckmäßigkeit des Buhnenbaues für die oberen Stromparthien zugestehen. Später, bei Beschreibung einiger Ströme des nördlichen Frankreichs, werden wir sehen, wie die Zwecke, welche man dort verfolgt, gerade durch Parallelwerke vollständig und verhältnißmäßig wohlfeil erreicht werden konnten.

Der Vorwurf, daß die Buhnen keine so gleichmäßige Tiefe erzeugen als die Parallelwerke, wird ihnen nicht ganz mit Unrecht gemacht. Durch die plötzliche Profilverengung, welche neben jeder Buhne, oder zwischen je zwei gegen einander überliegenden Buhnen statt hat, wird nothwendig ein Theil der lebendigen Kraft des Stromes zerstört, und diese verlorene lebendige Kraft spricht sich aus, in den Wirbeln, welche allemal neben den Köpfen der Werke, und etwas unterhalb sich zeigen. Die Vertiefung der Stromstrecke geht demgemäß auch vom Kopf der Buhnen aus, indem die Wirbel unzusammenhängende, zum Theil sehr tiefe Kolke erzeugen. Diese Kolke sind beim Buhnenbau als ein nothwendiges Uebel zu betrachten; als ein Uebel, weil sie, wie schon bemerkt, einen bedeutenden Theil der lebendigen Kraft des Strom consumiren, und ihre Tiefe der Schifffahrt nicht zu Nutzen kommt. Bei längerer Einwirkung des Stromes bildet sich auch die Tiefe zwischen den Buhnen aus, obgleich noch immer vor den Köpfen die tiefsten Parthien bleiben. Sind die Buhnen so situirt, daß keine Verlandung zwischen ihnen stattfindet, so verschwinden auch die Kolke nicht, und man hat Recht über die Anlage zu klagen; sobald aber Verlandung eintritt, und einem richtig angeordneten Buhnensystem muß diese nie fehlen, so legen die Kolke sich mehr und mehr zu, und sie verschwinden endlich ganz, sobald die Ursache ihrer Bildung aufhört, sobald das Ufer bis zur Höhe der Buhnen ausgebildet ist. Der Stromschlauch ist alsdann ebenfalls ausgebildet, und die Regulirung ist als beendet zu betrachten.

Da die Tiefe der Kolke von dem Verhältniß der Länge der Einschränkungswerke zur Strombreite, von der Richtung der Werke gegen den Stromstrich, von der Größe des Gefälles und der Stromgeschwindigkeit, von der Nachgiebigkeit des Grundes etc. abhängt, nicht aber von der absoluten Größe der Wassermenge, welche der Strom abführt; so ist klar, daß die schädlichen Wirkungen der Kolke, sich im Allgemeinen in kleineren Flüssen fühlbarer machen, als in großen, deren Bett, wie schon früher erwähnt, ohnehin nie völlig gleichmäßige Tiefen zeigt. Es ist dies ein Hauptgrund, weshalb sich für die Regulirung des Fluthgebietes kleinerer Flüsse vorzugsweise Parallelwerke empfehlen.

Man kann die schädliche Wirkung der Buhnen, die Kolkbildung, dadurch umgehen, daß man die Buhnen nicht mit einem Male zur vollen Höhe ausführt, sondern sie anfangs sehr niedrig hält, und sie nur langsam erhöht, in dem Maaße wie die Verlandung zwischen ihnen fortschreitet. Es ist dies im Wesentlichen dasselbe Verfahren, welches man mit vielem Glücke beim Schließen von Stromarmen angewendet hat. Während man früher, und

theilweise noch jetzt, die Schließung der Stromarme durch Ausführung Einer Coupirung bewerkstelligte, die bei nur einiger Ausdehnung ungeheure Arbeitskräfte und Kosten in Anspruch nimmt, und lange nach ihrer ersten Herstellung dem Stromangriff ausgesetzt bleibt, erreicht man mit verhältnißmäßig geringen Kosten, den Schluß des Stromarmes dadurch, daß man ihn langsam verlandet. Man hat dabei den Vortheil, daß der andere Arm, welchem man das Wasser zuweisen will, sich langsam ausbildet, daß keine große Waffen der Sinkstoffe mit einem Mal in Bewegung gesetzt werden, und daß die Werke, welche man zum Schließen ausgeführt hat, nach beendeter Arbeit dem Stromangriff völlig entzogen sind, weil der geschlossene Arm in Land verwandelt ist. Gerade dasselbe Prinzip kann man aber bei größeren Buhnenanlagen zur Ausführung bringen, und mir scheint dies die naturgemäße Lösung der Aufgabe zu sein. So viel ich erinnere, ist ein Buhnensystem nach diesen Grundsätzen an der mittleren Oder ausgeführt. Ganz besonders aber dürfte diese Methode sich für Correctionen im Fluthgebiet größerer Ströme empfehlen, wo Verzweigungen in mehrere, durch Sände und Inseln getrennte Rinnen sehr gewöhnlich sind, und wo man um Eine Rinne zur Hauptrinne auszubilden, eine oder mehrere, oft in einzelnen Parthien sehr tiefe Rinnen zu durchbauen hat.

Die Ausführung wird durch die in den deutschen Nordseeprovinzen und in Holland übliche Bauart mit Sinkstücken sehr erleichtert, und würde nach meiner Ansicht so auszuführen sein, daß man von den Ufern ab, bis zu den künftigen Uferlinien des Stromes, in nicht zu weiten Abständen von einander, normal zum Strom, Reihen von Sinkstücken hinausführt. Da ein Sinkstück, nachdem es mit Steinen belastet ist, nur die Dicke von 3 bis 4 Fuß hat, so können am Kopf eines solches Werkes, keine schädliche Wirbel entstehen. Der über die Werke fließende Strom wird aber im Grunde etwas geschwächt, und dadurch disponirt, Sinkstoffe zwischen den Werken abzulagern, vorausgesetzt, daß die Abstände je zweier derselben nicht zu groß gewählt sind. Ist der Grund bis zur Höhe der Sinkstücke aufgefüllt, so wirft man eine neue Lage von denselben Dimensionen, und eine dritte, wenn die Verlandung der vorhergehenden beendet ist. Man wird dabei aber wohlthun, die Verlandungen in den tieferen Kolken vorzugsweise zu befördern, um eine gleichmäßige Höhe in der ganzen abzuschließenden Stromparthie zu erlangen; ja man wird es durch richtige Anordnung der verschiedenen Lagen dahin bringen können, daß die Oberfläche der verlandeten Stromparthie ein geringes, gleichmäßiges Gefälle gegen den darzustellenden Stromschlauch erhält.

Die Methode hat aber außerdem, daß die Einwirkungen auf den Strom langsam vor sich gehen, und keine plötzliche Störungen verursacht werden, daß ferner kein Werk mit alleiniger Ausnahme des Kopfes einem heftigen Stromangriff ausgesetzt, demselben vielmehr sehr bald völlig entzogen wird, noch den großen Vortheil, daß man mit den Stromwerken gar nicht bis auf die Höhe des Niedrigwasserspiegels zu gehen braucht, sondern mit dem Bau aufhören kann, wenn diejenige Tiefe im Stromschlauch erreicht ist, welche den gestellten Anforderungen entspricht. Außerdem empfiehlt sie sich durch ihre Wohlfeilheit. Sowohl bei Parallelwerken als Buhnen, wächst die Menge des Materials in stärkerem Verhältniß als die Tiefe. Das Material, welches den inneren, paralleloipedischen Theil des Werkes erfüllt, dessen Querschnitt die Kronenbreite zu einer, die Höhe des Werkes zur andern Seite hat, steht im directen Verhältniß zur Tiefe; die prismatischen Räume zur Seite aber, welche durch die Dossirungen gebildet werden, stehen im quadratischen Verhältniß zur Tiefe. Bei der langsamen Erhöhung braucht man den Regulirungswerken gar keine Dossirung zu geben, und man erspart daher alles Material, welches die Dossirungen erfordern, oder man kann mit derselben Menge Material, bei dieser Methode, die Werke viel näher legen. Im Fluthgebiet, wo zum Senken der Stücke gewöhnlich die Zeit des Stromwechsels abgewartet wird, können Stücke von 24

Fuß Breite, in großen Tiefen noch mit Sicherheit versenkt werden, und in kleinen Tiefen, reicht man mit Stücken von geringerer Breite aus. Ob zwei Sinkstücke, welche aufeinander gesenkt werden, sich absolut decken, oder ob das obere einige Fuß seitwärts über das untere vortritt, ist bei dieser Methode ebenfalls gleichgültig, da man die zweite Lage erst senkt, nachdem die erste verlandet ist.

Die Menge des Fluthwassers wird durch diese Art zu bauen ersichtlich nicht in schädlicher Weise afficirt; man kann im Gegentheil an Wassermenge nur gewinnen, da alle seitlichen Flächen für das Fluthwasser erhalten werden, und die Fluthwelle sich in der vollständiger ausgebildeten Strombahn freier als vor der Regulirung entwickeln kann.

Nachdem man sich für das eine oder das andere, dem besonderen Falle am meisten entsprechende Regulirungssystem entschieden hat, entsteht die Frage, wie dasselbe zur Ausführung zu bringen ist. Die Art der Ausführung übt bei den meisten Wasserbauwerken einen so entschiedenen Einfluß auf den mehr oder minder günstigen Erfolg der Werke, ja bisweilen auf das Gelingen des ganzen Baues aus, und steht mit dem Kostenpunkt in so engem Verhältniß, daß ihr die größte, und eine ununterbrochene Aufmerksamkeit gewidmet werden muß. Dies gilt im höchsten Maaße für Regulirungsbauten, da man hier die Stromkraft zur Seite hat, welche durch geschickte Behandlung die Arbeit erleichtern und fördern, durch falsche Behandlung sie maaßlos hemmen, ja unmöglich machen kann. Es ist durchaus müßig, allgemeine Regeln darüber aufstellen zu wollen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Werke eines Regulirungsplanes auszuführen sind; es muß dies in jedem besonderen Falle erwogen, und den Verhältnissen, entsprechend angeordnet werden, ja es wird nicht einmal möglich sein, selbst bei genauer Localkunde, vor dem Beginn der Ausführung einer größeren Regulirungsoperation, den Arbeitsplan völlig festzustellen, sondern man wird sich Aenderungen, den sich herausstellenden Erfolgen entsprechend, gefallen lassen müssen. Die einzige Regel für die Ausführung, welche für eine allgemeine zu achten sein möchte, ist die, daß man die Arbeit langsam, dem Entwicklungsgange der Strombahn folgend ausführen muß. Hierfür sprechen gewichtige Gründe, welche theilweise schon oben angeführt sind, hier aber noch etwas näher besprochen werden mögen.

Ein Umstand, welcher bei der Ausführung nie aus den Augen gelassen werden darf, und dem der Ingenieur alle andere Rücksichten zu opfern hat, ist der, daß das Fahrwasser während des Baues nie, auch nicht vorübergehend, in einen schlechteren Zustand komme, als derjenige vor dem Beginn der Regulirungsarbeiten war; vielmehr ist dahin zu streben, daß dieser Zustand sich fortwährend verbessere. Gewöhnlich liegt in oder oberhalb der zu regulierenden Stromparthie eine größere Handelstadt, zu deren Gunsten die Arbeiten unternommen werden; daß Maaß der Schiffe, welche solche Handelstadt besuchen, pflegt aber sehr genau nach den vorhandenen Fahrtiefen bemessen zu sein, und die zeitweilige Unterbrechung der Schifffahrt mit den üblichen Schiffen, welche die verderblichsten Folgen haben kann, und allemal bedeutende Geldopfer fordert, folgt aus einer anscheinend geringen Verschlechterung des Fahrwassers. Werden die Regulirungsbauten rasch ausgeführt, wie dies dem Wunsche der Betheiligten natürlicher Weise entspricht, so ist man nie davor sicher, daß plötzlich, in Folge einer besonders hohen Fluth, oder aus anderen nicht vorher zu sehenden Ursachen, große Massen von Sinkstoffen in Bewegung kommen, und an solchen Stellen abgelagert werden, wo sie die Schifffahrt hindern. Schon aus diesem einen Grunde sollte man sich hüten den Bau rasch durchzuführen, mächtige Stromarme gewalthätig zu schließen, und die Stromkraft heftig anzuspannen; es sprechen aber noch andere, in der Natur der Sache liegende Gründe, für den ruhigen Entwicklungsgang.

Es ist eine vielfach verbreitete Ansicht, daß man bei Ausführung von Correctionswerken energisch gegen den Strom vorgehen, und durch eine Reihe von Bauten ihn zwingen müsse,

eine Concave, oder gar eine ganze Stromrinne zu verlassen, und einen neuen Lauf anzunehmen, und daß man um so sicherer zum Ziele komme, je rascher man fortarbeitet. Ich halte diese Ansicht, wie schon oben angedeutet, nicht für naturgemäß und deshalb für unrichtig. Es lassen sich freilich eine Menge Beispiele aufführen, wo das Zurückdrängen der Stromrinne aus der Concave, oder die Ueberweisung des Stromes in eine andere Stromrinne, glücklich durchgeführt ist, aber damit ist nicht bewiesen, daß die angewandten Mittel die *absolut richtigen* waren, und dies möchte sich auch wohl nur in den wenigsten Fällen beweisen lassen, besonders wenn der Kostenpunkt mit dabei berücksichtigt würde. Man kann gewiß nicht in Abrede stellen, daß der Strom bisweilen plötzlich, durch besondere Umstände veranlaßt, seine Ufer oder sein Bett an einzelnen Stellen angreift, und es muß dann den Wirkungen eben so kräftig entgegen getreten werden, wenn es nicht thunlich ist, die Ursache rasch zu heben; dies sind aber bei Weitem die seltensten Fälle, und bei den meisten derselben möchte sich überdies nachweisen lassen, daß dem heftigen Angriff durch rechtzeitiges Ergreifen von einfachen Mitteln hätte vorgebeugt werden können. Bei weitem häufiger, ja fast immer, bilden sich die schädlichen Wirkungen des Stromes *langsam* aus; die Deiche verlieren nur allmählig ihr Vorland, nur langsam bildet sich eine scharfe Concave, nicht plötzlich bilden sich Inseln und Sandbänke, und eben so wenig ist ihr Verschwinden ein plötzliches. Die Stromkraft ist fortwährend bei der Umwandlung und Ausbildung des Bettes und der Ufer thätig, aber nur selten, z. B. nach einer besonders großen Fluth, sind diese Umwandlungen in die Augen springend, und erscheinen sprungweise; im Allgemeinen geht die Metamorphose des Strombettes unmerklich vor sich. Die Oberfläche des Strombettes wird durch die Stromkraft in beständiger Bewegung erhalten, und die am Boden fortgeschobenen Sinkstoffe lagern sich ab, oder nehmen eine langsamere Bewegung an, wie die Strömung geschwächt wird. Umgekehrt wird die Geschwindigkeit der Bewegung der Sinkstoffe, durch Verstärkung der Stromkraft gefördert. Zur Bildung der Sandbänke ist es aber keineswegs nöthig, daß die Strömung beträchtlich geschwächt oder gar gänzlich zerstört wird; im Gegentheil sehen wir die Sände sich am schnellsten mitten im Strom erhöhen, sobald sie nicht mehr von der Hauptstromrichtung getroffen werden, und doch noch eine kräftige Strömung über sie hin geht. Ebenso erfolgt eine regelmäßige Vertiefung, schon bei einer geringen Verstärkung der Strömung, und es genügt geringe Schwächung der Strömung an einer, geringe Verstärkung an einer anderen Stelle, um Ablagerungen und Ausfurchungen einzuleiten, ohne daß man nöthig hat den Strom durch mächtige Bauwerke zum Angriff zu zwingen.

Schon oben ist auf den Vortheil hingewiesen, der aus der langsamen Schließung eines Stromarmes und der langsamen Ausbildung des neuen Armes erwächst; es läßt sich aber ebenso zeigen, daß dieselben Vortheile auch bei anderen Strombauten durch eine ähnliche Behandlung erreicht werden können. Wenn eine scharfe Concave, mit großen Wassertiefen von dem Ufer, durch ein Buhnensystem ausgebaut wird, so kann man allemal die Erfahrung machen, wenigstens im unteren Strom, daß die Verlandung zwischen den Werken verhältnißmäßig sehr langsam fortschreitet, während doch der Zugang zu den Zwischenräumen der Buhnen dem Strome geöffnet ist, und dieser auch die groben, nur im tiefen Stromschlauch fortgeschobenen Sinkstoffe, frei einführen und auflagern könnte. Es pflegt sich gerade in diesem Falle, der neue Stromschlauch besonders rasch unmittelbar vor den Köpfen der Werke auszubilden, aber die hierbei in Bewegung gesetzten Massen von Sinkstoffen, treten nur zum kleinen Theil zwischen die Werke, und bleiben dort liegen, während die Hauptmasse der Sinkstoffe weiter geführt, und anderweitig abgelagert wird. So wenig man in diesem Falle eine *rasche Verlandung* durch den Bau erzielt, eben so wenig erreicht man ein *regelmäßiges Profil*. Die dem convexen Ufer vorgelagerte Bank pflegt sich nicht zu erniedrigen, ihr Rand weicht nur soweit zurück, um einen schmalen, übermäßig tiefen

Stromschlauch zwischen sich und den Bühnenköpfen zu lassen, ja bei zunehmender Vertiefung dieser Fahrbahn, schiebt sich der Rand der Bank bisweilen von Neuem beengend gegen den Strom vor. Dies Mißverhältniß hat nach meiner Ueberzeugung einzig seinen Grund in der zu raschen Ausführung der Regulirungswerke, durch welche der Strom zur Bildung von Wirbeln, und deren Folgen, zur Bildung tiefer Kolke gezwungen wird. Die Köpfe der Werke senken sich hierbei; man muß sie erhöhen, sie werden dadurch noch steiler als sie bei der ersten Anlage schon waren, und geben Veranlassung zur Bildung noch heftigerer Wirbel, und rascher fernerer Vertiefung. Die natürliche Neigung des Stromes, in der Concave zu bleiben, wird durch die tiefen Kolke begünstigt, die Erhöhungen zwischen den einzelnen Kolken werden leichter angegriffen als die Sände vor dem convexen Ufer, sie verschwinden allmählig, und die Sandbank behält dasselbe Verhältniß zum neuen Stromschlauch, in welchem sie vor der Correction zum alten Stromschlauch stand. Finge man damit an, den Grund zu decken, und Ablagerungen am concaven Ufer und in der Tiefe des Stromschlauches vor dem Ufer, durch eine Anzahl geringer, dem Strom entgegen gestellter Hindernisse einzuleiten, böte man dem Strom fortdauernd neue Hindernisse, nachdem er die früheren durch Verlandung beseitigt, so würde man ihn langsam vom Ufer entfernen, ohne daß er durch Bildung großer Wirbel zur Aushöhlung übermäßiger Tiefen veranlaßt würde, und ein verhältnißmäßig flach dossirtes Ufer an der concaven Seite, und ein weit regelmäßigeres Stromprofil dürfte der Erfolg solcher Operation sein; wenn auch durch diese Bauart, so wenig als durch irgend eine andere, die natürliche Tendenz des Stromes, am concaven Ufer größere Tiefen herzustellen als am convexen, aufgehoben werden kann.

Aehnliche Betrachtungen lassen sich für jeden einzelnen Correctionsbau anstellen; sie führen fast in allen Fällen zu dem Resultat, daß sowohl in Hinsicht der *Ausbildung des Stromschlauches*, als auch in *pecuniärer* Beziehung, eine *langsame Ausführung* entschieden vortheilhaft ist. Schon oben haben wir, durch sie geleitet, die dort näher beschriebene Art der Ausführung von Bühnensystemen im Fluthgebiet empfohlen; sie lassen sich aber, weil sie aus der natürlichen Einwirkung des Stromes auf sein Bett abstrahirt sind, eben sowohl auf Parallelbauten ausdehnen. Auch bei Ausführung von Parallelbauten, wird man sich entschieden sicherer dabei stehen, durch allmähliche Erhöhung, und langsame Verlängerung der Dämme, dem heftigen Stromanfalle zu entgehen, die unterhalb belegenen Stromstrecken vor Versandung durch die fortgeführten Sinkstoffe zu sichern, und raschere Verlandung zu erzielen, als wenn man durch rasch ausgeführte Bauten, den Erfolg des Baues in unmittelbarer Nähe der Werke recht augenfällig macht, dafür aber Sicherheit und Wohlfeilheit einbüßt.

Will man ein Regulirungsproject in einem *Sand führenden Strom*, mit dem *geringsten Kostenaufwande* ausführen, und aus der Stromkraft den größtmöglichen Nutzen ziehen, so muß man den Strom selbst die langsame Metamorphose seines Bettes und seiner Ufer bewerkstelligen lassen, und diese seine Arbeit, durch die Bauwerke gewissermaßen nur regeln, und den Zwecken entsprechend leiten. Es wird auf diese Weise allemal gelingen, durch Anwendung von verhältnißmäßig wenig kostspieligen Bauten, eine regelte Strombahn herzustellen, und zu erhalten, ohne daß man zu künstlichen Transportmitteln für die Sinkstoffe, seine Zuflucht zu nehmen braucht. Bei dieser Art zu bauen, wird das Fahrwasser bis zum Ende des Baues fortwährend verbessert, aber die Beendigung der Arbeit, der Zeitpunkt in welchem die Strombahn diejenige Ausbildung erlangt hat, deren sie den natürlichen Verhältnissen gemäß fähig ist, läßt sich nicht mit Sicherheit vorher bestimmen. Dieser Zeitpunkt hängt ab, von der Größe der Stromgeschwindigkeit, und von der Natur der Sinkstoffe, welche das Bett der Stromstrecke bilden; sind diese von großer Beweglichkeit, und verlegt sich auch ohne künstliche Beihülfe das Fahrwasser durch geringe Anlässe, ein Fall,

welcher in der Nähe der See nicht selten ist, so ist eine baldige Beendigung des Baues zu erwarten, während unter anderen Umständen, die Dauer der Arbeit längere Zeiträume umfassen kann, als es für die dabei Interessirten wünschenswerth ist.

Unter solchen Verhältnissen kann es zweckmäßig erscheinen, selbst mit Hintenansetzung des Kostenpunktes, die Arbeit zu fördern, und hier tritt uns die *Bagger ei*, welcher wir oben als Mittel zur Regulirung ihren Werth absprechen mußten, als secundäres Hilfsmittel entgegen, dessen man sich mit Vortheil bedient. Durch Baggerei kann dem Strom ein großer Theil der ihm obliegenden Arbeit, die neue Strombahn zu vertiefen, die alten Arme zu verflachen, abgenommen werden, indem ein Theil der Sinkstoffe direct aus der neuen Strombahn, nach denjenigen Räumen gefördert wird, welche zur Verlandung bestimmt sind. Hier gehen sie nicht von Neuem eine Bewegung ein, wie dies der Fall ist, wenn keine stromleitende Werke angelegt sind, sondern sie werden durch die Stromwerke zurückgehalten, und von der allgemeinen Bewegung der Sinkstoffe ausgeschlossen. Die Tendenz des Stromes, die Baggerrinne zuzulegen ist jetzt ebenso wenig vorhanden, indem die Werke durch Beengung eines Theiles des Stromprofils darauf hinwirken, das übrigbleibende Profil zu vertiefen, so daß die Baggeroperation durch den Strom unterstützt wird, wie sie umgekehrt ihn in seiner Thätigkeit unterstützt. Mit vielem Glücke ist die Baggerei unter solchen Umständen angewendet worden, und darf, wo man die Kosten nicht scheut, mit Recht empfohlen werden.

Besteht das Strombett nicht aus *S a n d*, sondern aus *c o h ä r i r e n d e n S t o f f e n*, als Thon, Moor etc., so ist auch die verstärkte Stromkraft zur Ausbildung des Bettes häufig unzureichend; sie greift dann wohl die weniger festen Theile des Bettes an, läßt aber die härteren Bänke stehen, und bildet eine Fahrbahn von unregelmäßiger Tiefe. In solchen Fällen werden künstliche Aufräumungen *n o t h w e n d i g*, und sind ein integrierender Theil des Regulirungsprojectes. Sie können, je nach den verschiedenen Umständen, in Baggereien oder bloßen Auflockerungen bestehen, doch wird der Baggerei gewöhnlich der Vorzug gegeben, und oft ist sie bei festen Ablagerungen auch das einzig anwendbare Mittel.

Ist endlich das Bett in *F e l s e n* eingeschnitten, oder besteht dasselbe aus so groben Geschieben, daß die Strömung zu deren Bewegung nicht ausreicht, so können auch hier Aufräumungsmittel unter Umständen einen günstigen Erfolg haben, und ein verbessertes Fahrwasser durch sie erzielt werden; es kann aber auch im Fluthgebiet der Ströme der Fall eintreten, daß bei solcher Beschaffenheit des Grundes, weder Regulirungs- noch Aufräumungsarbeiten den gewünschten Zustand des Fahrwassers, überhaupt eine Verbesserung desselben, nicht herbei führen, und daß man auch hier genöthigt ist, zur Schiffbarmachung des Stromes, Wehre anzulegen, und einen Theil des Stromes den Wirkungen der Fluth für immer, oder periodisch für bestimmte Zeiträume, zu entziehen. Einen solchen Fall werden wir bei der Betrachtung des Severn kennen lernen.

A n h a n g

U e b e r d e n S i n k s t ü c k b a u

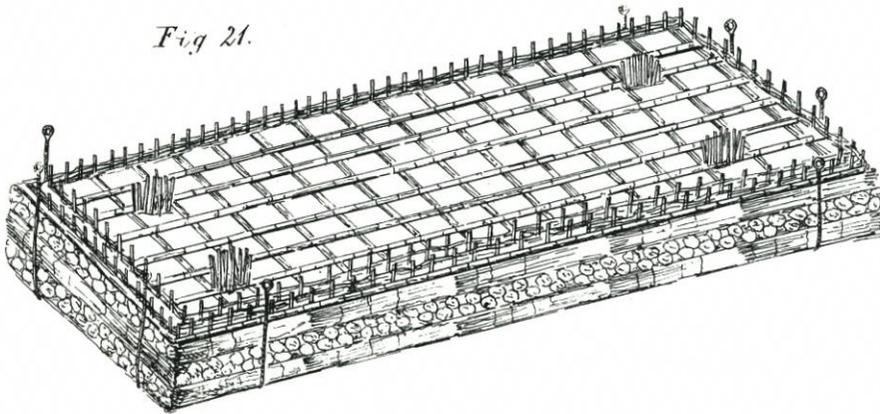
In der mittleren Parthie der deutschen Ströme findet in allen den Gegenden, wo das Steinmaterial mangelt, fast ausschließlich der Packwerksbau beim Bau der Regulirungswerke Anwendung; er besteht bekanntlich darin, daß man auf der Oberfläche des Wassers schwimmende, im Allgemeinen trapezförmige Lagen an denjenigen Stellen, wo dieselben später versenkt werden sollen, aus Faschinen, Würsten und Pfählen construirt und daß man durch

Belastungsmaterial und durch Ueberdeckung mit anderen Lagen die zuerst erbaueten successive hinabdrückt, bis sie sich fest gegen den Grund des Strombettes und gegen das Ufer, oder gegen den schon fertigen Theil des Bauwerkes anlegen. Die Lagen nehmen beim Versenken eine geneigte Richtung gegen den Horizont an, indem sie sich um die kleinste parallele Seite des Trapezes wie um eine Axe drehen. Der Packwerksbau setzt einen constanten oder nahezu constanten Wasserstand während der Ausführung des Bauwerkes voraus – jede beträchtliche Aenderung im Stande des Wassers unterbricht den Bau – und je weniger vollständig diese Bedingung erfüllt ist, desto schwieriger und unvortheilhafter wird die Anwendung der sonst so einfachen und zweckmäßigen Construction. Aus diesem Grunde ist der Packwerksbau im Fluthgebiet der Ströme und an der Seeküste beim Bau der Schutz- und Regulirungswerke nicht anwendbar, und es hat sich in Holland, wo das Steinmaterial mangelt, dem man auch aus anderen Gründen an der Seeküste dem Buschmaterial vorzieht, eine besondere, den Verhältnissen entsprechende Constructionsmethode, der Sinkstückbau, ausgebildet. Dieselbe besteht in der Anfertigung prismatischer Körper aus Buschmaterial, den Sinkstücken, welche einzeln am Ufer oder zwischen Fahrzeugen auf dem Wasser erbaut, und alsdann neben- und aufeinander, den Abmessungen des darzustellenden Bauwerkes entsprechend, versenkt werden. Auch an manchen Parthien der deutschen, ebenfalls steinarmen Küste findet man den Sinkstückbau in Anwendung, bisher aber durchaus nicht allgemein, weshalb eine kurze Beschreibung der Construction und der Behandlung der Sinkstücke sich rechtfertigen mag, besonders da dieselben bisweilen auch mit Vortheil außerhalb des Fluthgebietes angewendet werden können, und angewendet worden sind. Ich werde die im hamburgischen Theile der Elbe übliche Constructionart beschreiben, welche mit der holländischen völlig übereinstimmt.

Auf einem Strande, welcher mit Niedrigwasser trocken läuft, bei Hochwasser aber überfluthet wird, steckt man die Größe des Sinkstückes ab. Auf dieser Fläche werden sodann, in Abständen von 3 zu 3 Fuß, Würste sowohl nach der Länge als nach der Quere des Sinkstückes ausgestreckt, und an allen Kreuzungspunkten mit Bindweiden zusammen gebunden. Jeder Kreuzungspunkt zweier Würste wird nun durch eine dünne Leine, deren eines Ende durch das zu einer Schleife gebildete andere Ende gezogen wird, kreuzweise fest zusammen geschnürt und das lose Ende der Leine wird an einem senkrecht eingeschlagenen Faschinenpfahl, den man in die Würste getrieben hat, aufgebunden. Außerdem werden noch an jeder der vier Seiten des Sinkstückes zwei stärkere Leinen, welche später zum Tragen desselben dienen, befestigt; sie sind je nach der Größe des Stückes 3, 6 oder 9 Fuß von den Enden entfernt. Diese Leinen werden nicht an der Randwurst, sondern an der zweiten oder dritten Wurst befestigt, welche bei großen Sinkstücken durch eine kurze Ankerwurst noch verstärkt wird; sie treten aber unter der Randwurst circa 3 Fuß vor, und haben an ihrem freien Ende eine eiserne Kausche, durch welche später die Senkleine gezogen wird. Nachdem der Rost so vorbereitet ist, wird mit dem Aufpacken der Faschinen von beiden Enden gleichzeitig begonnen. Hat das Sinkstück die gewöhnliche Form eines längliches Rechtecks, so werden die Faschinen der ersten Reihe mit ihren Stammenden auf die Randwurst der schmalen Seite des Rostes, mit ihrer Längsaxe parallel zu den langen Würsten gelegt, und in derselben Richtung bringt man alle folgenden Faschinen dieser Lage auf, zieht jedoch die Stammenden jeder Reihe gegen die vorhergehende Reihe ein. Wo die Faschinenreihe in der Mitte des Sinkstückes zusammentreffen, ist natürlich für gehörige Abwechslung und Ueberdeckung der Stöße zu sorgen und ebenso hat man Sorge zu tragen, daß die Pfähle ihre senkrechte Stellung behaupten. Ist auf diese Weise eine gleichmäßig dicke Lage von $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Fuß gebildet, so wird die zweite Lage von derselben Dicke aufgebracht, aber so, daß die Axen der Faschinen parallel zu den Querwürsten zu liegen kommen, daß sie also die Richtung der Faschinen in der

ersten Lage kreuzen. Die Stammenden der Faschinen sind dabei wieder nach Außen gekehrt. Auf diese Lage folgt eine dritte, der ersten völlig gleiche Lage. Auf die oberste Faschinenlage wird nun ein eben solcher Wurstrost gelegt wie derjenige unter dem Sinkstück; die Pfähle werden ausgezogen, und mit den dünnen Leinen werden die Kreuzungspunkte des oberen Rostes gegen die entsprechenden Punkte des unteren Rostes geschnürt. Der Arbeiter schlingt dabei die Leine um die Hand, tritt mit beiden Füßen auf die oberste Wurst und zieht die Leine so straff als möglich an, er legt alsdann die Leine um beide Würste, wobei er sie immer so fest als möglich anzieht, legt sie noch einmal kreuzweise um die Würste und knotet sie fest. Es ist nothwendig, daß das Schnüren von vielen Arbeitern gleichzeitig geschieht, damit das Sinkstück möglichst compact wird. Ein Sinkstück, welches vor dem Schnüren $4\frac{1}{4}$ bis $4\frac{1}{2}$ Fuß dick war, muß nach dem Schnüren etwa 3 bis $3\frac{3}{4}$ Fuß Dicke haben. Auf das Sinkstück werden an dessen Rändern nun noch zwei leichte Flechtzäune gesetzt, und wenn dasselbe groß ist und tief versenkt werden soll, so theilt man dessen Oberfläche durch solche Flechtzäune in mehrere Theile, damit das Belastungsmaterial nicht abgleiten kann, falls das Sinkstück eine etwas geneigte Lage annehmen sollte. Zur besseren Befestigung des äußeren Zauns werden auch bisweilen statt Einer Randwurst deren zwei gelegt. Endlich werden auf der Oberfläche des Sinkstückes noch einige feste Punkte zum Befestigen von Ankertauen etc. gebildet, indem man eine Anzahl Faschinenpfähle dicht neben einander hineintreibt. Ein so construirtes Sinkstück ist in der Fig. 21 dargestellt.

Fig. 21.

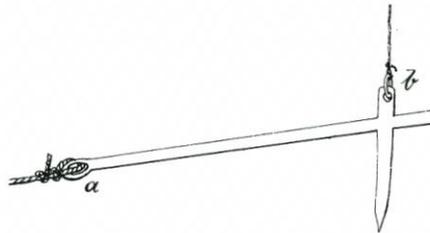


Nachdem das Sinkstück durch die Fluth flott geworden ist, wird es an vorher ausgelegten Ankern nach dem durch Fluchtbaaken oder auf andere Weise genau bezeichneten Orte transportirt, wo es versenkt werden soll. Nun werden, kurz vor Hochwasser, die mit Belastungsmaterial beladenen Fahrzeuge – es sind deren gewöhnlich vier – dicht neben die vier Seiten des Sinkstückes gelegt; sie werden sämmtlich fest verankert, und jedes Fahrzeug wird an das Sinkstück befestigt, indem zwei mit ihrem einen Ende in dem Fahrzeug befestigte Senkleinen durch die entsprechenden Kauschen des Sinkstückes gezogen, alsdann straff angeholt und mit den anderen Enden ebenfalls befestigt werden, jedoch so, daß man sie leicht und rasch wieder lösen kann. Es werden nun die Ankertau, vor welchen das Sinkstück bisher lag, gelöst, und dasselbe hängt jetzt an acht Punkten frei zwischen den Fahrzeugen. Sobald der Fluthstrom aufgehört hat oder sehr schwach geworden ist, fängt man an das Belastungsmaterial aufzubringen, zuerst werden die Ecken besonders gut belastet, der Raum zwischen den Randzäunen wird mit Material ausgefüllt, und alsdann die ganze Oberfläche des Sinkstückes mit einer Lage Senkmaterial bedeckt. Ist das Sinkstück so stark belastet, daß man überzeugt

sein kann, es werde sich selbst überlassen rasch sinken, was aus der Spannung der Senkleinen erkannt wird, so läßt man gleichzeitig alle Senkleinen loswerfen, und das Stück sinkt zu Boden. Die schon vorher durch Taue unter sich verbundenen Fahrzeuge werden einander etwas mehr genähert, und der Rest des Belastungsmaterials wird noch zu mehrerer Sicherheit auf das Sinkstück geworfen.

Ein von dem beschriebenen etwas verschiedenes Verfahren ist an den holsteinischen Elbmarschen beim Bau und bei der Versenkung der Sinkstücke gebräuchlich. Die Rostfelder werden dort bedeutend größer gemacht und statt der Taue verwendet man gedrehte Weidenruthen; auch giebt man dem Sinkstück etwa die doppelte Dicke, legt aber, wenn die Faschinen ungefähr 3 Fuß hoch gepackt sind, noch einen Mittelrost auf, welcher mit dem unteren und dem oberen Rost verbunden wird. Da sich in dortiger Gegend nicht leicht ein passender Sandstrand zum Bau der Stücke findet, so schlägt man am Deiche eine Pfahlreihe, beholmt dieselbe über ordinär Hochwasser, legt quer über den Holm schwache Quadratbalken, und erbaut auf diesem Gerüst das Sinkstück so, daß dessen Mittellinie über dem Holm liegt; man braucht alsdann die Balken bei Hochwasser nur ein wenig zu neigen, und das Sinkstück wird von seiner Unterlage ins Wasser gleiten. Das Versenken geschieht nicht bei Hochwasser, sondern kurz vor Niedrigwasser, und zwar verfährt man dabei auf folgende Weise. Man befestigt in dem Sinkstück einige Anker von der in Fig. 22 dargestellten Form und zieht Ankertaue, welche an vorher im Strom ausgelegten Ankern fest sind, durch die Ringe a.

Fig 22



Durch stärkeres Anziehen einer oder des anderen Ankertaus kann man das Sinkstück, während der Ebbestrom noch auf dasselbe einwirkt, in jede beliebige Lage bringen, und man befestigt die Taue, sobald das Stück sich senkrecht über der Stelle befindet, an welcher es versenkt werden soll. Das Stück wird nun mit Senkleinen zwischen verankerten Fahrzeugen aufgehangen, es wird belastet, und es sinkt zu Boden sobald die Senkleinen plötzlich gelöst werden, indem es einen Kreisbogen um die stromaufwärts ausgelegten Anker beschreibt. An Bojeleinen, welche in den Ringen b befestigt sind, werden die Anker aufgehoben, nachdem das Stück vollkommen belastet ist.

Jede der beschriebenen Constructionen hat ihre Vorzüge. Die holsteinischen Sinkstücke sind bedeutend wohlfeiler als die hamburgischen, indem ein Theil der Würste und das Tauwerk erspart wird; sie sind aber weniger dauerhaft und eignen sich daher besonders für den Kern des Werkes, wo sie von anderen Stücken überdeckt werden, auch für die Oberfläche des Werkes, wenn dasselbe von Steinen vollständig eingehüllt wird. Das Beschütten des ganzen Werkes mit Steinen sollte eigentlich nie unterlassen, vielmehr allemal zur Bedingung gemacht werden, da die Erhaltung des Werkes wesentlich hiervon abhängt, indem Faschinenwerke ohne Steindecke endlose Reparaturen erfordern. Am Kopf des Werkes, wo die Sinkstücke mehr oder weniger dem Stromangriff ausgesetzt bleiben und bei etwaiger Auskolkung in Bewegung kommen können, sollte man dieselben allemal so fest als möglich

construiren, und die zuerst beschriebene Constructionsart, wie sie im hamburgischen üblich ist, empfiehlt sich für diesen Theil des Werkes.

Die Vorzüge, welche der Sinkstückbau gegen den Packwerksbau hat, lassen sich nachdem wir dessen Construction kennen gelernt, in wenigen Worten zusammen fassen. Beim Packwerksbau ist man sowohl in Bezug auf die Höhe des Werkes als auf dessen Dossirungen in sehr enge Grenzen gewiesen, die entweder gar nicht, oder nur auf Kosten der Sicherheit des Baues überschritten werden können. Der Sinkstückbau erlaubt es, dem Werke jede beliebige Höhe und Form zu geben, wie die jedesmaligen Verhältnisse dieselbe wünschenswerth erscheinen lassen. In Bezug auf die Kosten gebührt dem Packwerksbau, wo derselbe überhaupt anwendbar ist, aber wohl unbedingt der Vorzug.

*Ergänzende Anmerkungen zu DALMANN'S Aufsatz: „Ueber Stromcorrectionen im Fluthgebiet“
(von Prof. Dr.-Ing. WINFRIED SIEFERT, Cuxhaven)*

DALMANN wurde 1853 zum Wasserbauinspektor ernannt und – nach der Suspendierung HÜBBES und einem kurzen Zwischenspiel KERNERS – 1858 mit den Geschäften des Wasserbaudirektors in Hamburg beauftragt. Es ist DALMANN'S Verdienst, die Pläne englischer Ingenieure, die abgeschleuste Hafenbecken für Hamburg vorgeschlagen hatten, kritisch durchdacht, überarbeitet und schließlich tideoffene Hafenbecken durchgesetzt zu haben. Dabei hat übrigens auch LENTZ maßgeblich mitgewirkt.

Seine vorliegende Arbeit verfaßte DALMANN noch unter HÜBBES Leitung. Sie ist im wesentlichen – wie im Vorwort ausgeführt – eine Art Erfahrungsbericht nach der Besichtigung von Baumaßnahmen und Hafenanlagen im Ausland. Interessant zu lesen ist im ersten Abschnitt von der Ansicht, daß „im offenen Meer die Dauer der Fluth der Dauer der Ebbe gleich“ sei (was für die südöstliche Nordsee z. B. nicht zutrifft), von der Erscheinung der Bore in europäischen Flüssen, und daß „Fluthcurven“ und „Fluthwellen“ nicht identisch sind (was auch heute noch manchmal übersehen wird).

Der Abschnitt über die „Correctionswerke“ beschreibt zunächst allgemein die Wirkung von Baumaßnahmen auf die Tide. Auch der Einfluß von Querschnittsvergrößerungen wird behandelt, und man stellt fest, daß die damaligen Auffassungen und Erkenntnisse – u. a. als Folge von HÜBBES Arbeiten – denjenigen in vielem schon entsprachen, die beispielsweise von HENSEN veröffentlicht wurden.

Da die Baggerei in der Mitte des vorigen Jahrhunderts noch nicht sehr leistungsfähig war, wurden vornehmlich über Längswerke, Spülbecken und Buhnen Verbesserungen erwartet. So hält DALMANN fest, daß durch entsprechende Baumaßnahmen Untiefen und Barren leichter beseitigt werden konnten, wenn daneben unterstützend gebaggert wurde, daß aber weitergehende Vertiefungen nicht zu erzielen waren, weil die „Kraft der Bagger“ nicht ausreichte. Damit hatten sich frühzeitige Hoffnungen in den Dampfbagger und seine Wirkung nicht bestätigt.

Über Betrachtungen zu den Spiegelgefällen, den Wassermengen und den Bodenrauigkeiten und der Abhängigkeit dieser Parameter voneinander und von der Profilform und -größe leitete man die Wirkung verschiedener Baumaßnahmen in Tideflüssen ab: Wenn eine Querschnittserweiterung (etwa durch Beseitigung einer Barre) wirken sollte, so mußte auch der Durchfluß erhöht werden. Andererseits versuchte man, der „Verwilderung“ eines Ästuars durch Reduktion übermäßiger Breiten auf eine „Normal-Breite“ mit der Folge einer sich dadurch einstellenden Vertiefung zu begegnen. Das war beim Vorhandensein ausgeprägter Flut- und Ebberinnen oft schwierig, gelang aber häufig durch das Absperren von Seitenarmen.

Bei Regulierungen mit sog. Parallelwerken wurde durch Anlage sog. Spülbassins die Sedimentation unterhalb der Regelungsstrecke zu verhindern versucht. Die in diesen Becken einsetzende Anlandung wurde begrüßt, da die Bauwerke dann gegen „Übersturz“ geschützt waren.

Von Buhnen erwartete man ähnliche Wirkungen, allerdings sollten sie zunächst, um möglichst keine Kolke vor Kopf zu erzeugen, nur sehr niedrig auf Sinkstücken errichtet und erst mit der fortschreitenden Verlandung in den Buhnenfeldern erhöht werden.

Dieser langsame Baufortschritt entsprach dem Verständnis im Wasserbau, da man unvorhersehbare Materialumlagerungen weitgehend vermeiden wollte. Aber wie DALMANN bemerkte, war dies „auch in pecuniärer Beziehung“ anzustreben.